موسوعة العمري

في البيئة والمياه

عبدالله بن محمد العمري

ⓒ عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد

موسوعة العمري في البيئة والمياه. / عبدالله بن محمد العمري -

ط١..- الرياض، ١٤٤٥هـ

٩٨٨ صفحة ، ٢١ X ٢٧ سم

ردمك: ٦-٩٩٥٢-٠٤-٦٠٣-٩٧٨ رقم الإيداع ١٨٢٤٢ / ١٤٤٥

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

الطبعة الأولى

١٤٤٥هـ / ٢٠٢٤م

العبيكان للنشر
Obeikan Publishing

للاستفسارات والملاحظات: الاتصال على المؤلف

alamri.geo@gmail.com

www.alamrigeo.com

هاتف : +966505481215

جميع الحقوق محفوظة، ولا يسمح بإعادة إصدار هذه الموسوعة أو نقلها في أي شكل أو واسطة، سواء أكانت إلكترونية أو ميكانيكية بما في ذلك التصوير بالنسخ (فوتوكوبي)، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من المؤلف.

بسم الله الرحمن الرحيم
وجعلنا من الماء كل شيء حي
وأنزلنا من السماء ماء طهورا

شكر وتقدير

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا المجهود المتواضع المرتبط بتأليف **موسوعة البيئة والمياه**. ربّما لا تُسعفني الكلمات في قول كلمة الحق في زملائنا الأفاضل، فأنتم خيرة الخيرة، ولولا جهودكم الحثيثة ومشاركتكم الدؤوبة ودعمكم اللامحدود ما كان لهذه الموسوعة أن تخرج بهذا الشكل، ونخص بالشكر د. عبد العزيز الطرباق، د. سائر بصمة جي، د. مشاعل آل سعود، د. مصطفى حريري، د. حزام العتيبي، د. صالح الحسون، د. عمر اللافوزا، د. أحمد الفرحان، د. حمدان العمري، م. علي العتيبي، م. أحمد خليفة، أ. سارة العمري على مساهماتهم ومشاركتهم المميزة في الإضافة والتعديل في فصول هذه الموسوعة كل حسب اختصاصه.

الشكر موصول أيضاً لكل من ساهم في المراجعة والإخراج والتصميم ونخص بالشكر م. عبد الرزاق الحربي، أ. يحيى إبراهيم، أ. حسام تفاحة، أ. عمرو محي الدين.

أما عائلتي الصغيرة - الوالدة والزوجة والأبناء - فهم في سويداء القلب ولهم من الشكر أخلصه على وقوفهم ودعمهم اللامحدود.

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

تمهيد

تم بحمد الله الانتهاء من تأليف **خمس موسوعات** علمية متخصصة وشاملة ترتبط بتاريخ العلوم بصفة عامة وعلاقة علوم الأرض بصفة خاصة بالفضاء والبيئة والمياه والتعدين والطاقة والمخاطر الطبيعية. تهدف هذه الموسوعات المدعمة بالصور والأشكال التوضيحية إلى خدمة الباحثين وطلاب التعليم العام والجامعات وفئات المجتمع كافة، نظرا لندرة المراجع العربية في هذا المجال.

تغطي الموسوعات تحديدًا المجالات التالية:

الموسوعة	الوصف
تاريخ العلوم	في 1080 صفحة، تبحث التسلسل التاريخي والزمني في أصول عشرة علوم معرفية مزودة بالمخطوطات والوثائق القديمة عن تاريخ الطب والصيدلة، تاريخ علم الأرض (الجيولوجيا)، تاريخ الكيمياء، تاريخ الفيزياء، تاريخ الفلك، تاريخ الرياضيات، تاريخ الجغرافيا، تاريخ النبات، تاريخ الحيوان، وأخيرًا تاريخ فن العمارة والهندسة.
الأرض والفضاء	في 965 صفحة، تناقش علوم الأرض والفضاء والعلاقة بينهما ودور المساهمات العلمية في استكشاف الفضاء والرحلات المكوكية. تغطي عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية بالإضافة إلى علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية وبالأخص دور القمر ومنازله في ظاهرة المد والجزر وعلاقته بظاهرتي الخسوف والكسوف. دور البحار والمحيطات في الحفاظ على النظام الأرضي والبيئي.
البيئة والمياه	في 988 صفحة، تناقش كل ما يتعلق بالبيئة والمياه والمشاكل البيئية وحلولها والتفاعلات بين الأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض، التغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري ودور الأمطار والسيول والسدود في النظام المائي. تقنين الإدارة المتكاملة للموارد المائية والاستفادة منها وتطوير أساليب تنميتها والحفاظ عليها.

الموسـوعـة	الوصـــــف
المخاطر الطبيعية	في 1112 صفحة، تغطي كل ما يتعلق بالمخاطر الطبيعية وإدارتها وكيفية التعامل معها والتقليل من مخاطرها بالتركيز على الزلازل والبراكين والتسونامي والفيضانات والانزلاقات والانهيارات الأرضية والتصحر والجفاف ودورها في التأثير على بنية الأرض وبيئتها.
التعدين والطاقة	في 1008 صفحة، تناقش مصادر الثروات المعدنية والتعدينية والطاقة الغير متجددة (طاقة النفط والفحم والصخر الزيتي) والمتجددة صديقة البيئة (طاقة الشمس وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة من البحار) بالإضافة الى الطاقة النووية وطاقة الهيدروجين ومدى تأثير هذه المصادر على الطبيعة اقتصاديا وبيئيا والتحديات التي تواجه الاستثمار الأمثل لها.

الموسوعات والكتب والأبحاث العلمية والتقارير الفنية والمحاضرات وغيرها في متناول الجميع على الروابط:

www.alamrigeo.com/encyclopedia/
www.alamrigeo.com/books/
www.alamrigeo.com

المؤلف / عبدالله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com

مُقَدِّمَة

يعد الماء أهون موجود وأعز مفقود جعله الله سبحانه نعمة تهب الحياة وتديمها وتطهر البشر والأرض، بقوله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ﴾ فعند وجود الماء لا نشعر بقيمته ولكن إذا فقدناه هلك كل شيء. إنه فعلا اعز مفقود لان هناك قرى في مختلف مناطق العالم ممن لا تعاني من ندره المياه، ومن طبع الانسان ان لا يعرف بقيمة الشيء حتى يفقده. يغطي الماء نحو 71 % من سطح الأرض، وتشكل البحار والمحيطات معظم حجم الماء (نحو 96.5 %). توجد أجزاء صغيرة من الماء كمياه جوفية (1.7 %)، وفي الأنهار الجليدية والقمم الجليدية في القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند (1.7 %)، وفي الهواء على شكل بخار، لذا يجب ترشيد استهلاك هذه الثروة الثمينة.

ومن المسلم به أن الماء مهم لحياة الإنسان وصحته وكرامته ومورداً أساسيًا للتنمية البشرية وتتعرض موارد المياه العذبة في العالم لضغوط متزايدة، حيث العديد من البشر مازالوا يفتقرون إلى إمكانية الحصول على إمدادات كافية من المياه لتلبية الاحتياجات الأساسية، حيث يؤدي النمو السكاني وزيادة النشاط الاقتصادي لتحسين مستويات المعيشة إلى زيادة التنافس على الموارد المائية العذبة المحدودة والنزاعات حولها.

يُعبّر مصطلح البيئة عن كلّ ما يُحيط بالبشر من أشياء حيّة أو غير حيّة، ويُشير إلى مجموعة الظروف المحيطة من قوى فيزيائية وكيميائية وغيرها من القوى الطبيعية، فقد اشتُقّ مصطلح البيئة Environment من الكلمة الفرنسية Environ التي تعني المحيط، وتشمل البيئة العوامل الحيوية، مثل: البشر، والنباتات، والحيوانات، والميكروبات، وغيرها، والعوامل غير الحيوية، مثل: الضوء، والهواء، والماء، والتربة وما إلى ذلك، بحيث تتفاعل الكائنات

الحية والعوامل غير الحية مع بيئاتها وتتغيّر استجابةً للظروف المحيطة بها، تلعب المياه دورًا أساسيًا في عمل النظام البيئي. إنه بمثابة مورد للكائنات الحية، مما يسهل تبادل الطاقة والمواد والكائنات الحية داخل النظم البيئية. يعد توفر المياه محركًا رئيسيًا للأنماط البيئية، حيث يؤثر على حالة وديناميكيات النظم البيئية الأرضية والمائية.

في النظم البيئية الأرضية، يعد الماء ضروريًا لعملية التمثيل الضوئي للنباتات، والنتح، ينظم الماء مناخ الأرض، ويوفر الموارد المائية للمجتمعات البشرية. ومع ذلك، فإن التدخل البشري، مثل التأثير المناخي، وسحب المياه، وتغيير استخدام الأراضي، قد أدى إلى تعطيل وظائف المياه وأدى إلى تغيرات في النظم البيئية الاجتماعية. إن فهم دور المياه في مرونة النظام البيئي وإدارة توافره أمر بالغ الأهمية للتنمية المستدامة والحفاظ على خدمات النظام البيئي.

أن الجودة البيئية تعتمد على الحفاظ على جودة المياه وكميتها، أن إمدادات المياه عالية الجودة تعتمد على الجودة البيئية. تشير الجودة البيئية إلى حد كبير إلى النظم البيئية في المنطقة، تعتبر الاهتمامات البيئية عنصرًا أساسيًا في التخطيط المستدام للموارد المائية. ينبغي لمخططي الموارد المائية أن يدركوا أن العلاقات بين سلع وخدمات النظام البيئي والمياه هي علاقات ديناميكية وتفاعلية.

تؤدي الحوكمة (Governance) الضعيفة إلى تفاقم وزيادة المنافسة على الموارد المحدودة، ولذلك تقدم الإدارة المتكاملة للموارد المائية التنسيق والتعاون بين القطاعات الفردية، بالإضافة إلى تعزيز المشاركة بفعالية وشفافية بين أصحاب المصلحة والإدارة المحلية. إن الإدارة المتكاملة للموارد المائية هي عملية منهجية وضرورية للتنمية المستدامة وكذلك لتخصيص ورصد الاستخدام الأمثل للموارد المائية في سياق الأهداف الاجتماعية والاقتصادية والبيئية وهذا يتناقض مع

النهج القطاعي الذي يطبق في العديد من البلدان حيث تقع مسؤولية مياه الشرب على عاتق إدارة واحدة ومياه الري على إدارة أخرى والبيئة على إدارة ثالثة، في ظل غياب الروابط بين مختلف القطاعات مما يقودنا إلى إدارة غير منسقة لتنمية وإدارة موارد المياه، مما يؤدي إلى نشوب الصراعات والهدر ووجود أنظمة غير مستدامة.

تناقش الموسوعة في الفصول التسعة القادمة الارتباط الوثيق والتكاملي بين البيئة والمياه والظروف التي تتحكم في هذه العلاقة من خلال الدورة المائية والأيكولوجية وكذلك أوجه الشبه والاختلاف بين البصمتين البيئية والمائية ومدى تأثر جودة المياه السطحية والجوفية كيميائيًا وبيئيًا وأخيرًا سوف نتطرق إلى علاقة المعطيات الجيولوجية والبيئية بالوضع المائي في المملكة.

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

المحتويـــات

• شـــكر وتقديـــر	v
• تمهيـــد	vii
• مقدمـــة	ix

الفصل الأول المفاهيـــم البيئيـــة	1
مقدمـــة	3
◆ البحث والتطويـــر (R & D) في البيئـــة	6
◆ الدعـــوة الخضـــراء	7
■ أهميـــة البيئـــة	8
◆ عولمة البيئـــة	9
◆ التوعية العامة بالبيئة	10
◆ علـــم البيئـــة والأنظمـــة البيئيـــة	13
■ ماهيـــة البيئـــة	14
◆ المكونـــات الحيويـــة	16
■ النظـــام البيئـــي المتـــوازن	20
■ آثار النشاطات البشرية على البيئة	24
◆ أثـــر البشـــر على البيئـــة	25
◆ مشـــكلة التشـــبع بالميـــاه	34
◆ مشـــكلة الملوحـــة	35
■ البصمـــة البيئيـــة	44
◆ قياســـات البصمة البيئيـــة	47
◆ البصمة البيئية حسب البلدان	51
■ حمايـــة البيئـــة	56
◆ دور التعليم في حل مشاكل حماية البيئة	80

الفصل الثاني الأثـــر البيئـــي	87
مقدمـــــة	89
■ تقييم الأثر البيئي	90
◆ أهداف تقييم الأثر البيئي	91
◆ المجال الزمني للتقييم	93
■ منهجية تقييم الأثر البيئي	96
■ المعاييـــر البيئيـــة	98
◆ العلاقة بين تقييم الأثر البيئي والتقييم البيئي الاستراتيجي	100
◆ نهج التقييم البيئي الاستراتيجي	102
◆ تقييم الأثر البيئي على الصحة البيئية	104
◆ تقييم المخاطر البيئية وإدارة المخاطر	105
◆ مراقبة الجودة في تقييم الأثر البيئي	116
◆ تقييم الأثر البيئي على المستوى الدولي	127
◆ نحو مناهج متكاملة لتقييم الأثر البيئي	130
■ التنميـــة المستـــدامة	132
◆ الجوانب الرئيسية للتنمية المستدامة	134
◆ تدابيـــر التنميـــة المستدامـــة	135
■ الاقتصـــاد البيئـــي	138
◆ فشـــل الســـوق	138
◆ الســـلع المشـــتركة والســـلع العامـــة	141
■ الإدارة البيئية المتكاملة	150
◆ الإدارة البيئية المتكاملة كتقييم الأثر البيئي	151
◆ مبادئ الإدارة البيئية المتكاملة	153
◆ استراتيجية الإدارة البيئية المتكاملة	163

الفصل الثالث العناصر البيئية وعلاقاتها بالأغلفة المحيطة بالأرض	177
مقدمـــــة	179
◆ كيف تتفـاعل الأغلفـــة الكرويـــة للأرض؟	181
■ الدورات البيوجيوكيميائية	183
■ دورة الكربـــــون	185
◆ تأثير الاحتباس الحراري	192
■ دورة الأكســـجين	194
◆ مراحـــل دورة الأكســـجين	196
◆ إنتـــــاج الأكســـجين	198
■ دورة النيتروجـــين	199
◆ مراحـــل دورة النيتروجـــين	202
◆ أنـــواع تثبيت النيتروجـــين	204
■ دورة الفـوســـفور	208
◆ خطـوات دورة الفوسفـور	210
■ الغـــلاف الجـــوي	212
◆ طبقـــات الغـــــلاف الجـــــوي	216
◆ طبقـــــة الأوزون	223
■ الغـــلاف الحيـــوي	233
◆ مكوّنـــات الغـــلاف الحيـــوي	236
■ الغـــــلاف المائـــي	242
■ الغـــــلاف الأرضـــي	250

الفصل الرابع المشـــاكل البيئيـــة وحلولهـــا	259
مقدمـــــة	261
■ مشكلة تغير المناخ والاحتباس الحراري	264
■ التغيـــــرات المُناخيـــــة	269
■ الأدلـــة على حـــدوث تغيرات مُناخيـة	279
■ الاحتبـاس الحـــراري العالمـــي	295
◆ الدفيئة الطبيعية للأرض	296
◆ تأثيـــر الاحتبـــاس الحـــراري المـــعزز	302
■ مصـــــادر ومصـــارف الكربـــون	318
■ الأدلة على ظاهـرة الاحتبـــاس الحـــراري	325
◆ آثـار تغير المنـــاخ على الكائنـــات الحيـــة	337
◆ آثـــار تغير المنـــاخ على صحـــة الإنســـان	341
◆ التعتيـــم العالمـــي	343
■ الحلول المقترحة لمشكلات التغيرات المُناخية والاحتباس الحراري	348
◆ التكيـف	349
◆ التخفيـف	352
◆ الطاقـــة البديلـــة والمتجـــددة والنظيفـــة	354
◆ احتجـــاز الكربـــون وتخزينـــه	373
■ مشـــكلة زيـــادة عـــدد الســـكان	358
◆ القُوى الدافعة للنمو السكاني البشري	385
◆ الضوابط الطبيعية الحيوية على النمو السكاني	394

الموضـــوع	الصفحة
◆ زيادة الاستهلاك وتقليل الموارد الطبيعية	397
◆ زيادة الاستهلاك وتقليل الموارد الطبيعية	403
■ مشـكلة اسـتخدام الأراضـي للزراعـة	405
◆ الزراعـــة التقليديـــة والزراعـــة الصناعيـــة	405
◆ مدخـــلات الطاقـــة في الزراعـــة	407
◆ تزايـــد الزراعـــات الأحاديـــة	412
◆ المبيـــدات الحيويـــة: الاســـتخدام والآثـــار الصحيـــة	415
◆ تعطـــيل الـــدورات البيـــوجيوكيميائيـــة	420
◆ تحديـــات الأمـــن الغذائـــي	427
◆ معضلـــة الوقـــود الحيـــوي	429
◆ حلـــول مشـــكلات استخدام الأراضي للزراعـــة	430
■ مشـكلة اسـتخدام الأراضي ومـوارد الغابـات	432
◆ النطـــاق العالمـــي والوطـــني للغابـــات	432
◆ أنـــواع ووظائـــف الغابـــات	433
◆ إزالـــة الغـــابـــات	437
◆ التأثيـــرات على الـــدورة الهيدرولوجيـــة	442
◆ التأثيـــرات على الـــدورات الغازيـــة والرسوبيـــة	445
◆ حـــرائـــق الغـــابـــات	448
◆ تحديـــات إدارة الغابـــات	452
◆ حلـــول مشكلة اســتخدام الأراضي ومـــوارد الغابـــات	455
■ مشـكلة اسـتخدام الأراضي للتنقيب عن المـوارد المعدنية والفحم	458

الموضـــوع	الصفحة
◆ التنقـــيب عن المعـــادن	462
◆ معالجـــــة المعـــــادن	467
◆ أنمـاط الاســـتهلاك والتأثيـرات البيئيـــة	468
◆ علـــم البيئة الصناعيـــة	471
◆ حلـــول مشـكلة التنقيب عن المـــوارد المعدنيـــة	473
■ مشكلة استخدام الأراضي للتحضـر والنقل	474
◆ اتجـاهـــات التحضـــر	475
◆ توســـيع المُـــدن	479
◆ اســـتخدام الأراضـــي	481
◆ الاحتياجـــات الحضريـــة	483
◆ النقـــل الحضـــري وآثـــاره	483
■ النفايـات والـدورات البيوجيوكيميائية	487
◆ المخلفات السائلة	490
◆ النفايات الصلبة	492
◆ المنـــاخ الحضـــري وملوثـــات الهـــواء	497
◆ الغطـــاء النباتي الحضـــري	501
◆ حلول مشكلة استخدام الأراضي للتحضر والنقل	503
■ مشـكلة المـــوارد المائيـــة	505
◆ اســـتخدام الميـــاه الجوفيـــة	506
◆ الصـــراع على الميـــاه	509
◆ جـــودة الميـاه العذبـــة والنظـم البيئية البحريـــة	512
◆ حلول مشكلة الموارد المائية	517

الفصل الخامس حالـــة تاريخيـــة جهود المملكة العربية السعودية في استدامة البيئة وحمايتها	519
مقدمـــــة	521
■ مستقبل المناخ في المملكة العربية السعودية	524
■ المملكة رائدة في جهود التخفيف والتكيف	527
■ مبادرتا السعودية الخضراء والشرق الأوسط الأخضر	528
■ جهود المملكة في مكافحة التغير المناخي	534
◆ صناعة نفطية نظيفة	536
◆ الطاقة الشمسية	537
◆ التلوث البيئي	538
◆ البيئة البحرية	539
■ توطين تقنيات البيئة في المملكة	541
◆ تنوع الحماية البيئية في المملكة	542
■ تميز المملكة في المؤشرات البيئية	544

الفصل السادس خصائـــص الميـــاه	545
مقدمـــة	547
■ أسـماء المـاء في القـرآن	550
■ أصـل وطبيعـة الميـاه	553
◆ خصائـص المـاء	555
◆ مواصفات الماء من الطبيعة	557
◆ توزيـع الميـاه	559
■ ظواهـر مائيـة	561
◆ ظاهـرة مـرج البحـريـن	561
◆ ظاهـرة السـراب	566
◆ ظاهـرة الطوفـان	568
■ الـدورة المائيـة (الهيدرولوجية)	571
■ أنـواع الميـاه	573
◆ الميـاه الصالحـة للشـرب	573
◆ الميـاه العذبـة	573
◆ الميـاه المالحـة	575
◆ ميـاه الصـرف الصحـي	578
◆ الميـاه الرماديـة	581
◆ الميـاه الخـام	585
■ مصـادر تلـوث الميـاه	586
◆ ملوثـات الميـاه	587
◆ مصـادر التلـوث	588
◆ آثار ملوثات المياه	590
◆ حلـول تلـوث الميـاه	592

الموضـــوع	الصفحة
■ أهميـــة وأثـــر المـــاء	595
◆ أثـــر الميـــاه على الحيـــاة	597
◆ آثـــر الميـــاه على الحضـــارة الإنســـانية	599
◆ انتشـــار الميـــاه في الـــكون	599
■ عـــولمة الميـــاه (الميـــاه الافتراضيـــة)	602
◆ أهميـــة الميـــاه الافتراضيـــة	603
◆ البصمـــة المائيـــة	604
◆ طـــرق قياس البصمـــة المائيـــة	605
◆ تأثير تجارة المياه الافتراضية	607
◆ تجارة المياه الافتراضية في المنطقة العربية	610
◆ التغيرات المستقبلية في تجارة المياه الافتراضية	611
◆ تقليل الاعتماد على المياه الافتراضية	614
◆ الإدارة المســـتدامة للميـــاه الافتراضيـــة	616
◆ القيـــود والاعتراضـــات	616
◆ الدروس المســـتفادة	618

الفصل السابع الهيـــدرولوجيا (علم الميـــاه السطحية)	619
مقدمـــــة	621
■ مصادر وخصائص المياه السطحية	624
◆ أنوع المياه السطحية	626
◆ تقديرات الميزان المائي العالمي	626
■ الخصائص الفيزيائية والكيميائية	629
◆ قيمه الحامضية	629
◆ الصـــلابـــة	630
◆ اللـــــون	631
◆ العكـــــارة	631
◆ الطعم والرائحة	632
◆ النشـــاط الإشـــعاعي	633
■ عناصـــر الميـــاه السطحيـــة	634
◆ أنـــواع تســـاقط المطـــر	638
◆ تقسيم تساقط الأمطار في الغابات	640
◆ تـــوزع الهطـــولات على الأرض	646
◆ حساب عمق الأمطار المتساقطة	647
◆ طرق عرض البيانات المطرية	654
◆ أنظمة الطقس الرئيسية لهطول الأمطار	656
■ التبخـــــر	669
◆ العوامل المؤثرة في التبخر	673
◆ طرق قياس التبخر	678
◆ أجهزة قياس التبخر	683
◆ معادلات التبخر	684

الموضـــوع	الصفحة
■ التبخـــر والنتـــح	688
■ التخزيـــن	690
■ الجريـــان الســـطحي	693
◆ خصائص الجريان السطحي	695
◆ آليـــات الجريـــان الســـطحي	697
■ جريـــان الســـيول	701
◆ الجريان فوق السطحي	701
◆ الجريان في القنوات المفتوحة	701
◆ طرق قياس السيول	702
■ الهيـدروغـــراف	706
◆ أجـــزاء الهيدروغـــراف	707
◆ العوامل المؤثرة على شكل الهيدروغراف	708
■ التـــرشـــيح	710
◆ قياس الترشيح	715
■ التفاعل بين المياه السطحية والجوفية	717
◆ تغذية المياه السطحية من المياه الجوفية الغير محصورة	721
◆ تغذية المياه الجوفية الغير محصورة من المياه السطحية	721
■ جـــودة الميـــاه	723
◆ معاييـــر جـــودة الميـــاه	727
◆ المعامـــلات الفيزيائيـــة	727
◆ المعامـــلات الكيميائيـــة	730

الفصل الثامن الهيدروجيولوجيـــا (علم المياه الجوفية)	737
مقدمـــــة	739
■ تطـور الميـاه الجوفيـة	741
■ مصـادر الميـاه الجوفيـة	744
■ خزانات المياه الجوفية	748
■ الآبـار الارتـوازيـة	753
■ حركـة الميـاه الجوفيـة	755
■ قانـون دارسـي والتوصيـل الهيـدروليكـي	758
◆ تطبيـق قانـون دارسـي	765
◆ مـوازنة الميـاه الجوفيـة	766
■ الآبـــار	767
◆ الحريان المحصور	768
◆ الجريان الحر	771
■ أنماط تدفق المياه الجوفية	773
◆ أنـواع ظـروف الميـاه الجوفيـة	776
■ الخصائص الفيزيائية للمياه الجوفية	780
◆ الخـواص والتجانـس الطبقـي	784
◆ منسوب المياه والخرائط السطحية لقياس الجهد	787
◆ تصنيـف الينابيـع والجـداول المتقطعـة	789
■ كيمياء المياه الجوفية	792
◆ نوعيـة الميـاه الجوفيـة	793
◆ معاييـر جـودة الميـاه	794

الموضـــوع	الصفحة
◆ نوعيـة ميـاه الـــري	796
◆ نقـل الملوثـات في الميـاه الجوفيـة	798
◆ مصـادر تلـوث الميـاه الجوفيـة	798
◆ معالجـة تلـوث الميـاه الجوفيـة وحمايتهـا	799
◆ استراتيجيات حماية المياه الجوفية	800
■ تنميـة المـوارد المائيـة	803
◆ توافـر الميـاه	803
◆ استنفاد المياه السطحية والجوفية	806
◆ الاستخدام الأمثل للمياه	813
■ الإدارة المتكاملة للموارد المائية	815
◆ لمـاذا الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـة؟	816
◆ القضايـا الرئيسـية في إدارة الميـاه	817
◆ مبـادئ إدارة الميـاه	819
◆ منافـع الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـة	822
◆ تنفيـذ الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـة	824
◆ السياسـة والإطـار القـانـوني	825
◆ الإطـار المؤسسـي	826

الفصل التاسع حالـــــة تاريخيـــــة الوضع المائي في المملكة العربية السعودية	829
مقدمـــــة	831
■ جيومورفولوجية المملكة	831
◆ المرتفعات الغربية	833
◆ الهضـــاب	835
◆ التكوينات الرملية	839
◆ السهول الساحلية	842
■ جيولوجيـــة المملكـــة	844
◆ الـــدرع العربـــي	849
◆ الرصيف القاري العربي	857
◆ الحرات البركانية	863
■ الزلازل في شبه الجزيرة العربية	867
■ الوضع المائي في المملكة	875
■ الميـــاه السطحيـــة	879
■ الميـــاه الجوفيـــة	900
■ ميـــاه الصـــرف الصحي المعالجة (الميـــاه المجددة)	901
◆ العيـــون	880
◆ الينـــابيـــع	881
◆ الأوديـــــة	882
◆ الســـــدود	893

الموضـــوع	الصفحة
■ الميـــاه الجوفيـــة	900
■ ميـــاه الصـــرف الصحي المعالجة (الميـــاه المجددة)	901
■ ميـــاه البحـــر المحـــلاّه	902
■ التكوينات الرئيسية الحاملة للمياه	904
■ التكوينات الثانوية الحاملة للمياه	925
■ تحديـــات ومشـــاكل الميـــاه في المملكـــة	936
◆ الاستخدام غير الفعال للمياه	937
◆ التكاليف المرتبطة بالاعتماد على تحلية المياه	937
◆ الفاقد المائي	937
◆ التلوث بمياه الصرف الصحي	937
◆ الافتقار إلى تطوير السياسات والتخطيط وإدارة الموارد المائية	938
◆ مشاركة القطاع الخاص	938
• المراجـــع	949
المراجـــع العربيـــة	949
المراجـــع الأجنبيـــة	951

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

الفصل الأول

المفاهيم البيئية

أهميـــة البيئـــة	ماهيـــة البيئـــة
النظام البيئي المتوازن	أثر النشاطات البشرية على البيئة
البصمة البيئيـــة	حمايـة البيئـــة

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

المفاهيـم البيئيـــة

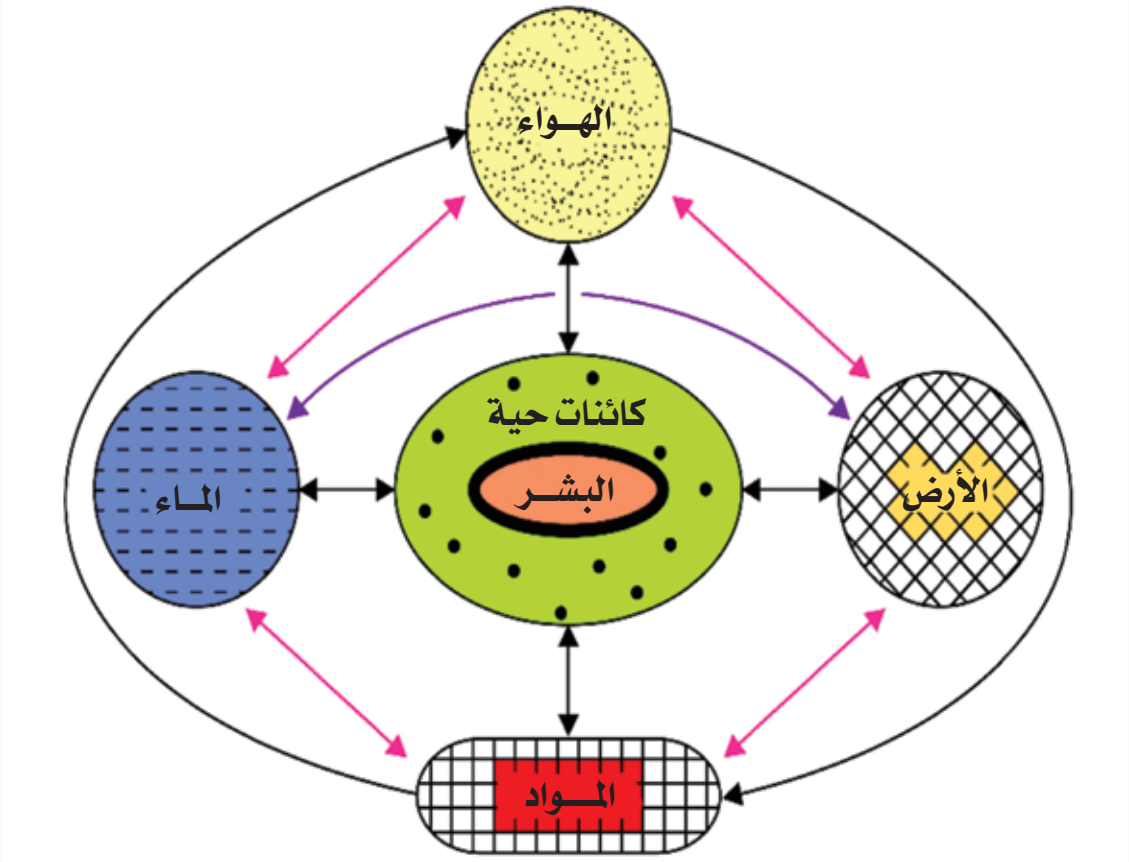
مُقَدِّمَة

لقد اشتق مصطلح «البيئة Environment» من الكلمة الفرنسية «Environner» والتي تعني «ليحيط». كان هناك وقت كانت فيه البيئة تعني فقط البيئة المحيطة. جرى استخدامه لوصف العالم المادي المحيط بنا بما في ذلك التربة والصخور والماء والهواء، وتدريجيًا، أمكن إدراك أن التنوع الهائل للنباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة الموجودة على هذه الأرض، بما في ذلك البشر، جزء لا يتجزأ من البيئة. ومن ثم، فمن أجل وضع تعريف معقول للبيئة، كان من الضروري أن يشمل التفاعلات والعلاقات المتبادلة بين جميع الكائنات الحية مع البيئة المادية المحيطة بها.

وفي وقت لاحق، اعترف أيضًا بأن جميع أنواع الأنشطة الاجتماعية والثقافية والتكنولوجية التي يقوم بها البشر لها أيضًا تأثير عميق على مختلف مكونات البيئة، وهكذا أصبحت الهياكل المبنية والمواد والابتكارات التكنولوجية المختلفة أيضًا جزءًا من البيئة. إذن حاليًا جميع الكيانات البيولوجية (الحيوية) وغير البيولوجية (غير الحية) المحيطة بنا مدرجة في مصطلح «البيئة».

إن تأثير التطور التكنولوجي والاقتصادي على البيئة الطبيعية قد يؤدي إلى تدهور البيئة الاجتماعية والثقافية. من ثم، يجب النظر إلى البيئة من منظور أوسع حيث يجري تضمين المكونات المحيطة بها وكذلك تفاعلاتها.

وفقًا لقانون (حماية البيئة) في عام 1986م، تشمل البيئة جميع البيئات الفيزيائية والبيولوجية المحيطة بالكائن الحي بالإضافة إلى تفاعلاته. ومن ثم تعرّف البيئة على أنها «مجموع الماء والهواء والأرض والعلاقات المتبادلة بينها وبين الإنسان والكائنات الحية والمواد الأخرى». يمكن توضيح مفهوم البيئة بوضوح من الشكل الآتي:



يصور الشكل بيئة البشر. يشكل الهواء والماء والأرض المحيطة بنا بيئتنا، وتؤثر علينا بشكل مباشر. وفي الوقت نفسه، لدينا أيضًا تأثير على بيئتنا بسبب الإفراط في استخدام الموارد أو الإفراط في استغلالها أو بسبب تصريف الملوثات في الهواء والماء والأرض.

إن النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة وكذلك الهياكل التي من صنع الإنسان في محيطنا لها تفاعل ثنائي الاتجاه معنا بشكل مباشر أو غير مباشر. مجموع كل هذه المكونات وتفاعلاتها تشكل البيئة. تختلف البيئة الحضرية إلى حد ما عن البيئة الريفية. في البيئة الحضرية يمكننا أن نرى التأثير العميق للبشر. لقد جرى تغيير وتعديل معظم المناظر الطبيعية في المدن بواسطة الهياكل الاصطناعية التي من صنع الإنسان مثل المباني متعددة الطوابق والمجمعات التجارية والمصانع وشبكات النقل وما إلى ذلك.

يحمّل الهواء والماء والتربة في المناطق الحضرية بأنواع مختلفة من المواد الكيميائية والنفايات. تنوع النباتات والحيوانات أقل بكثير مقارنة بالبيئة الريفية. سكان الحضر أكثر كثافة ولديهم احتياجات أكبر للطاقة. إن الدراسات البيئية كموضوع لها نطاق واسع. ويشمل عددًا كبيرًا من المجالات والجوانب، يمكن تلخيصها فيما يأتي:

- الموارد الطبيعية - المحافظة عليها وإدارتها.
- البيئة والتنوع البيولوجي.
- التلوث البيئي ومكافحته.
- القضايا الاجتماعية وعلاقتها بالتنمية والبيئة.
- السكان البشريون والبيئة.

هذه هي الجوانب الأساسية للدراسات البيئية التي لها صلة مباشرة بكل شريحة من شرائح المجتمع. يمكن أيضًا أن تكون الدراسات البيئية متخصصة جدًا مع التركيز على الجوانب الفنية مثل العلوم البيئية أو الهندسة البيئية أو الإدارة البيئية. في السنوات الأخيرة، توسع نطاق الدراسات البيئية بشكل كبير في جميع أنحاء العالم. ظهرت العديد من الخيارات المهنية في هذا المجال والتي جرى تصنيفها على نطاق واسع على النحو الآتي:

■ البحث والتطوير (R & D) في البيئة

يقوم علماء البيئة المهرة بدورٍ مهم في دراسة المشكلات البيئية المختلفة بطريقة علمية وتنفيذ أنشطة البحث والتطوير لتطوير تقنيات أنظف وتعزيز التنمية المستدامة. هناك حاجة إلى القوى العاملة المدربة على كل المستويات للتعامل مع القضايا البيئية. تظهر الإدارة البيئية والهندسة البيئية كفرص وظيفية جديدة لحماية البيئة وإدارتها.

مع تزايد صرامة قوانين مكافحة التلوث، تجد الصناعات صعوبة في التخلص من النفايات الناتجة. ومن أجل تجنب الدعاوى القضائية المكلفة، تحاول الشركات حاليًا اعتماد التكنولوجيات الخضراء، التي من شأنها أن تقلل من التلوث. سيؤدي الاستثمار في تقنيات مكافحة التلوث إلى تقليل التلوث بالإضافة إلى خفض تكاليف معالجة النفايات السائلة. يتزايد سوق تكنولوجيا مكافحة التلوث في جميع أنحاء العالم. يعد تنظيف النفايات المنتجة سوقًا محتملًا آخر.

ويقدر أن أكثر من 100 بليون دولار سنويًا لجميع الشركات الأمريكية. اكتسبت ألمانيا واليابان، اللتان تتمتعان بقوانين أكثر صرامة لسنوات عديدة، المزيد من الخبرة في الحد من النفايات السائلة. وفي الهند أيضًا، تنفذ مجالس مكافحة التلوث بشكل جدي قوانين مكافحة التلوث وتصر على رفع مستوى النفايات السائلة للوفاء بالمعايير المقررة قبل تصريفها على الأرض أو في المسطحات المائية. جرى إغلاق العديد من الشركات التي لم تمتثل للأوامر أو أمرت بالتحول.

الدعـــوة الخضـــــراء

مـع زيـادة التركيـز علـى تنفيـذ مختلـف القوانـين والقوانـين المتعلقـة بالبيئـة، ظهـرت الحاجـة إلـى محامـين متخصصـين في شـؤون البيئـة، والذيـن ينبغـي أن يكونـوا قادريـن علـى الترافـع في القضايـا المتعلقـة بتلـوث الميـاه والهـواء والغابـات والحيـاة البريـة ومـا إلـى ذلـك. مـع ضمـان جـودة المنتجـات الحاصلـة علـى علامـة ISO، هنـاك حاليًـا تركيـز متزايـد علـى تسـويق السـلع الصديقـة للبيئـة. هـذه المنتجـات حاصلـة علـى شـهادة Ecomark أو ISO 14000. سـيكون هنـاك طلـب كبيـر علـى المراجعـين البيئيـين ومديـري البيئـة في السـنوات القادمـة.

يمكـن نشـر الوعـي البيئـي بـين الجماهيـر مـن خـلال وسـائل الإعـلام مثـل التلفزيـون والراديـو والصحـف والمجـلات واللوحـات والإعلانـات ومـا إلـى ذلـك والتـي تتطلـب أشـخاصًا متعلمـين بيئيًـا. تقـوم العديـد مـن المنظمـات غيـر الحكوميـة والصناعـات والهيئـات الحكوميـة بإشـراك مستشـارين بيئيـين لدراسـة ومعالجـة المشـكلات المتعلقـة بالبيئـة بشـكل منهجـي.

سـوف نناقـش في هـذا الفصـل عـددًا مـن الموضوعـات المتعلقـة بالمفاهيـم البيئيـة بشـكلٍ مباشـر انطلاقًـا مـن أهميتهـا إلـى أنظمتهـا وتأثيـر الأنشـطة البشـرية عليهـا وطـرقٍ حمايتهـا.

أهمية البيئة

البيئة ملك للجميع وهي مهمة للجميع. مهما كانت مهنة الشخص أو عمره، فإنه سوف يتأثر بالبيئة المحيطة به، كما أنه سيؤثر هو شخصيًا على البيئة من خلال أفعاله. ولهذا السبب نجد تقويمًا بيئيًا جرت ملاحظته عالميًا لتحديد بعض الجوانب أو القضايا المهمة المتعلقة بالبيئة.

العالم الطبيعي هو أعجوبة مدهشة تلهمنا جميعًا. فهو يدعم اقتصادنا، ومجتمعنا، بل ووجودنا ذاته. توفر لنا غاباتنا وأنهارنا ومحيطاتنا وتربتنا الطعام الذي نأكله، والهواء الذي نتنفسه، والمياه التي نسقي بها محاصيلنا. نحن نعتمد عليها أيضًا في العديد من السلع والخدمات الأخرى التي نعتمد عليها من أجل صحتنا وسعادتنا وازدهارنا.

• عولمة البيئـــة

البيئـة هـي موضـوع عالمـي ومحلـي بطبيعتـه. إن قضايـا مثـل الاحتبـاس الحـراري، واسـتنفاد طبقـة الأوزون، وتضـاؤل الغابـات ومـوارد الطاقـة، وفقـدان التنـوع البيولوجـي العالمـي ومـا إلـى ذلـك، والتـي سـتؤثر علـى البشـرية جمعـاء، هـي قضايـا عالميـة بطبيعتهـا، ولهـذا علينـا أن نفكـر ونخطـط عالميًـا.

ومـع ذلـك، هنـاك بعـض المشـكلات البيئيـة التـي لهـا أهميـة محليـة. للتعامـل مـع القضايـا البيئيـة المحليـة، علـى سـبيل المثـال. تأثيـر مشـروع التعديـن أو الطاقـة الكهرومائيـة في منطقـة مـا، ومشـكلات التخلـص مـن النفايـات الصلبـة وإدارتهـا، وتلـوث الأنهـار أو البحيـرات، وتـآكل التربـة، وتشـبع الميـاه وتملـح التربـة، ومشـكلة التسـمم بالفلـور لـدى السـكان المحليـين، وتلـوث الميـاه الجوفيـة بالزرنيـخ ومـا إلـى ذلـك، علينـا أن التفكيـر والتصـرف محليًـا. ومـن أجـل توعيـة النـاس بهـذه الجوانـب البيئيـة التـي يرتبطـون بهـا ارتباطًـا وثيقًـا، مـن المهـم جـدًا تثقيـف الجميـع بيئيًـا.

• الأهمية الفردية للبيئـــة

تعتبـر الدراسـات البيئيـة مهمـة جـدًا لأنهـا تتعامـل مـع معظـم مشـكلات الحيـاة الدنيويـة حيـث يهـم كل فـرد، مثـل التعامـل مـع ميـاه الشـرب الآمنـة والنظيفـة، وظـروف المعيشـة الصحيـة، والهـواء النظيـف والعـذب، والأراضـي الخصبـة، والغـذاء الصحـي والتنميـة المسـتدامة. إذا أردنـا أن نعيـش في بيئـة نظيفـة وصحيـة وجميلـة مـن الناحيـة الجماليـة وآمنـة ومأمونـة لفتـرة طويلـة ونرغـب في تسـليم أرض نظيفـة وآمنـة لأطفالنـا وأحفادنـا العظمـاء، فمـن الضـروري جـدًا فهـم أساسـيات البيئـة.

• الجهود الدولية لدعم البيئة

حظيت القضايا البيئية باهتمام دولي منذ نحو 35 عامًا في مؤتمر ستوكهولم الذي عقد في 5 يونيو 1972م. ومنذ ذلك الحين نحتفل بيوم البيئة العالمي في 5 يونيو. وفي مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية الذي عقد في ريو دي جانيرو في عام 1992م، والمعروف شعبيًا باسم (قمة الأرض)، وبعد عشر سنوات، في مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، الذي عقد في جوهانسبرغ في عام 2002م، سلط الضوء على القضايا الرئيسية ذات الاهتمام البيئي العالمي. لفت انتباه عامة الناس إلى تدهور الظروف البيئية في جميع أنحاء العالم.

إن منح جائزة نوبل للسلام (2004م) لأحد علماء البيئة، لأول مرة، جاء كقرار تاريخي، يظهر الاهتمام العالمي المتزايد تجاه القضايا البيئية والاعتراف بالجهود المبذولة للحفاظ على البيئة وحمايتها.

• التوعية العامة بالبيئة

إن أهداف التنمية المستدامة لا يمكن أن تحققها أي حكومة على مستواها إلا إذا كان للشعب دور تشاركي فيها. لا تكون المشاركة العامة ممكنة إلا عندما يكون الجمهور على دراية بالقضايا البيئية. يجب تثقيف الجمهور حول حقيقة أننا إذا كنا نتسبب في تدهور بيئتنا فإننا في الواقع نؤذي أنفسنا. وذلك لأننا جزء من شبكة البيئة المعقدة حيث يربط كل مكون. ومن الأهمية بمكان تثقيف الناس بأن التأثير السلبي للبيئة في بعض الأحيان لا يحدث إلا بعد الوصول إلى الحالة الحرجة، لذلك قد نتفاجأ بحدوث كارثة. إن الحملة التي تقوم بها الحكومات لحظر رمي نفايات البوليثين لا يمكن أن تكون ناجحة إلا عندما يفهم الجمهور الآثار البيئية المترتبة على ذلك. يجب أن يدرك الجمهور أنه من خلال رمي مادة البوليثين، فإننا لا نضر بالبيئة فحسب، بل نشكل تهديدًا خطيرًا لصحتنا.

هناك مثل صيني يقول: «إذا كنت تخطط لعام فازرع الأرز، وإذا كنت تخطط لعشر سنوات فازرع الأشجار، وإذا كنت تخطط لمائة عام فازرع الناس». وإذا أردنا حماية كوكب الأرض وإدارته على أساس مستدام، فليس لدينا خيار آخر سوى تثقيف جميع الأشخاص في مجال البيئة.

• دور الهند في الوعي البيئي

لقد بدأت الجهود الرامية إلى رفع مستوى الوعي البيئي، وأظهرت العديد من الأحكام التاريخية المتعلقة بالدعاوى البيئية أهمية هذا الموضوع لعامة الناس. شخصيتان مشهورتان تحتاجان إلى ذكرهما هنا، هما القاضي كولديب سينغ، المعروف شعبيًا باسم القاضي الأخضر والشيخ. م. ميهتا، المدافع عن البيئة، الذي ساهم بشكل كبير في قضية البيئة.

في عام 1991م، أصدرت المحكمة العليا في الهند توجيهات لجعل جميع المناهج الدراسية موجهة نحو البيئة. كان هذا التوجيه، في الواقع، ردًا على دعوى المصلحة العامة (PIL) التي رفعتها شركة ميهتا ضد اتحاد الهند (1988م) الذي دفع المحكمة العليا إلى إعطاء تفويض لخلق الوعي البيئي بين جميع مواطني الهند. وبناءً على هذا الحكم، يجري تدريس الدراسات البيئية كمقرر إلزامي لجميع الطلاب.

• دور الحكومة

من أجل زيادة وعي المستهلك بالبيئة، قدمت حكومة الهند مخططًا لوضع العلامات البيئية على المنتجات الاستهلاكية باسم «Ecomark» في عام 1991م. وهو «إبريق ترابي» – رمزًا للصداقة البيئية وتراثها التقليدي. يُطلق على المنتج الذي يصنّع أو يستخدم أو يجري التخلص منه بطريقة غير ضارة اسم صديق للبيئة، ويمنح هذه العلامة البيئية. وفي حملة لنشر الوعي البيئي، أطلقت الحكومة أيضًا «النوادي البيئية» للأطفال و «فرقة العمل البيئية» لرجال الجيش.

يتحدث الجميع اليوم عن البيئة، ولكن القليل منهم فقط لديهم أفكار واضحة حول ما يجب القيام به، ولا يزال عدد أقل من الأشخاص لديهم الخبرة الفعلية أو الخبرة في هذا المجال. وللأسف، كثيرًا ما يجري استغلال حملات التوعية البيئية للدعاية السياسية بدلًا من أن تكون جزءًا لا يتجزأ من برامجنا التعليمية من الناحية النظرية والتطبيقية.

خلاصة القول، يمكن القول إنه من الضروري جدًا خلق الوعي البيئي للأسباب الآتية:

- البيئة ملك للجميع ومشاركة الجماهير أمر لا بد منه لنجاح تنفيذ خطط حماية البيئة.
- هناك حاجة إلى الوعي البيئي لتغيير عقلية المجتمع الحديث من أجل اتباع نهج موجه نحو الأرض.
- هناك حاجة لتوعية الجمهور بيئيًا بالآثار الصحية الخطيرة للتلوث البيئي وحقهم في العيش في بيئة نظيفة وصحية.
- هناك حاجة ملحة لخلق الوعي بين الناس بأنه ليس لدينا خيار آخر سوى اتباع مبادئ الاستدامة. عندها فقط ستكون حياة البشرية على هذه الأرض آمنة وستكون أجيالنا القادمة آمنة.

• علـم البيئـة والأنظمـة البيئيـة

تظهر أنواع مختلفة من أنظمة دعم الحياة مثل الغابات والمراعي والمحيطات والبحيرات والأنهار والجبال والصحاري ومصبات الأنهار اختلافات واسعة في تكوينها الهيكلي ووظائفها. إلا أنها تتشابه جميعها في أنها تتكون من كائنات حية تتفاعل مع محيطها وتتبادل المادة والطاقة.

كيف تختلف هذه الوحدات المختلفة مثل الصحراء الساخنة أو الغابة الكثيفة دائمة الخضرة أو البحر القطبي الجنوبي أو البركة الضحلة في نوع نباتاتها وحيواناتها، وكيف تستمد طاقتها وعناصرها الغذائية للعيش معًا، وكيف تؤثر على بعضها بعضًا وتنظيم استقرارها هي الأسئلة التي يجيب عليها علم البيئة. كما ذكرنا فإن علم البيئة يتعامل مع دراسة الكائنات الحية في موطنها الطبيعي المتفاعلة مع محيطها.

ماهيـــة البيئـــة

يُعبّر مصطلح البيئة عن كلّ ما يُحيط بالبشر من أشياء حيّة أو غير حيّة، ويُشير إلى مجموعة الظروف المحيطة من قوى فيزيائية وكيميائية وغيرها من القوى الطبيعية، فقد اشتُقّ مصطلح البيئة (بالإنجليزية: Environment) من الكلمة الفرنسية (Environ) التي تعني المحيط، وتشمل البيئة العوامل الحيوية، مثل: البشر، والنباتات، والحيوانات، والميكروبات، وغيرها، والعوامل غير الحيوية، مثل: الضوء، والهواء، والماء، والتربة وما إلى ذلك، بحيث تتفاعل الكائنات الحية والعوامل غير الحية مع بيئاتها وتتغيّر استجابةً للظروف المحيطة بها.

ومن أشهر تعريفات البيئة ما يأتي:

تعريف بورينج Boring: يُعرّف بورينج بيئة الشخص بأنّها مجموعة المُحفّزات التي يتعرّض لها ابتداءً من مرحلة الجنين وحتّى الوفاة، ووفقاً لهذا التعريف فالبيئة تشتمل على أنواع مختلفة من القوى المادية، والفكرية، والاقتصادية، والسياسية، والثقافية، والاجتماعية، والأخلاقية، والعاطفية التي تؤثّر على حياة الشخص وسلوكه ونموّه.

تعريف دوغلاس وهولند Douglas and Holland: يُعرّف دوغلاس وهولند مصطلح البيئة على أنّه جميع القوى الخارجية والمؤثّرات والظروف التي تؤثّر على حياة الكائنات الحية وطبيعتها ونموّها وتطوّرها.

تعريف لكيرت لوين: تُصنف البيئة التي تؤثر على الفرد لثلاثة أنواع، البيئة المادية والتي تشير للظروف المادية مثل المناخ والطقس، والبيئة الاجتماعية والثقافية التي تمثل القوى التي تؤثر على سلوك الفرد، والبيئة النفسية التي يعيش فيها الفرد .

تُعـرف البيئـة بأنهـا مجموعـة الأشـياء الحيـة وغيـر الحيـة التـي تتفاعـل مـع بعضهـا البعـض في منطقـة جغرافيـة معينـة، أو العالـم ككل.

تتكـون البيئـة المحيطـة أو البيئـة مـن كائنـات حيـة أخـرى (حيويـة) ومكونـات فيزيائيـة (غيـر حيويـة). يعتقـد علمـاء البيئـة المعاصـرون أن التعريـف المناسـب لعلـم البيئـة يجـب أن يحـدد وحـدة مـا للدراسـة، وإحـدى هـذه الوحـدات الأساسـية التـي وصفهـا تانسـلي (1935) هـي النظـام البيئـي.

أمـا النظـام البيئـي Ecosystem فهـو عبـارة عـن مجموعـة ذاتيـة التنظيـم مـن المجتمعـات الحيويـة مـن الأنـواع التـي تتفاعـل مـع بعضهـا بعضًـا ومـع بيئتهـا غيـر الحيـة التـي تتبـادل الطاقـة والمـادة. حاليًـا يعـرف علـم التبيـؤ في كثيـر مـن الأحيـان علـى أنـه «دراسـة النظـم البيئيـة». النظـام البيئـي هـو وحـدة متكاملـة تتكـون مـن النباتـات والحيوانـات والكائنـات الحيـة الدقيقـة المتفاعلـة التـي يعتمـد بقاؤهـا علـى صيانـة وتنظيـم بنيتهـا ووظائفهـا الحيويـة وغيـر الحيويـة. مـن ثـم فـإن النظـام البيئـي هـو وحـدة أو نظـام يتكـون مـن عـدد مـن الوحـدات الفرعيـة، التـي ترتبـط جميعهـا ببعضهـا بعضًـا بشـكل مباشـر أو غيـر مباشـر. قـد يتبادلـون الطاقـة والمـادة بحريـة مـن الخـارج - نظـام بيئـي مفتـوح أو قـد يكونـون معزولـين عـن الخـارج مـن ناحيـة تبـادل المـادة - نظـام بيئـي مغلـق.

تظهـر النظـم البيئيـة اختلافـات كبيـرة في حجمهـا وبنيتهـا وتكوينهـا ومـا إلـى ذلـك. ومـع ذلـك، تتميـز جميـع النظـم البيئيـة ببعـض السـمات الهيكليـة والوظيفيـة الأساسـية المشـتركة. يشـكل تكويـن وتنظيـم المجتمعـات البيولوجيـة والمكونـات اللاأحيائيـة بنيـة النظـام البيئـي . مـن ثـم، تحـوي النظـم البيئيـة بشـكل أساسـي علـى نوعـين مـن المكونـات، الحيويـة واللاأحيائيـة، كمـا هـو موضـح فيمـا يأتـي.

❖ المكونات الحيوية

تشكل الكائنات الحية المختلفة المكون الحيوي للنظام البيئي وتنتمي إلى الفئات التالية:

❖ المُنتجات

ينتجون الغذاء بشكل أساسي بأنفسهم، على سبيل المثال، تنتج النباتات الخضراء الغذاء عن طريق عملية التمثيل الضوئي في وجود ضوء الشمس من المواد الخام مثل الماء وثاني أكسيد الكربون. تُعرف باسم الصور ذاتية التغذية

(تلقائي = ذاتي، صورة = ضوء، غذي = طعام)

هناك بعض الكائنات ذاتية التغذية الكيميائية، وهي مجموعة من البكتيريا، تنتج غذاءها من أكسدة مواد كيميائية معينة. على سبيل المثال بكتيريا الكبريت.

❖ المستهلكات

تحصل هذه الكائنات على غذائها من خلال تغذيتها على كائنات حية أخرى. وهي من الأنواع الآتية:

- **الحيوانات العاشبة:** والتي تتغذى على النباتات مثل: أرنب، حشرة.
- **الحيوانات آكلة اللحوم:** التي تتغذى على الحيوانات العاشبة كالحيوانات آكلة اللحوم الثانوية (مثل الضفدع والأسماك الصغيرة) أو الحيوانات آكلة اللحوم من الدرجة الثالثة (مثل الثعبان والأسماك الكبيرة) والتي تتغذى على مستهلكين آخرين.
- **حيوانات آكلة اللحوم:** والتي تتغذى على النباتات والحيوانات معًا، كالإنسان، والفئران، والعديد من الطيور.
- **آكلات المخلفات:** والتي تتغذى على الكائنات الميتة، مثل: دودة الأرض، وسرطان البحر، والنمل.

❖ المحـــللات

هـذه هـي الكائنـات الحيـة الدقيقـة التـي تحلل المـواد العضويـة إلـى مركبـات غير عضويـة وفي هـذه العمليـة تسـتمد تغذيتهـا. إنهـا تقـوم بـدورٍ مهـم جـدًا في تحويـل العناصـر الغذائيـة الأساسـية مـن الشـكل العضـوي غيـر المتـاح إلـى الشـكل غيـر العضـوي الحـر المتـاح للاسـتخدام بواسـطة النباتـات مثـل البكتيريـا والفطريـات.

❖ المكونـــات اللاأحيائيـــة

تشـكل المكونـات الفيزيائيـة والكيميائيـة المختلفـة للنظـام البيئـي البنيـة اللاأحيائيـة:

- تشـمل المكونـات الماديـة ضـوء الشـمس، وكثافـة الطاقـة الشمسـية، وهطـول الأمطـار، ودرجـة الحـرارة، وسـرعة الريـاح واتجاههـا، وتوافـر الميـاه، وبنيـة التربـة ومـا إلـى ذلـك.

- تشـتمل المكونـات الكيميائيـة علـى العناصـر الغذائيـة الأساسـية الرئيسـية مثـل C و N و P و K و H_2 و O_2 و S ومـا إلـى ذلـك والمغذيـات الدقيقـة مثـل Fe و Mo و Zn و Cu ومـا إلـى ذلـك والأمـلاح والمـواد السـامة مثـل المبيـدات الحشـرية. تقـوم هـذه العوامـل الفيزيائيـة والكيميائيـة للميـاه والهـواء والتربـة بـدورٍ مهـمٍ في عمـل النظـام البيئـي.

يؤدي كل نظام بيئي الوظائف المهمة الآتية:

- لديه سلاسل غذائية وشبكات غذائية مختلفة. السلسلة الغذائية هي تسلسل الأكل والأكل. على سبيل المثال:

العشب ← الجندب ← الضفدع ← الأفعى ← الصقر

العوالق النباتية (الطحالب المائية) ← براغيث الماء ← الأسماك الصغيرة ← الأسماك الكبيرة (التونة)

تُعرف هذه باسم سلسلة غذاء الرعي - والتي تبدأ بالنباتات الخضراء وتنتهي بالحيوانات آكلة اللحوم.

نوع آخر هو السلسلة الغذائية للمخلفات، والتي تبدأ بالمواد العضوية الميتة. على سبيل المثال:

فضلات الأوراق في الغابة ← الفطريات ← البكتيريا

توجد سلاسل الغذاء بشكل عام مترابطة ومتشابكة كشبكة وتعرف باسم الشبكة الغذائية. هناك عدة خيارات لتناول الطعام وتناوله في شبكة غذائية. من ثم فإن هذه أكثر استقرارًا.

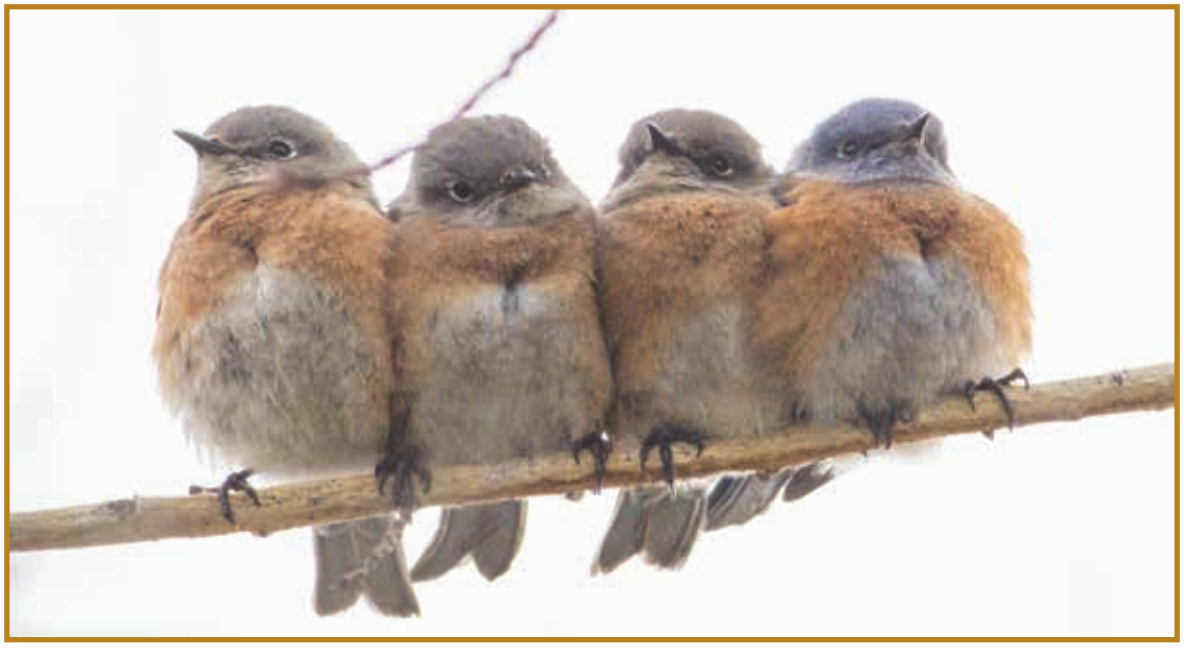
- ❖ هناك تدفق أحادي الاتجاه للطاقة في النظام البيئي. يتدفق من الشمس ثم بعد أن يجري التقاطه من قبل المنتجين الأساسيين (النباتات الخضراء)، يتدفق عبر السلسلة الغذائية أو الشبكة الغذائية، وفقًا لقوانين الديناميكا الحرارية. في كل خطوة متتالية في السلسلة الغذائية، هناك خسارة هائلة

تبلـغ نحـو 90 % مـن الطاقـة في العمليـات المختلفـة (التنفـس، والإخـراج، والحركـة، ومـا إلـى ذلـك) و 10 % فقـط تنتقـل إلـى المسـتوى التالـي (قانـون العشـرة في المائـة لتدفـق الطاقـة).

- تتحـرك العناصـر الغذائيـة (المـواد) في النظـام البيئـي بطريقـة دوريـة. يتـم تدويـر العناصـر الغذائيـة بـين المكونـات الحيويـة واللاأحيائيـة، ومـن ثـم تُعـرف بالـدورات الجيوكيميائيـة الحيويـة (الحيويـة = المعيشـة، الجغرافيـة = الأرض، الكيميائيـة = العناصـر الغذائيـة).
- يعمـل كل نظـام بيئـي علـى الإنتـاج والحفـاظ علـى بعـض الإنتـاج الأولـي (الكتلـة الحيويـة النباتيـة) والإنتـاج الثانـوي (الكتلـة الحيويـة الحيوانيـة).
- ينظـم كل نظـام بيئـي نفسـه ويحافـظ عليـه ويقـاوم أي ضغـوط أو اضطرابـات إلـى حـد معيـن. يُعـرف نظـام التنظيـم الذاتـي أو التحكـم هـذا بالنظـام السـيبراني.

النظام البيئي المتوازن

تتمتع النظم البيئية بخاصية فريدة للتنظيم الذاتي. يشتمل النظام البيئي على مكونات فرعية مختلفة ذات طبيعة حيوية وغير حيوية، وهي مترابطة ومعتمدة على بعضها بعضًا، ولها خاصية متأصلة لمقاومة التغيير. وهذا يعني أن النظم البيئية لديها خاصية تحمل الاضطرابات أو الضغوط الخارجية. تُعرف هذه الخاصية باسم الاستتباب Homeostasis. تتمتع النظم البيئية ببنية محددة تتكون من أنواع معينة من الكائنات الحية، والتي لها مكان ودور محدد في النظام البيئي، كما هو محدد من خلال موقعها في الشبكة الغذائية. معًا، وبالتفاعل مع المكونات غير الحيوية، تؤدي هذه النظم البيئية وظائف تدفق الطاقة ودورة المواد، وتعطي أخيرًا المخرجات المرغوبة في شكل إنتاجية.

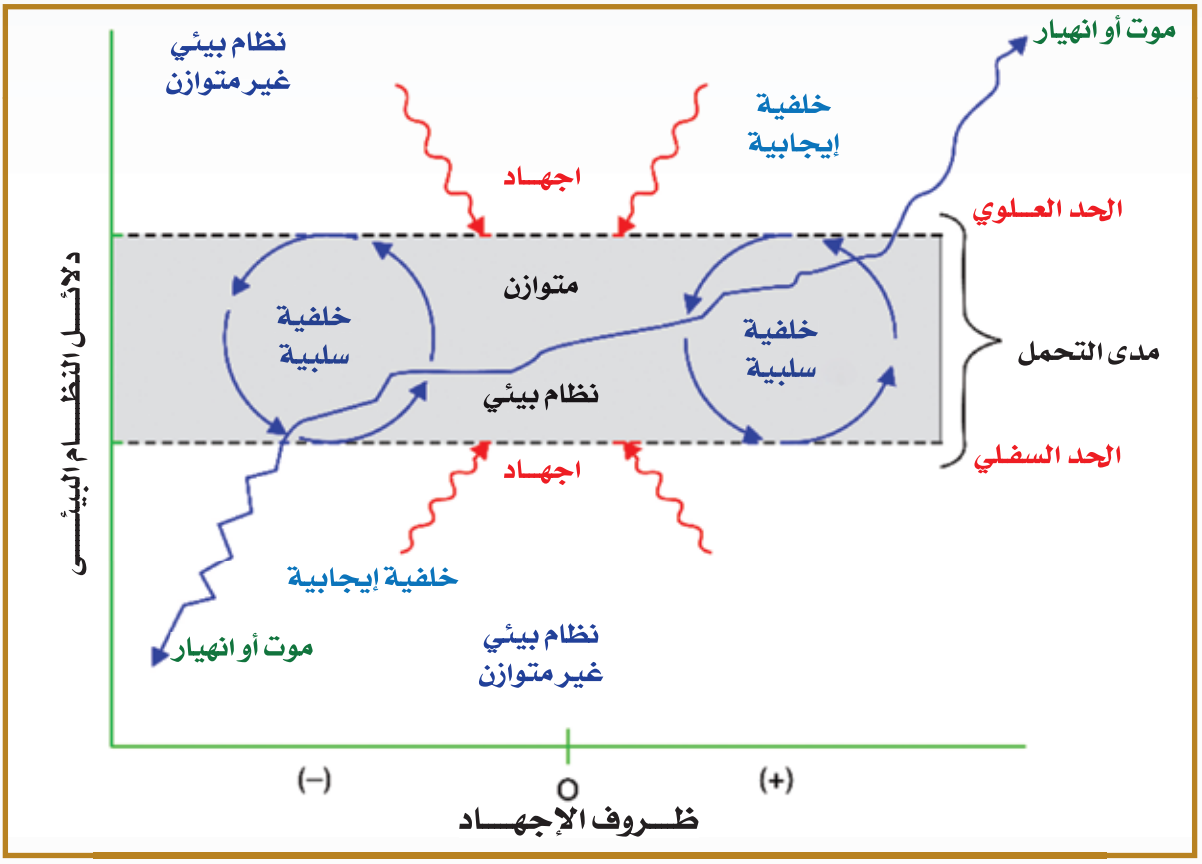


في علم الأحياء، فإن الاستتباب هو حالة من الظروف الداخلية والفيزيائية والكيميائية والاجتماعية الثابتة التي تحافظ عليها الأنظمة الحية. هذه هي حالة الأداء الأمثل للكائن الحي وتتضمن العديد من المتغيرات، مثل درجة حرارة الجسم وتوازن السوائل، مع الحفاظ عليها ضمن حدود معينة محددة مسبقًا (نطاق الاستتباب). في الصورة تتجمع الطيور من أجل الدفء حتى يستتب لها الوضع.

يمكن لكل نظام بيئي أن يعمل ضمن مجموعة من الظروف، اعتمادًا على توازنه (القدرة على مقاومة التغيير). داخل هضبة الاستتباب، يتمتع النظام البيئي بالقدرة على تحفيز بعض آليات التغذية الراجعة التي تساعد في الحفاظ على أداء النظام البيئي من خلال مواجهة الاضطرابات. تُعرف ردود الفعل المضادة للانحراف هذه بآليات ردود الفعل السلبية. تساعد حلقات التغذية الراجعة هذه في الحفاظ على التوازن البيئي للنظام البيئي.

يحوي النظام البيئي المتوازن على مكونات حيوية أساسية تطورت مع مرور الوقت لتتناسب مع الظروف البيئية. ويحدث تدفق الطاقة وتدوير العناصر الغذائية في نمط محدد في مثل هذا النظام البيئي، في ظل مجموعة من البيئة المادية.

ومع ذلك، مع زيادة الاضطراب أو الإجهاد الخارجي إلى ما هو أبعد من حد معين (يتجاوز هضبة الاستتباب في النظام البيئي)، يختل توازن النظام البيئي. وذلك لأنه الآن يبدأ تشغيل نوع آخر من آليات التغذية الراجعة، وهي آليات تسريع الانحراف. تسمى ردود الفعل هذه بآليات ردود الفعل الإيجابية، والتي تزيد من الاضطرابات الناجمة عن الإجهاد الخارجي من ثم تأخذ النظام البيئي بعيدًا عن ظروفه المثلى، مما يؤدي في النهاية إلى انهيار النظام.



يوضح الشكل نظام التحكم في النظام البيئي المتوازن

لتوضيح هذا المفهوم يمكننا النظر في المثال الآتي: تحتاج النباتات الخضراء إلى ثاني أكسيد الكربون لتصنيع غذائها أثناء عملية التمثيل الضوئي، والغذاء الذي تنتجه النباتات الخضراء هو في الواقع قاعدة السلسلة الغذائية وتدفق الطاقة ودورات المواد. تتمتع النظم البيئية بتوازن ممتاز في تنظيم مستويات ثاني أكسيد الكربون من خلال دورة الكربون، حيث تنتج جميع الكائنات الحية ثاني أكسيد الكربون أثناء التنفس وتستخدمه النباتات الخضراء أثناء عملية التمثيل الضوئي، مما يؤدي إلى تحرير الأكسجين.

كميات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تطرح في الغلاف الجوي للأرض

وفي حدود معينة، يمكن أن تساعد زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في تحسين إنتاج النباتات الخضراء. ولكن إلى ما هو أبعد من ذلك، فإن زيادة ثاني أكسيد الكربون ستتسبب في خلل في النظام البيئي مما يؤدي إلى العديد من ردود الفعل الإيجابية الضارة.

ونتيجة لذلك، تحدث العديد من الآثار البيئية الضارة بما في ذلك الاحتباس الحراري، وتغير أنماط هطول الأمطار، وانعدام أمن المحاصيل، والعواصف، والفيضانات، وظهور أنواع جديدة من الآفات - وكلها تؤدي إلى تدهور النظام البيئي.

آثار النشاطات البشرية على البيئة

طوال نحو 75 % من مدة وجودهم على هذه الأرض، عمل البشر كصيادين وجامعين للطعام. كان ذلك قبل نحو 10000 إلى 12000 سنة مضت، عندما حدث تحول ثقافي يعرف باسم «الثورة الزراعية» في عدة مناطق من العالم، مما أدى إلى تغيير نمط حياة البشر من الحياة البدوية المتجولة إلى الحياة المستقرة.

بدأ الناس في تدجين الحيوانات وزراعة الأنواع النباتية التي كانت مفيدة لهم. تدريجيا، زاد عدد السكان وكذلك الطلب على المزيد من إنتاج الغذاء. وكانت هناك حاجة إلى زيادة مساحة الأراضي المزروعة وزيادة إنتاجية المحاصيل باستخدام التقدم التكنولوجي. ومن أجل إطعام الماشية، كان هناك طلب متزايد على المزيد من أراضي الرعي. أدت الممارسات الزراعية المكثفة والرعي الجائر إلى ظهور العديد من الفروع التي أثرت على بيئتنا. وفي هذا القسم سنناقش هذه التأثيرات.

ارتبطت أنشطة التنمية السريعة باستغلال المزيد والمزيد من الموارد الطبيعية المختلفة. وقد أدى التطور التكنولوجي إلى استنزاف سريع لموارد الطاقة غير المتجددة، وخاصة الفحم والنفط، وكذلك المعادن المختلفة. لقد تداخلت أنشطة التعدين والسدود والبناء والتحضر والتصنيع مع التوازن البيئي للطبيعة بسبب التأثيرات واسعة النطاق.

• أثـــر البشـــر على البيئـــة

يعتقد العلماء أن البشر ظهروا قبل نحو 40 ألف سنة على الأرض التي يبلغ عمرها 4.6 بليون سنة. في الألف سنة الأولى، عندما كان عدد البشر صغيرًا وكان الإنسان في الأساس صيادًا وجامعًا بمتطلبات محدودة، كان تدخله في الأسطوانات الطبيعية والانسجام ضئيلًا.

ومع تطور الأنشطة الزراعية التي أعقبتها الثورة الصناعية، حدثت تغيرات هائلة في حجم السكان مع ارتفاع جودة ومستويات المعيشة. وبسبب التطور التكنولوجي والنمو الاقتصادي السريع، وصلت حضارتنا إلى ذروتها، لكنها في الوقت نفسه سمحت بتدهور بيئي خطير. لقد غيرت التنمية موقف البشر تجاه الطبيعة، مما أدى إلى تفاقم المشكلات.

لقد أثر أسلوب حياتنا والنزعة الاستهلاكية والزراعة والغذاء والمأوى والتنمية الاقتصادية والتصنيع على بيئتنا بما في ذلك الهواء والماء والأرض والمواد والتنوع البيولوجي وكذلك البشر وأمنهم الاجتماعي.

في حين كانت المجتمعات البشرية المبكرة تستهلك موارد أقل بكثير، مع فجر العصر الصناعي، أظهرت النزعة الاستهلاكية ارتفاعًا هائلًا. لقد ارتبط الأمر بزيادة حجم السكان وكذلك زيادة طلباتنا بسبب التغيير في نمط الحياة. في وقت سابق كنا نعيش حياة أبسط بكثير وكانت لدينا رغبات أقل. في المجتمع الحديث تضاعفت احتياجاتنا من ثم تضاعفت النزعة الاستهلاكية للموارد.

كان عدد سكاننا أقل من مليون نسمة لآلاف السنين منذ تطورنا على هذه الأرض. لقد تجاوزنا اليوم علامة الستة بلايين، ومن المرجح أن نصل إلى 11 بليون بحلول عام 2045م، وفقًا لتقديرات البنك الدولي.

• أهم الجوانب المرتبطة بالأنشطة البشرية

لقد زادت النزعة الاستهلاكية بشكل كبير مع تزايد عدد السكان وتزايد الاحتياجات في عصر التنمية الحديث، مما أدى إلى رفع مستوى معيشتنا. ونناقش هنا بعض الجوانب المهمة المرتبطة بالأنشطة البشرية.

♦ الطعـــــام

هناك الآلاف من النباتات والحيوانات الصالحة للأكل في جميع أنحاء العالم، منها نحو ثلاثين نوعًا فقط تشكل الغذاء الرئيسي للبشر. مع تزايد عدد السكان، زاد الطلب على المحاصيل بمعدل وضع الكثير من الضغط على موارد الأراضي لدينا. ونتيجة لذلك، جرى إزالة الغابات لإنشاء الأراضي الزراعية.

قدرت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) التابعة للأمم المتحدة أن متوسط الحد الأدنى من السعرات الحرارية على المستوى العالمي هو 2500 سعرة حرارية في اليوم. ويقال إن الأشخاص الذين يحصلون على 2000–2200 سعرة حرارية في اليوم يعانون من نقص التغذية ويعانون من أوجه قصور ومشكلات صحية

مختلفة. ويقال إن الأشخاص الذين يعانون من نقص البروتينات يعانون من سوء التغذية. إذْ نحو 15–20 مليون حالة وفاة تحدث سنويًا بسبب سوء التغذية.

خلال الخمسين عامًا الماضية، تضاعف إنتاج العالم من الحبوب ثلاث مرات تقريبًا، مما أدى إلى زيادة نصيب الفرد من الإنتاج بنحو 50 %. ولكن في الوقت نفسه، زاد النمو السكاني بمعدل كبير في أقل البلدان نموًا (البلدان الأقل نموًا) بحيث فاق إنتاج الغذاء.

في كل عام يموت 40 مليون شخص (خمسون في المائة منهم من الأطفال الصغار الذين تتراوح أعمارهم بين سنة واحدة وخمس سنوات) بسبب نقص التغذية وسوء التغذية. وهذا يعني أن مشكلة الغذاء لدينا تقتل كل عام عددًا من الأشخاص يماثل عدد الذين قتلوا بالقنبلة الذرية التي ألقيت على هيروشيما خلال الحرب العالمية الثانية. وتؤكد هذه الأرقام الإحصائية المذهلة على الحاجة إلى زيادة إنتاجنا الغذائي، وتوزيعه بشكل عادل، وكذلك السيطرة على النمو السكاني.

♦ المســـاكن

مع تزايد عدد السكان، هناك أيضًا ضغط متزايد على موارد الأراضي المحدودة للإسكان. لقد تم توفير المأوى للبشر أو تطوير الموائل على هذه الأرض إلى حد كبير ضمن نحو 5 % من مساحة الأرض، والتي تدعم أكثر من نصف سكان العالم. تشكل المستوطنات الحضرية المكتظة وغير المخططة والمستوطنات الريفية المتخلفة وغير الصحية تحديات كبيرة للأجيال الحالية والمستقبلية.

لقد أجبرنا الاستنزاف السريع للموارد الطبيعية وتقلص الأراضي وارتفاع مستويات التلوث والمشكلات الصحية المرتبطة بها على إعادة النظر في هيكل وتصميم المباني من خلال إدخال النهج البيئي للمباني. هناك حاجة ملحة لتطبيق مبادئ الاستدامة على البيئة المبنية Built Environment.

من ثم، هناك حاجة إلى نهج متكامل مع مدخلات من مختلف المجالات بما في ذلك الهندسة المعمارية والهندسة والعلوم والتكنولوجيا والبيئة والاقتصاد. لا ينبغي النظر إلى البيئة المبنية على أنها مجرد هياكل جرى إنشاؤها لتوفير المأوى للبشر، بل ينبغي النظر إليها على أنها تفاعل ديناميكي للمساحات مع الاستخدام الحكيم لأغراض متعددة، مما يوفر الراحة الجسدية والرضا النفسي للسكان، إلى جانب العناصر البيئية المتوازنة.

♦ النمو الاقتصادي

النمو الاقتصادي مطلوب لرفع نوعية حياة البشر. أدى التقدم التكنولوجي الذي أدى إلى التصنيع السريع والتحضر إلى رفع مستوى المعيشة في العصر الحديث، ولكنه أدى أيضًا إلى استنزاف الموارد الطبيعية وأزمة الطاقة وتلوث الهواء والماء والتربة. لقد كان النمو الاقتصادي في جميع أنحاء العالم كبيرًا لدرجة أنه أدى إلى تفاوت واسع بين الدول المتقدمة والنامية.

الولايات المتحدة الأمريكية، التي يبلغ عدد سكانها 4.7 % فقط من سكان العالم، تستهلك 25 % من إجمالي الطاقة وتنتج 25 % من إجمالي الملوثات/النفايات و22 % من إجمالي مركبات الكلوروفلوروكربون Chlorofluorocarbons (CFC)، المسؤولة بشكل أساسي عن استنفاد طبقة الأوزون.

♦ الضمان الاجتماعي

إن الهدف النهائي للتنمية هو تحسين نوعية الحياة، بحيث يتمتع جميع البشر في جميع أنحاء العالم بحياة طويلة وصحية وهادفة ومرضية. لكن للأسف فإن الدول المتقدمة، التي لا يتجاوز عدد سكانها 20 % من سكان العالم، تسيطر على نحو 80 % من الاقتصاد العالمي. في الوقت الحاضر، يعيش نحو 1.4 بليون شخص (أي نحو ربع سكان العالم) على أقل من دولار واحد في اليوم.

ويعاني نحو 12 % من سكان العالم الذين يعيشون في البلدان الفقيرة من نقص التغذية أو سوء التغذية. ويعاني هؤلاء الفقراء من انعدام الأمن الاجتماعي الحاد لأن الحياة بالنسبة لهم عبارة عن صراع لا نهاية له من أجل البقاء، ويتمحور حول تحقيق وسائل الراحة الأساسية للحياة مثل مياه الشرب والحطب والغذاء. وبينما تصل التنمية الاقتصادية إلى ذروتها في الدول المتقدمة، فمن المفارقة أنه حتى الوقت الحالي يموت 35 ألف طفل كل يوم بسبب عدم توفر الغذاء الكافي ومياه الشرب الآمنة والمرافق الطبية.

ومن المهم جدًا تحسين نوعية الحياة في الدول الفقيرة وضمان الغذاء الكافي والتغذية والمسكن الصحي والتعليم، وخاصة للنساء المحرومات. وقد برزت العدالة بين الأجيال كمفهوم جديد في التنمية المستدامة لضمان حصة عادلة من الموارد لتحقيق النمو الاقتصادي للفقراء وضمانهم الاجتماعي.

♦ أثـــر الزراعـــة

في العصور البدائية، استخدم البشر ممارسة زراعة القطع والحرق أو الزراعة المتنقلة. هذه الممارسة التي يجري فيها تطهير أرض الغابات عن طريق الحرق، واستخدامها لزراعة محصول لبضع سنوات، ومع انخفاض الإنتاجية، جرى التخلي عن الأرض وتطهير قطعة جديدة من أراضي الغابات لزراعة المحاصيل، ولا تزال سائدة في العديد من المناطق القبلية كما هو الحال في التلال الشمالية الشرقية للهند.

♦ الزراعة التقليدية وآثارها

وعادةً ما يتضمن ذلك قطعة أرض صغيرة وأدوات بسيطة ومياهًا متوفرة طبيعيًا وأسمدة عضوية ومزيجًا من المحاصيل. وهو أقرب إلى الظروف الطبيعية وعادة ما يؤدي إلى انخفاض الإنتاج. ولا يزال يمارسها نحو نصف سكان العالم.

التأثيرات الرئيسية لهذا النوع من الزراعة هي كما يلي:

- **إزالة الغابات:** يؤدي قطع الأشجار وحرقها في الغابات لتطهير الأرض من أجل الزراعة ونقلها المتكرر إلى فقدان الغطاء الحرجي.
- **تآكل التربة:** يؤدي إزالة الغطاء الحرجي إلى تعريض التربة للرياح والأمطار والعواصف، مما يؤدي إلى فقدان الطبقة العليا الخصبة من التربة.
- **استنزاف العناصر الغذائية:** أثناء القطع والحرق يتم تدمير المواد العضوية الموجودة في التربة وتمتص المحاصيل معظم العناصر الغذائية خلال فترة قصيرة، مما يجعل مغذيات التربة فقيرة مما يجبر المزارعين على الانتقال إلى منطقة أخرى.

♦ الزراعة الحديثة وتأثيراتها

فهي تستخدم البذور الهجينة من مجموعة مختارة ومحصول واحد، ومعدات عالية التقنية والكثير من إعانات الطاقة في شكل أسمدة ومبيدات حشرية ومياه للري. لقد زاد إنتاج الغذاء بشكل هائل، كما يتضح من مفهوم «الثورة الخضراء». ومع ذلك، فقد أدى ذلك أيضًا إلى ظهور العديد من الفروع الإشكالية كما هو موضح أدناه:

♦ المشكلات المتعلقة بالأصناف عالية الإنتاجية (HYVs)

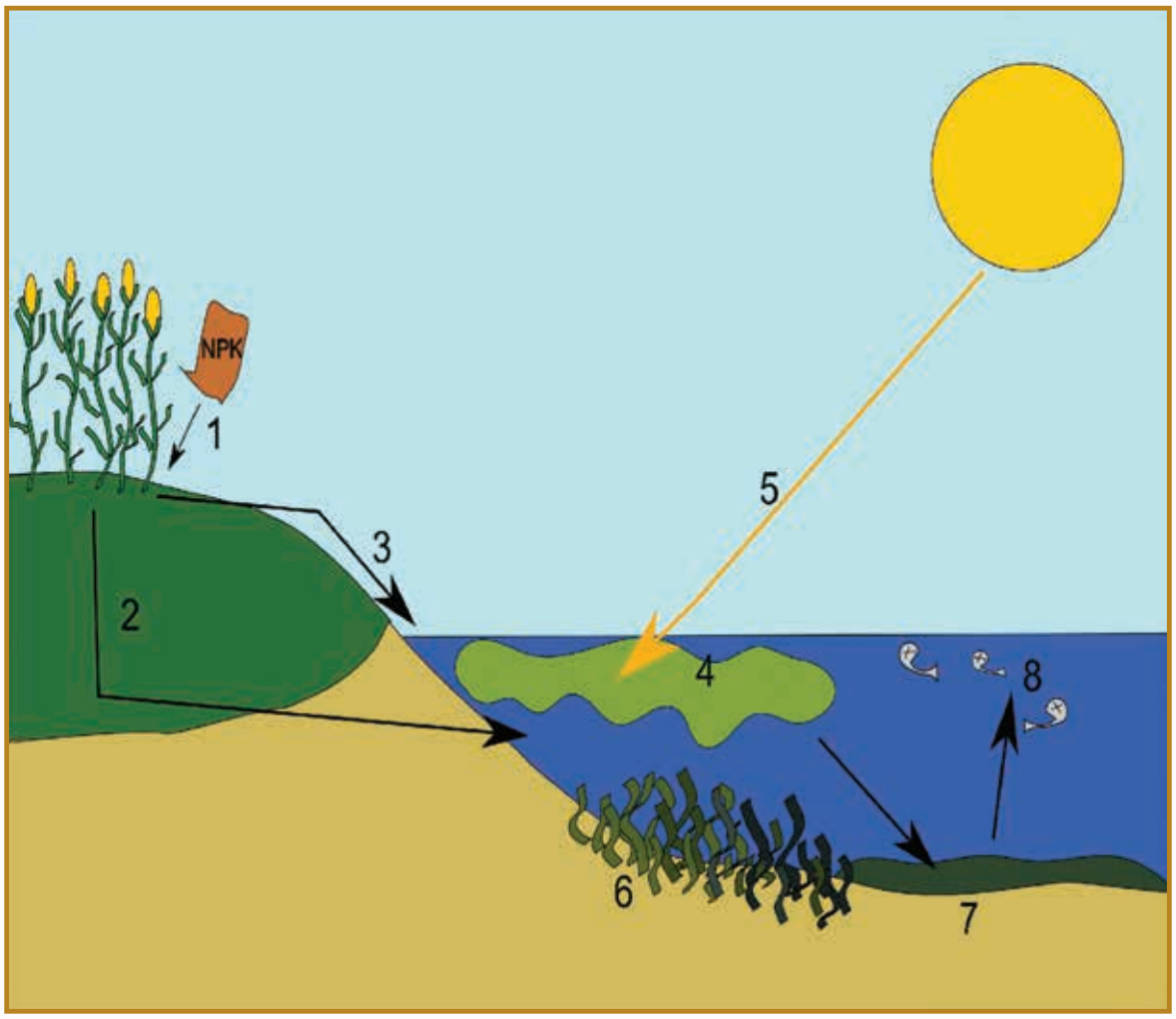
تشجع استخدامات HYVs على الزراعة الأحادية، أي أن نفس النمط الجيني المتنوع يزرع على مساحات شاسعة. في حالة حدوث هجوم من قبل بعض مسببات الأمراض، يحدث دمار كامل للمحصول بسبب المرض بسبب الظروف الموحدة تمامًا، مما يساعد على الانتشار السريع للمرض.

• المشكلات المتعلقة بالأسمدة

♦ **اختلال توازن المغذيات الدقيقة:** تحوي معظم الأسمدة الكيماوية المستخدمة في الزراعة الحديثة على النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم (N P, K,) وهي مغذيات كبيرة ضرورية. وعادة ما يستخدم المزارعون هذه الأسمدة بشكل عشوائي لتعزيز نمو المحاصيل. الاستخدام المفرط للأسمدة يسبب خللاً في المغذيات الدقيقة. على سبيل المثال، أدى الاستخدام المفرط للأسمدة في البنجاب وهاريانا إلى نقص المغذيات الدقيقة مثل الزنك في التربة، مما يؤثر على إنتاجية التربة.

♦ **التلوث بالنترات:** غالبًا ما تتسرب الأسمدة النيتروجينية المستخدمة في الحقول إلى عمق التربة وتلوث المياه الجوفية في النهاية. تتركز النترات في الماء وعندما يتجاوز تركيزها 25 ملغ/لتر، فإنها تصبح سببًا لخطر صحي خطير تسمى «متلازمة الطفل الأزرق» أو ميتهيموغلوبية الدم. ويؤثر هذا المرض على الأطفال الرضع إلى أقصى حد ويؤدي إلى الوفاة. وقد ظهرت هذه المشكلة بشكل متكرر في الدنمارك وإنجلترا وفرنسا وألمانيا وهولندا. وفي الهند أيضًا، توجد مشكلة التلوث بالنترات في العديد من المناطق.

♦ **فرط المغذيات:** الاستخدام المفرط للأسمدة النيتروجينية والفسفورية في الحقول الزراعية يؤدي إلى مشكلة أخرى، لا تتعلق بالتربة، ولكنها تتعلق بالمسطحات المائية مثل البحيرات. تُغسل نسبة كبيرة من النيتروجين والفوسفور المستخدم في حقول المحاصيل وتصل مع المياه الجارية إلى المسطحات المائية مما يتسبب في تغذية البحيرات بشكل زائد، وهي عملية تعرف باسم فرط المغذيات Eutrophication.



الطريق إلى فرط المغذيات: 1. يتم تطبيق العناصر الغذائية الزائدة على التربة. 2 و 3. تتسرب بعض العناصر الغذائية إلى المياه السطحية. 4. تسبب العناصر الغذائية الزائدة تكاثر الطحالب. 5. يستهلك ازدهار الطحالب الأكسجين الموجود في الماء، مما يخلق حالة نقص الأكسجة – وهذا هو فرط التغذية. 6. تموت النباتات والحيوانات الموجودة تحت ازدهار الطحالب بسبب نقص الأكسجين. 7. في نهاية المطاف، تموت الطحالب. تعمل البكتيريا على تحلل هذه الكتلة الحيوية الطحالب، مما يؤدي إلى استنفاد الأكسجين المتبقي. 8. يؤدي التحلل إلى استنفاد الماء من الأكسجين إذا لم يتم خلط الجسم المائي عموديًا بشكل منتظم. تموت أشكال الحياة الأكبر حجمًا، مثل الأسماك.

بسبب فرط التغذية تغزو البحيرات أزهار الطحالب. تنمو هذه الأنواع من الطحالب بسرعة كبيرة عن طريق استهلاك العناصر الغذائية بسرعة. غالبًا ما تكون سامّة وتؤثر بشكل سيء على السلسلة الغذائية. تكمل أنواع الطحالب دورة حياتها بسرعة وتموت، مما يضيف الكثير من المواد العضوية الميتة.

تقتل أيضًا الأسماك وهناك الكثير من المواد الميتة التي تبدأ في التحلل. يستهلك الأكسجين في عملية التحلل وسرعان ما ينضب الماء من الأكسجين المذاب. ويؤثر هذا أيضًا على الحيوانات المائية، وفي النهاية تظهر إنشاء الظروف اللاهوائية حيث يمكن للبكتيريا اللاهوائية فقط البقاء على قيد الحياة، ومن المعروف أن العديد منها مسببة للأمراض. من ثم، بسبب الاستخدام المفرط للأسمدة في الحقول الزراعية يتدهور النظام البيئي للبحيرة. يوضح هذا كيف يمكن أن يكون لأي إجراء غير مقصود عواقب بعيدة المدى.

• المشكلات المتعلقة بالمبيدات الحشرية

تستخدم الآلاف من أنواع المبيدات الحشرية في الزراعة. تشتمل مبيدات الجيل الأول على مواد كيميائية مثل الكبريت أو الزرنيخ أو الرصاص أو الزئبق لقتل الآفات. ينتمي الـ DDT (ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإيثان) الذي اكتشف بول مولر خصائصه المبيدة للحشرات في عام 1939م إلى الجيل الثاني من مبيدات الآفات. بعد عام 1940م، بدأ استخدام عدد كبير من المبيدات الحشرية الاصطناعية. مع أن هذه المبيدات الحشرية قد قطعت شوطًا طويلًا في حماية محاصيلنا من الخسائر الفادحة التي تحدث بسبب الآفات، إلا أن لها عددًا من الآثار الجانبية، كما هو موضح أدناه:

- **خلق مقاومة في الآفات وإنتاج آفات جديدة:** عادة ما يبقى بعض الأفراد من أنواع الآفات على قيد الحياة حتى بعد رش المبيدات الحشرية. الناجون ينتجون أجيالًا شديدة المقاومة. يُعرف الآن نحو 20 نوعًا من الآفات التي أصبحت ذات مناعة ضد جميع أنواع المبيدات الحشرية وتعرف باسم الآفات الفائقة Super Pests.

- **موت الكائنات الحية غير المستهدفة:** العديد من المبيدات الحشرية هي سموم واسعة النطاق لا تقتل الأنواع المستهدفة فحسب، بل تقتل أيضًا العديد من الأنواع غير المستهدفة المفيدة لنا.

- **التضخيم البيولوجي:** العديد من المبيدات الحشرية غير قابلة للتحلل الحيوي وتستمر في التراكم في السلسلة الغذائية، وهي عملية تسمى التضخيم البيولوجي. وبما أن البشر يحتلون مستوى غذائيًا عاليًا في السلسلة الغذائية، فإنهم يحصلون على المبيدات الحشرية بشكل مضخم بيولوجيًا وهو ضار جدًا.

مشكلة التشبع بالمياه

الإفراط في ري الأراضي الزراعية من قبل المزارعين من أجل النمو الجيد لمحاصيلهم يؤدي عادة إلى التشبع بالمياه. يؤدي الصرف غير الكافي إلى تراكم المياه الزائدة تحت الأرض وتشكل تدريجيًا عمودًا مستمرًا مع منسوب المياه الجوفية.

في ظل ظروف التشبع بالمياه، تصبح المسام الموجودة في التربة مشبعة بالكامل بالماء وينضب هواء التربة. يرتفع منسوب المياه بينما لا تحصل جذور النباتات على الهواء الكافي للتنفس. تنخفض القوة الميكانيكية للتربة، وتستقر نباتات المحاصيل وينخفض إنتاج المحاصيل.

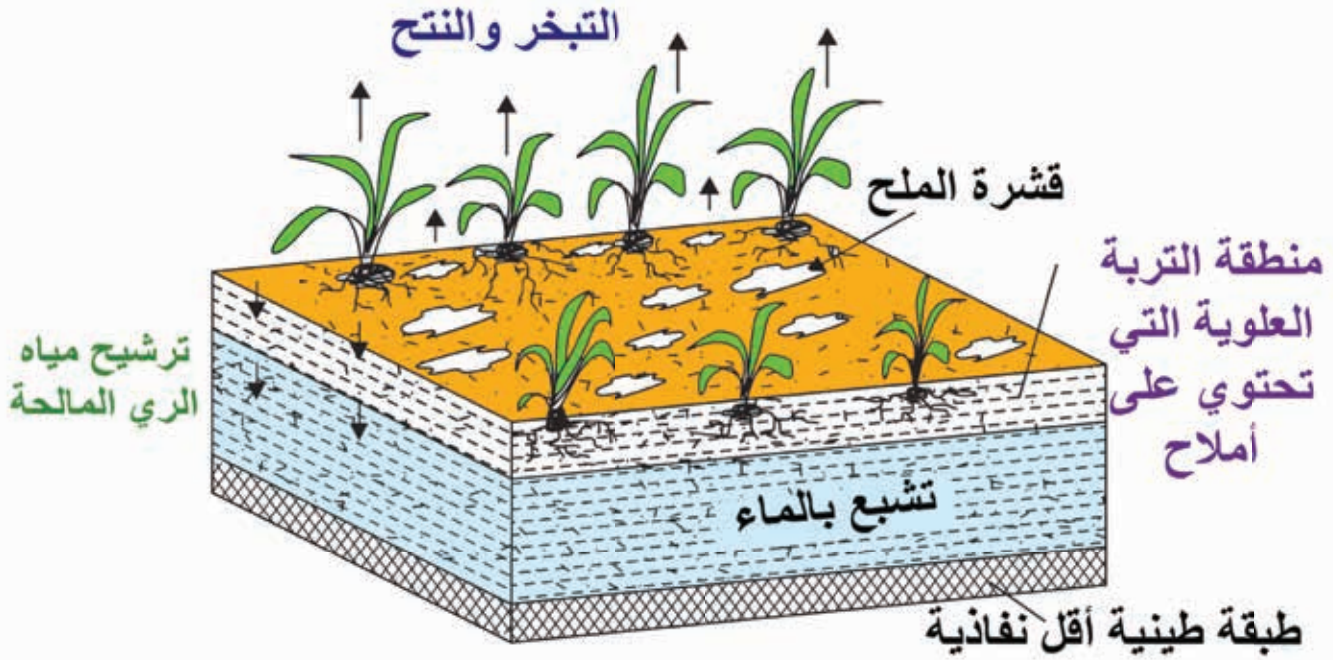
في البنجاب، أصبحت مناطق واسعة مشبعة بالمياه حيث شجعت إمدادات مياه القناة الكافية أو مياه الآبار الأنبوبية المزارعين على استخدامها بحماس مفرط مما أدى إلى مشكلة التشبع بالمياه. يعد منع الري المفرط وتكنولوجيا الصرف تحت السطح والصرف الحيوي بأشجار مثل الأوكالبتوس من بين التدابير العلاجية لمنع التشبع بالمياه.

• مشـــكلة الملوحـــة

في الوقت الحاضر، يتأثر ثلث إجمالي مساحة الأراضي الصالحة للزراعة في العالم بالأملاح. وفي الهند يقدر أن نحو سبعة ملايين هكتار من الأراضي متأثرة بالملوحة والتي قد تكون مالحة أو صودية. تتميز التربة المالحة بتراكم الأملاح القابلة للذوبان مثل كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم وكلوريد الكالسيوم وكلوريد المغنيسيوم وغيرها في ملف التربة.

الموصلية الكهربائية أكثر من 4 ديسيسيمنز / م. تحوي التربة الصودية على كربونات وبيكربونات الصوديوم، وعادة ما يتجاوز الرقم الهيدروجيني 8.0 ونسبة الصوديوم القابلة للتبديل (ESP) Exchangeable Sodium Percentage أكثر من 15 %.

أحد الأسباب الرئيسية لتملح التربة هو الإفراط في الري بمياه رديئة (مالحة). يمكن ري نحو 20 % من الأراضي الزراعية في العالم بمياه القناة أو المياه الجوفية التي غالبًا ما تحوي على أملاح مذابة، على عكس مياه الأمطار. وفي ظل المناخات الجافة، يتبخر الماء تاركًا وراءه أملاحًا في الطبقة العليا من التربة (كما في الشكل الآتي).



التشبع بالمياه

- تتسرب مياه الأمطار ومياه الري إلى الأسفل.
- يرتفع منسوب المياه.
- تمتلئ مسام التربة بالماء.

التملح

- إضافة الأملاح مع مياه الري المالحة.
- التبخر والنتح يترك وراءه الأملاح.
- يحدث تراكم الملح في التربة العلوية.

مقارنـــة بين التشـــبع بالمـــاء والتملـــح

تتأثـر آلاف الهكتـارات مـن مسـاحة الأراضـي في هاريانـا والبنجـاب بملوحـة التربـة وقلويتهـا. تـؤدي الملوحـة إلـى توقـف نمـو النبـات وتقليـل إنتاجيـة المحاصيـل. معظـم المحاصيـل لا تتحمـل الملوحـة العاليـة.

الطريقة الأكثر شيوعًا للتخلص من الأملاح هي التخلص منها عن طريق إضافة المزيد من المياه ذات النوعية الجيدة إلى هذه التربة. وهناك طريقة أخرى وهي مد شبكة تحت الأرض من أنابيب الصرف المثقبة لطرد الأملاح ببطء والمعروفة باسم الصرف تحت السطح.

■ تأثيـر السـكن

مع تزايد النمو السكاني، حدث تحول عالمي للسكان من المراكز الريفية إلى المراكز الحضرية. وفقا لمكتب المراجع السكانية، يعيش 48 % من سكان العالم في المناطق الحضرية حاليًا. بشكل عام، تعتبر المدن التي يبلغ عدد سكانها 2000 نسمة أو أكثر حضرية. عدد سكان الحضر أعلى بكثير (75 %) في الدول المتقدمة ويعيش نحو 38 % من إجمالي سكان الدول النامية في المناطق الحضرية. تشكل مرافق الإسكان والبنية التحتية تحديًا كبيرًا في المناطق الحضرية، حيث المساحة محدودة. يعد توفير المياه ونظام الصرف الصحي والمرافق التعليمية والطبية والنقل والإسكان لتدفق الناس من المناطق الريفية إلى المناطق الحضرية مهمة كبيرة.

إن إنتاج واستخدام جميع أنواع مواد البناء تقريبًا أثناء البناء والهدم له بعض التأثير على البيئة بطريقة أو بأخرى. ويرتبط استخراج ومعالجة مواد البناء باستهلاك الطاقة وتوليد النفايات، والتي تختلف تبعًا لنوع المبنى. المواد المحلية المستخدمة في البناء لها آثار بيئية أقل من ناحية استخدام الطاقة وإنتاج النفايات. يجب تقييم جودة مواد البناء المختارة للبناء من وجهة نظر التأثيرات البيئية. إن إنتاج واستخدام مواد البناء له التأثيرات البيئية الآتية:

- استهلاك الطاقة والآثار ذات الصلة.
- التدهور المادي للبيئة وفقدان التربة الخصبة العليا.

- استنزاف الموارد الطبيعية والتنوع البيولوجي بسبب إزالة الغابات.
- الانبعاثات الغازية المسببة للاحتباس الحراري والأمطار الحمضية.
- الانبعاثات السامة والآثار الصحية.
- مخاطر الصحة المهنية.

سنناقش هنا الآثار البيئية الرئيسية للإسكان/البناء.

♦ استهلاك الطاقة أثناء البناء والتشييد

استهلاك الطاقة هو جانب مهم من البناء. الطاقة مطلوبة لاستخراج المعادن مثل خامات الحديد والبوكسيت وما إلى ذلك. والطاقة مطلوبة أيضًا للنقل والمعالجة والتصنيع والتركيب أثناء البناء والتجديد وهدم المباني. إن المقياس الأكثر أهمية للأثر البيئي لمواد البناء هو الطاقة المتجسدة Embodied Energy أو الطاقة الرأسمالية Capital Energy. تعرّف الطاقة المتجسدة على أنها كمية الطاقة المستخدمة لإنتاج وحدة وزن المادة.

تزداد الطاقة المتجسدة للمادة مع زيادة عدد العمليات التي تخضع لها. ويزداد إنتاج النفايات المرتبطة أيضًا وفقًا لذلك. لهذا السبب، من الضروري اختيار هذه المواد الصديقة للبيئة والتي تكون قريبة من الطبيعة قدر الإمكان وأقرب أيضًا إلى موقع البناء؛ بحيث يكون استهلاك الطاقة للنقل والمعالجة والتحويل في حده الأدنى.

ويمكن أيضًا تحسين التكلفة والصداقة للبيئة باستخدام المواد المعاد تدويرها. على سبيل المثال، ستكون الطاقة المتجسدة لنافذة ذات إطار من الألومنيوم مختلفة إذا كانت مصنوعة من المعدن المعاد تدويره أو من خامه. نوع المادة

المستخدمة له القدر نفسه من الأهمية. من المؤكد أن الطاقة المجسدة لنافذة ذات إطار من الألومنيوم ستكون أعلى من طاقة النافذة ذات الإطار الخشبي، حيث إنّ الأخير يتطلب معالجة أقل وهو طبيعي. كما أن الأخير سيكون أكثر صداقة للبيئة لأنه لا ينتج انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أثناء المعالجة.

إن نقل مواد البناء من الإنتاج إلى البيع ومن السوق إلى موقع البناء يزيد من الطاقة المتجسدة للمادة. تزيد الانبعاثات الناتجة عن استخدام الوقود في المركبات من ظاهرة الاحتباس الحراري وتؤدي الغازات الضارة المختلفة المنبعثة إلى مشكلات صحية خطيرة. هناك عامل مهم آخر للنظر في المواد الصديقة للبيئة وهو متطلبات الصيانة وعمر المبنى. مواد البناء التي تساهم في الطاقة المجسدة هي الأسمنت والخرسانة والطوب والصلب والألمنيوم والأخشاب والزجاج والجص وغيرها، والتي تستخدم بشكل عام في جميع أنواع المباني.

تتمتع المعادن والبلاستيك بطاقة مجسدة عالية جدًا. ومع ذلك، فإن استخدامها بكميات صغيرة مثل تلك الموجودة في المفاصل أو التركيبات قد يكون مفيدًا. من ثم، يجب إيلاء الاعتبار الواجب لاختيار مواد البناء المناسبة. الطاقة المجسدة للمواد البلاستيكية عالية جدًا لأنها مشتقة من البترول الذي يتطلب معالجة كثيفة الطاقة.

♦ استنزاف الموارد وفقدان التنوع البيولوجي

الأخشاب، هي مادة بناء صديقة للبيئة. لكن القطع العشوائي للغابات من أجل إنتاج الأخشاب له عواقب بيئية بعيدة المدى. ولذلك فمن الضروري أن يعتمد إنتاج الأخشاب على استراتيجية مستدامة لإدارة الغابات. إن إنتاج الأخشاب على أساس ممارسة القطع الانتقائية Selective Cutting Practice، مما يضمن استبدال الأشجار المقطوعة بمزارع جديدة، يمكن أن يعتني باستدامة الغابات.

وينبغي أن يكون هناك أيضًا مخطط للتأكيد على أن الأخشاب المستخدمة في البناء قد أمكن الحصول عليها من غابة مستدامة.

ومن النقاط المهمة الجديرة بالذكر هنا أنه إذا جرى إنتاج الأخشاب عن طريق قطع الغابات المطيرة، فلن يكون من الممكن استبدال الأشجار المقطوعة بأنواع مماثلة. لقد تطورت الغابات الاستوائية المطيرة على مدى ملايين السنين مع تنوع بيولوجي معقد، وله آلية معقدة لاستقرار النظام البيئي وتنظيمه. إن فقدان التنوع البيولوجي أو استبدال الغابات المطيرة المعقدة غير المتجانسة ببعض أنواع الأشجار البسيطة سريعة النمو سوف يتسبب في ضرر لا يمكن إصلاحه للنظام البيئي والبيئة. أثناء اختيار مواد بناء صديقة للبيئة، مثل الأخشاب من الغابات المطيرة، يجب أخذ مثل هذه القضايا المهمة في الاعتبار.

وحتى عندما يمكن الحصول على الأخشاب من مكان بعيد، فإن ملاءمتها للبيئة تتضاءل بسبب الطاقة المستخدمة في النقل، من ثم تعزيز طاقتها المتجسدة. في كثير من الأحيان تجري معالجة الخشب بمواد كيميائية لمنع تعفنه وتحلله. إن استخدام مثل هذا الخشب كمواد بناء سوف يقلل من ملاءمته للبيئة بسبب الطبيعة السامة للمواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة.

يعد استخدام الدهانات العضوية الاصطناعية أكثر ضررًا على البيئة. يمكن استبدالها بأصباغ أو بقع أو شموع طبيعية ذات أساس مائي. يجب تفضيل العوازل الحرارية (مثل الورق المعاد تدويره أو الصوف أو الفلين) والجدار الأرضي وبناء حزم القش إذا سمحت المساحة ولم تكن التشطيبات الخشنة مثبطة. الطلاء المزجج يوفر الطاقة أيضًا.

♦ جـوانب التلـوث في البنـاء

تستمر العديد من مواد البناء في التأثير على جودة الهواء الداخلي. هذه المواد المستخدمة كمذيبات وتشطيبات ومنظفات لصيانة وحماية مواد البناء يمكن أن تسبب «متلازمة البناء المريض». يرتبط إنتاج البلاستيك أيضًا بتوليد الغازات الدفيئة، وهي ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، وكلوريد البولي فينيل (PVC)، وهي ضارة بسبب احتمالية الاحتباس الحراري لثاني أكسيد الكربون والمشكلات المتعلقة بالصحة للأخيرة. اثنين. يعد التخلص من PVCs مشكلة كبيرة. ومع ذلك، فإن البلاستيك له جانب إيجابي وهو أنه مشتق من مخلفات إنتاج النفط.

إن تصنيع المعادن من خاماتها له تأثيرات بيئية عديدة. عند إعادة تدوير المعادن، يتم إنتاج مواد كيميائية ضارة تحوي على الديوكسينات، وهي مسببة للسرطان بطبيعتها. يجري تصنيع بعض المواد العازلة من موارد بترولية غير متجددة، بينما يستخدم البعض الآخر مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs). وأثناء عملية الهدم، يكون من الصعب استردادها بشكل آمن. ومن شأن إطلاق مركبات الكربون الكلورية فلورية في الغلاف الجوي أن يؤدي إلى زيادة مشكلة الاحتباس الحراري. من المعروف حاليًا أن الأسبستوس، الذي كان مستخدمًا بشكل كبير في المباني، ضار جدًا بصحتنا ولا يوصى به حاليًا. وحتى أثناء هدم المباني القائمة، يجب أن تجري عملية استعادة الأسبستوس بعناية فائقة.

■ آثـار التصنيـع

إن أخطر آثار التصنيع هو التلوث البيئي الذي أثر على أرضنا ومياهنا وهوائنا. عانت الأنهار الرئيسية في العالم من خسائر فادحة بسبب تلوث المياه.

جرى تحويل العديد من الأنهار المهمة إلى سلاسل مفتوحة. وحتى المياه الجوفية تتلوث بسبب الحفر غير القانوني لمياه الصرف الصناعي.

لقد أدت الغازات السامة والجسيمات الناتجة عن الانبعاثات الصناعية وعوادم المركبات إلى تلويث الغلاف الجوي. أدى إطلاق غازات الدفيئة إلى الغلاف الجوي إلى زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري. كان إطلاق مركبات الكربون الكلورية فلورية مسؤولًا عن استنفاد طبقة الأوزون الواقية في طبقة الستراتوسفير، مما يجعل أرضنا أكثر عرضة للتعرض للأشعة فوق البنفسجية الضارة.

يعد إطلاق أكاسيد النيتروجين والكبريت من محطات توليد الطاقة والصناعات مسؤولًا عن التسبب في هطول الأمطار الحمضية في العديد من مناطق العالم. إن تلوث الأرض بالمعادن الثقيلة السامة يجعلها غير منتجة. أصبحت حركة المعادن الثقيلة والمبيدات الحشرية عبر السلسلة الغذائية سببًا رئيسيًا للقلق على صحة الإنسان أيضًا. لم يتسبب السلوك البشري والتقدم التكنولوجي في حدوث تأثيرات إقليمية (محلية) بل أدى أيضًا إلى اضطرابات بيئية عالمية.

أدى التقدم التكنولوجي المقترن بتحسين نمط الحياة إلى إنتاج وانبعاث مواد غير مرغوب فيها في البيئة والتي تسبب مشكلات بيئية عالمية مثل الأمطار الحمضية، واستنفاد طبقة الأوزون، والاحتباس الحراري وتغير المناخ.

■ آثار النقل

تجري حركة المواد والبشر بعدة طرائق باستخدام الأرض والماء وكذلك الهواء كوسيلة للنقل. في عام 1800، كانت المحركات البخارية المجهزة بالمركبات ذاتية الدفع وسيلة نقل رئيسية لكل من الأرض والمياه. مع تقدم القرن العشرين، أفسح

النقل بالسكك الحديدية المجال تدريجيًا إلى حد كبير للطائرات والسيارات والحافلات والشاحنات.

في العصر الحديث، تُستخدم وسائل النقل الخاصة والتنقل والسفر لمسافات قصيرة نسبيًا بواسطة السيارات بشكل أساسي. لقد أثر الاستخدام الواسع النطاق للسيارات على بيئتنا بطريقة كبيرة. بعض الآثار البيئية الرئيسية للنقل على البيئة هي كما يلي:

- تحويل مساحات شاسعة من الأراضي الزراعية وموائل الحياة البرية إلى مساكن في الضواحي الحضرية، حيث أصبح من الممكن زيادة التنقل مع زيادة استخدام السيارات.
- تستخدم الأرض لبناء الطرقات السريعة وهناك فقدان للتربة السطحية الخصبة أثناء بناء الطرقات السريعة.
- ازداد حدوث الانهيارات الأرضية مع تطهير الطرقات من مساحات حرجية كبيرة في المناطق الجبلية الهشة.
- تؤدي السيارات إلى تلوث الهواء بسبب انبعاثات المركبات مثل أول أكسيد الكربون والرصاص (في حالة البنزين المحتوي على الرصاص) والمركبات العضوية المتطايرة.
- يعد التلوث الضوضائي مشكلة كبيرة تنشأ بسبب أنشطة النقل.
- تطلق العديد من الطائرات أكاسيد النيتروجين التي تعتبر غازات دفيئة مسؤولة عن تغير المناخ.
- أدى الاستخدام الواسع النطاق للسيارات الخاصة إلى زيادة هائلة في استهلاك البنزين، الذي يتمتع باحتياطيات محدودة.

البصمة البيئية

البصمة البيئية Ecological Footprint هي طريقة تروج لها شبكة البصمة العالمية لقياس الطلب البشري على رأس المال الطبيعي، أي كمية الطبيعة التي تحتاجها لدعم الناس واقتصاداتهم. ويتتبع هذا الطلب من خلال نظام المحاسبة البيئية. تقارن هذه الحسابات بين المساحة المنتجة بيولوجيًا التي يستخدمها الناس لاستهلاكهم وبين المساحة المنتجة بيولوجيًا المتاحة داخل المنطقة أو الأمة أو العالم (القدرة الحيوية، المنطقة الإنتاجية التي يمكنها تجديد ما يطلبه الناس من الطبيعة). باختصار البصمة البيئية هي مقياس لتأثير الإنسان على البيئة وما إذا كان هذا التأثير مستدامًا.

ويمكن مقارنة البصمة والقدرة البيولوجية على المستوى الفردي أو الإقليمي أو الوطني أو العالمي. تتغير كل من البصمة والطلب على القدرة الحيوية كل عام مع تغير عدد الأشخاص، واستهلاك الفرد، وكفاءة الإنتاج، وإنتاجية النظم البيئية. وعلى المستوى العالمي، تُظهر تقييمات البصمة حجم الطلب البشري مقارنة بما يمكن أن تجدده الأرض. تقدر شبكة البصمة العالمية أنه اعتبارًا من عام 2019م، كانت البشرية تستخدم رأس المال الطبيعي بنسبة 75 % أسرع من قدرة الأرض على تجديده، وهو ما تصفه بأنه يعني أن البصمة البيئية للبشرية تتوافق مع 1.75 كوكب الأرض. ويسمى هذا الاستخدام المفرط التجاوز البيئي.

يُستخدم تحليل البصمة البيئية على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم لدعم تقييمات الاستدامة. فهو يمكّن الأشخاص من قياس وإدارة استخدام الموارد في جميع أنحاء الاقتصاد واستكشاف استدامة أنماط الحياة الفردية والسلع والخدمات والمنظمات وقطاعات الصناعة والأحياء والمدن والمناطق والأمم.

• نظـــرة عامـــة

أول منشـور أكاديمـي عـن آثـار البصمـات البيئيـة كتبـه ويليـام ريـس في عـام 1992م. جـرى تطويـر مفهـوم البصمـة البيئيـة وطريقـة حسـابها كأطروحـة دكتـوراه لماتيـس واكرناجـل، تحـت إشـراف ريـس في جامعـة كولومبيـا البريطانيـة في فانكوفر، كنـدا، مـن عـام 1990 إلـى عـام 1994م.

في الأصـل، أطلـق واكرناجـل وريـس علـى هـذا المفهـوم اسـم «القـدرة الاسـتيعابية المخصصـة». ولجعـل الفكـرة أكثـر سـهولة، توصـل ريـس إلـى مصطلـح «البصمـة البيئيـة»، مسـتوحى مـن فنـي الحاسـوب الـذي أشـاد «بالبصمـة الصغيـرة لجهـاز الحاسـوب الجديـد علـى المكتـب». في عـام 1996م، نشـر واكرناجـل وريـس كتـاب (بصمتنا البيئية: الحد من التأثير البشري على الأرض). إن أبسـط طريقة لتحديد البصمـة البيئيـة هـي مقـدار المـوارد البيئيـة اللازمـة لإنتـاج السـلع والخدمـات التـي تدعـم نمـط حيـاة الفـرد، أو ازدهـار الأمـة، أو النشـاط الاقتصـادي للبشـرية ككل. النمـوذج هـو وسـيلة لمقارنـة أنمـاط الحيـاة، واسـتهلاك الفـرد، وأعـداد السـكان، والتحقـق منهـا مقابـل القـدرة البيولوجيـة. ويمكـن لـلأداة أن توجـه السياسـة مـن خـلال دراسـة إلـى أي مـدى تسـتخدم الدولـة أكثـر (أو أقـل) ممـا هـو متـاح داخـل أراضيهـا، أو إلـى أي مـدى يمكـن تكـرار نمـط الحيـاة والكثافـة السـكانية في الدولـة في جميـع أنحـاء العالـم. يمكـن أن تكـون البصمـة أداة مفيـدة لتثقيـف النـاس حـول الاسـتهلاك الزائـد والاكتظـاظ السـكاني، بهـدف تغييـر السـلوك الشـخصي أو السياسـات العامـة.

يمكـن اسـتخدام البصمـات البيئيـة للقـول إنّ أنمـاط الحيـاة الحاليـة والأعـداد البشـرية ليسـت مسـتدامة. وتظهـر المقارنـات بـين كل دولـة علـى حـدة عـدم المسـاواة في اسـتخدام المـوارد علـى هـذا الكوكـب.

البصمة البيئية السياحية Touristic Ecological Footprint (TEF) هي البصمة البيئية لزوار وجهة معينة، وتعتمد على سلوك السائحين. يمكن أن تشير مقارنات البصمة البيئية السياحية إلى فوائد الوجهات البديلة، وطرق السفر، وخيارات الطعام، وأنواع السكن، والأنشطة.

البصمة الكربونية Carbon Footprint هي أحد مكونات البصمة البيئية الإجمالية. في كثير من الأحيان، عندما يجري الإبلاغ عن البصمة الكربونية فقط، يعبّر عنها بوزن ثاني أكسيد الكربون (أو ثاني أكسيد الكربون الذي يمثل إمكانية الاحتباس الحراري لغازات الدفيئة (GGWP))، ولكن يمكن أيضًا التعبير عنها في مناطق الأرض مثل البصمات البيئية. ويمكن تطبيق كليهما على المنتجات، أو الأشخاص، أو المجتمعات بأكملها.

تُصنف قيم البصمة للكربون والغذاء والإسكان والسلع والخدمات. يمكن تطبيق هذا النهج على نشاط مثل تصنيع منتج أو قيادة السيارة. يشبه حساب الموارد هذا تحليل دورة الحياة حيث يتم تحويل استهلاك الطاقة والكتلة الحيوية (الغذاء والألياف) ومواد البناء والمياه والموارد الأخرى إلى مقياس طبيعي لمساحة الأرض يسمى الهكتارات العالمية (gha).

منذ عام 2003م، قامت شبكة البصمة العالمية بحساب البصمة البيئية من مصادر بيانات الأمم المتحدة للعالم ككل ولأكثر من 200 دولة (المعروفة باسم حسابات البصمة الوطنية). يجري أيضًا حساب إجمالي عدد البصمات الأرضية اللازمة للحفاظ على سكان العالم عند هذا المستوى من الاستهلاك.

يجري تحديث الحسابات من عام إلى عام آخر حسب إحصائيات الأمم المتحدة الكاملة. ويعاد أيضًا حساب السلاسل الزمنية مع كل تحديث، نظرًا لأن إحصاءات الأمم المتحدة تصحح أحيانًا مجموعات البيانات التاريخية. النتائج متاحة على منصة البيانات المفتوحة.

لين وآخرون (2018م) وجدوا أن الاتجاهات السائدة في البلدان والعالم بقيت ثابتة مع وجود تحديث للبيانات. بالإضافة إلى ذلك، أعادت دراسة حديثة أجرتها وزارة البيئة السويسرية بشكل مستقل حساب الاتجاهات السويسرية وأعادت إنتاجها في حدود 1–4 % للفترة الزمنية التي درستها (1996–2015م). منذ عام 2006م، ظهرت أول مجموعة من معايير البصمة البيئية التي توضح بالتفصيل إجراءات الاتصال والحساب. أحدث إصدار هو المعايير المحدثة من عام 2009م.

• قياسات البصمة البيئية

لعام 2019، قدرت شبكة البصمة العالمية البصمة البيئية للبشرية بـ 1.75 كوكب الأرض. وهذا يعني، بحسب حساباتهم، أن احتياجات البشرية كانت أكثر بـ 1.75 مرة مما تجدده الأنظمة البيئية على كوكب الأرض. وإذا لم يخفض هذا المعدل من استخدام الموارد، فإن النموذج يتنبأ باستمرار التدهور البيئي وربما انخفاض دائم في القدرة الاستيعابية البشرية للأرض.

في عام 2007، بلغ متوسط المساحة الإنتاجية البيولوجية للشخص الواحد في جميع أنحاء العالم نحو 1.8 هكتارًا عالميًا (gha) للفرد. كان نصيب الفرد من البصمة البيئية في الولايات المتحدة 9.0 هكتارًا، وفي سويسرا 5.6 هكتارًا، في حين كان نصيب الفرد في الصين 1.8 هكتار عالمي.

في تقرير الكوكب الحي لعام 2022م، يوثق الصندوق العالمي للطبيعة انخفاضًا بنسبة 69 % في أعداد الفقاريات في العالم بين عام 1970م وحتى الوقت الحاضر، ويربط هذا الانخفاض بالبشرية التي تتجاوز القدرة البيولوجية العالمية بشكل كبير. قدر واكرناجل وريس في الأصل أن القدرة البيولوجية المتاحة لـ 6 بلايين

شخص على وجه الأرض في ذلك الوقت كانت نحو 1.3 هكتارًا للشخص الواحد، وهو أقل من 1.8 هكتارًا عالميًا المنشورة لعام 2006م، لأن الدراسات الأولية لم تستخدم الهكتارات العالمية ولم تشمل المنتجات الحيوية المناطق البحرية.

وفقًا لطبعة 2018م من حسابات البصمة الوطنية، أظهر إجمالي البصمة البيئية للبشرية اتجاهًا متزايدًا منذ عام 1961م، حيث زاد متوسطها 2.1 % سنويًا (SD = 1.9). بلغت البصمة البيئية للإنسانية 7.0 بليون هكتار في عام 1961م وزادت إلى 20.6 بليون هكتار في عام 2014م، نتيجة لارتفاع نصيب الفرد من استخدام الموارد والزيادة السكانية.

بلغ متوسط البصمة البيئية العالمية في عام 2014م 2.8 هكتار عالمي للشخص الواحد. تعد البصمة الكربونية الجزء الأسرع نموًا من البصمة البيئية وتمثل حاليًا نحو 60 % من إجمالي البصمة البيئية للبشرية.

ولم تتزايد القدرة البيولوجية للأرض بنفس معدل زيادة البصمة البيئية. وبلغ متوسط الزيادة في القدرة البيولوجية 0.5 % فقط سنويًا (SD = 0.7). وبسبب التكثيف الزراعي، بلغت القدرة الحيوية 9.6 بليون هكتار في عام 1961م وارتفعت إلى 12.2 بليون هكتار في عام 2016م.

ومع ذلك، فإن هذه القدرة الحيوية المتزايدة للبشر جاءت على حساب الأنواع الأخرى. وتضمن التكثيف الزراعي زيادة استخدام الأسمدة مما أدى إلى إغناء الجداول والبرك بالمغذيات؛ وزيادة استخدام المبيدات الحشرية التي أهلكت أعداد الملقحات؛ وزيادة سحب المياه مما أدى إلى انخفاض صحة الأنهار؛ وانخفاض الأراضي البرية أو البور مما أدى إلى انخفاض أعداد الحياة البرية على الأراضي الزراعية.

وهـذا يذكرنـا بـأن حسـابات البصمـة البيئيـة هـي حسـابات تتمحـور حـول الإنسـان، علـى افتـراض أن كل القـدرة الحيويـة لـلأرض متاحـة بشـكل مشـروع للبشـر. وإذا افترضنـا أنـه ينبغـي تـرك بعـض القـدرة البيولوجيـة لأنـواع أخـرى، فـإن مسـتوى التجـاوز البيئـي سـيزداد.

وفقًـا لواكرناجـل ومنظمتـه، كانـت الأرض في حالـة «تجـاوز»، حيـث تسـتخدم البشـرية المزيـد مـن المـوارد وتولـد النفايـات بوتيـرة لا يسـتطيع النظـام البيئـي تجديدهـا، منـذ السـبعينات.

وفقًـا لحسـابات شـبكة البصمـة العالميـة (GFN)، يسـتخدم الأشـخاص حاليًـا مـوارد الأرض بنحـو 175 % مـن طاقتهـم. وهـذا يعنـي أن البشـرية قـد تجـاوزت بكثيـر القـدرة الاسـتيعابية البشـرية لـلأرض عنـد مسـتويات الثـراء الحاليـة.

وبحسـب شـبكة البصمـة العالميـة: في عـام 2022، صـادف يـوم تجـاوز الأرض يـوم 28 يوليـو. ويمثـل يـوم تجـاوز الأرض التاريـخ الـذي اسـتنفدت فيـه البشـرية ميزانيـة الطبيعـة لهـذا العـام. وبالنسـبة لبقيـة العـام، فإننـا نحافـظ علـى عجزنـا البيئـي مـن خـلال اسـتنزاف مخـزون المـوارد المحليـة وتجميـع ثانـي أكسـيد الكربـون في الغـلاف الجـوي. نحـن نعمـل في حالـة التجـاوز.

في الوقـت الحالـي، يعيـش أكثـر مـن 85 % مـن البشـر في بلـدان تعانـي مـن عجـز بيئـي. وهـذا يعنـي أن مواطنيهـا يسـتخدمون المزيـد مـن المـوارد ويولـدون المزيـد مـن النفايـات والتلـوث أكثـر ممـا يمكـن اسـتدامته مـن خـلال القـدرة البيولوجيـة الموجـودة داخـل حدودهـم الوطنيـة.

في بعـض الحـالات، تعانـي البلـدان مـن عجـز بيئـي لأن نصيـب الفـرد مـن البصمـة البيئيـة أعلـى مـن هكتـارات الأراضـي المنتجـة بيولوجيـا المتاحـة في المتوسـط علـى مسـتوى العالـم (قُـدرت هـذه بأقـل من 1.7 هكتار للشـخص الواحـد في عـام 2019م).

ومن الأمثلة على ذلك فرنسا وألمانيا والمملكة العربية السعودية. وفي حالات أخرى، قد يكون نصيب الفرد من استخدام الموارد أقل من المتوسط العالمي المتاح، ولكن البلدان تعاني من عجز بيئي لأن عدد سكانها مرتفع بالقدر الكافي الذي يجعلها لا تزال تستخدم المزيد من الأراضي المنتجة بيولوجيا مقارنة بما لديها داخل حدودها الوطنية. ومن الأمثلة على ذلك الصين والهند والفلبين.

وأخيرًا، تعاني العديد من البلدان من عجز بيئي بسبب ارتفاع نصيب الفرد في استخدام الموارد وارتفاع عدد السكان؛ تميل مثل هذه البلدان إلى التفوق على قدراتها البيولوجية الوطنية المتاحة. ومن الأمثلة على ذلك اليابان والمملكة المتحدة والولايات المتحدة.

وفقًا لويليام ريس، الذي كتب في عام 2011م، «يمتلك المواطن العالمي العادي بصمة بيئية تبلغ نحو 2.7 هكتارًا في المتوسط العالمي، بينما لا يوجد سوى 2.1 هكتار عالمي من الأراضي المنتجة بيولوجيًا والمياه للفرد على الأرض. وهذا يعني أن البشرية قد تجاوزت بالفعل البصمة العالمية. القدرة البيولوجية بنسبة 30 %، وتعيش حاليًا بشكل غير مستدام بسبب استنفاد مخزونات رأس المال الطبيعي Natural capital.

ومنذ ذلك الحين، وبسبب النمو السكاني والتحسينات الإضافية في الحسابات، انخفضت القدرة البيولوجية المتاحة للشخص الواحد إلى أقل من 1.7 هكتار للشخص الواحد على مستوى العالم.

ومؤخرًا، كتب ريس: «من المحتمل أن يكون المشروع البشري في حالة تجاوز كارثي، حيث يستغل المحيط البيئي بما يتجاوز قدرة النظم البيئية على التجدد ويملأ أحواض النفايات الطبيعية بالفيضان. إن السلوك الاقتصادي الذي كان ذات يوم عقلانيا أصبح غير قادر على التكيف. هذا الوضع هو النتيجة الحتمية

للنزعـات التوسـعية الطبيعيـة للإنسـانية، والتـي تعززهـا النظريـة الاقتصاديـة النيوليبراليـة الفارغـة بيئيًـا والموجهـة نحـو النمـو».

يعتقـد ريـس حاليًـا أن تراجـع النمـو الاقتصـادي والديموغرافي ضـروري لإنشـاء مجتمعـات ذات بصمـات بيئيـة صغيـرة بمـا يكفـي لتبقـى مسـتدامة وتتجنـب الانهيـار الحضاري.

• البصمة البيئية حسب البلدان

وصـل متوسـط البصمـة البيئيـة العالميـة في عـام 2013م إلـى القيمـة 2.8 هكتـار عالمـي للشـخص الواحـد. ويتـراوح المتوسـط لـكل بلـد مـن 14.3 (دولـة قطـر) إلـى 0.5 (دولـة اليمـن) هكتـار عالمـي للشـخص الواحـد. هنـاك أيضًـا تبايـن كبيـر داخـل البلـدان، بنـاءً علـى أنمـاط الحيـاة الفرديـة والثـروة.

في عـام 2022م، كانـت البلـدان ذات البصمـة البيئيـة العشـرة الأولـى للفـرد هـي: قطـر (14.3 هكتـار عالمـي)، لوكسـمبورغ (13.0)، جـزر كـوك (8.3)، البحريـن (8.2)، الولايـات المتحـدة (8.1)، الإمـارات العربيـة المتحـدة (8.1)، كنـدا (8.1)، إسـتونيا (8.0)، الكويـت (7.9) وبليـز (7.9).

يعثـر علـى إجمالـي البصمـة البيئيـة للدولـة عـن طريـق ضـرب البصمـة البيئيـة للفـرد في إجمالـي عـدد السـكان. يتـراوح إجمالـي البصمـة البيئيـة مـن 5,540,000,000 هكتـار عالمـي مسـتخدم (الصـين) إلـى 145,000 هكتـار عالمـي مسـتخدم (جـزر كـوك).

في عـام 2022م، كانـت الـدول العشـر الأولـى مـن ناحيـة إجمالـي البصمـة البيئيـة هـي: الصـين (5.54 بليـون هكتـار عالمـي)، الولايـات المتحـدة (2.66 بليونًـا)، الهنـد (1.64 بليونًـا)، الاتحـاد الروسـي (774 مليونًـا)، اليابـان (586 مليونًـا)، البرازيـل

(542 مليونًا)، وإندونيسيا (460 مليونًا)، وألمانيا (388 مليونًا)، وجمهورية كوريا (323 مليونًا)، والمكسيك (301 مليونًا). كانت هذه الدول العشر التي تشكل أكبر ضغط على خدمات النظام البيئي العالمي.

تضمن تقرير حالة البيئة التابع لحكومة أستراليا الغربية مقياسًا للبصمة البيئية للمواطن الأسترالي الغربي بمعدل سبعة أضعاف متوسط البصمة لكل شخص على الكوكب في عام 2007م، أي ما مجموعه نحو 15 هكتارًا.

الاتجاه العام هو أن تصبح مستويات المعيشة الأعلى أقل استدامة. وكما هو الحال دائما، فإن النمو السكاني له تأثير ملحوظ على إجمالي الاستهلاك والإنتاج، حيث يصبح عدد السكان الأكبر أقل استدامة. تستمر معظم البلدان في جميع أنحاء العالم في اكتساب المزيد من السكان، على الرغم من أن القليل منها يبدو أنه استقر أو بدأ في الانكماش. وتؤكد المعلومات الناتجة عن التقارير على المستوى الوطني والإقليمي وعلى مستوى المدن الاتجاه العالمي نحو أن تصبح المجتمعات أقل استدامة بمرور الوقت.

يبلغ متوسط البصمة البيئية في المملكة المتحدة 5.45 هكتار عالمي للفرد (gha) مع اختلافات بين المناطق تتراوح من 4.80 gha (ويلز) إلى 5.56 gha (شرق إنجلترا). جرى تصميم BedZED، وهو مشروع سكني متعدد الدخل يضم 96 منزلًا في جنوب لندن، من قبل Bill Dunster Architects ومستشاري الاستدامة BioRegional لصالح Peabody Trust. مع كونها مأهولة بأشخاص عاديين نسبيًا، فقد وجد أن مساحة BedZED تبلغ 3.20 هكتارًا للفرد (لا يشمل الزوار)، وذلك بسبب إنتاج الطاقة المتجددة في الموقع، والهندسة المعمارية الموفرة للطاقة، وبرنامج أنماط الحياة الخضراء الشامل الذي شمل أول مشروع في لندن نادي مشاركة السيارات.

• البصمة البيئية على المستوى الفـــردي

في دراسة أجريت عام 2012م للمستهلكين الذين يتصرفون «باللون الأخضر» مقابل اللون «البني» (حيث من المتوقع أن يكون للأشخاص «الخضر» تأثير بيئي أقل بكثير من المستهلكين «البنيين»)، «لم يجد البحث فرقًا كبيرًا بين البصمة الكربونية للمستهلكين «الخضر» و «البنيين». وخلصت دراسة أجريت عام 2013م إلى الشيء نفسه.

• التقييمـــات

نُشر النقد المبكر من قبل فان دن بيرغ وفيربروجن في عام 1999م، وجرى تحديثه في عام 2014م. ونشرت زميلتهما فيالا انتقادات مماثلة في عام 2008م.

وقد نشرت مراجعة شاملة بتكليف من المديرية العامة للبيئة (المفوضية الأوروبية) في يونيو/حزيران 2008م. وقد وجدت المراجعة التي أجرتها المفوضية الأوروبية أن المفهوم فريد ومفيد لتقييم التقدم الذي أمكن إحرازه في إستراتيجية الموارد الخاصة بالاتحاد الأوروبي. وأوصوا أيضًا بمزيد من التحسينات في جودة البيانات والمنهجيات والافتراضات.

نشر بلومكفيست وآخرون ورقة نقدية في عام 2013م. وأدى ذلك إلى رد من ريس وواكرناجل (2013م)، وتعليق من بلومكفيست وآخرين (2013م).

يوجد جانب إضافي من النقد من جيامبيترو وسالتيلي (2014م)، مع رد من جولد فينغر وآخرين، 2014م، وتعليق من جيامبيترو وسالتيلي (2014م). لخصت ورقة مشتركة كتبها الباحثون النقديون (جيامبيترو وسالتيلي) والمؤيدون (مختلف الباحثين في شبكة البصمة العالمية) شروط الجدل في ورقة نشرتها مجلة المؤشرات البيئية. جرى تقديم تعليقات إضافية بواسطة فان دن بيرغ وغرازي (2015م).

أجرى عدد من الوكالات الحكومية الوطنية أبحاثًا تعاونية أو مستقلة لاختبار مدى موثوقية طريقة حساب البصمة البيئية ونتائجها. لقد أكدوا إلى حد كبير نتائج الحسابات. وحتى أولئك الذين أعادوا إنتاج التقييم فقد حصلوا على نتائج شبه متطابقة. وتشمل هذه المراجعات مراجعات سويسرا وألمانيا وفرنسا وأيرلندا والإمارات العربية المتحدة والمفوضية الأوروبية.

قامت شبكة البصمة العالمية بتلخيص القيود المنهجية والانتقادات في تقرير شامل متاح على موقعها على الإنترنت.

وبالمثل، يرى نيومان (2006م) أن مفهوم البصمة البيئية قد يكون له تحيز ضد الحضر، لأنه لا يأخذ في الاعتبار الفرص التي يخلقها النمو الحضري. ويجادل بأن حساب البصمة البيئية للمناطق ذات الكثافة السكانية العالية، مثل مدينة أو بلد صغير به عدد كبير نسبيًا من السكان - على سبيل المثال. نيويورك وسنغافورة على التوالي - قد يؤدي إلى تصور هؤلاء السكان على أنهم «طفيليون».

ولكن في الواقع، فإن البصمات البيئية توثق فقط اعتماد المدن على الموارد في المناطق الريفية النائية. يجادل النقاد بأن هذا توصيف مشكوك فيه، حيث إنّ المزارعين في الدول المتقدمة قد يستهلكون موارد أكثر بسهولة من سكان الحضر، بسبب متطلبات النقل وعدم توفر وفورات الحجم.

علاوة على ذلك، تبدو مثل هذه الاستنتاجات الأخلاقية بمثابة حجة لصالح الاكتفاء الذاتي. لكن هذا يشبه إلقاء اللوم على الميزان في الاختيارات الغذائية للمستخدم. وحتى لو كانت هذه الانتقادات صحيحة، فإنها لا تلغي قيمة قياس البصمات البيئية للمدن أو المناطق أو الدول المختلفة ومقارنتها. يمكن لمثل هذه التقييمات أن توفر رؤى مفيدة حول نجاح أو فشل السياسات البيئية المختلفة.

وبما أن هذا المقياس يتتبع القدرة البيولوجية، فإن استبدال النظم البيئية الأصلية بمزارع أحادية زراعية عالية الإنتاجية يمكن أن يؤدي إلى إسناد قدرة بيولوجية أعلى إلى هذه المناطق. على سبيل المثال، فإن استبدال الغابات القديمة أو الغابات الاستوائية بغابات أو مزارع أحادية الزراعة قد يؤدي بالتالي إلى تقليل البصمة البيئية. وبالمثل، إذا كانت إنتاجية الزراعة العضوية أقل من تلك الخاصة بالطرائق التقليدية، فقد يؤدي ذلك إلى «معاقبة» الأولى ببصمة بيئية أكبر.

تحاول مؤشرات التنوع البيولوجي التكميلية معالجة هذا الأمر. يجمع تقرير الكوكب الحي التابع للصندوق العالمي للطبيعة بين حسابات البصمة ومؤشر الكوكب الحي للتنوع البيولوجي. تم إنشاء بصمة بيئية معدلة تأخذ التنوع البيولوجي بعين الاعتبار لاستخدامها في أستراليا.

لقد استخدم علماء البيئة البصمة البيئية لسنوات عديدة كوسيلة لقياس التدهور البيئي من ناحية صلته بالفرد. في الآونة الأخيرة، كان هناك جدل حول موثوقية هذه الطريقة.

حماية البيئة

حماية البيئة Environmental Protection هي ممارسة حماية البيئة الطبيعية من قبل الأفراد والجماعات والحكومات. وتتمثل أهدافها في الحفاظ على الموارد الطبيعية والبيئة الطبيعية الموجودة، وإصلاح الأضرار وعكس الاتجاهات حيثما أمكن ذلك. وبسبب ضغوط الاستهلاك المفرط والنمو السكاني والتكنولوجيا، فإن البيئة الفيزيائية الحيوية تتدهور، بشكل دائم في بعض الأحيان. وقد تم الاعتراف بهذه الحقيقة، وبدأت الحكومات في فرض قيود على الأنشطة التي تسبب التدهور البيئي. ومنذ الستينات، خلقت الحركات البيئية وعيًا أكبر بالمشكلات البيئية المتعددة. هناك خلاف حول مدى التأثير البيئي للنشاط البشري، لذلك تتم مناقشة تدابير الحماية في بعض الأحيان.

إذا كانت البيئة هي «كل ما يحيط بنا»، فإن انهيارها الوشيك يجب أن يكون سببًا لقلق خطير بين جميع أفراد جنسنا البشري. وكما يقال في كثير من الأحيان في دوائر الاستدامة، عندما تنهار البيئة، ينهار كل شيء. هناك العديد من الحالات التاريخية التي يمكننا أن نختارها ونتعلم منها: جزيرة إيستر في المحيط الهادئ، وحضارة المايا في ولاية يوكاتان، وإمبراطورية الخمير في ما يعرف حاليًا بكمبوديا. ومع ذلك، بينما نأسف لهذا التدمير المتسارع لبيئة كوكبنا وأنظمته البيئية، تواصل غالبية البشرية المساهمة في استمرار تدهورها وتدميرها كما لو كانت هذه مجرد إشاعات.

يطرح هذا الموقف السؤال: لماذا؟، فضلاً عن السؤال الأكثر أهمية: ما الذي يمكن فعله لتحويل هذه العقلية الراضية عن النفس إلى عقلية تحافظ على البيئة عزيزة وتحمي هذا الشيء الذي يمنحنا كل ما نحتاجه للحياة تقريباً؟

والحقيقة هي أن العديد من الأشياء التي تعتمد عليها صحتك وازدهارك في المستقبل معرضة لخطر شديد: استقرار المناخ، وقدرة النظم الطبيعية على الصمود وإنتاجيتها، وجمال العالم الطبيعي، والتنوع البيولوجي.

الجواب الأكثر شيوعاً وعملياً على هذا التناقض الظاهري هو زيادة الوعي وزيادة معرفتنا بالبيئة ومشكلاتها، ومن ثم سنحميها. ولسوء الحظ، فإننا نفعل ذلك منذ أكثر من أربعة عقود من خلال التربية البيئية، وما زلنا نسير بشكل أسرع وأسرع نحو الهاوية. ما المشكلة؟ المشكلة هي مشكلة التعليم.

• ما هي حماية البيئة؟

حماية البيئة هي فكرة جديدة نسبيا. قبل خمسين عامًا لم تكن الكليات تقدم درجات علمية في العلوم البيئية. لم يكن لدى الصحف أعمدة حول البيئة. ولم يمارس المحامون القانون البيئي من قبل. لم يكن هناك فرع من الفلسفة يسمى الأخلاق البيئية. لم يكن لدى الشركات سياسات بيئية. أصبحت كل هذه الأمور شائعة اليوم لأن حماية البيئة، أيًا كان تعريفها، قد ترسخت في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك، لا توجد وجهة نظر متفق عليها عالميًا حول ما يشكل الحماية البيئية. تلعب العديد من المصالح الاقتصادية المختلفة ووجهات النظر الفلسفية والقيم الثقافية دورًا عند النظر فيها.

وتجري مناقشة مفاهيم حماية البيئة بقوة في الأمم المتحدة، والكونجرس الأميركي، وغير ذلك من الجمعيات الوطنية؛ وفي مجالس إدارة الشركات ومجموعات المصلحة العامة البيئية؛ وبين الأفراد. حماية البيئة يمكن أن تعني أشياء مختلفة جدًا لأناس مختلفين. بالنسبة للعديد من صناع السياسات البيئية، تعني حماية البيئة إبقاء مستويات التلوث منخفضة، وقد تم تخصيص الكثير من الاهتمام – الحكومي والأكاديمي والفرد – لهذا الهدف المهم. والواقع

أن قسماً كبيراً من هذا الكتاب يستكشف التلوث، لأنه سبب أساسي لمشكلاتنا البيئية.

ومع ذلك، يدرك العديد من المفكرين الآن القيود المفروضة على مكافحة التلوث كما يتم التعامل معها عادة، والتي تكون عن طريق الحد من تصريف الملوثات في الماء والانبعاثات في الهواء من المصادر الصناعية والبلدية الكبيرة، من خلال «السماح» (إصدار تصاريح) بكمية ثابتة فقط. منهم.

بل إن حماية البيئة أصبحت تدور على نحو متزايد حول الاستدامة، وهو مفهوم أوسع كثيراً. وهو يشمل المخاوف بشأن النظم البيئية بأكملها وحول التأثيرات التراكمية التي تتطلب تقييم جميع المساهمين في الأضرار البيئية التي تحدث في موقع معين (أو العالم كله في حالة تغير المناخ) والحد من التلوث الناجم عنهم جميعًا.

وبتطبيق هذا النهج، سيتم تنظيف نهر حضري ملوث ليس فقط عن طريق منع المصانع ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي من تصريف مياه الصرف الصحي فيه من الأنابيب، ولكن أيضًا عن طريق تقليل الجريان السطحي من الشوارع القريبة والجريان السطحي الزراعي عند المنبع، من خلال حظر إلقاء زيت المحركات المستعمل في العواصف. المصارف التي تطلق محتوياتها في النهر، عن طريق منع براز الكلاب في الحدائق على طول الشاطئ، وما إلى ذلك. ويمكن أيضًا أخذ التأثيرات الصحية التراكمية في الاعتبار عند تحديد الأولويات البيئية واتخاذ الإجراءات اللازمة.

قد يكون السكان المثقلون بالفعل بالتلوث والوضع الاجتماعي والاقتصادي المنخفض مرشحًا أكثر ملاءمة لضوابط أفضل لتلوث الهواء من السكان الأكثر حظًا، وقد يكون السكان الأكثر حظًا مرشحًا أكثر ملاءمة لمحرقة نفايات جديدة من المحرقة المثقلة بالفعل.

لذا فإن حماية البيئة تعني - أو ينبغي أن تعني - الحد من التلوث، واتخاذ خيارات مستدامة، والبحث عن حلول شاملة، وتوزيع أعباء وفوائد التصنيع بشكل عادل بين جميع السكان، مع الأخذ في الاعتبار أوضاعهم الحالية، ومساهمتهم في الأضرار التي تتم معالجتها، والموارد المتاحة لهم.

• لماذا تحتاج البيئة إلى الحماية؟

السبب الأكثر وضوحا، إن لم يكن الأكثر خدمة للذات، هو أن الجنس البشري يحتاج إلى البيئة. يعد هذا مفهومًا جديدًا في بعض النواحي، لأنه حتى أقل من مائة عام مضت، كان يُعتقد أن البيئة ذاتية الشفاء إلى حد كبير، وببساطة أكبر من أن يتم تقويضها، وجليلة جدًا، وأساسية جدًا بحيث لا يمكن تقويضها بشكل خطير، خاصة من قبل مخلوقات مثل البشر. - نوع تقدمي ومتكيف وحسن النية بشكل أساسي. يحتاج الأطفال إلى الحماية؛ الملكية تحتاج إلى الحماية؛ البلدان بحاجة إلى الحماية. لكن البيئة؟

ومن وجهة نظرنا في القرن الحادي والعشرين فإن مثل هذا التفكير مناف للعقل. على المستوى العالمي، أصبح من المسلم به الآن بشكل عام أن البيئة تحتاج إلى الحماية. في المائة عام الأخيرة، كانت هناك زيادة هائلة في أنواع وكميات الملوثات، وبعضها مواد اصطناعية قمنا بتصنيعها، وهي قادمة حديثا إلى الكوكب ولا نعرف بعد عواقبها على المدى الطويل.

لقد حدث نمو سكاني هائل، مما أدى إلى زيادة الطلب على الموارد الطبيعية والتنافس على المياه النظيفة والغذاء في أجزاء كثيرة من العالم. وهناك ظاهرة مختلفة تحدث أيضاً في بعض الأماكن: الثراء الذي يعبر عنه معدل الاستهلاك المفرط وغير المسبوق، واللامبالاة الملحوظة بالنفايات الناجمة عن ذلك الاستهلاك، والتي تسد محيطاتنا وتسمم مياهنا الجوفية.

إن تغير المناخ وعواقبه، على الرغم من كونها مروعة بشكل خاص، ليست سوى أحدث الإدخالات في قائمة طويلة من الأضرار التي يسببها الإنسان للبيئة، من إزالة الغابات إلى الضباب الدخاني، والتي أصبحت على نحو متزايد موضوعاً لمناقشة السياسات ومحاولات الرقابة التنظيمية في جميع أنحاء العالم. وفي مواجهة مثل هذه الاعتداءات، لا يمكن للبيئة أن تكون المدافعة عن نفسها، فهي تحتاج إلى أصوات بشرية وعمل بشري.

• كيف أصبحت حماية البيئة همًا مجتمعيًا؟

في معظم تاريخنا البشري، كان للإنسان علاقة معقدة مع البيئة. لقد خفنا عواصفها وبراكينها، ومخلوقاتها من الأسود إلى الجراد. لقد تلاعبنا بها لآلاف السنين، حيث قمنا بإعادة توجيه الأنهار للري وحرق الغابات لإفساح المجال أمام المحاصيل. وفي الوقت نفسه، استمتعنا بها ووقّرناها، كما تظهر لوحاتنا وأدبنا وموسيقانا (مثل سمفونية بيتهوفن الرعوية العظيمة)، والأنشطة الترفيهية. وبدءاً من القرن الثامن عشر مع الثورة الصناعية، قمنا بنهبها وتلويثها بشكل متزايد.

بعد الحرب العالمية الثانية، ونتيجة للتقدم التكنولوجي والأرباح التجارية ذات الصلة، قمنا باستمرار بتغييرها بمواد كيميائية جديدة وغير مفهومة. ومع ذلك، نادرًا ما بذل الناس الكثير من الجهد لحمايتها. من المؤكد أنه كانت هناك إجراءات معزولة لحماية البيئة. قام الملوك بتسييج اللعبة التي اصطادوها، وكانت الحضارات القديمة تحرس إمدادات المياه من التلوث. في وقت مبكر من عام 300 قبل الميلاد، تناولت أطروحة هندية اسمها أرثاشاسترا Arthashastra، بإسهاب المخاطر التي يسببها الإنسان على البيئة.

بـدأ الوعـي الواسـع بالبيئـة وأهميتهـا في التطـور في العصـر الحديـث خـلال أواخـر القـرن التاسـع عشـر وأوائـل القـرن العشـرين، عندمـا ظهـرت في الولايـات المتحـدة منظمـات غيـر ربحيـة مثـل جمعيـة أودوبـون الوطنيـة والـوكالات الفيدراليـة مثـل جمعيـة الأسـماك والأسـماك. تم إنشـاء خدمـة الحيـاة البريـة، وبـدأ أشـخاص مثـل جـون موير وثيـودور روزفلـت في التعبيـر عـن القيـم البيئيـة.

ولكـن لـم تصبـح حمايـة البيئـة علـى نطـاق عالمـي قيمـة اجتماعيـة مهمـة إلا في النصـف الثانـي مـن القـرن العشـرين. كان هـذا التحـول سـريعًا ومثيـرًا، وكان أمـرًا جيـدًا. في كثيـر مـن الأحيـان لا يمكـن للمـرء أن يشـير إلـى مصـدر واحـد لتحـول كهـذا. ولكـن هنـا نسـتطيع: إنـه الربيـع الصامـت لراشـيل كارسـون. وفي مقدمـة إعـادة طبـع الكتـاب، عبّـر نائـب الرئيـس آل جـور عـن الأمـر بهـذه الطريقـة: «جـاء الربيـع الصامـت كصرخـة في البريـة، وهـي حجـة محسوسـة بعمـق، ومدروسـة بدقـة، ومكتوبـة ببراعـة وغيـرت مسـار التاريـخ، يمكـن اعتبـار نشـر كتـاب «الربيـع الصامـت Silent Spring» بدايـة للحركـة البيئيـة الحديثـة.

في كتابـه «الربيـع الصامـت»، سـلط كارسـون الضـوء لأول مـرة علـى آثـار المـواد الكيميائيـة المسـتخدمة في المقـام الأول لقتـل الحشـرات الضـارة. أصبحـت هـذه المـواد الكيميائيـة منتشـرة في كل مـكان في البيئـة مـن خـلال الـرش، ولكنهـا أيضًـا تسـمم الطيـور والأسـماك والنـاس عـن غيـر قصـد. يلمـح الربيـع الصامـت إلـى أبيـات مـن قصيـدة كتبهـا جـون كيتـس حيـث «ذبـل البـردي مـن البحيـرة / ولا تغنـي الطيـور». العديـد مـن المـواد الكيميائيـة التـي وصفتهـا أصبحـت الآن مقيـدة أو محظـورة، بمـا في ذلـك الـ DDT، والألدريـن، والديلدريـن، والباراثيـون.

• أهمية حماية البيئة

تمثل مشكلات حماية البيئة والتنمية المستدامة للموارد المادية، في الوقت الحاضر، الشغل الشاغل لجميع دول العالم، وهدفًا عالميًا. وتحقيقا لهذه الغاية، تم اعتماد سلسلة من الأحكام الدولية ذات الرسالة العالمية عن طريق التعاون والتعاون بين الدول. لقد تم النص على التدابير الدولية المتعلقة بحماية البيئة أو ذكرها أو الاعتراف بها على مستوى القانون الدولي العام أو القانون الاتفاقي.

لقد جعل مفهوم التنمية المستدامة المجتمع واعيا، وفي الوقت نفسه، يدرك دور وأهمية العوامل البيئية وكذلك الوظائف والخدمات التي تقدمها البيئة. ويجب أن تؤخذ التنمية المستدامة بعين الاعتبار في إنشاء خط العمل على مستوى العملية المجتمعية، وتحديد المتطلبات المتعلقة بالمعلومات حول الأهداف الخاصة بالمراهقين الطويلين والقصيرين التي يتم الاعتناء بها في جميع المجالات الخمسة التي لها تأثير على البيئة.

يُقصد بالتنمية الدائمة Durable Development أو أسلوب الحياة الدائم Durable Way Of Life تجمع عام للأنشطة البشرية، مع أخذها في الاعتبار في شكلها الديناميكي، وكذلك المحيط الحيوي في شكله الديناميكي الخاص.

يجب أن تسمح هذه العلاقات باستمرارية الحياة البشرية، وتسمح بإشباع احتياجات كل فرد، وكذلك تنمية الثقافات المتنوعة، ولكن بطريقة تتماشى بها التغييرات التي تحدث اعتمادًا على طبيعة النشاط البشري مع حدود معينة، بحيث لا يتضرر السياق البيوفيزيائي.

إن الوضع المتعلق بحماية البيئة والتنمية المستدامة له أهمية كبيرة وواقعية. إن تعريف مفهوم التنمية المستدامة لابد أن يرتبط بمفهومين أساسيين:

- القدرة الوقائية التي يتمتع بها الكوكب، والتي تتميز بإيقاع طبيعي دقيق، وديناميكية فيزيائية حيوية وكيميائية حيوية معقدة، بالإضافة إلى خصائص معينة أخرى (للإقليم، والامتصاص، والنوع البيولوجي، وما إلى ذلك)، والتي يتم من خلالها تحديد نظام يعيش فيه الفرد وكأنه نظام مغلق.
- يجب أن ترتبط البرمجة الدائمة بالبرامج الاجتماعية للتنمية الاقتصادية والتقنية والاجتماعية باتباع أهداف متوافقة مع الخلافة البيئية، بطريقة تضمن تلبية الاحتياجات اليومية دون المساس بالأجيال القادمة.

إن البرمجة الجيدة للتنمية المستدامة يجب أن تتناسب مع مفهوم «القدرة على الحماية Protection Capacity» وأن يتم بناؤها مع احترام مبدأ الكفاءة الدائمة، الذي يفترض أنه في المواقف التي يدمر فيها الفرد بعض الموارد الطبيعية التي يمكن إصلاحها، وعليه أن يتخذ التدابير اللازمة لتجديدها، ومع احترام مبدأ التدخل للتعويض، أي أن من يستخدم أو يأخذ رأس مال طبيعي لا يمكن تجديده عليه أن يضمن التوازن بطريقة تعويضية.

ويجب تحقيق التنمية المستدامة بطريقة تقلل من النتائج السلبية للهياكل الاصطناعية، وفي نفس الوقت تلبي بعض احتياجات الناس، وتضمن حيوية الأجيال القادمة أيضًا. علاوة على ذلك، عند وضع وتعزيز سياسات حماية البيئة، تتعاون الجماعة الأوروبية والدول الأعضاء، وفقًا لاختصاصاتها التي تم تحديدها من خلال المعاهدات التأسيسية، مع دول ثالثة وكذلك مع المؤسسات القضائية والمنظمات الدولية والإقليمية التي لديها أيضًا السمات الموجودة في هذا المجال.

لقد قام الاتحاد الأوروبي، على سبيل المثال، بدورٍ حاسم على المستوى الدولي، من خلال صياغة السياسات العالمية المتعلقة بالبيئة، حيث قام بالتوقيع والتصديق على سلسلة من الاتفاقيات الدولية المتعلقة بحماية البيئة. كما أن الأمم المتحدة، بعد أن أشرفت على انعقاد بعض أهم المؤتمرات المتعلقة بالبيئة، كان لها إسهام حيوي في مجال حماية البيئة والحفاظ عليها. ويجب التأكيد على برمجة الحماية والتنمية المستدامة على المستوى الدولي والإقليمي والوطني، وكذلك فيما يتعلق بمجموعة السلطات العامة بأكملها.

• أسباب وعواقب المشكلات البيئية

إن الضغوط على بيئة العالم والنظم الإيكولوجية عديدة وتأتي من مصادر لا تعد ولا تحصى ومتنوعة. تتعرض الموارد الطبيعية والأراضي والمياه والغابات ومختلف أنواع الحيوانات للتدهور أو الضياع بمعدل ينذر بالخطر في العديد من الأماكن في جميع أنحاء العالم. أسباب حجم ووتيرة هذا الدمار كثيرة ومعقدة. وهي تشمل الفقر، والجشع، والنماذج الاقتصادية التي لا يمكن الدفاع عنها، وسوء إدارة الموارد، والافتقار إلى التعليم الكافي والموظفين المدربين، والتخلف، وإزالة الغابات، والتخلص غير القانوني من النفايات الخطرة، والاحتباس الحراري، واستنفاد طبقة الأوزون، والتلوث وغيرها الكثير. في الأساس، يكمن الإفراط في التركيز على التنمية الاقتصادية دون اعتبارات النظام البيئي في قلب السبب وراء تعرض بيئة كوكبنا لهذا الخطر.

• نهـــج حمايـــة البيئـــة

■ الاتفاقيات البيئية الطوعية

في البلدان الصناعية، غالبًا ما توفر الاتفاقيات البيئية الطوعية منصة للشركات للاعتراف بها لتجاوز الحد الأدنى من المعايير التنظيمية وبالتالي دعم تطوير أفضل الممارسات البيئية. على سبيل المثال، في الهند، يعمل صندوق تحسين البيئة (EIT) على حماية البيئة والغابات منذ عام 1998. وفي البلدان النامية، مثل أمريكا اللاتينية، تُستخدم هذه الاتفاقيات بشكل أكثر شيوعًا لمعالجة مستويات كبيرة من عدم الامتثال للقواعد التنظيمية الإلزامية.

■ نهـج النظـم البيئيـة

يهدف نهج النظم البيئية لإدارة الموارد وحماية البيئة إلى النظر في العلاقات المتبادلة المعقدة للنظام البيئي بأكمله في عملية صنع القرار بدلا من مجرد الاستجابة لقضايا وتحديات محددة. من الناحية المثالية، ستكون عمليات صنع القرار في إطار هذا النهج بمثابة نهج تعاوني للتخطيط وصنع القرار يشمل مجموعة واسعة من أصحاب المصلحة عبر جميع الإدارات الحكومية ذات الصلة، بالإضافة إلى ممثلي الصناعة والمجموعات البيئية والمجتمع. ويدعم هذا النهج بشكل مثالي تبادلاً أفضل للمعلومات، وتطوير استراتيجيات حل الصراعات، وتحسين الحفاظ على البيئة الإقليمية. تقوم الأديان أيضًا بدورٍ مهمٍ في الحفاظ على البيئة.

• الاتفاقيات البيئية الدولية

العديد من موارد الأرض معرضة للخطر بشكل خاص لأنها تتأثر بالتأثيرات البشرية عبر مختلف البلدان. ونتيجة لذلك، تبذل البلدان العديد من المحاولات

لتطوير الاتفاقيات التي توقعها حكومات متعددة لمنع الضرر أو إدارة آثار النشاط البشري على الموارد الطبيعية.

ويمكن أن يشمل ذلك الاتفاقيات التي تؤثر على عوامل مثل المناخ والمحيطات والأنهار وتلوث الهواء. تكون هذه الاتفاقيات البيئية الدولية في بعض الأحيان وثائق ملزمة قانونًا ولها آثار قانونية عندما لا يتم اتباعها، وفي أحيان أخرى، تكون اتفاقيات أكثر من حيث المبدأ أو تُستخدم كمدونات لقواعد السلوك. تتمتع هذه الاتفاقيات بتاريخ طويل حيث تم إبرام بعض الاتفاقيات متعددة الجنسيات منذ عام 1910م في أوروبا وأمريكا وأفريقيا.

تناولت العديد من الوكالات الفنية الدولية التي تشكلت بعد عام 1945م موضوعات بيئية. وبحلول أواخر الستينيات، دعت حركة بيئية متنامية إلى التعاون الدولي المنسق والمؤسسي. انعقد مؤتمر الأمم المتحدة التاريخي المعني بالبيئة البشرية في ستوكهولم عام 1972م، حيث أرسى مفهوم الحق في بيئة صحية. وأعقب ذلك إنشاء برنامج الأمم المتحدة للبيئة في وقت لاحق من ذلك العام. تشمل بعض الاتفاقيات الدولية الأكثر شهرة بروتوكول كيوتو لعام 1997 واتفاقية باريس لعام 2015م.

في 8 أكتوبر 2021م، أصدر مجلس حقوق الإنسان التابع للأمم المتحدة قرارًا يعترف بالوصول إلى بيئة صحية ومستدامة كحق عالمي. وفي القرار 13/48، دعا المجلس الدول في جميع أنحاء العالم إلى العمل معًا ومع الشركاء الآخرين لتنفيذ هذا الحق المعترف به حديثًا.

في 28 يوليو 2022م، صوتت الجمعية العامة للأمم المتحدة لصالح إعلان القدرة على العيش في «بيئة نظيفة وصحية ومستدامة» كحق عالمي من حقوق الإنسان.

• فوائد اتباع نهج شامل لحماية البيئة

■ على مســتوى الأفــراد

يوجد مفهوم منتشر في جميع أنحاء أفريقيا اسمه «أوبونتو». وهذا يعني أن الإنسان لا يكون إنسانًا كاملًا إذا كان هناك إنسان آخر يعاني، وهي تشبه ما في الثقافة الإسلامية قول النبي ﷺ ((**لا يؤمن أحدكم حتى يحب لأخيه ما يحب لنفسه**)). إنها فلسفة تربط الأسر والمجتمعات مع بعضها بعضًا. وتشير أيضًا إلى أن قوة الفرد تكون فقط بقدر قوة المجتمع الذي يدعمه. وتدعم عملية الحد من مخاطر الكوارث وحماية البيئة هذا النهج.

■ على مســتوى المجتمعــات

غالبًا ما تكون المجتمعات متماسكة بشكل وثيق وترتبط بالثقافات المشتركة والروابط الأسرية والطرق التقليدية. إن المجتمعات الآمنة هي تلك التي تعلمت كيف تعيش مع الأرض، وكذلك معها. ويتطلب تحقيق ذلك اعتماد طرق جديدة لمعالجة المشكلات القديمة، ولكن هذا لا يمكن أن يتحقق إلا إذا كان هناك وعي وقبول لعواقب وتكلفة استغلال الأرض بشكل خاطئ.

ليس من السهل تغيير الطريقة التي يتعامل بها المجتمع مع مشكلة ما، ولكن هناك قصص نجاح مجتمعية ملهمة توضح مزايا اعتماد تدابير حماية البيئة. وقد استجابت هذه المجتمعات للحاجة إلى التكيف أو إحياء الطرق التقليدية. وقد تعلمت مهارات جديدة، وبالتالي خفضت الضغط على مواردها البيئية، وتبنت ممارسات أفضل في استخدام الأراضي، الأمر الذي أدى إلى تنمية أكثر استدامة.

ومن خلال الإدارة السليمة للبيئة والموارد وحمايتها، نجح كل مجتمع إما في الحد من مخاطر وقوع كارثة أو زيادة قدرته على التعامل مع تأثير الكارثة. وفي كل حالة، أصبحت المجتمعات أكثر مرونة وأقل اعتماداً على المساعدة الخارجية.

هناك فوائد ثانوية كذلك. يؤدي النجاح في حل المشكلات وزيادة الاستقلال الاقتصادي إلى تطوير احترام الذات والاعتماد على الذات وتعزيز التعاون داخل المجتمع.

هناك دروس يمكن تعلمها من كيفية تعامل هذه المجتمعات مع تحديات التغيير. هناك حاجة إلى نقاش عام وتثقيف على كل مستوى من مستويات المجتمع لتحقيق المشاركة والتعاون طويل الأمد للمجتمعات لتحقيق مزايا حماية البيئة. وينبغي أن يمتد هذا التعاون عبر الحدود الوطنية حيث يشترك البلدان في مورد مشترك مثل النهر.

■ على مستوى الحكومات

غالبًا ما تركز المناقشات المتعلقة بحماية البيئة على دور الحكومة والتشريعات وإنفاذ القانون. ومع ذلك، يمكن النظر إلى حماية البيئة، بمعناها الأوسع، على أنها مسؤولية تقع على عاتق جميع الناس وليس مجرد مسؤولية حكومية.

من الأفضل أن تشمل القرارات التي تؤثر على البيئة مجموعة واسعة من أصحاب المصلحة بما في ذلك الصناعة ومجموعات السكان الأصليين والمجموعة البيئية وممثلي المجتمع. وتدريجيًا، تتطور عمليات صنع القرار البيئي لتعكس هذه القاعدة العريضة من أصحاب المصلحة، وتصبح أكثر تعاونًا في العديد من البلدان.

• ما هي القيم التي تحرك السياسة البيئية؟

لقد أصبحت حماية البيئة جزءًا لا يتجزأ من نسيجنا الاجتماعي العالمي منذ السبعينات على الأقل. ويصبح السؤال إذن هو ما هي القيم التي يجب تطبيقها عند حل قضايا بيئية محددة. ولنتأمل هنا هذا السيناريو المبسط: سوف يمر خط السكك الحديدية المقترح عبر أرض رطبة في طريقه من مدينة كبرى إلى أخرى، وهو ما من شأنه أن يقلل من عدد السيارات والتلوث على الطريق وينقل الركاب من وإلى المدن بشكل أسرع كثيرًا.

هل يجب الموافقة على خط السكة الحديد؟ أولئك الذين يتبنون وجهة نظر تتمحور حول الإنسان (مركزية الإنسان) يقدرون الفوائد الإنسانية من خط السكك الحديدية وسيقولون نعم. أولئك الذين يقدرون الفوائد غير البشرية للأراضي الرطبة (مثل موطن الحياة البرية) ويريدون حمايتها سيقولون لا (ما لم يكن إنقاذها يساعد البشر، كما قد يكون كذلك).

وهذا هو الانقسام القيمي الأساسي في عملية صنع السياسات البيئية: المصالح البشرية في مقابل المصالح البيئية الأوسع. إنه يثير سؤالًا أخلاقيًا حول ما إذا كان الجنس البشري يستطيع أن يفعل ما يريد للبيئة لتحقيق مصالحه الخاصة، أو ما إذا كان مجرد واحد من بين العديد من الكائنات الحية وليس له الحق في تدمير أجزاء من الكوكب واستنزاف موارده من أجل بقاءه. منفعتها الخاصة على حساب الأنواع الأخرى، وما إذا كان عليها في الواقع التزام بحماية هذه الكائنات الحية الأخرى.

• لماذا يصعب تحقيق حماية البيئة؟

بوسعنا أن نتخذ العديد من الخطوات المباشرة (إن لم يكن من السهل إنجازها) بشكل جماعي وفردي، والتي من شأنها أن تساعد في عكس اتجاه التدهور البيئي الذي شهدته السنوات القليلة الماضية، مثل الحفاظ على الطاقة، وتغيير نمط الحياة، وضوابط التلوث الصارمة، والحد من الاستهلاك، والتقنيات المبتكرة. ومع ذلك، فإننا نواجه صعوبة بالغة في اتخاذ هذه الخطوات. ونظراً للمخاطر والمكاسب، يتساءل المرء لماذا. هنا ستة أسباب.

أولاً، ليس لدى الناس سوى القليل من الحوافز الاقتصادية الطبيعية لحماية البيئة لأن الموارد البيئية غالباً ما تكون مجانية، أو تبدو كذلك. إن المثل الكلاسيكي «مأساة المشاعات»، الذي كتبه غاريت هاردن في عام 1968م والذي اعترف به خبراء الاقتصاد البيئيون على نطاق واسع باعتباره مفيداً، يسلط الضوء على المشكلة. مشاع هاردين هو مرعى مفتوح للجميع.

لسنوات عديدة، توفر مساحة وعشبًا كافيين لجميع الرعاة لرعي حيواناتهم بسهولة. ولكن بسبب نجاح الرعاة، يأتي الوقت الذي يتجاوز فيه عدد الحيوانات قدرة المشاعات. ومع ذلك، ونظرًا لأن موارد المشاعات مجانية، فإن الرعاة لا يكسبون شيئًا فرديًا عن طريق تقليص قطعانهم. لذلك يقرر كل راعي الاستمرار في إضافة الحيوانات. وبكلمات هاردين: «هنا تكمن المأساة. كل رجل مقيد بنظام يجبره على زيادة قطيعه بلا حدود - في عالم محدود. الخراب هو الوجهة التي يندفع إليها جميع الرجال، كل منهم يسعى لتحقيق مصلحته الخاصة في مجتمع يؤمن بحرية المشاعات. الحرية في المشاعات تجلب الخراب للجميع».

إن مشاعات هاردين هي كناية عن محيطاتنا، وهوائنا، وحياتنا البرية، وتربتنا، التي تبدو جميعها وفيرة للغاية. والرسالة هنا هي أن حماية البيئة

تتطلب العمل الجماعي والسيطرة على المصلحة الذاتية، وهو أمر يصعب تحقيقه.

وحتى لو نجحت الحوافز مثل الضرائب، أو القيم، أو القوانين القسرية في تغيير السلوك بطريقة وقائية بيئيًا -طريقة تحمي المشاعات- فإن هناك مشكلة ثانية تخلق تحديات إضافية. إنها الفجوة الزمنية التي توجد في كثير من الأحيان بين الوقت الذي يبدأ فيه التدهور البيئي والوقت الذي ينزعج فيه الناس منه: فالمشكلات البيئية عادة ما تتسلل إلينا - فهي لا تقفز عادة وتعضنا.

غالبًا ما يتم التعبير عن هذا التأخير من خلال قصة الضفدع المسلوق الشهيرة. إذا وضعت ضفدعًا في الماء المغلي فسوف يقفز خارجًا وينقذ نفسه، ولكن إذا قمت بتسخين الماء ببطء، سيبقى الضفدع هناك ويغلي حتى الموت. وسواء كان هذا دقيقًا من الناحية العلمية أم لا، فهو بمثابة استعارة لظاهرة تغير المناخ بالإضافة إلى جميع المشكلات البيئية الأخرى التي من صنع الإنسان تقريبًا.

إنه يوضح أنه من أجل حماية البيئة، يجب على الناس أن يدركوا ويتصرفوا بناءً على المخاطر التي تبدو تخمينية وبعيدة. ولسوء الحظ، فإن جنسنا البشري ليس مهيأً لهذا النوع من التصرفات. من خلال عقلية القتال أو الهروب التي ورثناها من أسلافنا الذين كانوا يعيشون على الصيد وجمع الثمار، فإن دوافعنا يجب أن تتفاعل مع الخطر الحالي، وليس التهديدات الخبيثة والمتزايدة وغير المحسوسة للبيئة من أنشطتنا.

من الصعب حماية البيئة لأن تدهورها يكون خفيًا إلى درجة أن البشر لايخافون عادة بما يكفي للتصرف، كما نفعل لو اشتعلت النيران في منازلنا.

المشكلة الثالثة هي أن العديد من الإجراءات التي لها تأثير سلبي على البيئة لا يشعر بها مرتكبوها. عندما تصبح واضحة، غالبًا ما لا يكون الأشخاص المتضررون في وضع يسمح لهم بمنع التأثيرات.

فالأشخاص المستفيدون، الذين لا يعانون من أي ضرر وغالبًا ما يكونون بعيدين، ليس لديهم أي حافز لتقليل الضرر. الديوكسين هو منتج ثانوي من النفايات السامة للعملية التي تتم في مصانع الورق والتي تجعل الورق أبيض، وهي سمة من سمات الورق التي يستمتع بها الناس في جميع أنحاء العالم.

لسنوات عديدة، كان الديوكسين يُصرف في الأنهار، مثل نهر بينوبسكوت في ولاية ماين، وينتهي به الأمر في الأسماك التي يأكلها الناس هناك. وكان الأشخاص الأكثر تضرراً بشكل مباشر هم أفراد أمة بينوبسكوت الهندية، التي تتكون محمياتها من جزر على النهر، والذين ظلوا لعدة قرون يصطادون الأسماك بحثاً عن الطعام هناك، ويتناولون الديوكسين نتيجة لذلك.

ومن ناحية أخرى، فإن مستهلكي الورق الأبيض – الذين لا تأكل الغالبية العظمى منهم الكثير من الأسماك من نهر بينوبسكوت، إن وجدت، والذين لا يعيشون بالقرب من مصانع الورق، والذين يعرفون القليل جدًا عن كيفية صنع الورق – لا يدركون ذلك. قضايا جودة المياه المضمنة في المنتج الذي يستخدمونه.

رابعًا، المشكلات والحلول البيئية ليست واضحة. في أغلب الحالات، يكون عدم اليقين حاضرا بشكل غير مريح أثناء عملنا على حل هذه الحالات: متى يصبح مناخ الكوكب أكثر دفئًا من أن يدعم الحياة كما نعرفها؟

هل من الخطر حقًا السباحة في الماء الذي يحتوي على مستويات عالية من البكتيريا، وإذا كان الأمر كذلك، ما هو الارتفاع الذي يجب أن تصل إليه

المستويات لإغلاق شاطئ رئيسي في يوم الأحد الحار في أغسطس؟ هل ينبغي حظر المواد المسببة للسرطان الموجودة في المنتجات التي نستمتع بها بشكل كامل، على الرغم من أن طبيعة مخاطرها غير واضحة؟

خامسًا، في الولايات المتحدة على الأقل، أصبحت القضايا البيئية حزبية وسياسية على نحو متزايد، في تناقض صارخ مع الشراكة الحزبية التي كانت تتمتع بها في السبعينات.

سادسًا، كانت النجاحات التي تحققت في السنوات الأولى للحركة البيئية من نوع الفاكهة الدانية. إن الحد من التلوث الناجم عن المصانع الكبيرة، رغم أنه ليس من السهل تحقيقه بأي حال من الأحوال، أقل صعوبة بكثير من التصدي لتغير المناخ العالمي أو تلوث المياه الجوفية من آلاف المصادر الصغيرة. ومع ذلك، فإن هذه القضايا وأمثالها هي التي تواجهنا اليوم.

ولكن في العمق، من الصعب حماية البيئة لأنها تتطلب تنحية المصلحة الذاتية جانبًا، ورؤية ما هو أبعد من الحاضر، والتفكير والعمل على مستوى عالمي، وفهم العلاقة العميقة بين البيئة الصحية والتقدم البشري، بل وحتى بقاء الإنسان. كما أنه يميل إلى التهرب من الحلول، كما يتضح من إجابة السؤال التالي.

• ما علاقة فكرة العواقب غير المقصودة بحماية البيئة؟

تصف فكرة العواقب غير المقصودة نتيجة مختلفة عما كان مخططًا له أو متوقعًا أو مرغوبًا فيه – وهو شيء يحدث طوال الوقت. مع أن النتيجة يمكن أن تكون مفيدة، إلا أنها يمكن أن تكون ضارة أيضًا؛ وهذا للأسف هو ما تظهره الفكرة عادة في سياق حماية البيئة. البيئة مكان معقد للغاية، ومحاولة تصحيح الإصابات التي لحقت بها يمكن أن تكون معقدة أيضًا.

وفي الواقع، فإن حركة حماية البيئة ليست استجابة لاعتداءات مخططة على البيئة - فلا ينوي أي شخص عادي أو صناعة عادية تلويث الهواء أو الماء - ولكن للعواقب غير المقصودة للأنشطة البشرية التي كانت لها أهداف حميدة. من كان يقصد أن يكون تغير المناخ نتيجة للتصنيع؟ أم أن تلوث المياه يكون نتيجة للأسمدة الكيماوية؟

إن العواقب غير المقصودة للاستجابات الخاصة لمثل هذه الأضرار بحد ذاتها لها دلالات واضحة أيضًا. فهي توضح مدى صعوبة حماية البيئة، ومدى أهمية تطوير حلول للمشكلات البيئية بشكل كلي، لأن الاستجابات الخطية هي التي أدت في كثير من الأحيان إلى ظهور مشكلات إضافية.

على الرغم من أن القوانين البيئية استشرافية ومرنة أثبتت أنها كذلك، إلا أنها لا تتبنى عادة فكرة أن كل شيء مرتبط فعليًا بكل شيء آخر وبالتالي يجب تنظيمه بهذه الطريقة. ولتصحيح هذا الخلل، اقترح بعض المفكرين البيئيين إعادة صياغة هذه القوانين في قانون واحد كبير لحماية البيئة بحيث يتوقع بشكل أفضل أشياء مثل العواقب غير المقصودة، والمخاطر التراكمية، والتأثيرات التآزرية.

• ما علاقة البيئة المبنية بحماية البيئة؟

يشير مصطلح «البيئة المبنية Built Environment» إلى الأماكن التي صممها الناس وبنوها للعيش والعمل والترفيه. ويشمل المنازل والمباني التجارية والطرق السريعة والحدائق العامة - كل مكان تم تعديله بواسطة البشر من أجل سلامتنا وراحتنا ومتعتنا. إن البيئة المبنية، التي تتغير حتماً أو تحل محل البيئة الطبيعية، هي سمة مميزة لكوكبنا.

تخدم الأراضي - الغابات والأراضي الرطبة والصحاري والمروج والجبال - العديد من الوظائف الحاسمة لرفاهنا المستدام ورفاهية جميع الأنواع الأخرى. فهي تغطي 30 % فقط من سطح الأرض، والكثير منها قيد الاستخدام بالفعل أو في حالة تدهور. تعتبر الأرض موردًا بالغ الأهمية، لكن البشر في كثير من الأحيان لا يتعاملون معها على هذا النحو.

إن القرارات المتعلقة بمكان بناء الطريق السريع، وكيفية تطوير تقسيم الإسكان، وما إذا كان ينبغي أن تكون ملاعب المدينة عبارة عن عشب صناعي أم عشب، كلها أمور تتعلق بكيفية استخدام الأرض، ولكل منها تأثيرات على البيئة.

قد يكون أسهل طريق للطريق السريع عبر الأراضي الرطبة أو غابة النمو القديمة، ولكن الطريق من شأنه أن يقلل من الخدمات العديدة التي توفرها هذه النظم البيئية. قد يكون هذا التقسيم السكني بمثابة ملاذ للهروب من المدينة، لكنه سيضع المزيد من السيارات على الطريق مما يؤدي إلى تلويث الهواء ويحتوي على مساحات أكبر وهياكل تؤدي إلى تفكيك الموائل الطبيعية الموجودة. قد يكون العشب الاصطناعي في مدرسة ثانوية في الضواحي أسهل في الحفاظ عليه من العشب، ولكنه قد يتسرب أيضًا من الملوثات، ويقلل من نفاذية التربة، ويزيد من الجريان السطحي.

ولابد من تغيير الأراضي، للأفضل أو للأسوأ، لاستيعاب فوائد التصنيع وواقع الزيادة السكانية. إن نمو الضواحي أمر مفهوم: الهروب من الأوساخ وازدحام المدينة إلى الهدوء الأخضر والنظام في المدن النائية. ومع ذلك، في الولايات المتحدة، حدث هذا غالبًا دون التخطيط والرقابة الكافية، والتي كانت ستأخذ في الاعتبار التأثيرات الناجمة عن الطرق والمباني على النظم البيئية، ونوعية المياه والهواء، والحياة البرية، وما إلى ذلك.

إن محاولة تعديل سياسات النقل والإسكان وغير ذلك من سياسات استخدام الأراضي في القرن الحادي والعشرين أمر مستحيل عمليًا. كما أن قرارات استخدام الأراضي الممزقة وقصيرة النظر التي ميزت أمريكا ما بعد الحرب العالمية الثانية لا تزال مستمرة وتتكرر في أماكن أخرى حول العالم.

أدى كل هذا النمو في البيئة المبنية إلى تدهور الأراضي، وفي بعض الحالات أدى إلى القضاء تمامًا على فائدتها الطبيعية. وفي الوقت نفسه، أهدر النمو غير المنظم فرص الحد من تلوث الهواء، وحماية المياه الجوفية والنظم البيئية، وتشجيع الحياة الصحية. وباختصار، لم يكن النمو الذكي.

• كيف تكون العدالة جزءًا من حماية البيئة؟

يعتبر الكثيرون أن البيئة الآمنة والصحية هي حق أساسي من حقوق الإنسان. مثل أي هدف يتم تبنيه وتنفيذه بطرق مختلفة من قبل جميع مستويات الحكومة، يجب إدارة حماية البيئة بأكبر قدر ممكن من العدالة والإنصاف. ومع ذلك، فإن الإجراءات المتخذة لحماية البيئة عادة ما يتم النظر فيها في سياق الاقتصاد والتطبيق العملي ومصالح الأشخاص الذين تم تمكينهم. قضايا العدالة والإنصاف ليست في مقدمة مثل هذه الإجراءات.

تشمل هذه القضايا العدالة الإجرائية (هل جميع الأشخاص المتضررين لديهم صوت وهل هذه الأصوات مسموعة من قبل صناع القرار؟)؛ العدالة التوزيعية (هل يتم تقاسم الأعباء والمنافع بطريقة تعكس قدرات ومسؤوليات جميع الأطراف؟)؛ والعدالة التصحيحية (هل تأخذ القرارات في الاعتبار السلوكيات السابقة التي ساهمت في المشكلات البيئية التي تتم معالجتها؟).

تتناول العدالة البيئية Environmental Justice المشكلة المعقدة المتمثلة في العدالة الأساسية في الاتفاقيات البيئية الدولية، وفي القوانين والسياسات البيئية

الوطنية والمحلية. لقد نُظر في الإنصاف والعدالة في سياق المجتمع العالمي حيث يسترشد بالعلاقات والمسؤوليات الدولية، وخاصة بين الدول المتقدمة والنامية، وفي السياق الخاص للمسؤوليات العالمية للتخفيف من تغير المناخ والتكيف معه، حيث العدالة هو عامل مهم.

على مدار الثلاثين عامًا الماضية، كانت العدالة البيئية موضوعًا لقلق بالغ بين صناع السياسات البيئية ونشطاء العدالة الاجتماعية والحقوق المدنية في العديد من السياقات، ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن مفاهيم العدالة والإنصاف غالبًا ما تم تهميشها في القانون والسياسة البيئية. وعلى الرغم من أن هذه الفكرة أصبحت في الولايات المتحدة حيث تم التركيز عليها بشكل حاد، إلا أن العدالة البيئية اليوم أصبحت موضوع دراسة ومناقشة وعمل جاد في العديد من الأماكن في كل قارة. لقد بدأت فكرة العدالة البيئية في تعميق الاستجابات الحكومية للقضايا البيئية على مستوى العالم، وزادت بشكل كبير من عدد المجموعات التي لها أو ينبغي أن يكون لها صوت في القرارات المتعلقة بحماية البيئة.

• كيف يمكننا حل المشكلات البيئية في العالم؟

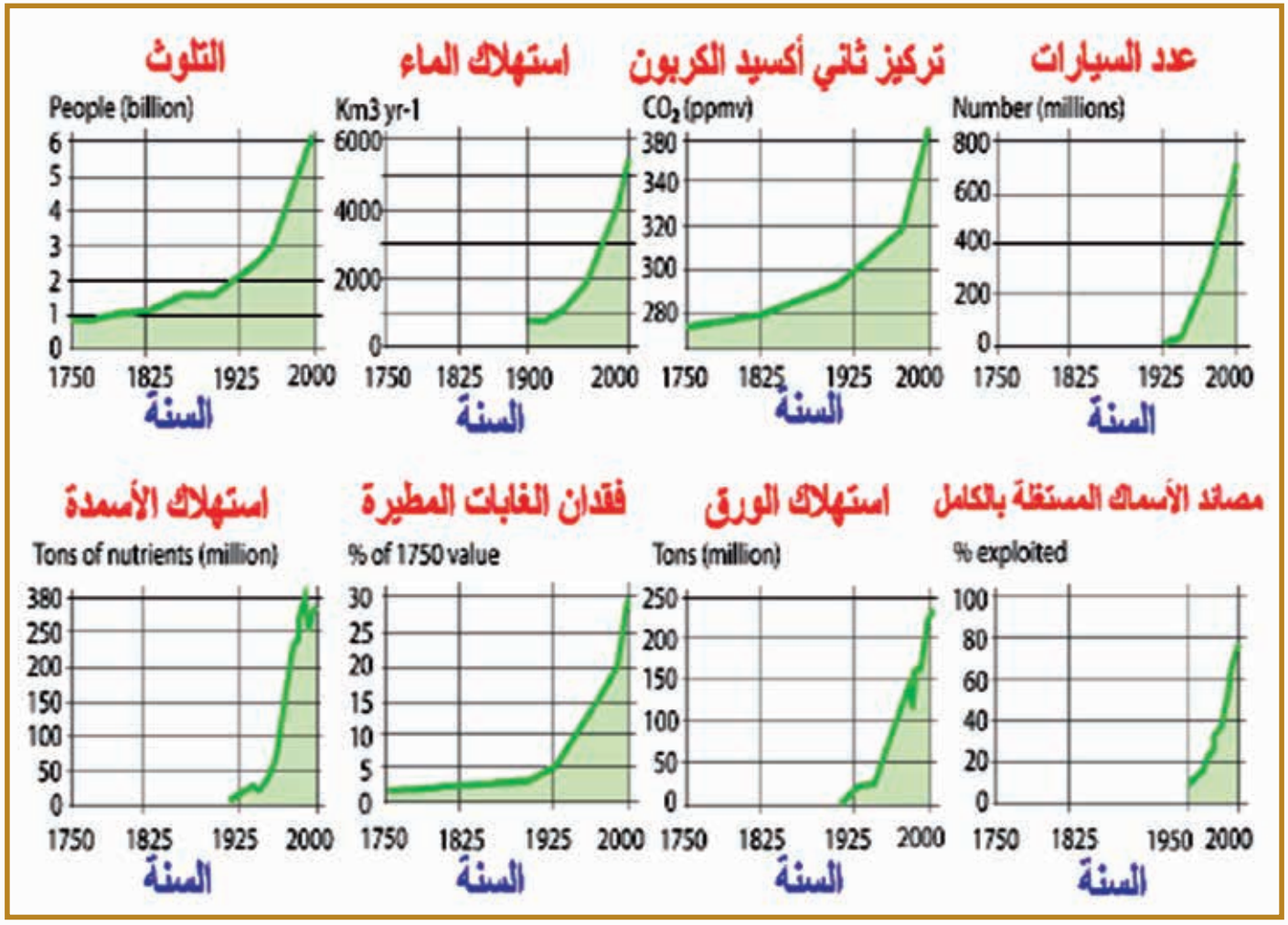
إن القول بأن نظامًا أو عملية ما مستدامة يعني أنه يمكن استمرارها إلى أجل غير مسمى دون استنفاد أي من موارد المواد أو الطاقة اللازمة لاستمرار تشغيلها. فالأشجار والأسماك والأنواع البيولوجية الأخرى قادرة على النمو والتكاثر بمعدلات أسرع من تلك المطلوبة فقط للحفاظ على استقرار أعدادها. تسمح هذه القدرة المدمجة لكل نوع بزيادة أو استبدال نفسه في أعقاب الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات المفاجئة أو الجفاف الشديد أو حرائق الغابات.

هذه القدرة على التكاثر بسرعة تجعل من الممكن حصاد نسبة معينة من الأشجار أو الأسماك كل عام دون استنزاف الغابة أو تقليل أعداد الأسماك إلى ما دون رقم أساسي معين غير مستدام. وطالما ظل العدد الذي تم حصاده ضمن قدرة السكان على النمو والاستبدال، يمكن أن تستمر هذه الممارسة إلى أجل غير مسمى. وهذا ما يشار إليه باسم «العائد المستدام Sustainable Yield». ويصبح غير مستدام فقط عندما يتجاوز القطع أو المصيدة قدرة الأنواع على استعادة أعدادها بشكل كافٍ للبقاء على قيد الحياة مع مرور الوقت.

ويمكن أيضًا تطبيق العائد المستدام على إمدادات المياه العذبة والتربة وقدرة النظم الطبيعية مثل الغلاف الجوي أو النهر على امتصاص الملوثات دون التعرض للتلف. وفي المقابل، يمكن النظر إلى الاتجاهات العالمية الموضحة في الشكل الآتي على أنها تتسارع بسرعة أكبر من أي وقت مضى بما يتجاوز ما يمكن اعتباره غلات مستدامة فهي ليست مستدامة!

وبتوسيع هذا المفهوم أكثر، يمكننا الحديث عن مجتمع مستدام كمجتمع يستمر جيلًا بعد جيل، فلا يستنزف قاعدة موارده بتجاوز العوائد المستدامة ولا ينتج ملوثات تتجاوز قدرة الطبيعة على استيعابها.

ولذلك، عندما يتم تطبيق مفهوم الاستدامة في مجتمعنا الحديث، فإنه يأخذ أبعادًا إضافية. وبعيدًا عن مجرد بقاء جنسنا البشري على قيد الحياة، فإن استدامة المجتمع تعني الحفاظ على القدرة على الاستكشاف والتأمل وفهم أشياء جديدة، وكل السمات المميزة للتعليم وأسسه.



اتجاهات الاستدامة العالمية (Steffen et al., 2004)

• دور التعليم في حل مشاكل حماية البيئة

تعد البيئة والتعليم عنصرين حيويين للوجود الإنساني ويمكن استخدامهما لتحسين نوعية الحالة الإنسانية. توفر البيئة المساحة والمكونات الأساسية للحياة حيث يكون البشر قادرين على التفاعل مع بعضهم بعضًا ومع البنية التحتية ومع البيئة نفسها. ومن ناحية أخرى، فإن التعليم هو العملية والنتيجة التي يتم من خلالها عمل التدريس والتعلم. ومن خلال هذه العملية، يتم نقل المعرفة والقيم والاتجاهات والمهارات إلى المتعلم. ومع تزايد الوعي بهذه المشكلات البيئية، ينبغي النظر في أنواع البرامج التعليمية التي يمكن أن تلبي متطلبات خلق عالم مستدام.

لا شك أن التعليم عنصر أساسي في التنمية وأحد شروطها. وفي المنطقة الآسيوية، أُعطي التعليم البيئي أهمية ومكانة عالية في الإصلاح التربوي والابتكار بسبب أولوية البيئة الطبيعية في الحياة اليومية والثقافة.

لقد كان الاهتمام بالطبيعة والموارد الطبيعية جزءًا من الحضارة الآسيوية لمئات الأجيال. يتقاسم سكان آسيا كتبًا مقدسة وفولكلورًا مشتركًا، وهي مليئة بالأمثلة التي توضح كيف كان أسلافهم واعين بيئيًا ودافعوا عن مفاهيم الاستخدام المستدام للموارد من خلال العديد من العادات الاجتماعية والأساطير والمحرمات والتقاليد والمعتقدات الدينية.

وبالتالي، فقد حان الوقت للتفكير بعناية في نوع التعليم المتكامل القائم على البيئة والذي سيكون أكثر ملاءمة وكيف يمكن للتعليم أن يعالج المشكلات الحالية في كل بلد على أفضل وجه.

هل يحتاج الناس إلى فهم المفاهيم البيئية أو معلومات حول سبب المشكلة؟ هل هناك طرق محددة للتفكير النقدي، مثل حل المشكلات أو اتخاذ القرار، يمكن أن تساعدهم على فهم المشكلات ومعالجتها؟

هل هناك مهارات عملية يمكن أن تساعد الأشخاص على حل المشكلات على الفور، مثل تعلم كيفية زراعة شجرة وفصل القمامة وإعادة التدوير والسماد؟ هل لديهم الدافع للمشاركة؟ هل يتفقون على وجود مشكلات بيئية؟ إذا لم يكن الأمر كذلك، لماذا لا؟ تفترض كل هذه الأسئلة شكلاً مختلفًا من أشكال «محو الأمية» عما تم تعريفه بالمعنى التقليدي. نحن بحاجة إلى «محو الأمية الذي يركز على البيئة» إذا أردنا الحفاظ على بيئة تدعم الجنس البشري.

• محـــو الأميـــة البيئيـــة

في التعليم، نتحدث عن معرفة القراءة والكتابة الأساسية، أو القدرة على القراءة والكتابة وإجراء العمليات الحسابية. ويُعتقد أن هذه المهارات هي الشروط الأساسية اللازمة للناس ليتمكنوا من بناء حياة لأنفسهم بنجاح ولاتباع القواعد اللازمة للعيش في المجتمع الحديث. قد تكون المعرفة البيئية شيئًا أكثر أهمية، حيث إننا نتحدث عن امتلاك المعرفة والكفاءة اللازمة للعيش على هذا الكوكب في المستقبل المنظور وما بعده.

إن محو الأمية البيئية Ecoliteracy هي القدرة على فهم النظم الطبيعية التي تجعل الحياة على الأرض ممكنة، وقد صاغها لأول مرة المعلم الأمريكي ديفيد أور والفيزيائي فريتجوف كابرا في تسعينات القرن العشرين. فهو يقدم قيمة جديدة للتعليم: «رفاهية الأرض Well-being of The Earth».

في الأساس، أن تكون مثقفًا بيئيًا يعني فهم مبادئ تنظيم المجتمعات البيئية (أي النظم البيئية) واستخدام تلك المبادئ لإنشاء مجتمعات بشرية مستدامة.

إن المجتمع المتعلم بيئيًا سيكون مجتمعًا مستدامًا لا يدمر البيئة الطبيعية التي يعتمد عليها. يعد محو الأمية البيئية مفهومًا قويًا لأنه يخلق أساسًا لمجتمع متكامل ونهج لحل المشكلات البيئية في العالم.

يدافع المدافعون عن محو الأمية البيئية كنموذج تعليمي جديد ينشأ حول أقطاب الشمولية والتفكير المنهجي والاستدامة والتعقيد. باختصار، تتكون محو الأمية البيئية من فهم ثلاثة مفاهيم مترابطة:

- **امتلاك** المعرفة اللازمة لفهم الترابط (أي كيفية عمل الطبيعة).
- **فهم** كيفية اعتماد مجتمعنا واقتصادنا («الأنظمة البشرية Human Systems») على الهواء النظيف والماء والتربة والموارد الأخرى (منتجات «الأنظمة الطبيعية Natural Systems»). إحدى الطرائق البسيطة لإيصال هذا الواقع غالبًا هي القول «كل شيء مترابط». وتسلط دراسة هذه الروابط المتبادلة الضوء على اعتمادنا على الأداء الصحي للأنظمة الطبيعية للأرض، التي توفر لنا الهواء النظيف والماء والتربة والغذاء وجميع الموارد الأخرى التي نعتمد عليها.
- **فهم** كيف يمكن للتفاعلات البشرية مع البيئة أن يكون لها تأثيرات إيجابية وسلبية على الناس والعالم الطبيعي. ويعني هذا في الأساس أنه يجب أن يكون لدينا موقف رعاية أو رعاية تجاه البيئة إلى جانب الكفاءة العملية المطلوبة للتصرف على أساس المعرفة والشعور.

وكانت بعض هذه المفاهيم جزءًا من العديد من برامج المعلمين على مر السنين. فيما يلي بعض الأمثلة البسيطة:

- تعتبر دروس العلوم حول دورة المياه أو الشبكة الغذائية بمثابة اللبنات الأساسية لمحو الأمية البيئية لأنها تكشف للطالب كيفية عمل الطبيعة.

- تركز وحدات الدراسات الاجتماعية على المجتمعات البشرية (مثل الأسرة أو الحي أو المنطقة أو البلد).
- تساهم دروس الجغرافيا حول إدارة الموارد في محو الأمية البيئية بمجرد الاعتراف باعتماد وتأثير النظام البشري/المجتمع/المنطقة على النظم الطبيعية واستكشافه كجزء حيوي من القصة.

في قلب اكتساب المعرفة البيئية، يكمن تعلم التفكير في العالم من حيث أنظمته، البشرية والطبيعية، وعواقب تفاعلاتها. عندما نفكر بشكل منهجي، فإننا ندرك أن أجزاء النظام (أو الأنظمة) مترابطة بشكل كبير. عادةً ما يؤدي إجراء تغيير واحد إلى العديد من التغييرات الأخرى. يتعلق محو الأمية البيئية بفهم مبادئ تنظيم النظم البيئية وتطبيقها المحتمل لفهم كيفية بناء مجتمع بشري مستدام. فهو يجمع بين علوم النظم والبيئة في الجمع بين العناصر المطلوبة لتعزيز عمليات التعلم نحو تقدير عميق للطبيعة ودورنا فيها.

التفكير النظمي Systems Thinking هو الاعتراف بالعالم ككل متكامل وليس مجموعة من العناصر الفردية. وفي إطار التفكير النظمي، تصبح المبادئ الأساسية للتنظيم أكثر أهمية من تحليل مختلف مكونات النظام بشكل منفصل.

تتضمن المعرفة البيئية والتفكير النظمي الاعتراف بالطريقة التي تكون بها جميع الظواهر جزءًا من الشبكات التي تحدد الطريقة التي يعمل بها أي عنصر. ولذلك فإن التفكير النظمي ضروري لفهم الترابط المعقد بين النظم البيئية والنظم الاجتماعية والأنظمة الأخرى، على جميع المستويات.

ومع فهم الثقافة البيئية، ستتغير المفاهيم بشكل طبيعي. ستصبح حماية البيئة مبدأً أساسيًا لإعطاء الأولوية للفكر والعمل في مجتمع مستدام. وفي

مواجهة القدرة المتزايدة للأنظمة الصناعية على تدمير الموائل والنظام المناخي، فإن الإعلان الصريح لمبادئ محو الأمية البيئية، والوعي الناتج عن أهمية العيش ضمن القدرة الاستيعابية البيئية للأرض، أمر ضروري بشكل متزايد. ومن غير الواضح ما إذا كانت المعرفة البيئية قادرة على معالجة فجوة القيمة/الفعل سيئة السمعة.

• حماية البيئة: من أين نبدأ؟

لدمج «حماية البيئة» بشكل فعال في مناهجنا التعليمية الحالية، من المهم أولًا معرفة ما هي المشكلات البيئية المحلية والإقليمية والوطنية. قد يكون من المفيد إعداد قائمة بجميع المشكلات البيئية التي يمكنك اكتشافها ثم تجميع المشكلات حسب نوعها.

على سبيل المثال، يمكنك تقسيم المشكلات إلى قضايا النفايات وإلى تلك التي تنطوي على الإفراط في استخدام الموارد. يمكنك أيضًا الإشارة إلى المشكلات الأكثر إلحاحًا في منطقتك المحلية وما إذا كانت المشكلات تؤثر على منطقة أكبر من البلد ككل. أثناء قيامك بتقييم المشكلات والقضايا البيئية، من المهم أيضًا التفكير في ماهية المشكلات أو من يسببها، وما هي العواقب (البيئية والصحية والاجتماعية والاقتصادية)، وكيف يمكن حل المشكلات، وكيفية حلها، وما الذي يمنع تنفيذ هذه الحلول.

في بعض الحالات، يكون للمشكلة البيئية أسباب عديدة، ومن المهم الوصول إلى جذر المشكلة لمعرفة الحل الأفضل. على سبيل المثال، إذا كانت إزالة الغابات تمثل مشكلة، فاكتشف من المسؤول عن قطع الأشجار ولماذا يفعل ذلك. هل المزارعون هم من يقومون بإزالة الأشجار لزراعة المحاصيل؟ هل تقوم شركات الأخشاب ببيع الخشب الصلب من أجل الربح؟ أم أنها سياسة حكومية تشجع

رعي الماشية وزراعة شجر النخيل أو غيرها من الأنشطة الاقتصادية؟ ربما هو مزيج من العديد من الأسباب.

هناك العديد من الأشخاص والموارد لمساعدتك في تقييم المشكلات وأسبابها الجذرية وتأثيراتها على الأشخاص والبيئة وحلولها. أساتذة الجامعة؛ والخبراء في وزارات البيئة أو الزراعة أو الصحة، والخبراء العاملون في منظمات الحفاظ على البيئة في منطقتك سيقدمون معلومات حول المشكلات البيئية المحلية والإقليمية.

وتختلف الحلول تبعًا لخطورة المشكلة والموارد المتاحة. على سبيل المثال، هل تحتاج الحكومة (المحلية أو حتى الوطنية) إلى تخصيص المحميات الطبيعية أو إصدار تشريعات بيئية جديدة، أو إنشاء مزارع لحطب الوقود؟ هل تستطيع المجتمعات المحلية اتخاذ الإجراءات اللازمة بنفسها؟

على سبيل المثال، هل يمكنهم استخدام تقنيات أفضل للحفاظ على التربة لمنع غسل أطنان من التربة السطحية كل عام؟ هل يحتاج الناس إلى تدريب لحل المشكلات التي يواجهونها، مثل دورة تدريبية لمساعدتهم على تعلم كيفية استخدام المبيدات الحشرية باعتدال وبشكل آمن؟ هذه كلها أسئلة مهمة يجب عليك طرحها قبل التخطيط لوحدة أو درس حول حماية البيئة.

• كيف يمكن للطلاب المساعدة في حل المشكلات البيئية؟

عند التفكير في المشكلات البيئية المحلية، تأكد من مراعاة الدور الذي يلعبه طلابك في التسبب في المشكلة والدور الذي يمكن أن يلعبوه في المساعدة على حل المشكلة. على سبيل المثال، هل هم جزء من المشكلات حاليًا؟ وكيف ترتبط أسرهم بالمشكلات؟ ما مدى فهم طلابك للمشكلات ومن أي منظور؟ هل لديهم الحافز للمساعدة في إيجاد الحلول؟ هل شارك أي من الطلاب في الجهود المبذولة لإيجاد الحلول؟

من المهم أيضًا التفكير في الدور المستقبلي الذي سيلعبه طلابك في المجتمع. هل سيكونون مزارعين أم صيادين أم عمال صناعيين أم عمال ذوي الياقات البيضاء أم قادة دينيين أم سياسيين؟ هل سيعيشون في العاصمة أم في القرى أم في المزارع الصغيرة؟ هل سيصطادون، ويجمعون الحطب، ويصوتون في الانتخابات المحلية والوطنية، وما إلى ذلك؟ كيف سيتعاملون مع المشكلات البيئية التي تواجه البلاد والمجتمع، وكيف سيكونون قادرين على المساعدة في حل المشكلات؟

يجب أيضًا أن نفكر في كيفية مساعدة الطلاب في حل المشكلات البيئية حاليًا. هل يمكنهم زراعة الأشجار، أو تصميم المعارض التعليمية للمجتمع، أو الكتابة إلى ممثلي حكوماتهم، أو مساعدة الآخرين على تعلم كيفية الحرث على الخطوط العريضة؟ اعتمادًا على خلفيتك وخبرتك، قد تحتاج إلى سؤال الخبراء أو الزملاء عن أنواع الحلول الأكثر منطقية لطلابك ومجتمعك.

الفصل الثاني

الأثـــر البيئـــي

تقييـم الأثر البيئـــي	منهجية الأثر البيئـــي
المعاييـــر البيئيـــة	البيئة والتنمية المستدامة
الاقتصـــاد البيئـــي	الإدارة البيئية المتكاملة

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

تقييـم الأثـر البيئـي

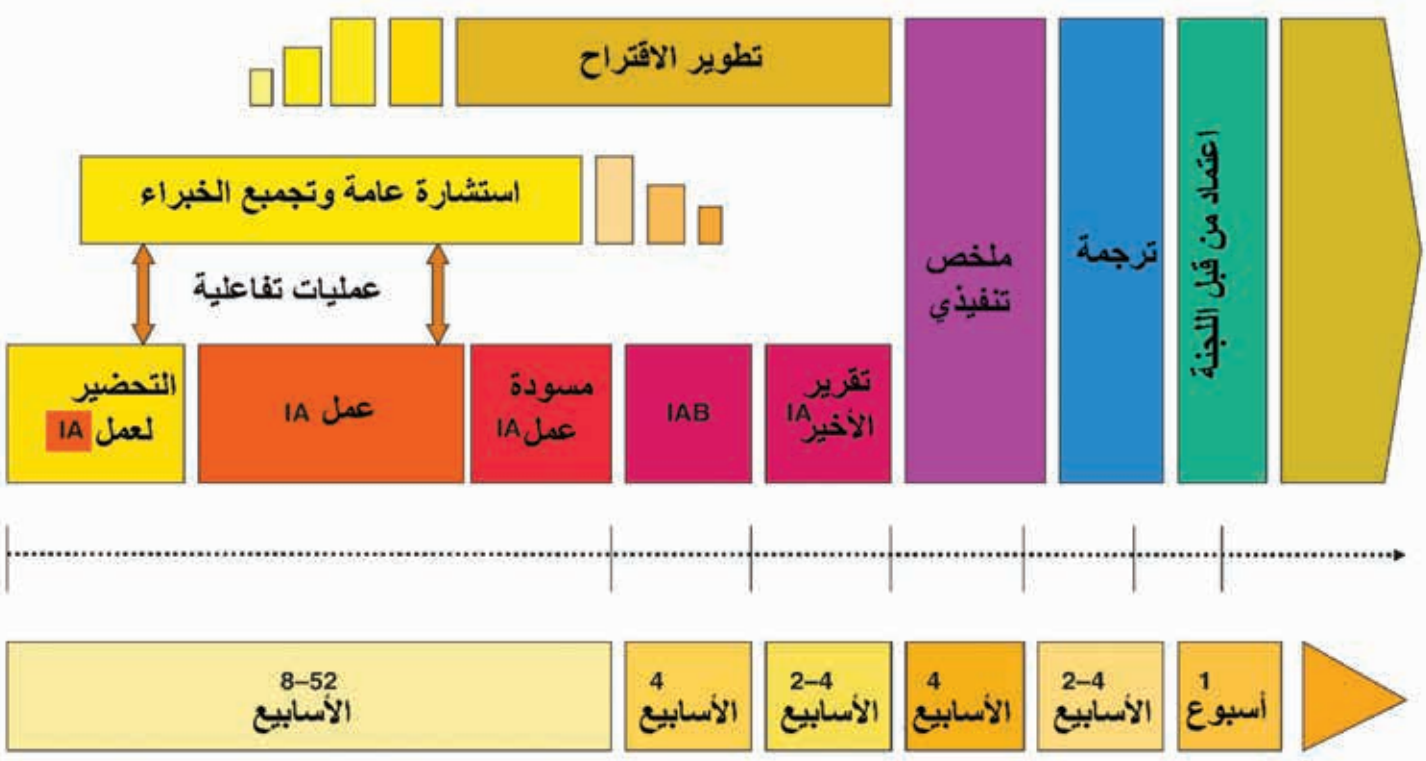
مُقَدِّمَة

يهدف العصر الحالي الذي يتسم بالتطور والنمو السريع إلى رفع نوعية الحياة البشرية من خلال توفير فرص أكبر للتوظيف، وتوفير أفضل للمرافق ووسائل الراحة الأساسية، وبيئة صحية تضمن الرفاهية الجسدية والعقلية للبشر. كما يؤدي النمو والتنمية إلى العديد من المشكلات البيئية مثل تلوث الهواء والماء والتربة، واستنزاف الموارد الطبيعية، وأزمة الطاقة، ومشكلات الصحة المهنية، ومشكلات عالمية مثل تغير المناخ، واستنزاف طبقة الأوزون، وفقدان التنوع البيولوجي.

من ثم، لا بد أن يكون للتنمية تأثيرات بيئية معينة. لقد مضى نحو 40 عامًا عندما جرى إدراك أنه قبل البدء في أي مشروع تنموي، يجب التنبؤ بآثاره وتقييمها، حتى يمكن اتخاذ التدابير اللازمة لتقليل تلك الآثار. صيغ هذا المفهوم كإجراء منهجي يعرف باسم تقييم الأثر البيئي (EIA) Environmental Impact Assessment. علاوة على ذلك، لتحقيق أهداف التحسين الحقيقي لنوعية حياة الإنسان، يجب أن تقوم التنمية على مبادئ الاستدامة. من ثم، تهدف التنمية المستدامة إلى النمو مع الاستخدام الحكيم للموارد والتسبب في الحد الأدنى من الضرر للبيئة.

تقييـــم الأثـــر البيئـــي

تقييـم الأثـر البيئـي هـو إجـراء لتخطيـط بعـض الأنشـطة التنمويـة بأهـداف بيئيـة محـددة جيـدًا بحيـث يكـون للأضـرار الناجمـة عـن النشـاط أثنـاء مرحلـة التطويـر ومرحلـة الإنتـاج الحـد الأدنـى مـن التأثيـر علـى النظـام الطبيعـي والسـكان في المنطقـة.



نظـام تقييـم الأثـر البيئـي

قـدم قانـون السياسـة البيئيـة الوطنيـة (NEPA) بالولايـات المتحـدة الأمريكيـة في عـام 1969 أولًا المبـادئ التوجيهيـة لتقييـم الأثـر البيئـي مـن خـلال مجلـس جـودة البيئـة (CEQ).

في الهند، صدر إخطار الجريدة الرسمية بشأن تقييم الأثر البيئي في عام 1994 حيث قدمت وزارة البيئة والغابات مبادئ توجيهية لمقترحي المشروع لإجراء تقييم الأثر البيئي وإعداد بيان الأثر البيئي قبل الموافقة على المشروع.

• أهداف تقييم الأثر البيئي

- الوفاء بالمسؤوليات تجاه الأجيال القادمة كأمناء على البيئة.
- ضمان بيئة آمنة وصحية ومنتجة وجمالية وثقافية.
- توفير أوسع نطاق من الاستخدامات المفيدة للبيئة دون تدهور أو خطر صحة.
- الحفاظ على التراث التاريخي والثقافي والطبيعي.
- تحقيق التوازن بين استخدام السكان والموارد لتحقيق مستوى معيشي جيد.
- ضمان التنمية المستدامة مع الحد الأدنى من التدهور البيئي.

• بيـــان الأثـــر البيئي

يجري إعداد بيان الأثر البيئي Environmental Impact Statement (EIS) من قبل مقترحي المشروع في وقت تقديم الاقتراح، وهو ما يعرف باسم مسودة بيان الأثر البيئي. بعد التقييم والمراجعة من قبل وكالة تقييم الأثر، يجري إعداد تقييم الأثر البيئي النهائي.

نقاط إعداد بيان الأثر البيئي:

- التأثير على الأراضي بما في ذلك تدهور الأراضي وحالة الكفاف.
- إزالة الغابات والتشجير التعويضي.
- تلوث الهواء وتشتته والآثار الصحية المحتملة.

- تلوث المياه بما في ذلك تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية.
- التلوث الضوضائي بسبب المشروع.
- فقدان الحياة النباتية والحيوانية بسبب المشروع أثناء الإنشاء.
- الآثار الاجتماعية والاقتصادية بما في ذلك نزوح السكان الأصليين، والخسارة الثقافية والجوانب الصحية.
- تحليل المخاطر وخطة إدارة الكوارث.
- إعادة التدوير والحد من النفايات.
- الاستخدام الفعال للمدخلات بما في ذلك الطاقة والمادة.

يمكن إجراء تقييم الأثر البيئي بهدف اختيار البديل الأفضل الذي يمكن من خلاله إلغاء أو تقليل التأثير السلبي على البيئة دون المساس بالفوائد الاقتصادية والاجتماعية للمشروع التنموي.

يمكن النظر في أربعة أنواع من البدائل:

- التكنولوجيات البديلة التي توفر خيارات تتسم بأقصى قدر من الكفاءة في استخدام الطاقة والحد الأدنى من الهدر.
- آليات التخفيف أو التحكم البديلة التي يمكن من خلالها إعادة تدوير المنتجات الثانوية أو خفض الانبعاثات.
- مراحل بديلة لتحديد ما إذا كان تنفيذ المشروع على مراحل ممكنًا بدلًا من تطوير خطوة واحدة لتجنب التأثير الجذري.
- الموقع البديل للمشروع المقترح.

ومع ذلك، فإن البديل الأكثر أهمية الذي يمكن أخذه في الاعتبار في تقييم الأثر البيئي هو تقييم الأثر في المواقع البديلة، أي من الموقع الأول أو الثاني أو الثالث الواقع في منطقة طبيعية مختلفة سيكون له أقل تأثير على مشروع التطوير، ويمكن اختيار هذا الموقع من أجل مشروع التطوير.

من ثم، فإن الغرض الرئيسي من تقييم الأثر البيئي هو تحديدًا تقدير نوع ومستوى الضرر الذي لحق بالبيئة الطبيعية في مجال زمني محدد جيدًا بحيث يمكن البدء في التدابير العلاجية بشأن تلك الجوانب التي تتطلب اتخاذ إجراء في الوقت المناسب.

• المجال الزمني للتقييم

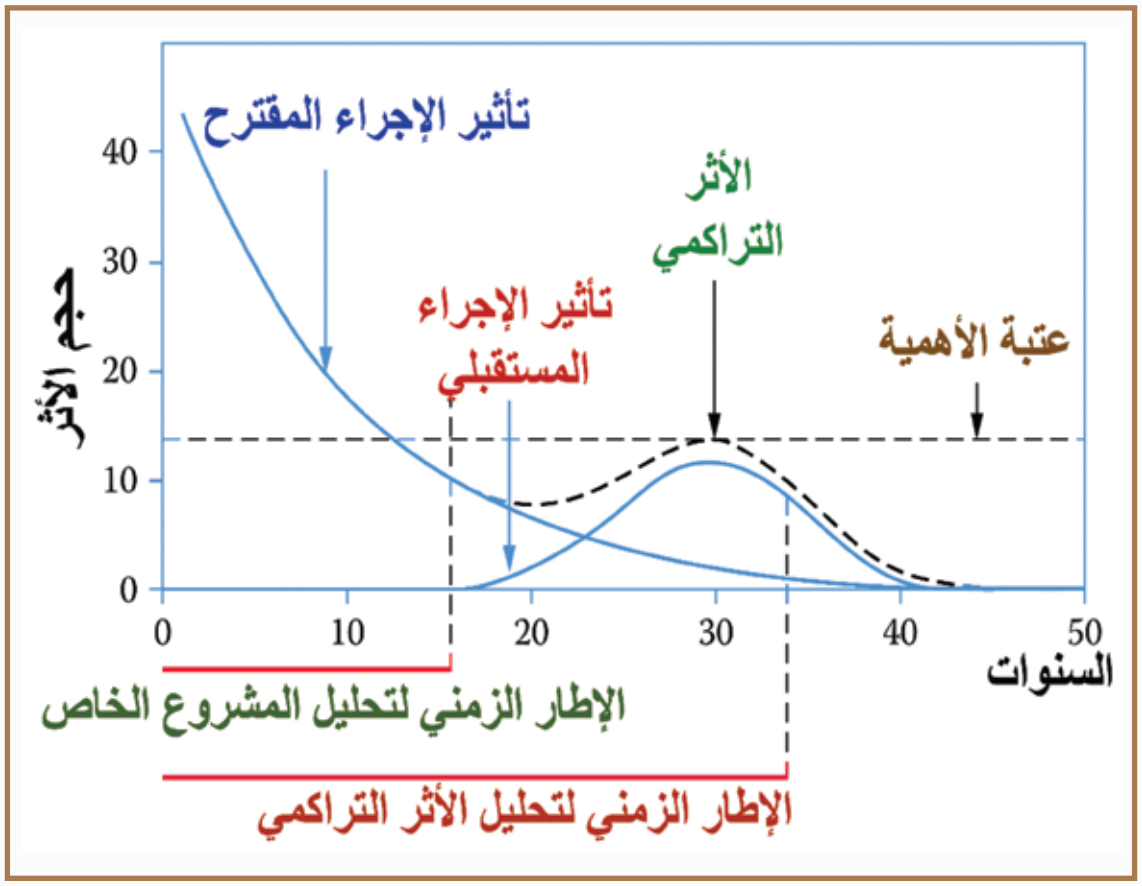
قد ينتهي تأثير مشروع معين فجأة أو يتضاءل ببطء مع مرور الوقت. عادةً لا يمتد الإطار الزمني للتحليل الخاص بالمشروع إلى ما هو أبعد من النقطة التي تتضاءل فيها التأثيرات الخاصة بالمشروع إلى ما دون مستوى الأهمية. ومع ذلك، فإن هذه الممارسة نفسها قد لا تمتد بالضرورة إلى مشكلة تقييم التأثيرات التراكمية البيئية.

تذكر أن لوائح قانون السياسة البيئية الوطنية (NEPA) تحدد التأثير التراكمي بأنه «... التأثير المتزايد للإجراء عند إضافته إلى إجراءات أخرى سابقة وحاضرة ومستقبلية يمكن توقعها بشكل معقول».

غالبًا ما يكون تحديد الإطار الزمني المناسب الذي ينبغي تنفيذ تقييم الأثر التراكمي Cumulative Impact Assessment (CIA) خلاله أكثر صعوبة من إنشاء المجال المكاني المقابل. قد يكون الإطار الزمني للتحليل الخاص بالمشروع مفيدًا في تحديد المدى الذي سيستغرقه تقييم الأثر التراكمي في المستقبل.

على سبيل المثال، إذا كانت تأثيرات المشروع ستمتد لمدة 7 سنوات في المستقبل، فقد يكون هذا الإطار الزمني نفسه في بعض الحالات كافيًا أيضًا لإجراء تقييم الأثر المتكامل. ومع ذلك، ليس من غير المألوف أن نجد أنه يجب توسيع الإطار الزمني إلى ما هو أبعد من ذلك بالنسبة للمشروع نفسه.

يوضح الشكل الآتي تضاؤل التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للمشروع حتى يمكن الوصول إلى نقطة ما، بعد نحو 13 عامًا في المستقبل، حيث تنخفض هذه التأثيرات إلى ما دون نقطة الأهمية. لن يمتد تحليل التأثيرات المباشرة وغير المباشرة عادةً إلى ما بعد هذه النقطة في وقتٍ ما.



مثـال على إطـار زمنـي لتقييـم الأثـر التراكمـي

وكما هو مبين في الشكل السابق، سيفعل إجراء مستقبلي واحد أو أكثر يؤثر على هذا المورد البيئي في العام السادس عشر تقريبًا من المشروع. وتزداد تأثيرات هذا الإجراء (الإجراءات) المستقبلية بمرور الوقت.

من ثم فإن التأثير التراكمي هو مجموع الأثر المتبدد الخاص بالمشروع والأثر المتزايد لهذا الإجراء (الإجراءات) المستقبلية. من ثم، فإن الإطار الزمني الذي يجب أن يجري خلاله تقييم الأثر التراكمي أكبر بكثير من الإطار الزمني الخاص بالآثار الخاصة بالمشروع وحده.

يتضمن القيد الزمني المحتمل على الإطار الزمني لتقييم الأثر التراكمي ببساطة عدم توسيع التحليل إلى ما هو أبعد من النقطة التي يمكن فيها تحديد تأثيرات الإجراءات المستقبلية المتوقعة بشكل معقول أو تقييمها بشكل مفيد؛ ومع ذلك، يجب أن يكون من الممكن الدفاع عن هذه النقطة الفاصلة، أي أن المحللين يجب أن يكونوا مستعدين لإثبات أن هذه التأثيرات المستقبلية لا يمكن تحديدها أو تعريفها بشكل معقول، أو تقييمها بشكل مفيد.

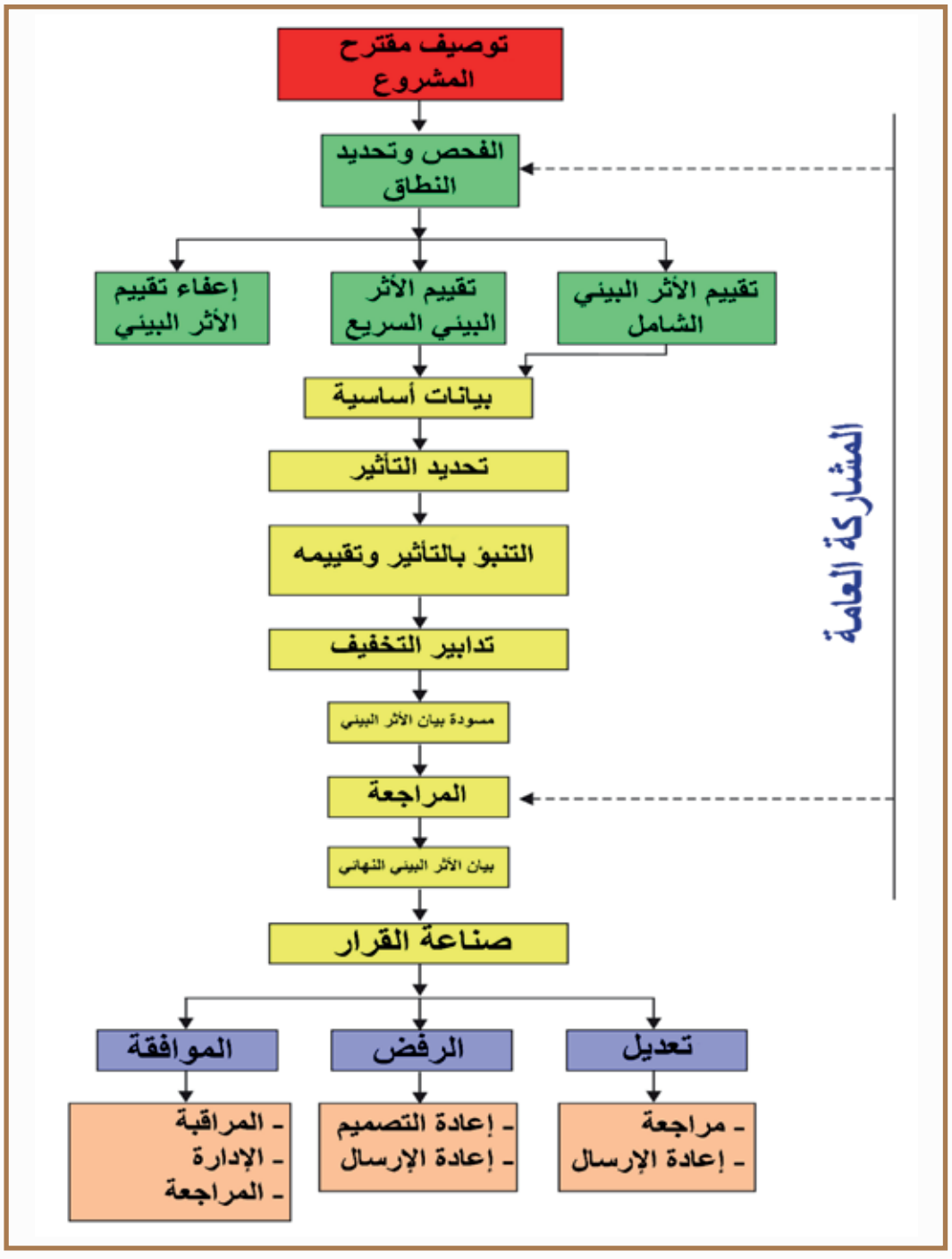
منهجيـة تقييـم الأثـر البيئـي

الخطـوات الأساسـية المتبعـة في تقييـم الأثـر البيئـي هـي الفحـص وتحديـد النطـاق وبيانـات خـط الأسـاس وتحديـد التأثيـر والتنبـؤ والتقييـم والتخفيـف وإعداد معلومـات الأثـر البيئـي والمراجعـة والتدقيـق البيئـي، بمـا في ذلـك المشـاركة العامـة في مراحـل مختلفـة، كمـا هـو موضـح في الشـكل الآتـي:

- يمكـن إجـراء فحـص لمعرفـة مـا إذا كان المشـروع يحتـاج إلـى تقييـم الأثـر البيئـي للموافقـة عليـه أم لا. عـلاوة علـى ذلـك، هنـاك بعـض المناطـق المحظـورة حيـث لا يُسـمح بمشـاريع التنميـة بشـكل عـام، علـى سـبيل المثـال، منطقـة التنظيـم السـاحلي (CRZ)، داهانـو تالـوكا في ولايـة ماهاراشـترا، سلسـلة أرافالـي، الغابـات الاحتياطيـة ومـا إلـى ذلـك.

- يتضمـن تحديـد النطـاق تحديـد مـدى تقييـم الأثـر البيئـي المطلـوب للمشـروع. اعتمـادًا علـى المشـروع، يمكـن تنفيـذ نوعـين أساسـيين مـن تقييـم الأثـر البيئـي. عندمـا يعتمـد تقريـر تقييـم الأثـر البيئـي علـى بيانـات موسـم واحـد (بخـلاف فتـرة الريـاح الموسـمية)، يطلـق عليـه تقييـم الأثـر البيئـي السـريع. عندمـا يعتمد تقريـر تقييـم الأثـر البيئـي علـى بيانـات موسـمية مفصلـة، فإنـه يسـمى تقييـم الأثـر البيئـي الشـامل.

- تعطـي البيانـات الأساسـية صـورة شـاملة للوضـع البيئـي العـام لموقـع المشـروع مـع إظهـار أي عناصـر بيئيـة مهمـة قبـل بـدء الإجـراء؛ أي تغييـرات بيئيـة محتملـة ومعلومـات حـول الموقـع لصنـاع القـرار والمراجعـين، الذيـن قـد لا يكونـون علـى درايـة بالموقـع العـام لمنطقـة المشـروع.



المخطط الانسيابي لمنهجية تقييم الأثر البيئي

المعاييـــر البيئيـــة

عـادة مـا تؤخـذ المعايـير البيئيـة الآتيـة في الاعتبـار أثنـاء إعـداد البيانـات الأساسـية:

- **الموقع والتضاريس.**
- **الديموغرافيا الإقليمية:** توزيع السكان ضمن دائرة نصف قطرها 10 و50 كيلومترا؛ نمط استخدام الأراضي واستخدام المياه.
- **المعالم الإقليمية:** مثل التراث التاريخي والثقافي في المنطقة. يمكن التحقق من هذا السجل الأثري أو الحكومي.
- **الهيدرولوجيا:** تحدد كمية المياه الجوفية وموارد المياه السطحية؛ تتم دراسة المياه والجودة ومصادر التلوث وما إلى ذلك.
- **الأرصاد الجوية:** تسجل درجات الحرارة القصوى، وسرعة الرياح واتجاهها، ونقطة الندى، واستقرار الغلاف الجوي، وهطول الأمطار، والعواصف وما إلى ذلك.
- **البيئة:** تدرج النباتات والحيوانات والأنواع المهددة بالانقراض والمرحلة المتعاقبة وما إلى ذلك.
- **بالنسبة لمشروع معين،** قد تكون بعض المعلمات مهمة بينما قد تكون بعض المعلمات الأخرى مهمة بالنسبة للآخرين.
- **تحديد الأثر:** يتضمن تفاصيل خصائص المشروع والخصائص البيئية الأساسية لضمان تحديد النطاق الكامل للتأثيرات البيئية.

- **أثناء عملية التحديد**، يتم أخذ التأثيرات الإيجابية والسلبية والمباشرة وغير المباشرة الهامة وغير المهمة في الاعتبار.
- **التنبؤ بالأثر:** هنا يتم التنبؤ بحجم التغييرات التي ستحدث بسبب المشروع باستخدام النماذج الرياضية أو نماذج التوازن الشامل.
- **تقييم الأثر:** يتم تقييم الأثر من خلال النظر في تكاليف المشروع وفوائده. وتقيّم أيضًا الآثار طويلة المدى والآثار الجانبية للمشروع. يجري أيضًا تقييم غير مباشر للمعايير البيئية. على سبيل المثال فقدان الأنواع النادرة، وتدهور البحيرة وما إلى ذلك.
- **التخفيف:** بمجرد التنبؤ بالآثار وتقييمها، يقترح تدابير التخفيف لتجنب أو تقليل أو تصحيح التغييرات السلبية الناجمة عن المشروع.
- يجري إعداد المراجعة ومسودة بيان التأثير في هذه المرحلة.
- **تحليل القرار:** يتم المشاركة العامة من خلال ترتيب مناقشة جماعية أو من خلال اعتماد طريقة الاستبيان للوصول إلى قرار بشأن المشروع وتقييمه.
- **بيان الأثر البيئي (EIS):** استنادًا إلى البيانات التي جرى الحصول عليها واقتراحات المراجعة، يعد بيان الأثر البيئي النهائي وفقًا للصيغة المقدمة من وزارة البيئة والغابات في الهند.
- **يذكر بيان الأثر البيئي بوضوح أهداف المشروع**، وتأثيراته البيئية، والآثار التي لا يمكن تجنبها، وتدابير التخفيف لتقليل الآثار، وبدائل الإجراء المقترح وما إلى ذلك.
- **التدقيق البيئي:** يقوم بمقارنة التأثيرات المتوقعة في بيان الأثر البيئي قبل بدء المشروع والتأثيرات الفعلية بعد تنفيذ المشروع.

• العلاقة بين تقييم الأثر البيئي والتقييم البيئي الاستراتيجي

يمكن تعريف التقييم البيئي الاستراتيجي (SEA) Strategic Environmental Assessment على أنه: «عملية توقع ومعالجة العواقب البيئية المحتملة للمبادرات المقترحة على مستويات أعلى من صنع القرار. ويهدف إلى دمج الاعتبارات البيئية في المرحلة الأولى من تطوير السياسة أو الخطة أو البرنامج، على أساس المساواة مع الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية».

وهذا يعني أنه يمكن أن يوفر لصانعي القرار أداة قيمة في صياغة السياسات والخطط. في جوهره، يعمل التقييم البيئي الاستراتيجي على توسيع نطاق تطبيق تقييم الأثر البيئي على مستوى السياسات والخطط والبرامج (PPPs).

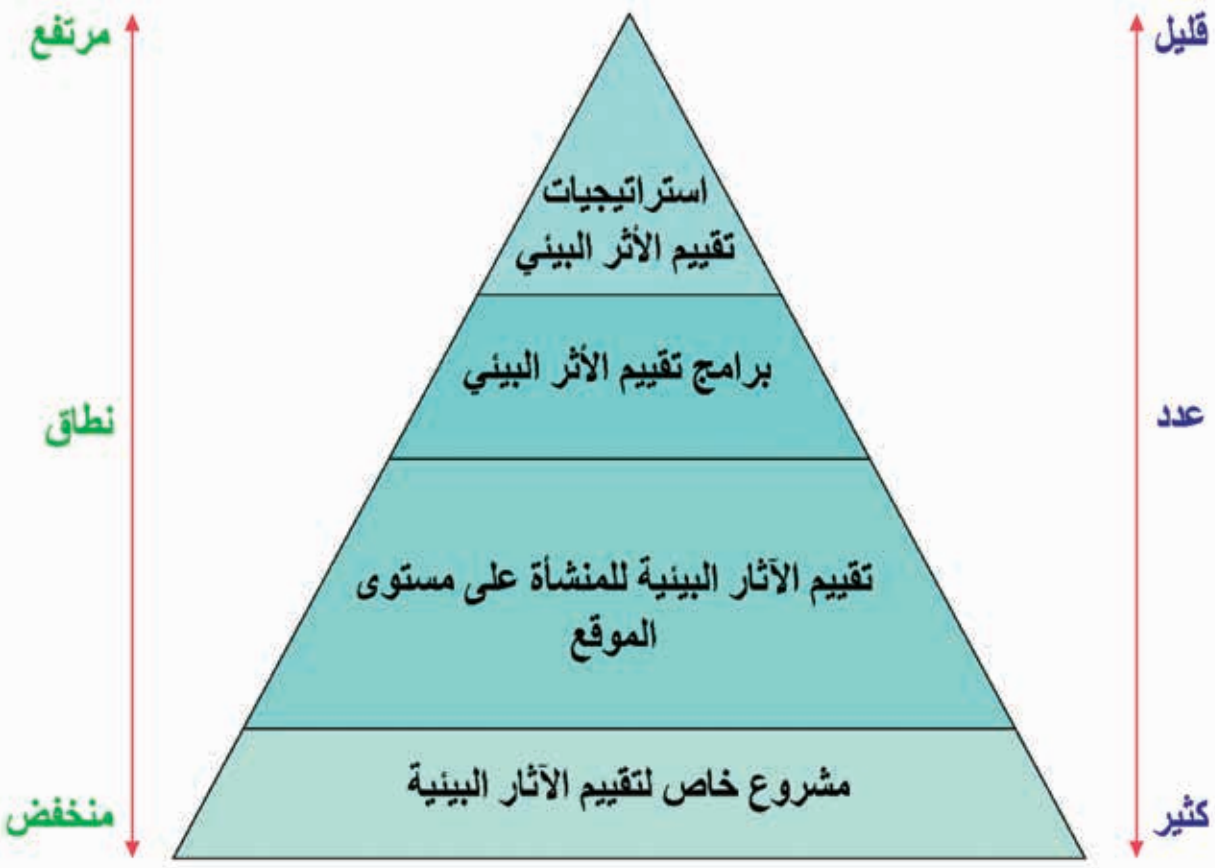
والفرق الرئيسي بين تقييم الأثر البيئي على مستوى المشروع والتقييم البيئي الاستراتيجي هو أنه يمكن تطبيق التقييم البيئي الاستراتيجي على الشراكات بين القطاعين العام والخاص في مرحلة مبكرة من المشاريع الفردية. من ثم، يسمح التقييم البيئي الاستراتيجي بالنظر إلى الاعتبارات والأهداف البيئية بشكل استباقي، باعتبارها عناصر متأصلة في عملية التخطيط، وليس مجرد مشكلات يجب تخفيفها بعد اتخاذ قرارات التنمية الأخرى.

أما الفرق بين عمليات تقييم الأثر البيئي والتقييم البيئي الاستراتيجي واضح في حجم أطرها. عند مقارنته بتقييم الأثر البيئي الخاص بالمشروع، فإن نطاق التقييم البيئي الاستراتيجي يميل إلى أن يكون أوسع، مؤقتًا وجغرافيًا، ويسمح بدراسة البدائل ورؤية برامجية أعلى للصورة الأكبر.

ومن الناحية المثالية، ينبغي إعداد تقييم الأثر البيئي الخاص بالمشروع بمجرد وضع السياسة من خلال التقييم البيئي الاستراتيجي. يوفر تقييم الأثر

البيئي معلومات حول الآثار البيئية المحتملة لمشروع فردي وهو مفيد في تنفيذ تدابير التخفيف.

على سبيل المثال، إذا قررت وكالة حكومية تطوير برنامج وطني لطاقة الرياح، فيمكن استخدام تقييمات الأثر البيئي لتقليل الأضرار البيئية الناجمة عن بناء محطات طاقة معينة، ولكنها لا تستطيع عمليًا معالجة الأسئلة الأكثر جوهرية المتعلقة بتصميم برنامج وطني لطاقة الرياح.



العلاقة بين المستويات المختلفة لتقييمات الأثر البيئي

• نهج التقييم البيئي الاستراتيجي

من المعترف به على نطاق واسع أن التقييم البيئي الاستراتيجي (SEA) هو نهج واعد لمراعاة الآثار البيئية للسياسات والخطط والبرامج. وعلى الرغم من أنها جديدة نسبيًا، إلا أن تطويرها واعتمادها في العقد الماضي كان مثيرًا للإعجاب.

لقد تم وضع أحكام رسمية للتقييم البيئي الاستراتيجي من قبل عدد من البلدان، خاصة في أوروبا وأمريكا الشمالية، ولكن مع بعض الأمثلة البارزة في أماكن أخرى. إن الترتيبات والإجراءات الخاصة بالتقييم البيئي الاستراتيجي متنوعة نسبيًا، على الرغم من أنه من المحتمل حدوث درجة معينة من التوحيد عندما يدخل التوجيه الأوروبي بشأن التقييم البيئي الاستراتيجي حيز التنفيذ في عام 2004.

يوجد حاليًا عدد متزايد من البلدان التي تمر بمرحلة انتقالية لديها نوع من الأحكام لعمليات أو عناصر التقييم البيئي الاستراتيجي، ولكن استخدام التقييم البيئي الاستراتيجي لا يزال محدودًا في العديد من البلدان النامية، إلا عندما يُطلب من البلدان المقترضة إجراء تقييمات قطاعية أو إقليمية للبرامج التي يمولها البنك الدولي. ومع ذلك، هناك طلب متزايد على المعلومات والتدريب في مجال التقييم البيئي الاستراتيجي من البلدان النامية والبلدان التي تمر بمرحلة انتقالية.

يتم الترويج لاستخدام التقييم البيئي الاستراتيجي في البلدان النامية والبلدان التي تمر بمرحلة انتقالية لعدد من الأسباب. وبسبب متطلباته، يمكن لهذا النهج أن يساعد في تعزيز الانفتاح والشفافية في عمليات صنع القرار.

كما يمكن أن يكون خطوة نحو نهج أكثر استباقية وتكاملية لتقييم الأثر والإدارة البيئية، كما تم التأكيد عليه في المناقشات التي جرت في مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة وخطة التنفيذ الناتجة عنه.

ويتم التشديد بشكل خاص على الحاجة إلى مثل هذا النهج لتعزيز التنمية المستدامة، على سبيل المثال من خلال استعراض سياسات الاقتصاد الكلي، وبرامج الاستثمار والتجارة والتنمية، وخطط الطاقة والنقل وغيرها من الخطط القطاعية المعروفة بتأثيرها الكبير على البيئة.

بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يركز التقييم البيئي الاستراتيجي على القضايا الأكثر أهمية بالنسبة للدول النامية والدول التي تمر بمرحلة انتقالية، كما أشارت الأهداف الإنمائية للألفية وخطة تنفيذ مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، والتي تؤكد على الروابط بين الفقر والبيئة والتنمية.

ويتسق هذا النهج إلى حد كبير مع استراتيجية البنك الدولي وغيره من وكالات التنمية الدولية الرامية إلى «تعميم» البيئة في كافة جوانب أنشطتها. وفي هذا الصدد، أصبح الآن من أولويات البنك «استخدام التقييمات البيئية بشكل أكثر استراتيجية».

إذا كانت الخبرة في تقييم الأثر البيئي هي أي دليل، فمن المتوقع أن تعمل سياسة البنك على تشجيع إدخال التقييم البيئي الاستراتيجي في البلدان النامية. ومع ذلك، فإن الشكل والنطاق المناسبين للتقييم البيئي الاستراتيجي عندما تقترح الدول النامية إنشاء نظام خاص بها هو أمر مفتوح للنقاش.

تعتبر الشروط والترتيبات المؤسسية المسبقة إحدى العقبات التي تحول دون إدخال التقييم البيئي الاستراتيجي. هذه العملية أكثر تمايزًا من تقييم التأثير البيئي، وقد لا ينطبق نفس الإجراء بالضرورة على السياسات مقارنة بالخطط أو البرامج.

هناك أيضًا مخاوف من أن التقييم البيئي الاستراتيجي قد يستغرق وقتًا طويلاً ومكلفًا، خاصة بالنسبة للدول النامية الأكثر فقرًا والبلدان التي تمر

بمرحلة انتقالية، مما يتطلب تطوير إجراءات فعالة من حيث التكلفة وسهلة التطبيق. يقوم التقييم البيئي الاستراتيجي بتوسيع أهداف ومبادئ تقييم الأثر البيئي إلى المستويات الأعلى من صنع القرار عندما لا تزال البدائل الرئيسية مفتوحة وهناك مجال أكبر بكثير من مستوى المشروع لدمج الاعتبارات البيئية في أهداف وغايات التنمية. فهو يسمح بمعالجة مشاكل التدهور البيئي من «مصدرها الأولي» في عمليات وضع السياسات والخطط، بدلا من تخفيف «أعراضها النهائية» أو آثارها على مستوى المشروع. وعلى هذا النحو، استجاب التقييم البيئي الاستراتيجي بشكل مباشر لما أسمته اللجنة العالمية المعنية بالبيئة والتنمية (1987) «التحدي المؤسسي الرئيسي في التسعينات».

• تقييم الأثر البيئي على الصحة البيئية

جرى التصديق على الدعم الرسمي لمشاركة منظمة الصحة العالمية في تقييم الأثر على الصحة البيئية بموجب القرار (WHO/ 35.17)، الذي وافقت عليه جمعية الصحة العالمية في مايو 1982. وأوصى هذا القرار بإجراء وتطوير دراسات تقييم الأثر البيئي والصحي قبل تنفيذ جميع مشاريع التنمية الاقتصادية الكبرى، مع إشارة خاصة على المستوى العالمي، إلى مشاريع تنمية الموارد المائية.

طبعًا هناك اختلافات جغرافية في الأولويات فيما يتعلق بتقييم الأثر على الصحة البيئية والتي تعتمد على حالة التنمية النسبية داخل منطقة معينة. وعلى المستوى الأوروبي، على سبيل المثال، تعطى الأولوية للتطورات الصناعية الخطرة، مع تركيز اهتمام خاص على السيطرة على المواد الكيميائية السامة وعلى مخاطر الكوارث التكنولوجية الكبرى.

إن الإطار العام لمشاركة منظمة الصحة العالمية في تقييم الأثر على الصحة البيئية في الوقت الحاضر قد حدده برنامج العمل العام السابع الذي يغطي الفترة 1984–1989 (WHO 1983a). ومن الناحية العملية، فإن سياسة منظمة الصحة العالمية تجاه تحليل التأثيرات على الصحة البيئية لها هدفان رئيسيان:

الأول : هو تعزيز اعتبارات الصحة والسلامة في تقييم الأثر.

الثاني : تسعى منظمة الصحة العالمية إلى تشجيع الدول الأعضاء على إجراء مثل هذه التقييمات لكل مشروع تنموي كبير. تتولى منظمة الصحة العالمية أربع وظائف أساسية فيما يتعلق بدورها الرئيسي كمستشار فني لوزارات الصحة في الدول الأعضاء المكونة لها. وهي جمع ونشر المعرفة الموجودة والخبرات الوطنية المتعلقة بالصحة؛ ونقل هذه المعرفة إلى السياسات والبرامج الوطنية؛ تنسيق وتعبئة المنظمات الأخرى المشاركة في الأنشطة الصحية؛ وتطوير معارف جديدة من خلال تحفيز البحث. ولكل من هذه الوظائف آثار على تقييم الأثر على الصحة البيئية.

• تقييم المخاطر البيئية وإدارة المخاطر

يتضمن تقييم التأثير البيئي (EIA) التنبؤ بالمخاطر القائمة على القياس الكمي لعلاقات السبب وراء التأثير، لكن عدم اليقين هو طابع متأصل لجميع الأنظمة الطبيعية وأي تنبؤات أو تقييمات على تأثيرات الأنشطة المختلفة على هذه الأنظمة الطبيعية، يوفر أوجه عدم اليقين تقييم التأثير البيئي نطاقًا وبيانات للتعامل مع أوجه عدم اليقين هذه.

ومع ذلك، قد لا يتم توصيل أوجه عدم اليقين هذه بشكل صحيح إلى صانع القرار لأن لغة تقييم الأثر البيئي تعبر غالبًا عن «إذا، ثم» الاكتشاف دون معالجة

احتمالات ضمنية بشكل صريح. قد يستخدم تقييم الأثر البيئي القيمة المتوسطة (المتوسطة) أو المتوقعة، أو بدلاً من ذلك، أسوأ قيمة للحالة. قد يكون الاختيار الضمني متحفظًا أو متفائلاً، وعادة ما يكون غير متسق داخليًا. إن استخدام القيم المتوسطة لقياسات التأثيرات، عندما تكون البيانات الفعلية مبعثرة على نطاق واسع و/أو منحرفة من نمط متماثل على شكل جرس، مضللة أيضًا. الطريقة الصحيحة والملائمة لتوصيف البيانات هي وصف التوزيع الإحصائي لمجموعة من القيم والثقة التي يتم من خلالها اعتبار هذا النطاق صحيحًا.

• تقييم الأثر البيئي في الممارسة العملية

تعود جذور تقييم الأثر البيئي إلى المخاوف المتعلقة بالتقدم التكنولوجي الذي ظهر في ستينات القرن الماضي، والروابط التي جرى إنشاؤها بين الأنشطة الصناعية والآثار الضارة على الصحة العامة والفشل الواضح لأدوات صنع القرار التقليدية (وليس أقلها تحليل التكلفة والعائد المفسر على نطاق ضيق) في تحقيق النجاح. مساعدة القرارات في العصر الجديد من عدم اليقين بشأن التأثيرات البشرية على البيئة.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية، كان هناك قلق من أن التأثيرات الأكثر أهمية كانت ناجمة عن الإجراءات والمشاريع الحكومية. في عام 1969، قدم قانون السياسة البيئية الوطنية (NEPA) في الولايات المتحدة نطاقًا ومحتوى جديدًا لتحليل السبب والنتيجة، حيث قدم لأول مرة عملية لتحديد السياسة، وليس مجرد إعلامها. كانت NEPA أول تشريع يتطلب تقييم التأثير البيئي للمقترحات الخاصة بالتشريعات والإجراءات الحكومية الرئيسية الأخرى التي قد تؤثر على جودة البيئة البشرية.

ومـن الجديـر بالملاحظـة أن NEPA سـبق انعقـاد مؤتمـر الأمم المتحـدة في سـتوكهولم عـام 1972 حيـث ظهـرت المخـاوف العالميـة بشـأن حالـة البيئـة، وهـو مؤشـر في حد ذاتـه على طبيعـة القانـون التي تكسـر القالـب والتي كان يُنظـر إليهـا على أنهـا ذات أهميـة كبيـرة. التأثيـر الدولـي الأكبـر لأي تشـريع أمريكـي. ليـس هنـاك شـك في أن تأثيـر NEPA علـى تطويـر وممارسـة تقييـم الأثـر البيئـي كان كبيـرًا، حيـث انتشـرت مفاهيمهـا الأساسـية عالميًـا علـى مـدار 30 عامًـا في أكثـر مـن 100 دولـة. وحيثمـا لا ينـص القانـون علـى ذلـك، فقـد تم بنـاء الهيـاكل الإداريـة والإجـراءات المخصصـة ضمـن تشـريعات أخـرى. داخـل الولايـات المتحـدة الأمريكيـة نفسـها، هنـاك 15 ولايـة لديهـا «اسـتراتيجيات NEPA الصغيـرة» الخاصـة بهـا، والتـي تترجـم وتطـور الأولويـات والأهـداف الفيدراليـة في السـياق المحلـي.

وقـد دعمـت الـوكالات الدوليـة تقييـم الأثـر البيئـي، علـى سـبيل المثـال منظمـة التعـاون الاقتصـادي والتنميـة (1992). وأدركـت المنظمـات الماليـة المتعـددة الأطـراف الحاجـة إلـى تقييـم الأثـر البيئـي وبـادرت إلـى اتخـاذ إجـراءات للمسـاعدة في النظـر في تمويـل التنميـة. وقـد تم الاعتـراف بأهميـة التعامـل مـع التأثيـرات البيئيـة العابـرة للحـدود مـن خـلال اتفاقيـة إسـبو (1991) الصـادرة عـن اللجنـة الاقتصاديـة لـلأمم المتحـدة لأوروبـا، والتـي وقعـت عليهـا 29 دولـة.

وقـد واجـه NEPA نفسـه التهميـش السياسـي، وكانـت هنـاك محـاولات لإلغـاء وكالتـه الإشـرافية الأساسـية، أي مجلـس جـودة البيئـة. ومـع ذلـك، فـإن المخـاوف العامـة والسياسـية بشـأن الحاجـة إلـى حمايـة نوعيـة البيئـة كانـت كافيـة لضمـان بقائهـا. وقـد عـزز هـذا الدعـم التطـورات في البلـدان والمؤسسـات الأخـرى، حيـث تم اسـتغلال التقييـم الصـارم لـكل مشـروع علـى حـدة للتأثيـرات الهامـة الكامنـة في تقييـم الأثـر البيئـي كحـل للعديـد مـن المشـاكل البيئيـة.

ومـع انتشـار تقييـم الأثـر البيئـي في جميـع أنحـاء العالـم، فقـد تم تفصيـل وتوضيـح طبيعتـه. وفي البلـدان التـي لهـا تاريـخ أطـول في اعتمـاد هـذه الأنظمـة، تم أيضًـا توسـيع الأنظمـة وتنقيحهـا في ضـوء الخبـرة. وقـد أدى تقييـم الأثـر البيئـي إلـى إصـلاح عمليـة صنـع القـرار الحكومـي، مـن خـلال توفيـر المعلومـات للجمهـور، وتعزيـز التنسـيق بـين الـوكالات وزيـادة تأثيـر وكالات حمايـة البيئـة.

ومـع ذلـك، لا يـزال تقييـم الأثـر البيئـي أداة جديـدة نسـبيًا لدعـم القـرار، حيـث تتمتـع العديـد مـن البلـدان بخبـرة رسـمية أقـل مـن 10 سـنوات، وبينمـا يمكـن تحديـد الإنجـازات الإيجابيـة في العديـد مـن الأنظمـة الأكثـر تطـورًا، إلا أنـه لا يوجـد ولا تـزال هنـاك مشـاكل كثيـرة في التنفيـذ.

كل نظـام لتقييـم الأثـر البيئـي مميـز. في الواقـع، فـإن السـمة الإيجابيـة للبسـاطة الأساسـية لعمليـة تقييـم التأثيـر البيئـي هـي أنهـا تسـمح بالتنفيـذ المتكيـف والمـرن لتلبيـة الظـروف التشـريعية والإداريـة والاجتماعيـة والسياسـية المحـددة.

تختلـف آليـات المراقبـة، ولا تعكـس الهيـاكل الإداريـة لمختلـف البلـدان فحسـب، بـل تعكـس أيضًـا خصائصهـا المتأصلـة في صنـع القـرار: علـى سـبيل المثـال، تعكـس عمليـات المراقبـة القضائيـة في أمريـكا الشـمالية الثقافـة ذات التوجـه التشـريعي في الولايـات المتحـدة الأمريكيـة؛ إن المناهـج التقييميـة (مثـل هولنـدا وكنـدا وإندونيسـيا وبولنـدا)، المسـتندة إلـى اللجـان المسـتقلة التـي تقـوم بنطـاق تقييـم الأثـر البيئـي ومـن ثـم مراجعتـه، تدعـم التسلسـل الهرمـي المحـدد بوضـوح لصنـع القـرار.

تنعكـس ثقافـة المملكـة المتحـدة المتمثلـة في اتخـاذ القـرار حسـب التقديـر والتفـاوض في تنفيذهـا الأولـي للتوجيـه الأوروبـي 337/85، ممـا يتـرك تقييـم الأثـر البيئـي مرتبطًـا بعمليـة صنـع القـرار بـدلاً مـن دمجـه فيهـا. في حـين أن NEPA قـد وفـر مثـل هـذا الأسـاس القـوي للتنميـة الدوليـة، فقـد أثيـرت أسـئلة رئيسـية في

الاقتصادات النامية حول ما إذا كان تقييم الأثر البيئي «على النمط الغربي» يمكن أو ينبغي أن يترجم إلى إجراءات وطنية، أو ما إذا كان هذا يؤدي إلى نهج بيروقراطي للغاية. وآلية وضخمة.

إن الأمر الأكثر أهمية هو وجود ثقافة سياسية وطنية تدعم تنفيذ وتطبيق تقييم الأثر البيئي وتعترف بالالتزام والبنية التحتية الإدارية والمنهجية والموارد (المؤسسية والفنية والمالية) اللازمة لضمان تحقيق الأهداف الأساسية. تنشأ المشاكل فيما يتعلق بالالتزام السياسي عندما لا يزال البقاء الاقتصادي يعتمد على الإفراط في استغلال الموارد الطبيعية أو عندما تجبر الحاجة الملحوظة لتشجيع المستثمرين على التقليل من بيروقراطية التنمية. ومع ذلك، حتى مع وجود هيكل سياسي وإداري داعم، فإن جودة أي تقييم تأثير بيئي معين تعتمد على جودة الأفراد الذين يقومون به بقدر ما تعتمد على الالتزام بأي إجراء أو تطبيق معين.

إن تقييم الأثر البيئي الذي يقوم به ممارسون ذوو التدريب الضعيف، وغالبًا خلف أبواب مغلقة للوفاء بالتزام قانوني أساسي، ويُنظر إليه على أنه مجرد عقبة أخرى يجب تجاوزها في طريق تنفيذ المشروع، من غير المرجح أن يحقق الفوائد المحتملة لتقييم التأثير البيئي. لا يزال تقييم الأثر البيئي يتطور كفن وعلم. في حين كان التركيز المبكر على طرق التنبؤ بالأثر، فإن الأنظمة في البلدان المتقدمة على وجه الخصوص تركز الآن بشكل أكبر على تحسين إجراءات التطبيق، وليس أقلها معالجة دمج تقييم الأثر البيئي في عمليات صنع القرار البيئي الأوسع.

في الاتحاد الأوروبي (EU)، على سبيل المثال، يمكن دمج تقييم الأثر البيئي كجزء من تحديد الموقع في نظام مكافحة التلوث من خلال اقتراح التوجيه

المتكامل لمنع التلوث ومكافحته بضرورة إجراء تقييم واحد لتخطيط التنمية والتصاريح التشغيلية.

ومن المعترف به حاليًا أن شكلًا ما من أشكال التقييم الاستراتيجي هو مقدمة ضرورية لتطوير المشاريع والمواقع المحددة، على الرغم من أن التنفيذ الرسمي لا يزال ينتظر، وخاصة في معظم الاقتصادات النامية والانتقالية. في وقت كتابة هذا التقرير، كان هناك مشروع توجيه أوروبي قيد التطوير بشأن التقييم البيئي الاستراتيجي (SEA).

على الرغم من أن الأنظمة القانونية التي تنص على التقييم البيئي للسياسات آخذة في الظهور ببطء (على سبيل المثال في كندا ونيوزيلندا)، فقد تم الإعراب عن مخاوف بشأن وجهة نظر مفرطة في التبسيط حول كيفية «تدرج» القرارات التي تؤثر على البيئة من السياسات إلى الخطط إلى المشاريع.

من المؤكد أن مناقشات التقييم البيئي الاستراتيجي في أوروبا واجهت مخاوف بشأن التكلفة والافتقار إلى التقنيات المناسبة. ومع ذلك، هناك حجج واضحة مفادها أن «أي شيء أفضل من لا شيء»، كما أن الخبرة العملية في المملكة المتحدة فيما يتعلق بالتقييمات الجزئية فيما يتعلق بالخطط أمر مشجع. ومع ذلك، فإن الأسئلة الأكثر أهمية تتعلق بالتوقعات المتزايدة لتقييم التأثير البيئي كعنصر رئيسي في تخطيط التنمية المستدامة.

ويدعم مفهوم التنمية المستدامة كلا من التنمية الاقتصادية وحماية البيئة؛ ولذلك فمن الواضح أن تقييم التأثير البيئي يمكن أن يلعب دوراً قيماً في اتخاذ القرارات حيث يجب معالجة التوازن المناسب بين هذين الهدفين الذين قد لا يمكن التوفيق بينهما. وهذا يتطلب الاهتمام ليس فقط بالدمج المبكر لتقييم التأثير البيئي في تصميم المشروع ودراسة البدائل (كما هو مطلوب في الولايات المتحدة الأمريكية) ولكن أيضًا لتحسين المنهجيات.

ولعل واحدة من أكبر المشاكل فيما يتعلق بتطبيق تقييم الأثر البيئي على قرارات التنمية المستدامة لا تكمن فقط في أوجه القصور في العملية ولكن في حقيقة أن أفكار وشروط التنمية المستدامة لا تزال في المقام الأول فقط في الاستخدام الشائع بين نخب السياسة ولم يتم تطبيقها بعد. ترجمتها إلى إجراءات وممارسات. وهذا سيتطلب، على سبيل المثال، معايير التنمية المستدامة التي يمكن أن تدعم العناصر التنبؤية والتقييمية لعملية تقييم التأثير البيئي والتي تستمد الدعم العام بعد أن تمت صياغتها من خلال عملية بناء الإجماع.

• قيـــاس الفعاليـــة

إن الأدبيات المتعلقة بتقييم الأثر البيئي كبيرة. وهيمنت المنهجيات على المناقشات، مما يعكس جذورها التكنولوجية. إن النظر في التطور السياسي والتشريعي والإجرائي في مختلف البلدان والمؤسسات، ليس أقله من خلال دراسة الفعالية الدولية، وتطبيق تقييم الأثر البيئي على قرارات محددة لم يكن غائباً تماماً.

ومع ذلك، لا يزال هناك كراهية واضحة لتقييم الممارسة، وليس أقلها آثارها الفعلية، وإن كان بدرجة أقل في الولايات المتحدة وكندا مقارنة بالعديد من البلدان الأخرى. وبعبارة أخرى، ما زلنا لا نفهم بشكل كامل ما إذا كان تقييم التأثير البيئي يحقق الإمكانات أم أنه يهدر الفرص. وهذا ليس أمراً غريباً على تقييم الأثر البيئي، بل إنه يفسد جميع أنشطة صنع القرار. يمكن أن يؤدي التقييم إلى نتائج غير مريحة، مع ما يترتب على ذلك من عواقب على الأفراد بقدر ما يترتب على القرارات في حالة تحديد المشاكل أو الإخفاقات.

قد تكون عملية تقييم الفعالية مكلفة. غالبًا ما تكون الأنظمة والإجراءات التشريعية مفتوحة للتقييم فقط إذا كان هناك ضغط كبير أو إذا كانت جزءًا من عملية التنفيذ (كما في حالة تنفيذ التوجيه الأوروبي).

إن أنظمة تقييم الأثر البيئي نفسها مبنية على مبدأ الوقاية من خلال تحديد التأثيرات والتنبؤ بها. المتابعة منعدمة في كثير من الأنظمة؛ ولذلك فإن تقييم تأثير تقييم الأثر البيئي على الإجراء المتخذ لا يوفر إلا القليل من الفهم لفعالية العملية وتدابير التخفيف.

تم تعريف الفعالية Effectiveness على أنها شيء يعمل على النحو المنشود ويلبي الغرض الذي تم تصميمه من أجله. وينظر في الفعالية على ثلاثة مستويات:

- على المستوى الدولي، من حيث التقييم المقارن لتحقيق الأهداف البيئية الدولية.
- على المستوى الوطني (أو داخل المنظمة)، من حيث أداء النظام بالرجوع إلى السياسة والوظائف المؤسسية التي تم تصميم تقييم التأثير البيئي لخدمتها.
- على المستوى الجزئي أو المستوى الخاص بالعملية، من حيث مساهمة تقييم التأثير البيئي في القرار الذي يتم اتخاذه.

تثار على الفور أسئلة رئيسية حول من يجب أن يقوم بإجراء التقييم، وشفافية النتائج وانفتاحها، وربما الأهم من ذلك هو مدى إمكانية تصحيح أوجه القصور التي تم الكشف عنها. يجب ألا يكون التقييم ممارسة أكاديمية بحتة، بل يجب أن يكون ذا صلة وذو قيمة عملية فورية للأطراف المعنية.

الشرط الأول للتقييم هو مجموعة متفق عليها من معايير الفعالية. إن مفهوم الاتفاق بين جميع الأطراف المعنية (السياسية، القانونية، التنظيمية، التنموية، العامة) يعتبر مهماً، وكيفية تحقيق ذلك ربما يمثل أحد أكبر التحديات ونحن ننتقل إلى الألفية الجديدة.

وفيما يتعلق بمعايير فعالية المشاركة العامة، هناك حاجة إلى النظر في كل من أهداف النتائج والعملية بالإضافة إلى الأهداف القصيرة (مثل الموافقة على التنمية) والأهداف طويلة الأجل (مثل التنمية المستدامة).

يتم عرض المعايير للنظر في تقييم أنظمة تقييم الأثر البيئي. وتتعلق المعايير بما يأتي:

- وضوح الأحكام القانونية.
- الشمولية من حيث تغطية الإجراءات والآثار البيئية المهمة.
- شفافية اتخاذ القرار.
- الانفتاح من ناحية فرص المشاركة العامة ومراجعة القرار وفهمه.
- الكفاءة من حيث التكلفة والوقت.
- قوة التقييم وجودة تقرير تقييم الأثر البيئي.

يتم التعامل مع تقييم التقييمات المحددة من خلال أنظمة المراجعة الرسمية وغير الرسمية، حيث تكون جودة العملية والمنتج (أي تقرير تقييم الأثر البيئي) في سياق قرار محدد مهمة. وهنا، وربما إلى حد أكبر من تقييم أنظمة تقييم التأثير البيئي، تصبح معايير الجودة أو فعالية الأطراف المختلفة مهمة. لا يمكن لتقييم الأثر البيئي أن يكون عملية محايدة أبدًا، فهو علم «مدني» حيث تحدد التصورات والقيم والأولويات الاجتماعية والاقتصادية النتائج بقدر ما تحدد البيانات وطرق التنبؤ بالأثر. عند النظر في عملية تساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، تتعلق الأسئلة الرئيسية بما إذا كان قد تم تحديد البدائل وتحليلها بدلاً من تبرير البديل المحدد مسبقًا، وما إذا كانت مقترحات الخطة والمشروع يتم تغييرها بالفعل نتيجة للعملية مع توفير الفهم مدى فعالية أي تخفيف يتم تطبيقه.

والسؤال النهائي يجب أن يكون: «هل يُحدث تقييم الأثر البيئي فرقاً في تحسين الجودة البيئية؟» لقد كان لبعض البلدان تاريخ طويل نسبياً في تطبيق تقييم الأثر البيئي ولكن لا تزال هناك مشاكل بيئية كبيرة.

• الخبـــرة والممارســـة

ركـزت أدبيـات تقييـم التأثيـر البيئـي في كثيـر مـن الأحيـان علـى العمليـة والمنهجيـات العامـة بـدلاً مـن النظـر في التطبيـق علـى قضايـا ومشـاريع محـددة. لقـد تم تقـديم تقييـم الأثـر البيئـي دائمًـا كأداة شـاملة ينبغـي أن تكـون قابلـة للتطبيـق علـى أي مشـروع. وهـذا لـه مزايـا مـن حيـث السـماح للجميـع بالتوحـد تحـت رايـة واحـدة تدعـم اسـتخدامه عبـر مجموعـة كبيـرة مـن قـرارات التنميـة وفي تعزيـز الفهـم الواسـع والعـام للعمليـة ومتطلباتهـا. ومـع ذلـك، فإنـه يمكـن أن يقتـرح تشـابهًا في النهـج، ممـا يعنـي أنـه يمكـن للمؤيـد ببسـاطة أن يأخـذ تقييـم الأثـر البيئـي الأخيـر لنـوع مشـروعه مـن علـى الـرف، ومـع بعـض التغييـرات الحكيمـة في الكلمـات، يقـدم حالـة مماثلـة لتطويـره.

إن التركيـز علـى منهجيـات تقييـم الأثـر، بـدلًا مـن عمليـات المشـاركة والاتصـال والاسـتعراض، ومـا إلـى ذلـك، يشـجع هـذا النهـج. ومـع ذلـك، يجـب أن يكـون تقييـم التأثيـر البيئـي أكثـر مـن مجـرد مجموعـة مـن الفصـول الخاصـة بالوسـائط المحـددة معًـا في غـلاف. علـى المسـتوى الاسـتراتيجي، فـإن تقييـم السياسـات آخـذ في الظهـور ببـطء، والتعقيـد المتأصـل وانتشـار عمليـة صنـع القـرار يـؤدي إلـى تفاقـم مشـاكل محاولـة دمـج التقييـم بالمعنـى التقليـدي لتقييـم الأثـر البيئـي للمشـروع.

وفي المسـتوى التالـي للأسـفل، تتـم ممارسـة عمليـة وضـع الخطـط الأكثـر تركيـزًا وإجرائيـة علـى نطـاق أوسـع، ولكـن يُنظـر إليهـا علـى أنهـا تعتمـد علـى قـدرة الوكالـة الرائـدة علـى توفيـر وظيفـة تنسـيق فعالـة بـين العناصـر المختلفـة ذات الاهتمـام.

توفـر عمليـة التقييـم المضمنـة جيـدًا في عمليـة وضـع الخطـط الأمريكيـة مثـالًا مهمًـا علـى إمكانـات التقييـم البيئـي الاسـتراتيجي. علـى مسـتوى المشـروع، تركـز المناقشـة علـى عـدد مـن القطاعـات التـي غالبًـا مـا تكـون مقترحـات التنميـة فيهـا

مثيرة للجدل: الطاقة، والنفايات، والطرق والسكك الحديدية، والتعدين، وموارد المياه. غالبًا ما تثير المشاريع في هذه القطاعات أسئلة أساسية حول الحاجة بالإضافة إلى عدم المساواة الاجتماعية: وهي قضايا غالبًا ما لا يُسمح لها بالظهور إلا في المجال العام على مستوى المشروع. وفي العديد من القطاعات، هناك سمات مشتركة أخرى تتمثل في الفترات الزمنية الطويلة للتشغيل، ونطاق التأثيرات الجديدة التي تصبح واضحة على مدى عمر مشروع معين، والعلاقة المتبادلة مع الأنظمة التنظيمية التي تتحكم في العمليات.

إن تقييم الأثر البيئي الذي يركز على تقييم ما قبل المشروع بدلًا من دمجه في المرحلة التشغيلية قد يؤدي إلى إهدار الفرص أو تعزيز الحماية البيئية. يمكن لخطط الإدارة البيئية التي تم تطويرها خلال تقييم الأثر البيئي وبمشاركة عامة أن تعمل ليس فقط على تحديد التخفيف المطلوب، ولكن أيضًا لتوفير أساس قوي للإغلاق النهائي أو إيقاف التشغيل. عند دمجها في المرحلة التشغيلية، توفر الخطة رابطًا للمراقبة لمعالجة فعالية تقييم الأثر البيئي بالإضافة إلى التكيف المناسب للتشغيل وتنفيذ تدابير التخفيف الجديدة، كما هو مطلوب.

يعرض عدد من المشاريع التي تمت مناقشتها في هذا الجزء الأخير من الدليل تأثيرات مكانية وزمانية متغيرة، مع تعقيد كبير للتأثيرات غير المباشرة والتراكمية، وليس أقلها تلك المرتبطة بالإطلاقات في الهواء والماء (مشاريع النفايات والطرق والطاقة، على وجه الخصوص). عندما يركز تقييم الأثر البيئي على موقع واحد، بدلاً من دمجه في نظام الإدارة البيئية الذي يشمل الأسئلة الإستراتيجية للحاجة، والنظر في البدائل، والتقييم الخاص بالموقع والمرحلة التشغيلية، يكون هناك مجال أقل لمعالجة وتخفيف التأثيرات التراكمية الناجمة عن مختلف مصادر.

لقد كانت العديد من المشاريع ذات الصلة بالبنية التحتية والمرافق واسعة النطاق موضوعًا تقليديًا لتحليل التكلفة والعائد، وليس أقلها مشاريع الطرق والسكك الحديدية والطاقة وموارد المياه. نشأت أوجه قصور كبيرة عندما، على مستوى التخطيط الاستراتيجي، لم يتم إعطاء التأثيرات البيئية اعتبارًا متساويًا لتلك المتعلقة بالتكاليف، حيث ليس هناك شك في أن تقييم الأثر البيئي يؤدي في الممارسة العملية إلى إضافة تدابير التخفيف والتعويض إلى التصميم والتنفيذ (حتى لو كانت محدودة) وتوفر منصة أكثر استنارة واتساقًا للمشاركة العامة.

• مراقبة الجودة في تقييم الأثر البيئي

إن «الجودة» و«الممارسة الجيدة/أفضل» و«الفعالية» كلها تعبيرات شائعة الاستخدام في تقييم الأثر البيئي (EIA). مع أنها ليست قابلة للتبادل تمامًا، إلا أنها جميعًا مهتمة بهدف ضمان أن يزيد تقييم التأثير البيئي من إمكاناته كأداة للإدارة البيئية. إن تحسين جودة المعلومات المقدمة لصانعي القرار، وفرص المشاركة العامة، وفعالية التكلفة وطرق تحليل التأثير كلها أمثلة على القضايا التي يجب معالجتها لتحقيق الجودة في تقييم التأثير البيئي.

في نهاية المطاف، يتم اختبار جودة أو فعالية تقييم الأثر البيئي من خلال ما إذا كان «يحدث فرقًا»، أي ما إذا كان تقييم الأثر البيئي يؤدي إلى تحسين حماية البيئة. يهتم هذا الفصل بالطرق المستخدمة لضمان تقديم الجودة في تقييم التأثير البيئي.

الجودة الوحيدة أو نظام تقييم التأثير البيئي الفعال غير موجود. وبدلاً من ذلك، يجب أن يكون النظام مناسبًا للسياق الاجتماعي والسياسي والاقتصادي الذي يجب أن يعمل فيه. ومع ذلك، فمن الممكن تحديد المبادئ التي تشكل ممارسة جيدة ويمكن أن تكون بمثابة نموذج لتعزيز عمليات وممارسات تقييم التأثير البيئي.

• أبعـــاد الجـــودة

كان التركيز الأساسي للمناقشات حول الجودة في تقييم الأثر البيئي هو جودة بيان الأثر البيئي (EIS). لقد تم تصميم إجراءات لتقديم معلومات بيئية عالية الجودة في العديد من البلدان (خاصة في هولندا)، وذلك بشكل أساسي من خلال إنشاء إجراء للمراجعة. لقد كانت جودة نظام معلومات الأثر البيئي أيضًا محورًا للبحث.

أثارت الدراسة الأخيرة مسألة التصورات المختلفة للجودة لدى مختلف أصحاب المصلحة في العملية. على سبيل المثال، قد يكون نظام معلومات الأثر البيئي الجيد لمؤيد المخطط هو الذي يساهم في الحصول على الموافقة على المشروع. بالنسبة للمنظمة البيئية غير الحكومية (NGO)، قد يكون العكس تمامًا هو الصحيح: نظام معلومات البيئة الجيد هو الذي يوفر معلومات تؤدي إلى رفض الموافقة على المشروع.

يجب أن يكون تصور صانع القرار محايدًا من الناحية النظرية، لكن الواقع السياسي قد يعني أنه يتغير من مشروع مقترح إلى آخر، اعتمادًا على ما إذا كان لديهم أي رأي مسبق حول ما إذا كان يجب المضي قدمًا في المشروع أم لا.

في مثل هذه الظروف، قد يكون نظام معلومات الأثر البيئي (EIS) الجيد هو الذي يدعم النتيجة المرجوة. تتعلق جميع الأمثلة المذكورة أعلاه بتقييم التأثير البيئي الذي يخدم مصلحة معينة على أخرى. وهذا ليس طلبًا معقولًا أو مرغوبًا فيه، ولكنه يشير إلى عدد قليل من المشاركين في العملية الذين هم محايدون، وأنه من المحتمل أن تكون لديهم مطالب وتوقعات مختلفة.

إن تقييم الأثر البيئي هو نتاج لعملية تقييم الأثر البيئي، وعلى هذا النحو، من المرجح أن ترتبط جودة التوثيق ارتباطًا وثيقًا بجودة العملية. وكقاعدة

عامـة، يمكـن أن ينتـج نظـام معلومـات الأثـر البيئـي (EIS) الضعيـف عـن عمليـة جيـدة، ولكـن لـن ينتـج نظـام معلومـات الأثـر البيئـي (EIS) الجيـد عـن عمليـة سيئة.

ومـن الناحيـة المثاليـة، يجـب أن تـؤدي العمليـة ذات الجـودة الجيـدة إلـى نظـام معلومـات بيئـي جيـد. لقـد أصبـح دور عمليـة تقييـم الأثـر البيئـي محـور الأبحـاث الحديثـة. وكمـا نوقـش أعـلاه، فـإن مـا يشـكل عمليـة جيـدة قـد يعتمـد أيضًـا علـى التصـورات التـي يحملهـا مختلـف أصحـاب المصلحـة في العمليـة.

بالنسـبة لمؤيـدي المخطـط، قـد تكـون العمليـة الجيـدة ذات تكلفـة محـدودة، أو علـى الأقـل فعالـة مـن حيـث التكلفـة، ولا تضيـف إلـى الوقـت المسـتغرق لتخطيـط المشـروع والمسـاهمة في تصميـم مشـروع سـليم. أمـا بالنسـبة للآخريـن فـإنّ تقييـم الأثـر البيئـي الناجـح يشـتمل علـى عمليـة تشـاور واسـعة النطـاق وكاملـة.

ومـما يزيـد مـن تعقيـد فهـم الجـودة مـن حيـث صلتهـا بالعمليـة حقيقـة أن بعـض الخصائـص المرغوبـة لمختلـف أصحـاب المصلحـة قـد لا تكـون متكاملـة. علـى سـبيل المثـال، قـد يكـون برنامـج الاستشـارة المكثـف هـو السـمة ذاتهـا التـي تتسـبب في ارتفـاع تكلفـة تقييـم الأثـر البيئـي عـن توقعـات مؤيـد المخطـط.

الوجـه الثالـث لجـودة تقييـم التأثيـر البيئـي هـو المنظـور الدولـي، الـذي يشـتمل علـى مراجعـة لخصائـص العمليـة لمجموعـة مـن البلـدان. وأبـرز مثـال علـى ذلـك، وهـو مـا يمكـن تسـميته بمراجعـة العمليـات الدوليـة، هـو دراسـة فعاليـة التقييـم البيئـي. سـعت الدراسـة إلـى تحديـد التوجيـه العـام والتوجيـه لإجـراء تقييـم التأثيـر البيئـي في المسـتقبل.

قدمـت المناقشـة أعـلاه مجموعـة مـن وجهـات النظـر حـول مـا يشـكل الجـودة في تقييـم التأثيـر البيئـي. وفي حيـن قـد توجـد توتـرات بيـن المواقـف المختلفـة لأصحـاب

المصلحة، فإن وجهات النظر بشكل عام ليست حصرية بشكل متبادل ولكنها تتطلب تحقيق توازن في المصالح. لقد حاول العمل الأخير تحديد المبادئ التي تدعم الممارسة الجيدة في تقييم التأثير البيئي؛ وأبرزها هو العمل الذي تم تنفيذه كجزء من دراسة الفعالية الدولية والعمل الذي تم تنفيذه من أجل الرابطة الدولية لتقييم الأثر بشأن وضع مبادئ تقييم الأثر البيئي.

في حين أن «إحداث فرق» قد يكون المعيار الذي يتم من خلاله الحكم على الجودة في تقييم التأثير البيئي، إلا أنه لا توجد آلية واحدة يمكن تنفيذها لضمان تحقيق هذا الهدف. يجب تطوير سلسلة من العناصر الأساسية التي تساهم معًا في عملية تقييم التأثير البيئي الفعالة. تنقسم وحدات البناء هذه إلى فئتين مرتبطتين:

- **التدابير النظامية:** ميزات أنظمة تقييم التأثير البيئي التي تم تصميمها لتقديم ضمان الجودة في ممارسة وإدارة تقييم التأثير البيئي (مراجعة تقييم التأثير البيئي هي المثال الأبرز).
- **التدابير الأساسية:** الميزات التي تعزز الممارسة الجيدة وتدعم التطبيق الناجح للنهج النظامية (مثل المبادئ التوجيهية والتدريب والاعتراف المهني). ويمكن أن تتعلق بمشروع/قطاع مهني محدد أو بسياق وطني أو أن تكون عامة بما يكفي لتطبيقها على أساس دولي.

• ضمان الجودة في تقييم الأثر البيئي

الخطوات الإجرائية المستخدمة لضمان تقييم التأثير البيئي الفعال موجهة بشكل عام نحو التأكد من أن جودة المعلومات المقدمة إلى صانع القرار كافية، أي ضمان أن أساس اتخاذ القرار المستنير سليم. ولكن يمكن تحديد أهداف أخرى، على سبيل المثال:

- **ضمـــان** أن المشاريع المناسبة فقط هي التي تخضع للتقييم.
- **ضمـــان** معالجة التأثيرات المناسبة من خلال تقييم الأثر البيئي.
- **ضمـــان** حصول الجمهور على فرصة كافية للمشاركة في هذه العملية.
- **ضمـــان** تحقيق حماية البيئة أثناء التنفيذ.

إلى حد بعيد، فإن ميزة مراقبة الجودة الأكثر شيوعًا في أنظمة تقييم التأثير البيئي هي مراجعة EIS-EIA وهي الميزة التي تظل الأكثر أهمية. تم تعريف المراجعة على النحو التالي: «. . . هي الخطوة في عملية تقييم الأثر البيئي التي يتم من خلالها التأكد من أن المعلومات البيئية المتعلقة بالإجراء المقترح ذات جودة وأهمية كافية، وفي بعض الولايات القضائية، يتم فيها تحديد آثار المعلومات على عملية صنع القرار».

إن مراجعة تقييم الأثر البيئي هي الفرصة الرئيسية للتأكد من أن المعلومات المتعلقة بالتأثيرات البيئية لإجراء ما كافية قبل استخدامها كأساس لصنع القرار وتحديد الشروط المرتبطة به. أحد العناصر الأساسية للمراجعة هو إتاحة الفرصة لطلب معلومات إضافية ولأولئك المسؤولين عن إعداد تقييم الأثر البيئي ليكونوا ملزمين بتوفير هذه المعلومات.

تعد المراجعة أيضًا فرصة أساسية للعامة للمشاركة في عملية تقييم التأثير البيئي والتعليق على مدى تناول الوثائق لمخاوفهم واحتوائها على معلومات كافية وذات صلة. عادة ما يتم تحديد أهداف المراجعة من حيث الصفات المطلوبة لنظام معلومات الأثر البيئي.

قدم الباحث شولتن (1995) تعريفًا أكثر رسمية للقضايا التي تحتاج إلى معالجة من قبل نظام معلومات الأثر البيئي وبالتالي فهي محور المراجعة:

- **هل المعلومات كافية؟** هل يعطي (في ضوء طبيعة النشاط ومستوى صنع القرار والقضايا البيئية المطروحة) جميع المعلومات المطلوبة؟
- **هل المعلومات صحيحة** وتتماشى مع المعرفة العلمية والتقنية الحالية؟
- **هل المعلومات ذات صلة؟** أي:
  - **هل تركز على القضايا التي تثيرها الأطراف المعنية؟**
  - **هل تتجنب المعلومات الزائدة عن الحاجة؟**
  - **هل يمكن الوصول إلى المعلومات بشكل واضح، ولا سيما لصانعي القرار والجمهور المتأثر؟**
- **في بعض الولايات القضائية:** هل التأثيرات مقبولة من وجهة نظر البيئة؟ (في بعض البلدان، تعد عملية المراجعة أيضًا أداة لاتخاذ القرار أو تقديم المشورة بشأن القرار).

ومما سبق يتبين أن هناك اتفاقاً واسعاً على وظيفة المراجعة. تتكون المراجعة عادةً من جزأين متميزين، وغالبًا ما يتم إجراؤهما في وقت واحد ويتم تجميعهما معًا في نهاية عملية المراجعة. ويمكن أن يطلق عليها المراجعة الفنية والمراجعة العامة.

يتراوح النهج المتبع في المراجعة الفنية من قبل مختلف البلدان من غير الرسمي إلى الرسمي. يتم هنا فحص أربعة نماذج إجرائية لمراجعة تقييم

التأثيـر البيئـي:

- مراجعة غير رسمية.
- المراجعة الرسمية داخل الحكومة أو سلطة اتخاذ القرار.
- المراجعة الرسمية باستخدام سلطة مستقلة.
- مراجعة غير رسمية من قبل هيئة مستقلة.

• مراقبة الجودة باستخدام أساليب نظامية أخرى

في حين أن مراجعة تقييم التأثير البيئي هي أهم آلية لمراقبة الجودة في عملية تقييم التأثير البيئي، إلا أنه يمكن تطبيق آليات أخرى في مراحل أخرى ضمن العملية. أربع فرص محددة هي:

- الفحص.
- تحديد النطاق.
- تقييم الأثر.
- التخفيف والمتابعة.

حيث يوفر الفحص وتحديد النطاق الفرصة لإنشاء نموذج لتقييم الأثر البيئي الفعال. يمكن أن يضمن الفحص تطبيق تقييم الأثر البيئي بشكل مناسب. وهذا لا يضمن تقييم المشاريع ذات التأثيرات الكبيرة المحتملة فحسب، بل يضمن أيضًا عدم تطبيق تقييم الأثر البيئي بشكل غير مناسب وبالتالي تعزيز فعاليته من حيث التكلفة. يوفر تحديد النطاق فرصة لتحديد متطلبات تقييم الأثر البيئي في مرحلة مبكرة.

وإذا أمكن تنفيذها بفعالية، فإنها ينبغي أن تقلل إلى أدنى حد من الصعوبات التي تمت مواجهتها في مرحلة المراجعة من العملية. كما ذكر أعلاه، يمكن لنطاق المشروع أن يوفر الأساس للمراجعة (كما هو الحال في هولندا). إن إشراك سلطة مستقلة (سلطة اتخاذ القرار أو لجنة تقييم الأثر البيئي) والجمهور في مرحلة تحديد النطاق يتيح اتخاذ نهج العملية برمتها.

في الواقعٍ، فهو يسمح للجمهور والسلطة المستقلة بوضع جدول أعمال التقييم، بدلاً من التعليق على تقييم الأثر البيئي في نهاية العملية. فهو ينص على اتخاذ موقف استباقي وليس رد الفعل من قبل سلطة التقييم والجمهور.

في حين أن مرحلة تحديد النطاق تحدد جدول أعمال تقييم الأثر البيئي، فإن جودة المخرجات لن تتحقق إلا إذا كان أولئك الذين يقومون بالتقييم مطلعين بشكل جيد، ولديهم أهداف واضحة وأكفاء. إن مراقبة الجودة أثناء إعداد تقييم الأثر البيئي ليست مسؤولية وكالة خارجية، ولكنها مسؤولية الممارسين.

يعد دور مدير المشروع والعلاقات مع مؤيد المخطط أمرًا بالغ الأهمية. قد يكون مدير المشروع مسؤولاً عن:

- اختيار فريق تقييم الأثر البيئي.
- حل النزاعات داخل فريق تقييم الأثر البيئي.
- الحفاظ على تقييم الأثر البيئي في الميزانية.
- اختيار توقيت وطبيعة المشاركة العامة.
- العمل كخط أول لمراقبة الجودة على المخرجات من أعضاء الفريق.
- تنسيق تقييم التأثيرات التي لها جوانب متعددة التخصصات.
- استيعاب مجموعة من المعلومات المقدمة في عدد من التنسيقات وأساليب الكتابة بحيث تكون مناسبة للتواصل مع غير المتخصصين.

- إعادة التصميم أو التأثير في إعادة تصميم جوانب المشروع.
- الإبلاغ وتوصيل النتائج بطريقة متماسكة.

ستؤثر كل من هذه الوظائف على جودة تقييم الأثر البيئي، ومدى تلبية عملية تقييم الأثر البيئي لتوقعات مختلف أصحاب المصلحة ومدى فعاليتها في تجنب أو تقليل الآثار البيئية للمشروع. ويتأثر العامل الأخير أيضًا بالعلاقة بين مؤيد المخطط وفريق تقييم التأثير البيئي. يقترح تومولينسون (1997) أن العلاقة بين فريق تقييم الأثر البيئي ومخططي المشروع يمكن أن تقع ضمن واحدة من ثلاث فئات:

• نهـــج عـــدم التدخـــل

تقييم الأثر البيئي المستقل للتصميم المكتمل مع القدرة على اقتراح تدابير تخفيف واسعة النطاق كتوصيات، ولكن مع عدم اليقين في التنفيذ.

• نهـــج شـــبه متكامـــل

تقييم الأثر البيئي بشكل مستقل لعملية تصميم المشروع المتطورة، ولكن مع التبادلات الدورية مع فريق تصميم المشروع من المرجح أن يؤدي إلى تدابير تخفيف مثبتة.

• نهـــج التصميـــم المتكامل

فريق واحد للتصميم والتقييم البيئي يقلل من الحاجة إلى تدابير التخفيف المثبتة.

ويعتبر هذا الأخير هو النهج المفضل. ومن الموثق جيدًا أن تقييم الأثر البيئي يجب أن يبدأ في أقرب وقت ممكن في تخطيط المشروع. وهذا يمكّن

تقييم الأثر البيئي من التأثير على التصميم وربما موقع المشروع. ومن الناحية المثالية، باستخدام هذا النهج يمكن تصميم العديد من المشاكل البيئية المحتملة. ومع ذلك، فإن مثل هذه التأثيرات لا يمكن تطبيقها إلا عندما «يوافق» مؤيد المشروع على عملية تقييم التأثير البيئي كأداة تصميم مفيدة.

قد يتطلب هذا «التوافق» التشجيع والإقناع من قبل فريق تقييم التأثير البيئي، وخاصة مدير المشروع. يعد موقف مقترح المشروع والموقف الذي اتخذه المقيم أمرًا بالغ الأهمية لفعالية تقييم التأثير البيئي. ربما يكون التحدي الأكبر في إنشاء تقييم فعال للتأثير البيئي هو بناء الرابط بين تقييم الأثر البيئي والقرار وتنفيذ المشروع. تعتبر آلية المتابعة الفعالة هي المفتاح لضمان إدارة التأثيرات البيئية بشكل عملي. ومع ذلك، لكي يطمئن صانعو القرار إلى أن الكلمات الجميلة الواردة في تقييم الأثر البيئي سيتم تطبيقها على أرض الواقع، فلا بد من وجود آلية تربط التوثيق بالمتابعة.

تقليديًا، سيتم تنفيذ تدابير التخفيف وأنشطة المتابعة الأخرى من خلال تحديد الشروط المرتبطة بإجراء الموافقة. ومع ذلك، فإن نطاق الشروط غالبًا ما يكون مقيدًا قانونيًا ويمكن أن تكون اتفاقيات المتابعة التي يتم التفاوض عليها محدودة. يميل تحديد الشروط أيضًا إلى أن يكون آلية تفاعلية للقضايا المحددة في نظام معلومات الأثر البيئي، مما يؤدي إلى تطعيم المتطلبات في خطة تنفيذ المشروع بدلاً من أن يكون جزءًا لا يتجزأ من البرنامج.

يعد تضمين خطة الإدارة البيئية Environmental Management Plan (EMP) في EIS أو إنشاء رابط لنظام الإدارة البيئية المعتمد Environmental Management System (EMS) طريقتين ناشئتين لإرضاء صناع القرار بوجود الترتيبات المناسبة لإدارة الآثار البيئية للتنفيذ.

يمكن أن تتبع خطة الإدارة البيئية (EMP) مجموعة من التنسيقات، ولكنها ستحدد بشكل عام ما يلي:

- التدابير الواجب تنفيذها.
- الطرائق التي سيتم استخدامها (مثل وتيرة الرصد).
- الجهات المسؤولة عن القيام بهذه المهمة.
- الأهداف المطلوب تحقيقها (على سبيل المثال، عدم وجود شكاوى بخصوص توليد الغبار).

يعد إنشاء رابط إلى نظام الإدارة البيئية المعتمد، في بعض النواحي، أقل تحديدًا فيما يتعلق بمهام الإدارة البيئية الفعلية التي يتعين القيام بها، ولكن من المحتمل أن يكون له تأثير مماثل لخطة الإدارة البيئية. يحدد نطاق تقييم الأثر البيئي، بحكم تعريفه، الآثار البيئية الهامة للمشروع.

تتطلب شهادة نظام الإدارة البيئية المعتمد من المؤيد إنشاء نظام إدارة للتحكم في هذه التأثيرات وإدارتها. يتطلب نظام الإدارة البيئية أيضًا تحديد الأهداف والغايات، على غرار خطة الإدارة البيئية.

• تقييم الأثر البيئي على المستوى الدولي

من المفهوم جيدًا أن تقييم الأثر البيئي (EIA) هو أداة مهمة لتنفيذ وتعزيز التنمية المستدامة. فهو يجمع بين المبدأ الوقائي ومبدأ منع الأضرار البيئية وينظم المشاركة العامة. لقد أصبح تقييم الأثر البيئي الأداة الرئيسية لنهج متكامل لحماية البيئة، لأنه يتطلب تقييماً شاملاً لتأثيرات النشاط على البيئة، على عكس النهج القطاعي التقليدي.

علاوة على ذلك، فإنه يدرس بدائل النشاط المقترح ويجلب الحقائق والمعلومات حول التأثيرات البيئية إلى انتباه صناع القرار والجمهور. ويستخدم تقييم الأثر البيئي بالفعل كأداة فعالة لتحسين نوعية البيئة على المستوى الوطني. ومن المفهوم أن اتفاقية اللجنة الاقتصادية لأوروبا التابعة للأمم المتحدة بشأن تقييم الأثر البيئي في سياق عبر الحدود (التي سميت فيما بعد باتفاقية تقييم الأثر البيئي) ستؤدي إلى تنمية سليمة بيئيا ومستدامة من خلال توفير معلومات عن العلاقة المتبادلة بين الأنشطة الاقتصادية وتأثيرها. العواقب البيئية، ولا سيما في سياق عابر للحدود.

جرى اعتماد اتفاقية تقييم الأثر البيئي، التي تم وضعها تحت رعاية اللجنة الاقتصادية لأوروبا، في إسبو (فنلندا) في 25 فبراير 1991. ووقعت عليها 29 دولة (ألبانيا، النمسا، بيلاروسيا، بلجيكا، بلغاريا، كندا، جمهورية التشيك، الدنمارك، فنلندا، فنلندا). (فرنسا، ألمانيا، اليونان، المجر، أيسلندا، أيرلندا، إيطاليا، لوكسمبورغ، هولندا، النرويج، بولندا، البرتغال، رومانيا، الاتحاد الروسي، سلوفاكيا، إسبانيا، السويد، أوكرانيا، المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية) ومن قبل الجماعة الأوروبية. بحلول نوفمبر 1997، 22 دولة (ألبانيا، أرمينيا، النمسا، بلغاريا، كندا، كرواتيا، الدنمارك، فنلندا، اليونان، المجر،

إيطاليا، ليختنشتاين لوكسمبورغ، هولندا، النرويج، بولندا، جمهورية مولدوفا، سلوفينيا، إسبانيا، السويد، سويسرا). والمملكة المتحدة) والجماعة الأوروبية بإيداع صكهما ذي الصلة لدى الأمين العام للأمم المتحدة. ووفقاً للمادة 18 من الاتفاقية، دخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في 10 سبتمبر 1997. هذه الاتفاقية هي أول معاهدة متعددة الأطراف تحدد الحقوق والواجبات الإجرائية للأطراف فيما يتعلق بالتأثيرات العابرة للحدود للأنشطة المقترحة وتوفر إجراءات، في سياق عابر للحدود، للنظر في التأثيرات البيئية في عملية صنع القرار.

وتنص اتفاقية تقييم الأثر البيئي على التزامات الأطراف بتقييم التأثيرات البيئية في مرحلة مبكرة من التخطيط. تنص اتفاقية تقييم الأثر البيئي على تدابير وإجراءات لمنع أو مراقبة أو تقليل أي تأثير سلبي كبير على البيئة، وخاصة أي تأثير عابر للحدود، من المحتمل أن يكون ناجماً عن نشاط مقترح أو أي تغيير كبير في نشاط قائم.

تنص اتفاقية تقييم الأثر البيئي على أنه يجب تنفيذ إجراء تقييم الأثر البيئي على النحو المنصوص عليه في هذه الاتفاقية لنشاط مقترح يخطط له أحد الأطراف والذي من المحتمل أن يكون له تأثير كبير عبر الحدود داخل منطقة تخضع لولاية طرف آخر.

تتضمن اتفاقية تقييم الأثر البيئي ديباجة و20 مادة وسبعة ملاحق. تحدد الديباجة المبادئ الأساسية لاتفاقية تقييم الأثر البيئي، مثل العلاقة المتبادلة بين الأنشطة الاقتصادية وعواقبها البيئية، والحاجة إلى ضمان التنمية المستدامة والسليمة بيئيا، والحاجة إلى إيلاء اعتبار واضح للعوامل البيئية في مرحلة مبكرة من القرار عملية صنع القرار واستخدام تقييم الأثر البيئي كأداة ضرورية لتحسين جودة المعلومات المقدمة إلى صناع القرار. وتشدد الديباجة أيضًا على

ضـرورة وأهميـة وضـع سياسـات اسـتباقية ومنـع الآثـار السـلبية الكبيـرة العابـرة للحـدود وتخفيفهـا ورصدهـا.

وتـدرك الحكومـات أن عمليـة صنـع القـرار تميـل إلـى الفصـل بـين الجوانـب البيئيـة وجوانـب التنميـة الاقتصاديـة. ولـم يؤثـر هـذا الفصـل علـى عمليـة صنـع القـرار فحسـب، بـل أثـر أيضًـا علـى عمـل جميـع المجموعـات، بمـا في ذلـك الحكومـة والصناعـة وقطـاع الأعمـال والأفـراد.

ولا يمكـن إعـادة تشـكيل عمليـة صنـع القـرار إلا من خـلال تعديل الإطـار القانوني والإداري الوطني. ولتحقيق هذه الغاية، ينبغي مراجعة السياسـات والاسـتراتيجيات والخطـط والأدوات القانونيـة الاقتصاديـة/القطاعيـة لضمـان التكامـل التدريجـي للاعتبـارات البيئيـة في عمليـة صنـع القـرار في جميـع القطاعـات الاقتصاديـة.

ولتصميـم وتنفيـذ نظـام فعـال لصنـع القـرار يأخـذ في الاعتبـار البيئـة والاقتصـاد علـى السـواء، لا بـد مـن وجـود بيئـة مؤسسـية مناسـبة. وينبغـي أن يهـدف هـذا الإعـداد إلـى ترجمـة العلاقـة الوثيقـة بـين البيئـة والاقتصـاد مـن النظريـة إلـى التطبيـق. وينبغـي معالجـة هـذا التشـابك بـين المجالـين علـى جميـع المسـتويات، سـواء كانـت وطنيـة أو محليـة أو قطاعيـة.

وبنـاء علـى ذلـك، عنـد إعـداد اتفاقيـة تقييـم الأثـر البيئـي، أرادت الحكومـات دمـج عمليـات صنـع القـرار البيئـي والتنمـوي، بهـدف مراقبـة وتقييـم عمليـة التنميـة المسـتدامة بشـكل منهجـي، واسـتعراض حالـة البيئـة والمـوارد الطبيعيـة بانتظـام، بمـا يضمـن الشـفافية. والمسـاءلة عـن الآثـار البيئيـة للسياسـات الاقتصاديـة والقطاعيـة. وتنفيـذ الاتفاقيـة يرسـي أساسـا هامـا في هـذا الصـدد.

• نحو مناهج متكاملة لتقييم الأثر البيئي

تؤكد خطة تنفيذ مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة التي تم الاتفاق عليها في جوهانسبرج في سبتمبر 2002 على أهمية اتباع «نهج شامل ومشترك بين القطاعات» لتنفيذ التنمية المستدامة. ومع ذلك، لا يوجد سوى القليل من التوجيه العملي حول معنى ذلك أو كيفية تنفيذ مثل هذا النهج.

ويتمثل التحدي المباشر على جميع المستويات في الاستفادة بشكل أفضل من العمليات والأدوات الحالية لتقييم الأثر، وتخطيط التنمية والإدارة البيئية.

يوفر تقييم الأثر البيئي والتقييم البيئي الاستراتيجي أدوات أساسية لتحقيق نهج أكثر تكاملاً لدعم عملية صنع القرار على مستوى المشروع والسياسة، على التوالي.

لقد تم تعريف المنهج المتكامل دائما على أنه السمة المميزة للممارسة الجيدة لتقييم التأثير البيئي. على سبيل المثال، يدعو التشريع التأسيسي الوكالات إلى «... الاستفادة من نهج منظم متعدد التخصصات يضمن الاستخدام المتكامل للعلوم الطبيعية والاجتماعية» (المادة 102 (2) قانون السياسة البيئية الوطنية الأمريكية، 1969).

كما هو موضح مسبقًا، فقد توسع نطاق تقييم الأثر البيئي: **أولاً**، إلى الخارج ليشمل التأثيرات الاجتماعية والصحية وأنواع معينة من التأثيرات الاقتصادية والمالية؛ **وثانيًا**، في المنبع ليصبح التقييم البيئي الاستراتيجي للسياسات والخطط المقترحة وفي المصب نحو روابط أوثق مع أنظمة الإدارة البيئية (EMS) للمنشآت التشغيلية.

وهنـاك موضـوع مصاحـب، أقـل تطـوراً، يهتـم أكثـر بإعـادة تنظيـم تقييـم التأثيـر البيئـي. فهـو يضـع تقييـم الأثـر البيئـي في المخطـط الأكبـر للإدارة البيئيـة، ممـا يؤدي إلـى تحسـين مكانتـه الوظيفيـة فيمـا يتعلـق بـأدوات تقييـم الأثـر وتقييـم الاسـتدامة الأخـرى. هنـاك مسـتويان مـن التكامـل المحتمـل:

- يتـم أخـذ جميـع التأثيـرات علـى البيئـة بعـين الاعتبـار. علـى سـبيل المثـال، يعطـي تحليـل البصمـة البيئيـة مقياسًـا بديـلًا لتخصيـص رأس المـال الطبيعي (أو العجـز في التأثيـر) حسـب البلـد أو المنطقـة الحضريـة أو القطـاع الاقتصـادي أو المنشـأة الصناعيـة. وهـذا بـدوره يضـع إطـارًا مرجعيًـا لتقييـم الأثـر البيئـي ونظـام الإدارة البيئيـة وتقييـم دورة الحيـاة والتدقيـق البيئـي.
- يتـم تقييـم جميـع تأثيـرات مقترحـات التطويـر، علـى سـبيل المثـال. يتـم إجـراء تقييـم الأثـر البيئـي والتقييـم البيئـي الاسـتراتيجي أو دمجهمـا مـع أدوات التقييـم الاقتصـادي والاجتماعـي لاسـتخلاص تحليـل كامـل للتكلفـة لمبـادرات السياسـات والمشـاريع الرئيسـية.

وكمـا هـو الحـال مـع مفهـوم الاسـتدامة، فـإن تعريـف مـا يتـم دمجـه فيمـا يتعلـق بتقييـم الأثـر ليـس واضحًـا دائمًـا. هنـاك، في الواقـع، عـدة مسـتويات مـن التكامـل المحتمـل يتـم الترويـج لهـا أو محاولـة تنفيذهـا في أطـر عمـل تقييـم الأثـر البيئـي والتقييـم البيئـي الاسـتراتيجي.

التنميـــة المســتدامة

يعيش الإنسان في العالمين الطبيعي والاجتماعي. إن تطورنا التكنولوجي له تأثيرات قوية على المكونات الطبيعية والاجتماعية. وعندما نتحدث عن التنمية، لا يمكن أن ينظر إليها على أنها تنمية فقط لقلة محظوظة تتمتع بمستوى معيشي مرتفع وستجني كل الفوائد.

التنمية لا تعني أيضًا زيادة في الناتج القومي الإجمالي لعدد قليل من الدول الغنية. ويجب تصور التنمية بطريقة شمولية، حيث تعود بالنفع على الجميع، ليس للجيل الحالي فحسب، بل للأجيال القادمة أيضا. وهناك حاجة ملحة لربط الجوانب الاجتماعية بالتنمية والبيئة. سنناقش هنا مختلف القضايا الاجتماعية المتعلقة بالبيئة.

تُعرف التنمية المستدامة بأنها «تلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها الخاصة». قُدّم هذا التعريف في تقرير لجنة برونتلاند، «مستقبلنا المشترك Our Common Future»، من قبل رئيس الوزراء النرويجي جي.إتش. برونتلاند، الذي كان أيضًا مديرًا لمنظمة الصحة العالمية.

أصبحت التنمية المستدامة اليوم كلمة طنانة وأطلقت مئات البرامج باسم التنمية المستدامة. إذا كنت تريد اختبار ما إذا كان الاقتراح سيحقق أهداف الاستدامة أم لا، فما عليك سوى محاولة معرفة ما يأتي:

- **هل يحمي التنوع البيولوجي لدينا؟**
- **هل يمنع تآكل التربة؟**
- **هل يبطئ النمو السكاني؟**
- **هل يزيد الغطاء الحرجي؟**
- **هل يخفض انبعاثات مركبات الكربون الكلورية فلورية وأكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون؟**

- **هل يقلل من توليد النفايات وهل يعود بالنفع على الجميع؟**
- **هذه ليست سوى عدد قليل من المعايير لتحقيق النمو المستدام.**

حتى الوقت الحالي كانت التنمية موجهة نحو الإنسان، وذلك في المقام الأول بالنسبة لعدد قليل من الدول الغنية. لقد وصلوا إلى أعلى مستويات التطور العلمي والتكنولوجي، ولكن بأي ثمن؟ إن الهواء الذي نتنفسه، والماء الذي نشربه، والطعام الذي نأكله، كلها ملوثة بشدة.

مواردنا الطبيعية تتضاءل بسبب الاستغلال المفرط. وإذا استمر النمو بالطريقة نفسها، فسوف نواجه قريبًا «يوم الهلاك» - كما اقترح ميدوز وزملاؤه في تقريرهم الأكاديمي الشهير عالميًا «حدود النمو The Limits to Growth». وهذا تطور غير مستدام سيؤدي إلى انهيار الأنظمة المترابطة في هذه الأرض.

ومع أنّ المخاوف بشأن هذا النمو والتنمية غير المستدامين بدأت في سبعينات القرن العشرين، إلا أن مناقشة واضحة حول التنمية المستدامة ظهرت على المستوى الدولي في عام 1992م، في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية (UNCED)، المعروف باسم قمة الأرض، الذي عقد في ريو دي جانيرو، البرازيل.

ويهدف إعلان ريو إلى «إقامة شراكة عالمية جديدة وعادلة من خلال خلق مستويات جديدة من التعاون بين الدول...». يقترح جدول أعمال القرن 21، من بين الاتفاقيات الخمس المهمة، برنامج عمل عالمي بشأن التنمية المستدامة في السياق الاجتماعي والاقتصادي والسياسي للقرن الحادي والعشرين.

وأعقب ذلك مؤتمر القمة العالمي للأمم المتحدة للتنمية المستدامة (WSSD) في جوهانسبرغ، جنوب أفريقيا في عام 2002م والذي ركز على الاستراتيجيات الوطنية للتنمية المستدامة.

• الجوانب الرئيسية للتنمية المستدامة هي:

◆ الإدارة الحكيمة للموارد

وهذا يؤكد أنه يجب علينا تقليل أي آثار سلبية على الموارد والبيئة للأجيال القادمة، أي يجب علينا تسليم بيئة آمنة وصحية وواسعة الموارد لأجيالنا القادمة. ولا يمكن تحقيق ذلك إلا إذا أوقفنا الاستغلال المفرط للموارد، وقللنا من تصريف النفايات والانبعاثات، وحافظنا على التوازن البيئي.

◆ العدالة بين الأجيال

وهذا يؤكد أن عمليات التنمية يجب أن تسعى إلى تقليل فجوات الثروة داخل الدول وفيما بينها. يؤكد تقرير التنمية البشرية للأمم المتحدة (2001م) على أن فوائد التكنولوجيا يجب أن تسعى إلى تحقيق أهداف المساواة بين الأجيال.

ويجب أن تعالج التكنولوجيا مشكلات البلدان النامية، وتنتج أصنافًا تتحمل الجفاف في المناخات غير المستقرة، ولقاحات للأمراض المعدية، وأنواع وقود نظيفة للاستخدام المنزلي والصناعي. وهذا النوع من التطور التكنولوجي سيدعم النمو الاقتصادي للدول الفقيرة ويساعد على تضييق فجوة الثروة ويؤدي إلى الاستدامة.

• تدابيـــر التنميـــة المستدامـــة

بعض التدابير المهمة للتنمية المستدامة هي كما يأتي:

◆ استخدام التكنولوجيا المناسبة

هـو الـذي يكـون قابـلًا للتكيـف محليًـا، وصديقًـا للبيئـة، وموفـرًا للمـوارد، ومناسـبًا ثقافيًـا. وهـي تنطـوي في الغالـب علـى المـوارد المحليـة والعمالـة المحليـة. فالتكنولوجيـات المحليـة أكثـر فائـدة وفعاليـة مـن ناحيـة التكلفـة والاسـتدامة. غالبًـا مـا تتخـذ الطبيعـة كنمـوذج، وذلـك باسـتخدام الظـروف الطبيعيـة لتلـك المنطقـة كمكونـات لهـا. ويُعـرف هـذا المفهـوم باسـم «التصميـم مـع الطبيعـة».

يجب أن تستخدم التكنولوجيا موارد أقل ويجب أن تنتج الحد الأدنى من النفايات.

◆ نهج التخفيض وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير (3-R)

إن النهـج (3-R) الـذي يدعـو إلـى التقليـل مـن اسـتخدام المـوارد، واسـتخدامها مـرارًا وتكـرارًا بـدلًا مـن تمريرهـا إلـى مجـرى النفايـات وإعـادة تدويـر المـواد يقطـع شـوطًا طويـلًا في تحقيـق أهـداف الاسـتدامة. فهـو يقلـل الضغـط علـى مواردنـا وكذلـك يقلـل مـن توليـد النفايـات والتلـوث.

◆ تعزيز التثقيف والتوعية البيئية

إن جعـل التعليـم البيئـي مركـزًا لجميـع عمليـات التعلـم سيسـاعد بشـكل كبيـر في تغييـر نمـط تفكيـر النـاس ومواقفهـم تجـاه أرضنـا وبيئتنـا. إن تقـديم المـادة مباشـرة مـن مرحلـة المدرسـة سـوف يغـرس الشـعور بالانتمـاء إلـى الأرض لـدى الأطفـال الصغـار. سـيدمج «التفكيـر بكوكـب الأرض Earth Thinking» تدريجيًـا في تفكيرنـا وأفعالنـا ممـا سيسـاعد بشـكل كبيـر في تحويـل أنمـاط حياتنـا إلـى أنمـاط مسـتدامة.

◆ استخدام الموارد حسب القدرة الاستيعابية

يمكن لأي نظام أن يحافظ على عدد محدود من الكائنات الحية على المدى الطويل وهو ما يعرف بقدرته الاستيعابية. وفي حالة البشر، يصبح مفهوم القدرة الاستيعابية أكثر تعقيدا. وذلك لأن البشر، على عكس الحيوانات الأخرى، لا يحتاجون إلى الغذاء للعيش فحسب، بل يحتاجون إلى أشياء أخرى كثيرة للحفاظ على نوعية الحياة.

إن استدامة النظام تعتمد إلى حد كبير على القدرة الاستيعابية للنظام. إذا تم تجاوز القدرة الاستيعابية لنظام ما (على سبيل المثال، من خلال الاستغلال المفرط للموارد)، فإن التدهور البيئي يبدأ ويستمر حتى يصل إلى نقطة اللاعودة.

تتكون القدرة الاستيعابية من عنصرين أساسيين:

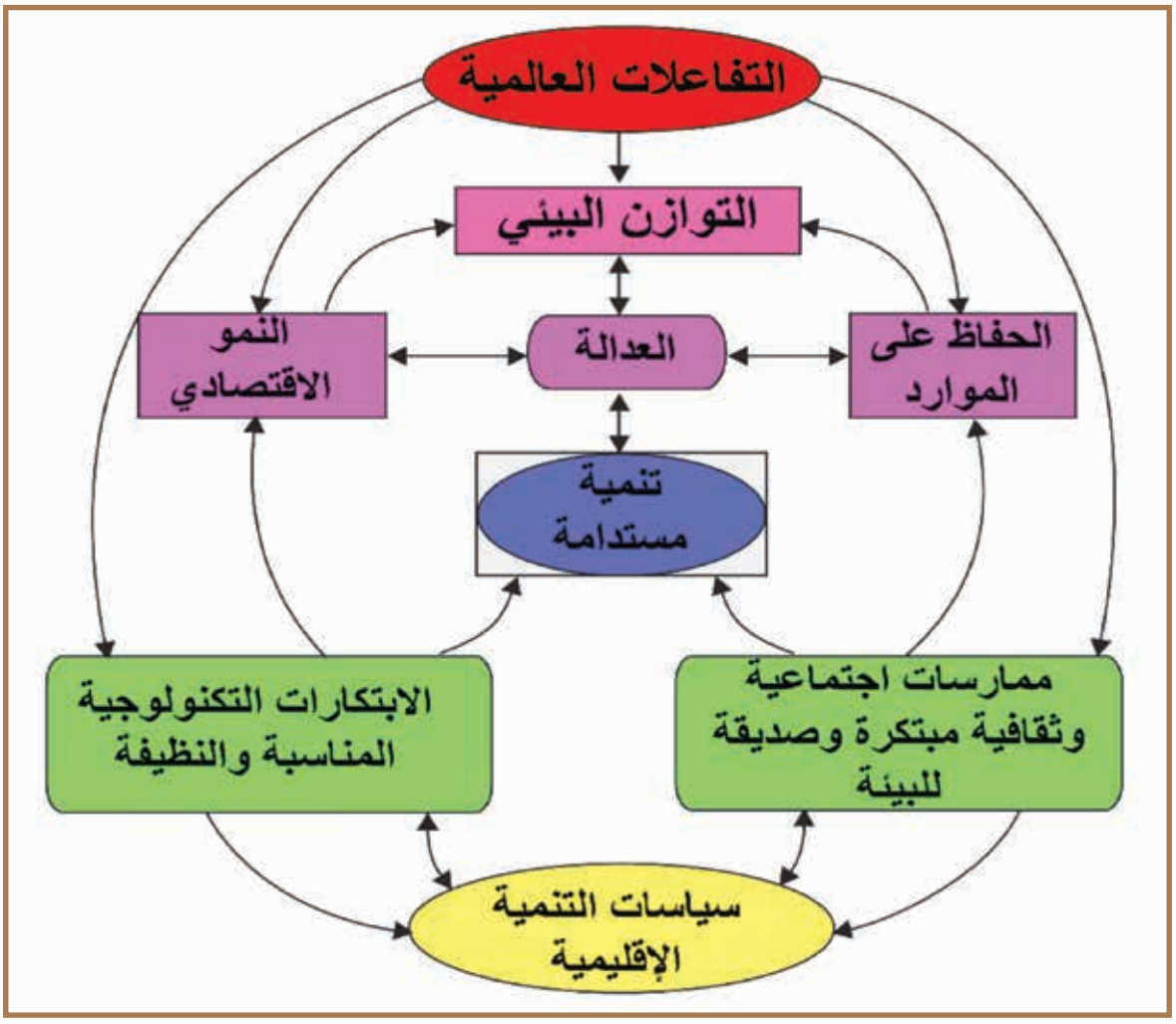
- القدرة الداعمة أي القدرة على التجديد.
- القدرة الاستيعابية أي القدرة على تحمل الضغوط المختلفة.

من أجل تحقيق الاستدامة، من المهم جدًا استخدام الموارد بناءً على الخاصيتين المذكورتين أعلاه للنظام. يجب ألا يتجاوز الاستهلاك عملية التجديد ولا ينبغي السماح بحدوث تغييرات تتجاوز قدرة النظام على التحمل.

◆ تحسين نوعية الحياة بما في ذلك الأبعاد الاجتماعية والثقافية والاقتصادية

ولا ينبغي للتنمية أن تركز فقط على قطاع واحد من الأثرياء بالفعل. بل ينبغي أن يشمل تقاسم المنافع بين الأغنياء والفقراء. ويجب أيضًا الحفاظ على القبائل والعرقيات وتراثهم الثقافي. وينبغي أن تكون المشاركة المجتمعية القوية موجودة في السياسات والممارسات. وينبغي أن يستقر النمو السكاني.

من ثم يمكن تحقيق التنمية المستدامة من خلال دمج الأبعاد الاجتماعية والعلمية والبيئية على المستوى الإقليمي والعالمي، كما هو موضح في الشكل الآتي:



نموذج متعدد الأبعاد للتنمية المستدامة.

إن التنمية المستدامة ممكنة من خلال اعتبار الأرض ومواردها مشتركة للجميع. إن الدور التشاركي الذي تقوم به الدول العامة ومختلفها في تطوير الابتكارات التكنولوجية وأسلوب الحياة المحافظ على البيئة له القدر نفسه من الأهمية لتحقيق النمو الاقتصادي والتوازن البيئي والإنصاف والحفاظ على الموارد.

الاقتصـــاد البيئـــي

الاقتصاد البيئي Environmental Economics هو مجال فرعي من الاقتصاد يهتم بالقضايا البيئية. لقد أصبح موضوعًا مدروسًا على نطاق واسع بسبب المخاوف البيئية المتزايدة في القرن الحادي والعشرين.

يجري الاقتصاد البيئي «دراسات نظرية أو تجريبية للآثار الاقتصادية للسياسات البيئية الوطنية أو المحلية في جميع أنحاء العالم. ... وتشمل القضايا الخاصة تكاليف وفوائد السياسات البيئية البديلة للتعامل مع تلوث الهواء، ونوعية المياه، والمواد السامة، والنفايات الصلبة والاحتباس الحراري».

يتميز الاقتصاد الإيكولوجي عن الاقتصاد البيئي حيث يركز الاقتصاد البيئي على الاقتصاد بصفته نظام فرعي للنظام البيئي مع تركيزه على الحفاظ على رأس المال الطبيعي. وجدت إحدى الدراسات الاستقصائية للاقتصاديين الألمان أن الاقتصاد الإيكولوجي والاقتصاد البيئي هما مدرستان مختلفتان للفكر الاقتصادي، حيث يؤكد الاقتصاديون البيئيون على الاستدامة «القوية» ويرفضون الاقتراح القائل بأن رأس المال («المادي») من صنع الإنسان يمكن أن يحل محل رأس المال الطبيعي.

يعود تاريخ المجال الحديث للاقتصاد البيئي إلى الستينات بفضل مساهمة كبيرة من الاقتصادي ما بعد الكينزي بول ديفيدسون، الذي كان قد أنهى للتو منصبًا إداريًا في شركة النفط القارية.

• فشـــل الســـوق

محور الاقتصاد البيئي هو مفهوم فشل السوق Market Failure. ويعني فشل السوق فشل الأسواق في تخصيص الموارد بكفاءة. وكما ذكر هانلي وشوغرين ووايت (2007م) «يحدث فشل السوق عندما لا يخصص السوق الموارد النادرة

لتوليد أكبر قدر من الرفاهية الاجتماعية. حيث توجد شعرة معاوية بين ما يفعله الشخص العادي في ضوء أسعار السوق وما قد يريد المجتمع منه أن يفعله لحماية البيئة. ويعني هذا التبذير أو عدم الكفاءة الاقتصادية؛ يمكن إعادة تخصيص الموارد لجعل شخص واحد على الأقل أفضل حالاً دون جعل أي شخص آخر أسوأ حالاً».

ويؤدي هذا إلى سوق غير فعال يحتاج إلى تصحيح من خلال سبل مثل التدخل الحكومي. وتشمل الأشكال الشائعة لفشل السوق العوامل الخارجية، وعدم الاستبعاد، وعدم المنافسة.

يعد تلوث الهواء مثالاً على فشل السوق، حيث يفرض المصنع تكلفة خارجية سلبية على المجتمع.

• المؤثـــــر الخارجـــــي

توجد المؤثرات الخارجية Externality عندما يتخذ الشخص خيارًا يؤثر على الآخرين بطريقة لا تؤخذ في الاعتبار في سعر السوق. يمكن أن تكون العوامل الخارجية إيجابية أو سلبية ولكنها ترتبط عادة بمؤثرات خارجية سلبية في الاقتصاد البيئي. على سبيل المثال، تسرب المياه في المباني السكنية الذي يحدث في الطوابق العليا يؤثر على الطوابق السفلى.

ويتعلق مثال آخر بكيفية تجاهل بيع أخشاب الأمازون لكمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في عملية القطع. أو أن الشركة التي تنتج التلوث لن تأخذ في الاعتبار عادة التكاليف التي يفرضها تلوثها على الآخرين. ونتيجة لذلك، قد يحدث التلوث بما يتجاوز مستوى الكفاءة الاجتماعية Socially Efficient، وهو المستوى الذي كان من الممكن أن يوجد إذا طُلب من السوق أن يأخذ في الاعتبار التلوث.

قُدّم تعريف كلاسيكي متأثر بكينيث أرو وجيمس ميد من قبل هيلر وستاريت (1976)، اللذين يعرفان المؤثرات الخارجية بأنها «حالة يفتقر فيها الاقتصاد الخاص إلى الحوافز الكافية لإنشاء سوق محتملة في بعض السلع وعدم وجود هذه السوق يؤدي إلى خسائر في كفاءة باريتو». في المصطلحات الاقتصادية، تعد المؤثرات الخارجية أمثلة على فشل السوق، حيث لا يؤدي السوق غير المقيد إلى نتائج فعالة.

• الســـلع المشـــتركة والســـلع العامـــة

عندما يكون استبعاد بعض الأشخاص من الوصول إلى مورد بيئي مكلفًا جدًا، يُطلق على المورد إما اسم مورد الملكية المشتركة (عندما يكون هناك تنافس على المورد، بحيث يؤدي استخدام شخص واحد للمورد إلى تقليل فرصة الآخرين في استخدام المورد) أو منفعة عامة (عندما يكون استخدام المورد غير تنافسي). وفي كلتا الحالتين، من المرجح أن يكون تخصيص السوق غير فعال.

لقد جرى الاعتراف بهذه التحديات منذ فترة طويلة. أدى مفهوم هاردين (1968م) لمأساة المشاعات إلى تعميم التحديات التي ينطوي عليها عدم الاستبعاد والملكية المشتركة.

يشير «المشاع» إلى الأصول البيئية نفسها، ويشير «موارد الملكية المشتركة» أو «موارد المجمع المشترك» إلى نظام حقوق الملكية الذي يسمح لبعض الهيئات الجماعية بوضع مخططات لاستبعاد الآخرين، مما يسمح بالحصول على تدفقات المنافع المستقبلية؛ و«الوصول المفتوح» يعني عدم الملكية، بمعنى أن الملكية التي يملكها الجميع لا يملكها أحد.

المشكلة الأساسية هي أنه إذا تجاهل الناس قيمة ندرة المشاعات، فقد ينتهي بهم الأمر إلى بذل الكثير من الجهد، والإفراط في حصاد الموارد (على سبيل المثال، مصايد الأسماك). ويرى هاردين أنه في غياب القيود، فإن مستخدمي الموارد مفتوحة الوصول سوف يستخدمونها أكثر مما لو كانوا مضطرين إلى دفع ثمنها وكان لديهم حقوق حصرية، مما يؤدي إلى التدهور البيئي.

ومع ذلك، يمكن النظر إلى عمل أوستروم (1990م) حول كيفية عمل الأشخاص الذين يستخدمون موارد الملكية المشتركة الحقيقية على إنشاء قواعد الحكم الذاتي للحد من مخاطر مأساة المشاعات.

ويعد التخفيف من آثار تغير المناخ مثالًا على الصالح العام، حيث لا تنعكس الفوائد الاجتماعية بشكل كامل في سعر السوق. لأن الفوائد الهامشية الشخصية أقل من الفوائد الاجتماعية التي يوفرها السوق لتخفيف آثار تغير المناخ. وهذه منفعة عامة لأن مخاطر تغير المناخ ليست منافسة ولا يمكن استبعادها.

مثل هذه الجهود ليست منافسة لأن التخفيف من تغير المناخ المقدم لأحد الأشخاص لا يقلل من مستوى التخفيف الذي يتمتع به أي شخص آخر. إنها أفعال لا يمكن استبعادها، إذ ستكون لها عواقب عالمية لا يمكن استبعاد أحد منها. ويتقلص الحافز الذي يدفع أي بلد للاستثمار في الحد من الكربون لأنه يستطيع الاستفادة مجانًا من الجهود التي تبذلها بلدان أخرى.

منذ أكثر من قرن من الزمان، ناقش عالم الاقتصاد السويدي نوت ويكسل (1896) لأول مرة كيف يمكن أن يكون توفير السلع العامة أقل من اللازم من قبل السوق لأن الناس قد يخفون تفضيلاتهم للصالح العام، ولكنهم يظلون يستمتعون بالفوائد دون دفع ثمنها.

• التقييـــم

يعد تقييم القيمة الاقتصادية للبيئة موضوعًا رئيسيًا في هذا المجال. وفي كثير من الأحيان، لا تنعكس قيم الموارد الطبيعية في الأسعار التي تحددها الأسواق، وفي الواقع فإن الكثير منها متاح بدون أي رسوم نقدية. وكثيرًا ما يؤدي عدم التطابق هذا إلى تشوهات في تسعير الأصول الطبيعية: الإفراط في استخدامها ونقص الاستثمار فيها.

تشمل القيمة الاقتصادية أو الفوائد الملموسة لخدمات النظام البيئي، وبشكل أعم، للموارد الطبيعية، الاستخدام غير المباشر. تشمل قيم عدم الاستخدام

قيم الوجود والخيار والوصية. على سبيل المثال، قد يقدر بعض الناس وجود مجموعة متنوعة من الأنواع، بغض النظر عن تأثير فقدان أحد الأنواع على خدمات النظام البيئي. وقد يكون لوجود هذه الأنواع قيمة خيارية، حيث قد تكون هناك إمكانية استخدامها لبعض الأغراض البشرية. على سبيل المثال، يمكن البحث عن بعض النباتات بحثًا عن أدوية. قد يقدر الأفراد القدرة على ترك بيئة نقية لأطفالهم.

غالبًا ما يمكن استنتاج قيم الاستخدام والاستخدام غير المباشر من السلوك المكشوف، مثل تكلفة القيام برحلات ترفيهية أو استخدام أساليب المتعة التي من خلالها تقدّر القيم بناءً على الأسعار الملحوظة. عادة ما يؤخذ تقدير قيم عدم الاستخدام باستخدام طرائق التفضيل المعلنة مثل التقييم المحتمل أو نمذجة الاختيار.

عادة ما يأخذ التقييم الطارئ شكل دراسات استقصائية يُسأل فيها الأشخاص عن المبلغ الذي سيدفعونه للمراقبة وإعادة البناء في البيئة (الاستعداد للدفع) أو استعدادهم لقبول تعويض (WTA) عن تدمير الصالح البيئي. يدرس تسعير المتعة تأثير البيئة على القرارات الاقتصادية من خلال أسعار المساكن، ونفقات السفر، والمدفوعات لزيارة المتنزهات.

تعمل كل الحكومات والدول تقريبًا على تضخيم الضرر البيئي من خلال توفير أنواع مختلفة من الإعانات التي تخلف دفع أموال للشركات وغيرها من الجهات الاقتصادية الفاعلة لاستغلال الموارد الطبيعية بدلًا من حمايتها. وقد جرى تقدير الضرر الذي يلحق بطبيعة مثل هذا الدعم العام بشكل متحفظ بما يتراوح بين 4 إلى 6 تريليون دولار أمريكي سنويًا.

• الحلـــول

تشمل الحلول المقترحة لتصحيح هذه المؤثرات الخارجية ما يأتي:

◆ تنظيمـــات بيئيـــة

وبموجب هذه الخطة، يجب أن يقدر الأثر الاقتصادي من قبل الجهة التنظيمية. وعادة ما يحدث ذلك باستخدام تحليل التكلفة والعائد. هناك إدراك متزايد بأن الأنظمة (المعروفة أيضًا بأدوات «القيادة والسيطرة») لا تختلف كثيرًا عن الأدوات الاقتصادية كما يؤكد عادة أنصار الاقتصاد البيئي.

على سبيل المثال، تفرض اللوائح من خلال الغرامات، والتي تعمل كشكل من أشكال الضريبة إذا ارتفع التلوث عن الحد الأدنى المنصوص عليه. على سبيل المثال، يجب مراقبة التلوث وإنفاذ القوانين، سواء بموجب نظام ضريبي للتلوث أو نظام تنظيمي. ومع ذلك، فإن الاختلاف الرئيسي الذي قد يجادل خبير اقتصادي بيئي بوجوده بين الطريقتين هو التكلفة الإجمالية للتنظيم.

غالبًا ما تطبق لائحة «القيادة والسيطرة» حدودًا موحدة للانبعاثات على الملوثين، مع أن كل شركة لديها تكاليف مختلفة لخفض الانبعاثات، أي أن بعض الشركات، في هذا النظام، يمكنها الحد من التلوث بتكلفة زهيدة، بينما لا تستطيع شركات أخرى الحد منه إلا بتكلفة عالية. ولهذا السبب، فإن التخفيض الإجمالي في النظام يشتمل على بعض الجهود الباهظة الثمن وبعض الجهود غير المكلفة.

ونتيجة لذلك، يحدث في كثير من الأحيان تصميم لوائح «القيادة والتحكم» الحديثة بطريقة تعالج هذه المشكلات من خلال دمج معلمات المنفعة. على

سبيل المثال، ترتبط معايير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الخاصة بمصنعين محددين في صناعة السيارات إما بمتوسط مساحة السيارة (نظام الولايات المتحدة) أو متوسط وزن السيارة (نظام الاتحاد الأوروبي) لأسطول مركباتهم بالكامل.

تبحث الأنظمة الاقتصادية البيئية عن أرخص جهود مكافحة الانبعاثات أولًا، ثم تنتقل إلى الأساليب الأكثر تكلفة. على سبيل المثال وكما ذكرنا سابقًا، فإن التداول، في نظام الحصص، يعني أن الشركة لا تخفض التلوث إلا إذا كان القيام بذلك سيكلف أقل من الدفع لشخص آخر لإجراء التخفيض نفسه. وهذا يؤدي إلى انخفاض تكلفة إجمالي جهود المكافحة ككل.

◆ حصص التلوث

وكثيرًا ما يتم الدعوة إلى ضرورة تحقيق الحد من التلوث عن طريق تراخيص الانبعاثات القابلة للتداول، والتي إذا جرى تداولها بحرية فقد تضمن تحقيق الحد من التلوث بأقل تكلفة.

من الناحية النظرية، إذا سُمح بمثل هذه الحصص القابلة للتداول، فلن تقوم الشركة بتقليل حمل التلوث الخاص بها إلا إذا كان القيام بذلك سيكلف أقل من الدفع لشخص آخر لإجراء التخفيض نفسه، أي فقط إذا كان شراء تصاريح قابلة للتداول من قبل شركة أخرى أمرًا مقبولًا وأكثر تكلفةً.

من الناحية العملية، حققت أساليب التصاريح القابلة للتداول بعض النجاح، مثل برنامج تجارة ثاني أكسيد الكبريت في الولايات المتحدة أو خطة تجارة الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي، وينتشر الاهتمام بتطبيقه إلى مشكلات بيئية أخرى.

◆ الضرائب والتعريفات على التلوث

إن زيادة تكاليف التلوث ستؤدي إلى تثبيط التلوث، وستوفر «حافزًا ديناميكيًا»، أي أن المثبط يستمر في العمل حتى مع انخفاض مستويات التلوث. إن ضريبة التلوث التي تقلل التلوث إلى المستوى «الأمثل» اجتماعيًا ستوضع عند مستوى لا يحدث فيه التلوث إلا إذا تجاوزت الفوائد التي تعود على المجتمع (على سبيل المثال، في شكل زيادة الإنتاج) التكاليف.

وقد قدم هذا المفهوم آرثر بيغو، وهو اقتصادي بريطاني نشط في أواخر القرن التاسع عشر وحتى منتصف القرن العشرين. وأظهر أن هذه العوامل الخارجية تحدث عندما تفشل الأسواق، مما يعني أنها لا تنتج بشكل طبيعي الكمية المثلى اجتماعيًا من السلعة أو الخدمة. وقال إن «فرض ضريبة على إنتاج الطلاء من شأنه أن يشجع المصنع [الملوث] على خفض الإنتاج إلى الكمية الأفضل للمجتمع ككل».

تُعرف هذه الضرائب بين الاقتصاديين باسم ضرائب بيجوفيان، ويجري تنفيذها بانتظام في حالة وجود عوامل خارجية سلبية. ويدعو البعض إلى تحول كبير من الضرائب من ضرائب الدخل والمبيعات إلى الضرائب على التلوث، أو ما يسمى «التحول الضريبي الأخضر».

◆ المحاسبة عن المؤثرات الخارجية البيئية في السعر النهائي

والواقع أن أكبر الصناعات في العالم تحرق نحو 7.3 تريليون دولار من رأس المال الطبيعي المجاني سنويًا. من ثم فإن أكبر الصناعات في العالم لن تكون مربحة إذا اضطرت إلى دفع ثمن هذا التدمير لرأس المال الطبيعي. قامت Trucost بتقييم أكثر من 100 تأثير بيئي مباشر وتكثيفها في 6 مؤشرات رئيسية للأداء البيئي (EKPIs). يمكن تقييم التأثيرات البيئية من مصادر مختلفة (المجلات الأكاديمية والحكومات والدراسات وغيرها) بسبب عدم توفر أسعار السوق.

• العلاقة بالمجالات الأخرى

يرتبط الاقتصاد بالاقتصاد البيئي ولكن هناك اختلافات. تم تدريب معظم الاقتصاديين البيئيين كخبراء اقتصاديين. إنهم يطبقون أدوات الاقتصاد لمعالجة المشكلات البيئية، والتي يرتبط الكثير منها بما يسمى فشل السوق - وهي الظروف التي لا يمكن الاعتماد فيها على اليد الخفية Invisible Hand للاقتصاد.

لقد تم تدريب معظم الاقتصاديين البيئيين كعلماء بيئة، لكنهم قاموا بتوسيع نطاق عملهم ليأخذ في الاعتبار تأثيرات البشر ونشاطهم الاقتصادي على الأنظمة والخدمات البيئية، والعكس صحيح. يأخذ هذا المجال فرضيته بأن الاقتصاد هو مجال فرعي صارم من علم البيئة. يوصف الاقتصاد البيئي أحيانًا بأنه يتخذ نهجًا أكثر تعددية تجاه المشكلات البيئية ويركز بشكل أكثر وضوحًا على الاستدامة البيئية طويلة المدى والقضايا ذات الحجم الكبير.

ويُنظر إلى الاقتصاد البيئي على أنه أكثر مثالية في نظام الأسعار؛ يعتبر الاقتصاد البيئي أكثر واقعية في محاولاته لدمج عناصر خارج نظام الأسعار كمحكمين أساسيين في القرارات. لدى هاتين المجموعتين من المتخصصين أحيانًا وجهات نظر متضاربة يمكن إرجاعها إلى الأسس الفلسفية المختلفة.

وهناك سياق آخر تنطبق فيه العوامل الخارجية، وهو عندما تسمح العولمة للاعب واحد في السوق غير مهتم بالتنوع البيولوجي بتخفيض أسعار لاعب آخر مهتم بالتنوع البيولوجي، وهو ما من شأنه أن يخلق سباقًا نحو القاع في القواعد التنظيمية والحفاظ على البيئة. وهذا بدوره قد يتسبب في خسارة رأس المال الطبيعي مع ما يترتب على ذلك من تآكل ومشكلات في نقاء المياه والأمراض والتصحر وغيرها من النتائج غير الفعالة بالمعنى الاقتصادي. ويرتبط هذا الاهتمام بالمجال الفرعي للتنمية المستدامة وعلاقتها السياسية بالحركة المناهضة للعولمة.

كان الاقتصـاد البيئـي يختلـف في السـابق عـن اقتصاديـات المـوارد. بـدأت اقتصاديات الموارد الطبيعية كحقل فرعي عندما كان الاهتمام الرئيسي للباحثين هـو الاسـتغلال التجـاري الأمثل لمخزونـات المـوارد الطبيعيـة. لكـن مديـري المـوارد وصانعـي السياسـات بـدأوا في نهايـة المطـاف في الاهتمـام بالأهميـة الأوسـع للمـوارد الطبيعيـة (مثل قيمـة الأسـماك والأشـجار بمـا يتجـاوز مجـرد اسـتغلالها التجـاري).

مـن الصعـب الآن التمييـز بـين اقتصاديـات «البيئـة» و«المـوارد الطبيعيـة» كمجالين منفصلـين حيـث أصبـح الاثنـان مرتبطـين بالاسـتدامة. انقسـم العديـد مـن خبـراء الاقتصـاد الأخضـر الأكثـر تطرفًـا للعمـل علـى اقتصـاد سياسـي بديـل.

كان للاقتصـاد البيئـي تأثيـر كبيـر علـى نظريـات الرأسـمالية الطبيعيـة والتمويـل البيئـي، اللذيـن يمكـن القـول إنهمـا فرعـين فرعيـين مـن الاقتصـاد البيئـي يهتمـان بالحفـاظ علـى المـوارد في الإنتـاج، وقيمـة التنـوع البيولوجـي للبشـر، علـى التوالـي.

تذهـب نظريـة الرأسـمالية الطبيعيـة (هوكـن، لوفينـز) إلـى أبعـد مـن الاقتصـاد البيئـي التقليـدي مـن خـلال تصـور عالـم حيـث تعتبـر الخدمـات الطبيعيـة علـى قـدم المسـاواة مـع رأس المـال المـادي.

يرفـض الاقتصاديـون الخضـر الأكثـر راديكاليـة الاقتصـاد الكلاسـيكي الجديـد لصالـح اقتصـاد سياسـي جديـد يتجـاوز الرأسـمالية أو الشـيوعية، والـذي يعطـي تركيـزًا أكبـر علـى التفاعـل بـين الاقتصـاد البشـري والبيئـة الطبيعيـة، معترفًـا بـأن «الاقتصـاد هـو ثلاثـة أخمـاس البيئـة» – مايـك نيكرسـون. هـذه المجموعـة السياسـية مـن دعـاة الانتقـال إلـى الطاقـة المتجـددة.

قـد تنطـوي هـذه الأسـاليب الأكثـر جذريـة علـى تغييـرات في المعـروض النقـدي ومـن المحتمـل أيضًـا إنشـاء ديمقراطيـة إقليميـة بيولوجيـة بحيـث تكـون «الحـدود البيئيـة» السياسـية والاقتصاديـة والبيئيـة جميعهـا متوافقـة، ولا تخضـع للمراجحـة الممكنـة عـادة في ظـل الرأسـمالية.

يدرس أحد المجالات الفرعية الناشئة للاقتصاد البيئي تقاطعه مع اقتصاديات التنمية. أطلق عليه مايكل جرينستون وبي. كيلسي جاك اسم «علم البيئة البيئي» في ورقتهما البحثية «علم البيئة البيئي: جدول أعمال بحثي لمجال شاب»، ويهتم هذا المجال الفرعي في المقام الأول بدراسة «سبب ضعف جودة البيئة في البلدان النامية».

تتضمن استراتيجية الفهم الأفضل لهذا الارتباط بين الناتج المحلي الإجمالي لبلد ما وجودة البيئة فيه تحليل عدد المفاهيم الأساسية للاقتصاد البيئي، بما في ذلك فشل السوق، والعوامل الخارجية، والاستعداد للدفع، التي قد تكون معقدة بسبب المشكلات الخاصة التي تواجه البلدان النامية، مثل القضايا السياسية، أو الافتقار إلى البنية التحتية، أو عدم كفاية أدوات التمويل، من بين أمور أخرى كثيرة.

وفي مجال القانون والاقتصاد، تتم دراسة قانون البيئة من منظور اقتصادي. يدرس التحليل الاقتصادي للقانون البيئي أدوات مثل تقسيم المناطق، ونزع الملكية، والترخيص، ومسؤولية الطرف الثالث، وتنظيم السلامة، والتأمين الإلزامي، والعقوبات الجنائية. يستعرض كتاب لمايكل فور (2003م) هذه الأدبيات.

الإدارة البيئيـة المتكاملـة

الإدارة البيئيـة المتكاملـة Integrated Environmental Management (IEM) هـي فلسفة تنص على قواعد الممارسة لضمان دمج الاعتبارات البيئية بشكل كامل في جميع مراحل عملية التنمية من أجل تحقيق التوازن المرغوب فيه بين الحفاظ على البيئة والتنمية. تأخذ الإدارة البيئية المتكاملة في الاعتبار العناصر البيئية ضمن مفهوم «من المهد إلى اللحد» (أي منذ بداية الفكرة وحتى إيقاف التشغيل أو نهاية المشروع).

يستخدم مفهوم الإدارة البيئية المتكاملة في النظر، على سبيل المثال، في التأثير البيئي لتحويل أراضي الرعي إلى زراعة القمح (مشروع). كما أنه ينظر في التأثير البيئي لزيادة سعر القمح (سياسة)، مما قد يشجع على وضع المزيد من الأراضي الهامشية تحت القمح. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يأخذ في الاعتبار تأثير برامج المساعدة، مثل الآثار المترتبة على تشجيع مزارع (برامج) القمح الجديدة.

ظهر مفهوم الإدارة البيئية المتكاملة كبديل للنهج القطاعي التقليدي للمشاكل البيئية الذي ساد خلال السبعينات، والذي أدى إلى إجراءات غير فعالة وساهم في خلق مشاكل بيئية جديدة، ويرجع ذلك أساسًا إلى الصعوبات في تنسيق السياسات.

تهدف الإدارة البيئية المتكاملة إلى التوفيق بين أهداف التنمية الاجتماعية والاقتصادية والحفاظ على الجودة البيئية والوظائف البيئية من خلال اعتماد أدوات وتدابير السياسة. وبالتالي، تعتزم الإدارة البيئية المتكاملة تحقيق التوازن بين القوى الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية والبيئية في عمليات تخصيص الموارد من أجل تحقيق التنمية المستدامة والحفاظ على الإمكانات التطورية القصوى للمحيط الحيوي.

• سـوء فهـم مصطلـح «الإدارة البيئيـة المتكاملة»

إنها عملية طبيعية ومرغوبة للتقييم البيئي وممارسات ونظرية الإدارة للتطور والتنويع في التطبيق وتوحيد المنهجيات والتعلم والتقدم في مجالات جديدة للتطبيق. ومع ذلك، فإن نتيجة ذلك هي أنه خلال العقد الماضي، تم تفسير مصطلح الإدارة البيئية المتكاملة بعدة طرق مختلفة. استنادًا إلى حد كبير إلى تحليل أجراه نيل ودو بليسيس (2003م)، فقد عرضت ثلاثة استخدامات متضاربة وتفسيرات غير كاملة لمصطلح الإدارة البيئية المتكاملة أدناه.

• الإدارة البيئية المتكاملة كتقييم الأثر البيئي

الفرق بين الإدارة البيئية المتكاملة وتقييم الأثر البيئي (EIA) هو أن الإدارة البيئية المتكاملة فلسفة كاملة في حين أن تقييم الأثر البيئي هو مجرد أداة أو تقنية واحدة تستخدم لجمع وتحليل المعلومات البيئية التي تعد جزءًا من عملية الإدارة البيئية المتكاملة. وغالبًا ما يتم مساواة مصطلح الإدارة البيئية المتكاملة بمفهوم تقييم الأثر البيئي. ربما يكون هذا الرأي ناشئًا عن سلسلة وثائق الإدارة البيئية المتكاملة التوجيهية المنشورة في عام 1992م، والتي تنص على ما يلي: تم تصميم الإدارة البيئية المتكاملة لضمان فهم العواقب البيئية لمقترحات التطوير وأخذها في الاعتبار بشكل مناسب. والغرض من الإدارة البيئية المتكاملة هو حل أو تخفيف أي آثار سلبية وتعزيز الجوانب الإيجابية لمقترحات التنمية.

يشير هذا إلى أن إجراء الإدارة البيئية المتكاملة ركز على تقييم تأثيرات مقترحات التطوير الجديدة المنفصلة. ومع ذلك، منذ نشر هذه المبادئ التوجيهية لعام 1992، جرى الاعتراف بوجود العديد من التأثيرات الأخرى التي تتطلب إدارة بيئية، إلى جانب تلك الناشئة عن المقترحات الفردية على مستوى المشروع.

هنـاك أيضًـا حاجـة إلـى مسـتويات متدرجـة لصنـع القـرار، بـدلاً مـن مرحلـة صنـع القـرار الفرديـة المقترحـة في إجـراء الإدارة البيئيـة المتكاملـة لعـام 1992. ويـؤدي هـذا إلـى إيـلاء المزيـد مـن الاهتمـام لـلإدارة البيئيـة المسـتمرة أثنـاء تنفيـذ الأنشـطة.

◆ الإدارة البيئية المتكاملة كآلية للتعاون بين الدوائر الحكومية

غالبًا مـا يسـتخدم مفهـوم الإدارة البيئيـة المتكاملة للإشـارة إلـى الجهود المتزايدة المبذولـة لمواءمـة وإعطـاء توجيـه مشـترك للسياسـات والبرامـج والخطـط والمشـاريع والترتيبـات المؤسسـية للحكومـة فيمـا يتعلـق بالبيئة.

في جنـوب أفريقيـا، علـى سـبيل المثـال، لا تـزال إدارة التشـريعات المطبقـة علـى الوسـائط البيئيـة (مثـل الهـواء واسـتخدام الأراضـي والتربـة والمـوارد الطبيعيـة والميـاه والنفايـات) علـى المسـتوى الوطنـي مجـزأة إلـى حـد كبيـر كمـا كانـت قبـل الانتخابـات الديمقراطيـة الأولـى في جنـوب أفريقيـا 1994م.

تـدرك NEMA هـذه الطبيعـة المجـزأة، وتسـتجيب مـن خـلال توفيـر آليـات ومنتديـات مختلفـة لتعزيـز التكامـل مـن أجـل تحقيـق التوافـق بـين أجهـزة الدولـة. ويسـتند هـذا إلـى الاعتـراف داخـل NEMA بـأن السـيطرة علـى القضايـا البيئيـة منوطـة بالعديـد مـن أجهـزة الدولـة التـي تعمـل في مجـالات مختلفـة مـن الحكومـة (أي الحكومـة الوطنيـة والإقليميـة والمحليـة). ومـع ذلـك، يقـال إن اسـتخدام مصطلـح الإدارة البيئيـة المتكاملـة ليعنـي مواءمـة الخطـوات المجـزأة والمفككـة تجـاه حكومـة المـوارد البيئيـة في جنـوب إفريقيـا، لا يعكـس الفهـم الكامـل لمفهـوم الإدارة البيئيـة المتكاملـة.

• مبادئ الإدارة البيئية المتكاملة

◆ المساءلة والمسؤولية

وينبغي توضيح مساءلة ومسؤولية جميع أصحاب المصلحة في العملية لكل مرحلة من دورة حياة النشاط، ولا سيما فيما يتعلق بالمعلومات المقدمة والقرارات المتخذة ومتطلبات التنفيذ.

◆ التكيف

وينبغي أن تكون العملية مرنة وأن تتكيف مع حقائق وقضايا وظروف الأنشطة قيد الاستعراض، دون المساس بسلامة العملية؛ وتكون متكررة، وتتضمن الدروس المستفادة طوال دورة حياة النشاط.

◆ الخيارات البديلة

يجب أن تحدد العملية وتحدد جميع البدائل المعقولة وأن تزود صناع القرار بفهم للمقايضات التي ستنتج عن الخيارات البديلة. يمكن أن تشمل هذه البدائل الطلبات والأنشطة والمواقع والعمليات والجداول الزمنية و/أو المدخلات (مثل المواد الخام أو مصادر الطاقة).

◆ تمكين المجتمع

وينبغي تعزيز رفاهية المجتمع وتمكينه من خلال برامج تبادل المعرفة وزيادة الوعي من أجل بناء قدرات الناس على المشاركة بفعالية في إدارة البيئة والمساهمة في التنمية المستدامة.

◆ التحسين المستمر

عملية تعزيز الأداء البيئي العام للمنظمة وفقا للسياسة والأهداف البيئية لتلك المنظمة.

◆ حل النزاعات

وينبغي أن تتم العمليات بروح تسعى إلى التوصل إلى توافق في الآراء وتهدف إلى تقليل النزاعات أو حلها حيثما أمكن ذلك.

◆ العدالة البيئية

ولا ينبغي توزيع التأثيرات البيئية الضارة بطريقة تنطوي على تمييز غير عادل ضد أي شخص، ولا سيما الأشخاص الضعفاء والمحرومين.

◆ حقوق الملكية

وينبغي توفير الوصول العادل إلى الموارد والمنافع والخدمات البيئية لتلبية الاحتياجات الإنسانية الأساسية وتعزيز رفاه الإنسان للأجيال الحالية والمقبلة على حد سواء.

◆ المسؤوليات العالمية

وينبغي إيلاء الاعتبار الواجب للمسؤوليات العالمية والدولية والقضايا العابرة للحدود المتعلقة بالبيئة.

◆ اتخاذ القرار الشامل

ويجب أن تأخذ القرارات في الاعتبار مصالح واحتياجات وقيم جميع الأطراف المعنية والمتأثرة وجميع أشكال المعرفة ذات الصلة، بما في ذلك المعارف التقليدية.

◆ اتخاذ القرارات المستنيرة

ويجب تطبيق الأساليب والتقنيات الأكثر ملائمة بشكل مسؤول وصارم لمعالجة القضايا ذات الأهمية الحقيقية وبالتالي توفير معلومات سليمة ومفيدة لصنع القرار.

◆ التنسيق المؤسسي

ويلـزم التنسـيق بـين الحكومـات ومواءمـة السياسـات والتشـريعات والإجـراءات المتعلقـة بالبيئـة.

◆ النهج المتكامل

يجـب أن تكـون الإدارة البيئيـة متكاملـة، مـع الاعتـراف بـأن جميـع عناصـر البيئـة مترابطـة ومترابطـة، ويجـب أن تأخـذ في الاعتبـار آثـار القـرارات على جميـع مكونـات البيئـة وجميـع الأشـخاص الموجوديـن في البيئـة.

◆ الدفع الملوث

إن تكاليـف معالجـة التلـوث والتدهـور البيئـي ومـا يترتـب علـى ذلـك مـن آثـار صحيـة ضـارة، ومنـع أو السـيطرة علـى أو تقليـل المزيـد مـن التلـوث أو الأضـرار البيئيـة أو الآثـار الصحيـة الضـارة، يجـب أن يدفعهـا أولئـك المسـؤولون في المقـام الأول عـن التسـبب في هـذه الآثـار.

◆ النهج الاحترازي

اعتمـاد نهـج حـذر يتجنـب المخاطـرة، لا سـيما عندمـا تكـون المعرفـة الحاليـة محـدودة، وربـط هـذا النهـج بالالتـزام بالتحسـين المسـتمر.

◆ الصرامة

التأكـد مـن نشـر التقنيـات والخبـراء المناسـبين في التخصصـات الفيزيائيـة الحيويـة والاجتماعيـة والاقتصاديـة ذات الصلـة، جنبًـا إلـى جنـب مـع مراجعـة النظـراء للتحقـق بشـكل مسـتقل مـن الموضوعيـة والكفـاءة المهنيـة ودقـة العمـل المتخصـص.

◆ مشاركة أصحاب المصلحة

فرص المشاركة الهادفة وفي الوقت المناسب مع جميع أصحاب المصلحة، ولا سيما الشباب والنساء والفئات الضعيفة أو المحرومة، لتمكينهم من المساهمة بفعالية في اتخاذ القرارات المستنيرة.

◆ الاستدامة

ينبغي استخدام الموارد والدورات الطبيعية للتجديد والتجديد بطريقة لا تؤدي إلى انخفاضها على المدى الطويل، وذلك للتمكن من تلبية احتياجات وتطلعات الأجيال الحالية والمستقبلية.

◆ الشفافية

ويجب اتخاذ القرارات بطريقة مفتوحة وشفافة، ويجب توفير الوصول إلى المعلومات وفقا للقانون.

• أدوات الإدارة البيئية المتكاملة

يمكن تحقيق المبادئ المنصوص عليها في القسم 4 من خلال تطبيق واحد أو أكثر من مجموعة الأدوات التي يستخدمها المتخصصون لدعم عملية صنع القرار. تم وصف العديد من أدوات الإدارة البيئية المتكاملة في الأدبيات وليس القصد من هذا القسم تقديم قائمة شاملة بهذه الأدوات. يقدم هذا القسم ملخصًا لأدوات الإدارة البيئية المتكاملة الأكثر استخدامًا. ويمكن استخدام هذه الأدوات من قبل جميع قطاعات المجتمع (مثل الحكومة/القطاع العام والقطاع الخاص والمجتمع المدني) لإرشاد عملية صنع القرار التي تعزز التنمية المستدامة. تجدر الإشارة إلى أنه يمكن تطبيق هذه الأدوات ضمن سياق أوسع من العمليات التكميلية والتخصصات الداعمة:

- يمكن استخدام الأدوات لدعم عمليات السياسات والتخطيط التكميلية التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالإدارة البيئية المتكاملة. ليس المقصود من أدوات الإدارة البيئية المتكاملة أن تحل محل هذه العمليات، ولكن يمكن استخدامها لتوفير مدخلات لهذه العمليات الأوسع.

- يتم دعم الأدوات من خلال العديد من التخصصات المتخصصة، والتي يتم دعمها بدورها من خلال تقنيات وطرق تحديد مصادر البيانات المدخلة.

• الاتجاهات والتحديات

وبينما يكافح المجتمع الدولي لإيجاد أكثر السبل فعالية لتطبيق التقييم البيئي والإدارة البيئية لمواجهة التحدي الرئيسي في عصرنا – التحدي المتمثل في تعزيز التنمية المستدامة – يجب علينا أيضًا في سياق تقدم الدولة أن نحدد التحديات التي نواجهها ونتعامل معها الإدارة البيئية المتكاملة. الاتجاهان الرئيسيان للإدارة البيئية المتكاملة عالميًا هما:

- التركيز الموسع لأدوات الإدارة البيئية المتكاملة لمعالجة قضايا التنمية المستدامة (مثل تقييم النتيجة النهائية الثلاثية)، لتغطية دورة حياة النشاط الكاملة (أي التقييم من المهد إلى اللحد) وإلى المرحلة التالية من النشاط (أي التقييم من المهد إلى المهد)، ولمعالجة قضايا «الصورة الكبيرة» (مثل فقدان التنوع البيولوجي، والاحتباس الحراري، والحد من الفقر).

- تطوير الأدوات التي تنطبق على مستويات أعلى من صنع القرار من مستوى المشروع التقليدي (على سبيل المثال، من تقييم الأثر البيئي وخطة الإدارة البيئية التي تنطبق على المشاريع، إلى التقييم البيئي الاستراتيجي وخطط الإدارة البيئية الاستراتيجية التي تنطبق على مستوى التخطيط والبرامج والسياسات).

تشـمل التحديـات التـي تواجـه الإدارة البيئيـة المتكاملـة في الاسـتجابة لهـذه الاتجاهـات وتحقيـق إمكاناتهـا الجديـدة مـا يلـي:

- الحاجـة إلـى تحسـين جـودة المخرجـات، مـع التركيـز علـى التحليـل الدقيـق والتشـاور المسـتجيب والإدارة المسـؤولة. ويتطلـب ذلـك بنـاء القـدرات لـدى جميـع أصحـاب المصلحـة المشـاركين في الإدارة المتكاملـة لـلإدارة، والحصـول علـى تجـارب أفضـل الممارسـات ومشـاركتها، ووضـع المبـادئ التوجيهيـة، وتنفيـذ آليـات المراجعـة والاعتمـاد المناسـبة ومراقبـة الامتثـال.

- الحاجـة إلـى تحسـين مسـتوى التكامـل بـين أدوات الإدارة البيئيـة المتكاملـة المختلفـة للتطبيـق طـوال دورة حيـاة التطويـر الكاملـة. وهـذا يتطلـب، علـى سـبيل المثـال، الاهتمـام بالروابـط التكامليـة بـين تقييـم الأثـر البيئـي، وتحليـل التكلفـة والعائـد، والتقييـم البيئـي الاسـتراتيجي. هنـاك أدلـة واعـدة علـى التقـدم في هـذا الاتجـاه مـع زيـادة التركيـز علـى الإعـداد قبـل التطويـر والإدارة البيئيـة التشـغيلية بعـد التأسـيس.

- تحسـين قـدرة مؤسسـات الدولـة علـى الاسـتجابة للتحديـات السـياقية «الصـورة الكبيـرة» التـي تواجـه أمتنـا مثـل القضـاء علـى الفقـر، وخلـق فـرص العمـل، والحـد مـن فيـروس نقـص المناعـة البشـرية/الإيدز، وفقـدان التنـوع البيولوجـي، والآثـار العابـرة للحـدود والتراكميـة وتغيـر المنـاخ. وسـيتطلب ذلـك تعديـل وتطويـر وإضفـاء الطابـع المؤسسـي علـى الأدوات القـادرة علـى معالجـة قضايـا مثـل الآثـار التراكميـة، وتقييـم السياسـات، والتغيـر العالمـي، واتجاهـات العولمـة.

- تتطلـب الإدارة البيئيـة المتكاملـة والفعالـة حكومـة تعاونيـة قويـة. إن تمكـين التنميـة المسـتدامة هـو أمـر يتجـاوز نطـاق أي إدارة حكوميـة منفـردة، ويتجـاوز جميـع مسـتويات ومجـالات الحكومـة، ويتجـاوز الإدارات الوظيفيـة التقليديـة.

- ويمتد التحدي المؤسسي أيضًا إلى الحاجة إلى الإدارة البيئية الفعالة – بما في ذلك الحكومة والمجتمعات المحلية وقطاع الأعمال – من أجل تنفيذ الإدارة البيئية المتكاملة بشكل فعال. البيئة معًا لإدارة مواردها ومؤسساتها الاقتصادية والاجتماعية والسياسية من أجل رفاهية البيئة ورفاهية الناس المرتبطة بها. وهذا يعني ضمناً أن التحدي لا يمتد إلى الحكومة فحسب، بل أيضاً إلى المنظمات غير الحكومية، وقطاع الأعمال/الصناعة، والمنظمات المجتمعية.

• الإدارة البيئية المتكاملة للمحيطات

أصبحت إدارة بيئة المحيطات قضية مهمة بسبب استمرار تلوث المحيطات واستخراج الموارد، على الرغم من بعض النجاحات الملحوظة في الحد منها. تعد الإدارة البيئية للمحيطات مهمة ملحة لأنها مورد متزايد الأهمية لاستمرار الحياة على الأرض، ومع ذلك فقد تم اعتبارها مكبًا غير محدود للنفايات الناتجة عن الأنشطة البشرية.

محيطات العالم واسعة (سواء من حيث السطح أو من حيث الحجم) وحساسة للغاية. يمكن للتغيرات الجذرية في التوازن الكيميائي والحراري والفيزيائي للمحيطات أن تسبب أضرارًا كبيرة، ليس فقط للأنشطة البيولوجية والكيميائية والفيزيائية، ولكن أيضًا للغلاف الجوي للأرض والقشرة الداخلية التي تتأثر أيضًا بالمحيطات. يمكن تطبيق الإدارة البيئية المتكاملة على مستويات مختلفة من التحليل، بما في ذلك المشكلات التي تحدث على المستوى المحلي والإقليمي (مستجمعات المياه) والقاري والعالمي. عادةً ما تكون المشكلات الصغيرة النطاق أسهل في معالجتها نظرًا لأن المسافة (في الزمان والمكان) بين أسباب المشكلات وآثارها صغيرة نسبيًا، وعادةً ما يكون عدد الجهات الفاعلة المعنية منخفضًا.

ومن ناحية أخرى، فإن المسافة بين السبب والنتيجة بالنسبة للمشاكل على نطاق أوسع (القارية والعالمية) تكون أكبر في كثير من الأحيان، وبالتالي يكون إدراكها وحلها أكثر صعوبة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المشاكل على نطاق أوسع تنطوي على عدد أكبر من الجهات الفاعلة المعنية، وكثيراً ما يتضمن حلها إجراء مفاوضات بين الأطراف المعنية واعتماد حلول تعاونية.

لقد تناولت الإدارة البيئية المتكاملة بشكل أساسي المشكلات البيئية الأرضية على المستويين الوطني والدولي. اقترح العديد من المؤلفين أيضًا تطبيق الإدارة البيئية المتكاملة على المناطق الساحلية، مما أدى إلى إدخال مفهوم الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية.

الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية Integrated Coastal Zone Management (ICZM) هي عملية تخطيط مستمرة تتوصل فيها الأطراف المعنية وأصحاب المصلحة والمنظمون إلى اتفاق عام بشأن أفضل مزيج من الحفظ والاستخدام المستدام للموارد والتنمية الاقتصادية للمناطق الساحلية.

◆ عملية الإدارة البيئية المتكاملة

الإدارة البيئية المتكاملة هي عملية معقدة تتضمن دراسة الدورة البيئية الكاملة المرتبطة بكل مشكلة بيئية. وتشمل هذه الدورة استخراج الموارد (مثل صيد الأسماك) وتوليد الانبعاثات (مثل إطلاق السموم) من خلال الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية، وتقييم آثارها على الموارد الطبيعية ونوعية البيئة، وتأثيراتها على وظائف النظام البيئي ورفاهية الإنسان. وهذا بدوره يمكن أن يحد من تطور الأنشطة البشرية ويخلق الحاجة إلى السياسة.

◆ تحديد/تقييم المشكلة

المرحلة الأولى في الإدارة البيئية المتكاملة هي تحديد/تقييم المشاكل البيئية الحالية والمستقبلية. يشار إلى هذه المرحلة عمومًا بالتقييم المتكامل، ويمكن تعريفها بأنها «عملية متعددة التخصصات لتحديد وتحليل وتقييم جميع العمليات الطبيعية والبشرية ذات الصلة وتفاعلاتها، والتي تحدد كلا من الحالة الحالية والمستقبلية للجودة البيئية والموارد على النطاق المكاني والزماني المناسب إنه يسهل التأطير.

◆ سيناريوهات التطور المستقبلي

المرحلة الثانية في الإدارة البيئية المتكاملة هي التنبؤ بالتطور المتوقع للأنظمة البحرية والساحلية في ظل سيناريوهات اجتماعية واقتصادية مختلفة، وتأثيرات هذه التغيرات البيئية على الأنشطة البشرية.

وفي حالة إدارة المحيطات، يتطلب ذلك تطوير نماذج بيئية اقتصادية متكاملة، تأخذ في الاعتبار، على الجانب البيئي، العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية المختلفة، والأنواع المتعددة وتفاعلاتها، وعلى الجانب الاجتماعي والاقتصادي.

◆ الأولويات وتحديد الأهداف

يعد تحديد أولويات العمل ووضع أهداف السياسة خطوة أساسية في الإدارة البيئية المتكاملة. على الرغم من أن هذه المهام مشتركة بين جميع عمليات الإدارة، إلا أنها غالبًا ما يتم تنفيذها دون تحديد منهجية محددة.

ونحن نعتبر أن اعتماد إجراء واضح، حيث يتم تحديد المعايير بوضوح وقبولها من قبل الجهات الفاعلة الرئيسية المعنية، يحسن عملية صنع القرار ويعزز قبول تدابير السياسة.

◆ التدابير والأدوات اللازمة لإدارة المحيطات

يتم تنفيذ السياسة البيئية من خلال مجموعة من التدابير والأدوات التي تعالج المشاكل ذات الأولوية القائمة وتهدف إلى الحفاظ على النظم البيئية. ونعني بالتدابير الإجراءات الملموسة التي يتم تنفيذها لمعالجة المشاكل البيئية.

◆ تنفيذ وتقييم أداء السياسات

ينبغي أن تكون المرحلة التالية في عملية الإدارة البيئية المتكاملة هي تنفيذ الإستراتيجية المحددة في المراحل السابقة، من خلال تطبيق أدوات وتدابير السياسة البيئية المختارة، لتحقيق الأهداف والغايات المحددة.

ويشكل الإطار المؤسسي عنصرا أساسيا في تصميم استراتيجية تسمح بإنشاء نظام لإدارة المحيطات، لا سيما فيما يتعلق بجوانب مثل الرصد والإنفاذ، والتعاون بين الهيئات المحلية والإقليمية والعالمية.

◆ مشاركة أصحاب المصلحة ومؤسسات الإدارة

ويجب تحديد تطوير أنظمة جديدة لإدارة المحيطات بطرق تعزز مشاركة أصحاب المصلحة وإشراكهم. ولابد أن يكون الهدف من إدارة المحيطات خلق مناخ من التعاون بدلاً من المواجهة بين الأطراف المعنية. ومن الممكن تحقيق مكاسب عالمية كبيرة من خلال التعاون، وقد يكون جميع أصحاب المصلحة في وضع أفضل على المدى الطويل بشكل رئيسي.

• استراتيجية الإدارة البيئية المتكاملة

• الاستراتيجية

استجابة للتحديات التي تواجهه المدن الحديثة في العالم، يدعو برنامج العمل البيئي إلى تطوير استراتيجية موضوعية بشأن البيئة الحضرية بهدف «المساهمة في تحسين نوعية الحياة من خلال نهج متكامل يركز على المناطق الحضرية» «والمساهمة في «مستوى عالٍ من نوعية الحياة والرفاهية الاجتماعية للمواطنين من خلال توفير بيئة لا يؤدي فيها مستوى التلوث إلى آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة، ومن خلال تشجيع التنمية الحضرية المستدامة».

تم نشر الإستراتيجية الموضوعية Thematic Strategy في أواخر عام 2005م وتشكل خطوة مهمة في سلسلة من المبادرات التي ساهمت في تطوير سياسة أوروبا بشأن البيئة الحضرية. ونظراً لتنوع المناطق الحضرية والظروف الوطنية والإقليمية والمحلية القائمة، فإن الاستراتيجية لا تملي الحلول التي ينبغي على المدن اعتمادها لأنه سيكون من المستحيل اقتراح نهج «مقاس واحد يناسب الجميع».

ومع ذلك، فقد تعهدت اللجنة بإعداد إرشادات، بالتشاور مع المدن وأصحاب المصلحة، بشأن تخطيط النقل الحضري المستدام والإدارة البيئية المتكاملة. لقد حظيت أهداف الإستراتيجية، ولا تزال، بدعم من برامج التمويل المجتمعية.

وتتطلب التنمية الحضرية المستدامة نهجا متكاملا، وتدعو الاستراتيجية الموضوعية إلى قيام السلطات الوطنية والإقليمية بدعم البلديات في تحقيق إدارة أكثر تكاملا على المستوى المحلي. ويحظى هذا النهج بدعم كل من المجلس والبرلمان الأوروبي.

وتشمل النهج المتكاملة رؤى استراتيجية طويلة الأجل وتربط بين السياسات المختلفة على مختلف المستويات الإدارية لضمان التماسك. وتعني الإدارة البيئية المتكاملة أيضًا معالجة القضايا ذات الصلة معًا مثل الإدارة الحضرية والحوكمة، والتخطيط المكاني المتكامل، والرفاهية الاقتصادية والقدرة التنافسية، والاندماج الاجتماعي، والإشراف البيئي.

على سبيل المثال، فإن تنفيذ قانون المجتمع بشأن جودة الهواء في المناطق الحضرية ليس له آثار على مكافحة التلوث وإدارة حركة المرور فحسب، بل يتطلب أيضًا بذل جهود مشتركة لمعالجة إدارة المدن ومراكز المدن، والتخطيط المكاني والتصميم الحضري، والآثار الصحية والعدالة الاجتماعية (مع الأخذ في الاعتبار الفئات الاجتماعية المختلفة المتضررة والأعباء غير المتناسبة للتأثيرات البيئية).

وتدعو الاستراتيجية الموضوعية بشأن البيئة الحضرية إلى إدارة أفضل للمناطق الحضرية من خلال الإدارة البيئية المتكاملة على المستوى المحلي. ويتميز هذا بالإدارة الإستراتيجية للتأثيرات البيئية لجميع الأنشطة ضمن كامل المجال الوظيفي للسلطة السياسية و/أو المدينة المبنية.

ويعتمد هذا النهج على التعاون بين الإدارات والقطاعات، والمشاركة مع جميع أصحاب المصلحة المعنيين، وتكامل السياسات المحلية والإقليمية والوطنية. ومن الناحية المنطقية، فإن الهدف من هذا التوجيه هو مساعدة السلطات البلدية في النظر في إنشاء نهج متكامل للإدارة الحضرية يأخذ نهجا شاملا ومنظما وتدريجيا يحدد التحديات الرئيسية، ويقيم الوضع الراهن، ويضع أهدافا للسياسة، يقيم خيارات السياسة المتاحة ويتعامل مع أصحاب المصلحة ويؤدي إلى تنفيذ سياسات فعالة.

توفر الإدارة البيئية المتكاملة أداة لتحسين الاتساق والتماسك بين السياسات المختلفة، من منظور بيئي، ووسيلة لتعظيم فعالية تلك السياسات في حدود الميزانيات المتاحة. ويمكنه أيضًا أن يوفر قدرًا أكبر من الشفافية في تطوير السياسات ويشجع على زيادة المشاركة والقبول العام.

وكان هذا هو الحال على وجه الخصوص في مجالات تحسين إدارة النفايات وكفاءة الموارد بما في ذلك الحفاظ على المياه عن طريق القياس وتقليل الطاقة المستخدمة لتدفئة الأماكن. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تعزيز صورة المدينة وسمعتها وقدرتها التنافسية من خلال اعتماد مناهج الإدارة المتكاملة كما رأينا في مدن مثل ألبورج وتلك الموجودة في مشروع المدن الصالحة للعيش.

• وصف العناصر الرئيسية لنظام الإدارة البيئية المتكاملة

يهدف نظام الإدارة البيئية المتكامل (IEMS) إلى تحسين الأداء البيئي لمنطقة حضرية تساهم في تحسين نوعية الحياة. من دراسات الحالة المتاحة واستنادا إلى تجارب مشروع إدارة أوروبا الحضرية 258، يتكون نظام الإدارة البيئية المتكاملة لإدارة المنطقة الحضرية الوظيفية بأكملها من خمس خطوات رئيسية تتكرر في دورات سنوية:

◆ مراجعة خط الأساس

ويوثق استعراض خط الأساس الوضع البيئي والإداري الحالي والمتطلبات القانونية والأولويات السياسية. وهو يوفر الأساس للمراحل اللاحقة من العملية بما في ذلك تحديد الإجراءات في البرنامج الاستراتيجي. وقد وجد أن تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات هو وسيلة مناسبة لتقييم الوضع الإداري الأساسي.

◆ تحديد الأهداف - إعداد البرنامج الاستراتيجي وخطط العمل

يتم تطوير برنامج استراتيجي لتحديد الأهداف وتحديد الأولويات والمبادرات والإجراءات الضرورية على المدى القصير والمتوسط والطويل. ووفقاً لدراسات الحالة، يجب أن يهدف البرنامج إلى البناء على المشاركة النشطة للمواطنين وقطاع الأعمال والحكومة والمنظمات غير الحكومية.

◆ الالتزام السياسي – إقرار البرنامج الاستراتيجي

البرنامج الاستراتيجي هو وثيقة متفق عليها تهدف إلى الحصول على دعم واسع النطاق وهو جزء لا يتجزأ من التخطيط الاستراتيجي للسلطة المحلية. تظهر التجارب أن إشراك جميع الجهات الفاعلة المحلية ذات الصلة في تطوير البرنامج يمكن أن يساعد في تجنب النزاعات في تنفيذ خطة العمل والرؤية طويلة المدى للمدينة.

◆ تنفيذ خطة العمل والرصد

وبعد الموافقة على البرنامج الاستراتيجي، فإن الخطوة التالية هي تنفيذ التدابير والإجراءات المختلفة بطريقة متكاملة.

◆ إعداد التقارير والتقييم

وتظهر التجارب أن التقييم المستمر لفعالية خطة العمل أمر ضروري فيما يتعلق بالأهداف الاستراتيجية للمدينة. يمكن أن تؤدي مثل هذه التقييمات إلى اقتراح تدابير جديدة أو إلى إعادة تعريف الإجراءات الحالية. وقد طورت المشاريع أدوات لمساعدة الحكومات المحلية على قياس أدائها البيئي وإعداد التقارير عنه، مما يساهم في تحقيق الشفافية في الحكم المحلي.

• القضايا التي يجب يغطيها نظام الإدارة البيئية المتكامل

بعيدًا عن العناصر الأساسية، من المهم توضيح القضايا التي يمكن معالجتها من خلال نهج متكامل. واستنادا إلى المعلومات والخبرة المتاحة حتى الآن، يمكن لنظام الإدارة البيئية المتكاملة أن يعالج بعض أو كل المواضيع التالية ذات الصلة بالتنمية الحضرية المستدامة. القائمة ليست شاملة ولكنها توضح ما أدرجه الآخرون في تخطيط الإدارة البيئية المتكاملة الخاص بهم:

- تحسين نوعية المياه.
- تحسين إدارة النفايات.
- زيادة كفاءة الطاقة واستخدام الطاقة المتجددة.
- الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة.
- تحسين جودة الهواء الخارجي.
- تحسين النقل الحضري.
- منع وتقليل الضوضاء وحماية المناطق الهادئة.
- تحسين الحكم المحلي.
- استخدام وتخطيط أفضل للأراضي.
- زيادة التنوع البيولوجي والمساحات الخضراء.
- الحد من المخاطر البيئية.

هناك أيضًا أدوات أخرى مثل نظام الإدارة البيئية والتدقيق Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) وهو أداة تطوعية للاتحاد الأوروبي للشركات والمنظمات الأخرى لتقييم أدائها البيئي والإبلاغ عنه وتحسينه بشكل

مستمر. يمكن اعتبار نظام الإدارة البيئية والتدقيق بمثابة نقطة انطلاق لنظام الإدارة البيئية المتكاملة. هناك أوجه تشابه بين نظام الإدارة البيئية والتدقيق ونظام الإدارة البيئية المتكاملة فيما يتعلق بالخطوات الرئيسية للعملية. على سبيل المثال، يمكن للمراجعة البيئية لنظام نظام الإدارة البيئية والتدقيق أن تساعد في إجراء مراجعة أساسية وتكون نتائج التدقيق البيئي مفيدة لتحديد الأهداف ولمرحلة إعداد التقارير والتقييم لنظام الإدارة البيئية المتكاملة.

• الإدارة البيئية المتكاملة على المستوى الدولي

إن الإدارة البيئية المتكاملة على نطاق عالمي هي في جوهرها موضوع جديد ذو مبادئ وأيديولوجيات قديمة. على الصعيد الدولي، تُعرف بأسماء مختلفة حيث أن كل دولة لديها نهجها الخاص وعلامتها التجارية الخاصة بكيفية إدارة بيئتها.

إن السمات المشتركة الموجودة دائمًا، بغض النظر عن البلد، هي تأثير ونفوذ الاقتصاد والمجتمع والبيئة. تجدر الإشارة إلى أن الإدارة البيئية المتكاملة، وكذلك الأيديولوجيات، تستلزم التآزر بين مختلف أصحاب المصلحة الذين يشملون المجتمعات المعتمدة على الموارد الطبيعية والوكالات الحكومية.

من المهم أن نأخذ في الاعتبار النقد الموجه ضد الإدارة البيئية المتكاملة لأنه يلعب دورًا مهمًا في كيفية تكييف الفلسفة وتطبيقها. ومن الأمثلة على ذلك مدى انتقاد الإدارة البيئية المتكاملة للطريقة التي تبسط بها المشكلات، والتي وفقًا للانتقادات تقلل من ارتباطها بالواقع.

يتناقض باردويل (1991م) مع هذا البيان ويذكر أنه من أجل إدارة مشكلة ما بنجاح، يجب تبسيط المعلومات المتوفرة إلى الحد الذي يحد من إدارة الصراع وأن التكامل الناجح للفلسفة يعتمد إلى حد ما على التبسيط. المعلومات.

ويذكر الباحثان سكراس وشيات (2002:279م) أيضًا أن الإدارة البيئية المتكاملة يفترض أن «... هناك حاجة إلى اتخاذ إجراءات تصحيحية لأن الاعتبارات البيئية قد تم تمثيلها بشكل ناقص بشكل منهجي في الماضي». الافتراض الآخر للفلسفة هو أن المشاركة الأوسع في صنع القرار أمر ذو قيمة، حيث أن المشاركة يمكن أن تضيف قيمة إلى العملية. لكن هذه القيم الراسخة هي التي يشكك فيها الباحثان سكراس وشيات، حيث يجادلان بأنها تهدد الاستدامة البيئية وأن القيم المتضاربة يمكن أن تكون منتجة إذا تم تسخيرها بالطريقة الصحيحة لأنها يمكن أن تساعد في تشكيل أهداف السياسات والبرامج.

يتم انتقاد الإدارة البيئية المتكاملة أيضًا لأنه يمكن أن يكون ضارًا بالإدارة البيئية، بمعنى أن واضعي السياسات يفترضون أنه من خلال تطبيق الفلسفة فإنهم يتصرفون بناءً على نصيحة علمية وهو أمر سيئ في حد ذاته للتعلم الاجتماعي وموضوعية صنع السياسات والتخطيط.

الإدارة البيئية المتكاملة والأيديولوجيات المرتبطة بها

لقد أدى التعقيد المتزايد والاشتراك في القضايا البيئية إلى تحفيز وتشجيع تطوير المفاهيم والأيديولوجيات الموجهة نحو التعامل مع العوائق البيئية المعقدة.

ومن أمثلة هذه المفاهيم ما يلي:

- إدارة النظام البيئي.
- الإدارة المتكاملة للموارد.
- إدارة مستجمعات المياه.
- الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية.
- الإدارة البيئية المتكاملة.

- إدارة الموارد التعاونية.
- الغابات المجتمعية.
- الحفظ المجتمعي.
- إدارة النظام البيئي المجتمعي.
- إدارة النظام البيئي على مستوى القاعدة الشعبية.
- حماية البيئة المجتمعية.

وفقًا لديل وماكدونالد وويستون (2008م) تدرك إدارة الموارد الطبيعية Natural Resource Management (NRM) أهمية ضمان استمرار الإنتاجية من خلال استخدام الموارد الطبيعية، وضمان استمرار تلك المجتمعات التي تعتمد على الموارد الطبيعية في الازدهار وتحديد المكونات الحاسمة لصحة النظم البيئية والتنوع البيولوجي.

كما أنه يدرك ضرورة الحفاظ على إنتاجية المناظر الطبيعية وأهمية الحفاظ على القيم الجمالية والثقافية والاجتماعية التي تولدها مواردنا الطبيعية. من الخصائص الأخرى لإدارة الموارد الطبيعية أنها تستهدف هدفًا محددًا ولها تركيز موسع وطويل المدى على قيم الموارد الطبيعية.

الباحث ديل وآخرون (2008م) لاحظ أيضًا أنه في سياق إدارة الموارد الطبيعية، تتمتع أنظمة التخطيط الإقليمية بالقدرة على دمج السياسات البيئية والاقتصادية والاجتماعية مع السياق المكاني الذي يساهم في التنمية المستدامة.

إن ترشيد أنظمة التخطيط الإقليمي هو أنها تعالج القضايا المحيطة بإدارة الموارد الطبيعية على المستوى الإقليمي. إن إدارة هذه القضايا على المستوى الإقليمي تعني أن تكامل القدرات السياسية والإدارية لأصحاب المصلحة هو

أفضل بكثير في تحقيق التوازن بين الأبعاد المختلفة المتعلقة بالاقتصاد أو المجتمع أو المجتمع المحلي والبيئة الطبيعية عند التخطيط للتطورات الحالية والمستقبلية.

وفي هذه الحالة، سيتم تسهيل خدمات النظام البيئي التي لا تتوافق مع الحدود الإدارية. تدعو إدارة الموارد الطبيعية أيضًا إلى اللامركزية في صنع القرار من خلال تسهيل مشاركة المجتمعات المحلية. تقوم هذه المنهجية على الافتراض بأن المجتمعات المحلية أقرب إلى المشكلة البيئية وكذلك إلى الحل، وبالتالي فهي في وضع أفضل لفهم المشكلة المذكورة والتعامل معها.

على الصعيد العالمي، تكتسب أيديولوجية إدارة الموارد الطبيعية شعبية، وخاصة في أستراليا، حيث تدعو إلى إضفاء الطابع الإقليمي على تخطيط وإدارة الموارد البيئية والطبيعية، وهو أمر أساسي للإدارة البيئية.

البرامج الأسترالية الرئيسية التي تعتبر أمثلة على كيفية دمج إدارة الموارد الطبيعية في السياسات والخطط، هي خطة العمل الوطنية للملوحة وجودة المياه National Action Plan for Salinity and Water Quality (NAP) وصندوق التراث الطبيعي Natural Heritage Trust (NHT)، والتي تعتمد على مبادئ وإجراءات إدارة الموارد الطبيعية.

وفي هذا الصدد، فإن المواضيع التي تغطيها أنشطة تخطيط الموارد الطبيعية الإقليمية الأسترالية تغطي موضوعات مختلفة بما في ذلك التنمية الاقتصادية والتنوع البيولوجي والمياه والعناصر الساحلية. ومن الأمور الأساسية في هذه الأساليب تنمية قدرات السكان المحليين والمؤسسات المحلية في الإدارة المستدامة للموارد عن طريق مناهج إدارة الموارد الطبيعية.

الهدف من إدارة الموارد الطبيعية هو تحقيق تخطيط وإدارة تعاونية ومتكاملة ومنسقة على مستوى أصحاب المصلحة، وهو ما يمكن أن يُنسب إلى ثلاثة اتجاهات اكتسبت شعبية خلال التسعينات في شمال غرب إنجلترا.

وكانت هذه الاتجاهات الثلاثة هي القبول الإقليمي للحاجة إلى التنمية المستدامة، والضرورة المتزايدة للمشاركة العامة في عمليات صنع القرار، والشعبية المتزايدة للتخطيط والإدارة الإقليمية.

ومع أن الأيديولوجية واحدة، إلا أن المفاهيم تختلف من بلد إلى آخر، وتعرف بمسميات مختلفة. إن المثل الأعلى لهذه المفاهيم هو معالجة المشكلات البيئية المعقدة عن طريق نهج شمولي موجه نحو الأهداف ومترابط وهو أكثر فعالية وكفاءة في استخدام الموارد.

تم تطوير الإدارة البيئية المتكاملة استجابةً لعدم فعالية منهجيات التركيز الأحادي التقليدية، وزيادة الوعي بالمشاكل البيئية العابرة للحدود، والفهم المتزايد للتعقيدات التي تحكم النظم البيئية، وأهمية مفاهيم النظام البيئي في ممارسات الإدارة، والاهتمام الدولي المتزايد بالمسائل البيئية. النزاهة والاستدامة.

ويضيف الباحثان بورن وسونزوجني (1995م) أن الأساليب السابقة لإدارة الموارد الطبيعية فشلت إلى حد كبير بسبب طبيعتها التفاعلية ونهجها الضيق. التكامل التام هو المثل الأعلى، ولذلك ذكر الباحثان مارجيروم وولد (2000م) أن الإدارة البيئية المتكاملة هو عملية ونهج يمكن من خلاله تحقيق الأهداف البيئية. وهو أيضًا سبب تحرك ممارسات صنع القرار والإدارة نحو التكامل الذي يتم الحصول عليه عن طريق التفاعل. ويعني التفاعل في هذه الحالة المشاركة العامة والتنسيق بين أصحاب المصلحة وفيما بينهم.

لدى مختلف الهيئات مثل المؤسسات الحكومية وحتى مؤسسات الشركات إصداراتها الخاصة من الإدارة البيئية المتكاملة بالإضافة إلى أدواتها الخاصة التي يتم من خلالها تنفيذها. بعض هذه الأدوات أكثر نجاحًا من غيرها، لكنها جميعًا تحمل الأيديولوجية المذكورة أعلاه في جوهرها.

• الإدارة البيئية المتكاملة: الممارسة الدولية

اقترحت المفوضية الأوروبية أدوات واستراتيجية مختلفة للإدارة البيئية المتكاملة في تقرير بعنوان إرشادات الإدارة البيئية المتكاملة فيما يتعلق بالاستراتيجية الموضوعية للبيئة الحضرية. كان الهدف من هذا التقرير هو مساعدة السلطات المحلية الأوروبية (تلك التي تحكم المدن) في إنشاء نظام للإدارة البيئية المتكاملة والذي من شأنه تحسين أدائها البيئي في جميع أنحاء المنظمة بأكملها.

تعتمد استراتيجية الإدارة البيئية المتكاملة الخاصة بهم على أمثلة ملموسة لأفضل الممارسات من قبل مدن مختلفة داخل أوروبا، والتي تلقت في معظم الحالات مساعدة مالية من المجتمع الأوروبي.

أدت التحديات البيئية التي تواجهها المدن داخل الاتحاد الأوروبي إلى ظهور استراتيجية الإدارة البيئية المتكاملة الموصوفة للسلطات المحلية لمعالجة مشاكلها البيئية. وتختلف المشاكل التي يواجهونها من حيث التعقيد والحدة والتكرار، وهي في معظم الحالات مترابطة ومنتشرة في جميع مناطقهم الحضرية. هذه المشاكل الشائعة هي:

- النفايات ومياه الصرف الصحي.
- الزحف العمراني.
- ارتفاع مستويات تلوث الهواء مما يؤدي إلى سوء نوعية الهواء.
- خراب البيئة المبنية.
- ندرة المناطق الترفيهية والأحزمة الخضراء.
- مستويات عالية من التلوث الضوضائي المحيط.
- زيادة الأحجام المرورية ومشاكل الازدحام اللاحقة.
- ارتفاع مستويات انبعاثات الغازات الدفيئة.

يقترح الاتحاد الأوروبي تفسيرًا لقضاياه البيئية، والتي يذكر أنها سمات للتغيرات المتزايدة في الديموغرافيا وأسلوب حياة مواطنيه، وفيما يلي أمثلة عليها:

- زيادة الاعتماد على السيارات الخاصة.
- زيادة استخدام الموارد لكل شخص.
- زيادة عدد الأسر المكونة من شخص واحد.

ويوصون بأن الحلول لا ينبغي أن تنطبق فقط على القضايا الحالية، بل يجب أن تكون استباقية أيضًا من حيث أنها تحد من تأثير القضايا المستقبلية. ويشمل ذلك الانجذاب التصاعدي للحلول إلى السياسات الدولية، ومن أمثلة ذلك التخفيض التدريجي للاعتماد على الوقود الأحفوري وتغير المناخ.

اقترح الاتحاد الأوروبي الإستراتيجية الموضوعية بشأن البيئة الحضرية وكان هدفها هو المساهمة في «... نوعية حياة أفضل من خلال نهج متكامل يركز على المناطق الحضرية» و«مستوى عالٍ من نوعية الحياة والرفاهية الاجتماعية للمواطنين من خلال توفير بيئة لا يؤدي فيها مستوى التلوث إلى آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة، وتشجيع التنمية الحضرية المستدامة.

تتطلب التنمية الحضرية المستدامة، وفقاً للاتحاد الأوروبي، اتباع نهج متكامل. يقترح الاتحاد الأوروبي من خلال الاستراتيجية الموضوعية أنه يمكن تحقيق الإدارة البيئية المتكاملة عن طريق الدعم الممنوح من أعلى مستويات الحكومة (الوطنية والإقليمية) للسلطات المحلية.

يمكن تحقيق الدعم من أعلى إلى أسفل من خلال ربط السياسات المختلفة التي تحكم البيئة من المستوى الوطني إلى مستوى المقاطعات إلى سياسات الحكومة المحلية. وهذا أيضًا بمثابة مثال لنظام إداري جيد متكامل. مثال آخر

على النهج المتكامل هو توليد رؤى استراتيجية طويلة المدى من شأنها أن توجه المساعي المستقبلية والحالية.

بالنسبة للاتحاد الأوروبي، تعني الإدارة البيئية المتكاملة معالجة القضايا المترابطة مثل الإشراف البيئي، والتخطيط المكاني، والإدارة الحضرية، والرفاهية الاقتصادية، والاندماج الاجتماعي بشكل جماعي. وتقضي الاستراتيجية الموضوعية في جوهرها باستخدام الإدارة البيئية المتكاملة باعتبارها الوسيلة التي ينبغي من خلالها إدارة المناطق الحضرية.

ولذلك فإنه يدعو إلى الإدارة الاستراتيجية للتأثيرات البيئية لجميع الأنشطة في جميع أنحاء منطقة اختصاص البلدية. إن المثل الأعلى لهذا النهج هو التكامل الأفقي بين الإدارات، وإشراك أصحاب المصلحة ودمج السياسات عبر المجالات الثلاثة للحكومة.

تحاول الاستراتيجية، في جوهرها، توجيه السلطات في اتخاذ قرار بشأن اتباع نهج شامل ومنظم يصنف القضايا الرئيسية، ويقيم الوضع الحالي لهذه التحديات، ويحدد أهدافًا للسياسات، ثم يقيم الخيارات المختلفة المتاحة للسياسات، ويسهل مشاركة أصحاب المصلحة ويؤدي في النهاية إلى التنفيذ الناجح للسياسات الفعالة.

ويوضح الاتحاد الأوروبي أسباب اتباعه لفلسفة الإدارة البيئية المتكاملة من خلال التأكيد على أن السلطات المحلية لديها مجموعة من الوظائف المسؤولة عنها. تعمل البلدية كهيئة واحدة تضم أقسامًا مختلفة مسؤولة عن وظائف أو مسؤوليات مختلفة ويتم ذلك عادةً بموارد محدودة.

في ضوء هذه الخلفية، يقترح الاتحاد الأوروبي الإدارة البيئية المتكاملة من منظور بيئي كأداة يمكن من خلالها تحسين الاتساق والتماسك بين مختلف

السياسات والإدارات. ومن المزايا الأخرى أن الإدارة البيئية المتكاملة يعمل على تحسين الشفافية في عمليات صنع السياسات وتنفيذها، حيث أنه يعزز المشاركة العامة والموافقة.

تشمل الفوائد الإضافية لنظام الإدارة البيئية المتكاملة كما اقترحه الاتحاد الأوروبي ما يلي:

- قدرة النظام على المساهمة في جذب المستثمرين إلى الاقتصاد الأوروبي وجعله مكانًا أكثر جاذبية للعمل.
- تبسيط هياكل إعداد التقارير.
- مدخلات أقل، ومخرجات أكبر من خلال خفض الموارد واستخدام المرافق، الأمر الذي من شأنه أن يحسن القدرة التنافسية لأوروبا في الاقتصاد الدولي.
- إنشاء وتنمية الشبكات القائمة مع تحسن الشراكات والتواصل بين الحكومة والمواطنين.
- تحسين الوعي البيئي لدى أصحاب المصلحة والمواطنين والموظفين المدنيين.
- تعزيز سمعة البلدية أو السلطة المحلية.
- تحسين الاتساق والفعالية من حيث التكلفة لتدابير السياسة.
- تحسين الامتثال للقوانين البيئية الحالية بطريقة فعالة وفعالة من ناحية التكلفة.

الفصل الثالـث

العناصر البيئية في الكون

دورة الكربـــون	دورة الأكســين
دورة النيتروجين	دورة الفوســفور
الغـلاف الجـوي	الغلاف الحيــوي
الغــلاف المائـــي	الغلاف الأرضــي

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

العناصر البيئية وعلاقاتها بالأغلفة المحيطة بالأرض

مُقَدِّمَة

تتكون الأرض من عدة خصائص وتركيبات فريدة تؤثر جميعها في عمليات الأرض بشكل مختلف. يبحث علم أنظمة الأرض في كيفية تفاعل هذه الأنظمة، وكيف تتأثر بالأنشطة البشرية. تعتمد الأنظمة الأرضية الأربعة على بعضها البعض، وقد تم استخدامها لجعل دراسة المكونات البيولوجية والفيزيائية للأرض سهلة الفهم. وهي تسمى علمياً العناصر الفيزيائية الحيوية وهي الغلاف المائي («المائي» للمياه)، والمحيط الحيوي («الحيوية» للكائنات الحية)، والغلاف الصخري («Litho» للأرض)، والغلاف الجوي («Atmo» للهواء). وتنقسم هذه المجالات كذلك إلى مجالات فرعية مختلفة.

المجالات الأربعة لنظام الأرض مترابطة بشكل كبير مما يتسبب في تفاعلات بين المجالات ليكون لها العديد من علاقات السبب والنتيجة. يمكن أن يتسبب التغيير في مجال ما في حدوث تغييرات في مجال آخر، مما قد يتسبب في حدوث تغييرات في مجال آخر. يتم الحفاظ على الغلاف الحيوي من خلال التفاعلات مع الغازات من الغلاف الجوي ومعادن الغلاف الصخري ومياه الغلاف المائي في دورة الطاقة. يعد الغلاف الجوي ضرورياً للغلاف الحيوي؛ لأنه يمد الكائنات الحية بالأكسجين والماء وثاني أكسيد الكربون وبعض العناصر الغذائية، ويحمي الكائنات الحية من درجات الحرارة الشديدة والأشعة فوق البنفسجية. خارج الغلاف الحيوي، يتفاعل الغلاف الجوي مع الغلاف الصخري والغلاف المائي عندما تتأثر أمواج المحيط بسبب تباطؤ الرياح بسبب الاحتكاك من الأرض. يتفاعل الغلاف الصخري مع الغلاف المائي والغلاف الجوي من خلال عمليات مثل التعرية حيث تتم إزالة الصخور والتربة من خلال التجوية الفيزيائية والكيميائية.

وعموماً فإنه يمكن تقسيم البيئة إلى ثلاثة عناصر هي:

- **البيئة الطبيعية:** تتكون من أربعة نظم مترابطة وثيقاً هي: الغلاف الجوي، الغلاف المائي، اليابسة، المحيط الجوي، بما تشمله هذه الأنظمة من ماء وهواء وتربة ومعادن، ومصادر للطاقة بالإضافة إلى النباتات والحيوانات، وهذه جميعها تمثل الموارد التي اتاحها الله سبحانه وتعالى للإنسان كي يحصل منها على مقومات حياته من غذاء وكساء ودواء ومأوى.
- **البيئة البيولوجية:** وتشمل الكائنات الحيّة كالإنسان، والنباتات، والحيوانات، والكائنات الحيّة الدقيقة
- **البيئة الاجتماعية:** ويقصد بالبيئة الاجتماعية ذلك الإطار من العلاقات الذي يحدد ماهية علاقة حياة الإنسان مع غيره، ذلك الإطار من العلاقات الذي هو الأساس في تنظيم أي جماعة من الجماعات سواء بين أفرادها بعضهم ببعض في بيئة ما، أو بين جماعات متباينة أو متشابهة معاً وحضارة في بيئات متباعدة، وتؤلف أنماط تلك العلاقات ما يعرف بالنظم الاجتماعية، واستحدث الإنسان خلال رحلة حياته الطويلة بيئة حضارية لكي تساعده في حياته فعمّر الأرض واخترق الأجواء لغزو الفضاء.

تتحدد عناصر البيئة الحضارية للإنسان تتحدد في جانبين رئيسيين هما:

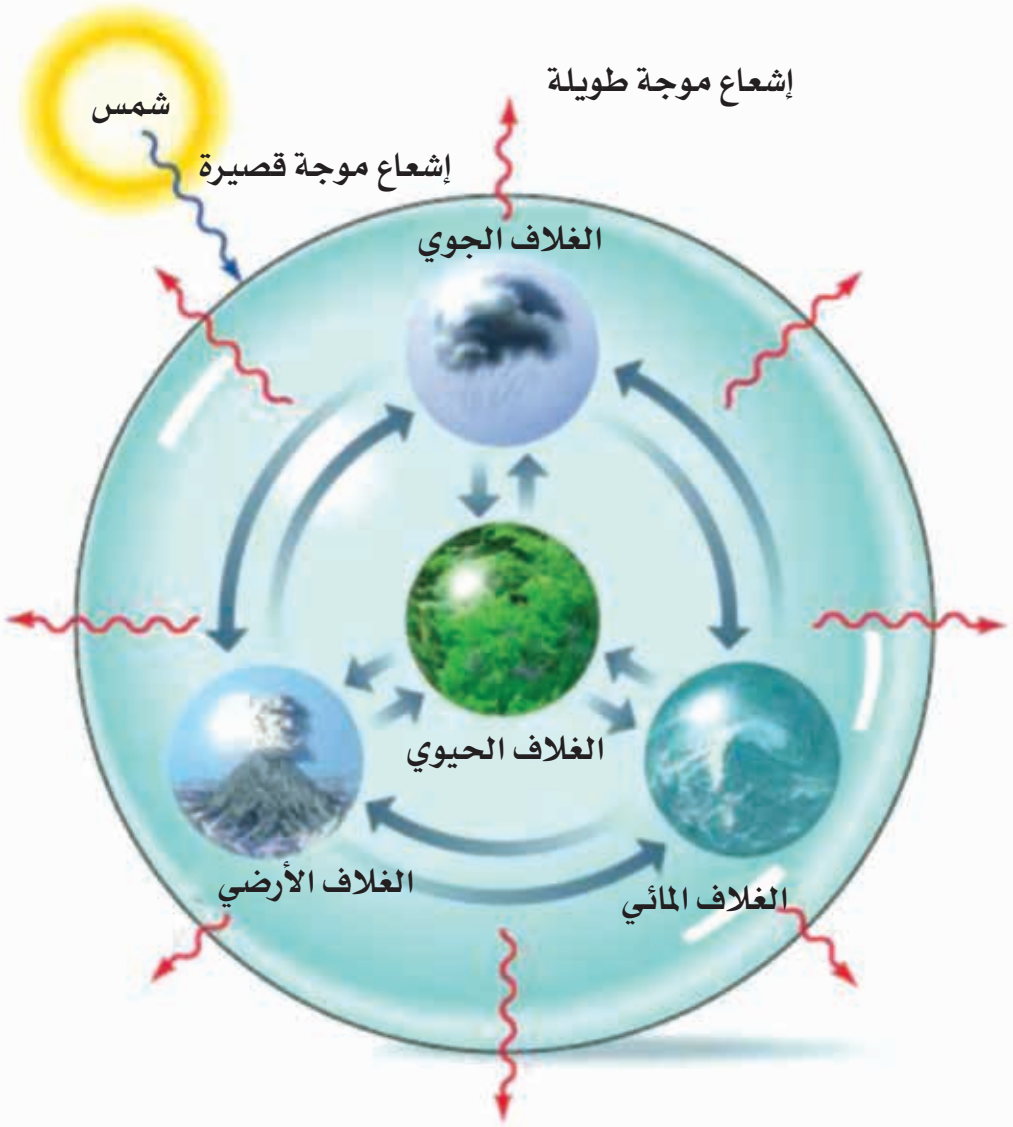
أولاً : الجانب المادي: كل ما استطاع الإنسان أن يصنعه كالمسكن والملبس ووسائل النقل والأدوات والأجهزة التي يستخدمها في حياته اليومية.

ثانياً: الجانب الغير مادي: يشمل عقائد الإنسان و عاداته وتقاليده وأفكاره وثقافته وكل ما تنطوي عليه نفس الإنسان من قيم وآداب وعلوم تلقائية كانت أم مكتسبة.

• كيف تتفـاعل الأغلفـــة الكرويـــة للأرض؟

الغلاف المائي والغلاف الجوي: يتفاعل الغلاف المائي والغلاف الجوي لتكوين هطول الأمطار. تبخر حرارة الشمس الماء من المحيطات ويتكثف في السحب الممطرة. عندما تصبح جزيئات الماء ثقيلة جدّاً بحيث لا تظل معلقة، فإنها تسقط على شكل قطرات مطر.

- **الغلاف المائي والغلاف الحيوي:** تحتاج جميع الكائنات الحية إلى إمدادات المياه للبقاء على قيد الحياة، إما من البحيرات والأنهار، إما من مخازن المياه داخل النباتات والحيوانات التي تأكلها.
- **الغلاف الحيوي والغلاف الصخري:** تنمو النباتات في الرمال والتربة، وهي جزء من الغلاف الصخري يسمى الغلاف الأرضي.
- **الغلاف الصخري والغلاف المائي:** يؤثر الغلاف المائي في الغلاف الصخري من خلال تكوين الأنهار والجداول. تعمل قوة وضغط الماء على حفر القنوات في الصخور التي تصبح مجاري مائية.
- **الغلاف الجوي والغلاف الصخري:** النشاط البركاني هو التفاعل بين الغلاف الجوي والغلاف الصخري. عندما يذوب الوشاح وتخلق فقاعات الغاز ضغطاً تحت الأرض، فإنها تنفجر كحمم بركانية، وتطلق ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون والبخار والرماد في الغلاف الجوي.



يتشكل النظام الأرضي من خلال تفاعل الأغلفة الجوية والمائية والحيوية والأرضية مع بعضها

الدورات البيوجيوكيميائية Biogeochemical Cycles

تتدفق الطاقة بشكل مباشر من خلال النظم البيئية، حيث تدخل في صورة ضوء الشمس أو (جزيئات غير عضوية للتغذية الكيميائية) وتترك كحرارة أثناء عمليات النقل بين المستويات الغذائية. بدلاً من التدفق عبر نظام بيئي، يتم الحفاظ على المادة التي تتكون منها الكائنات الحية وإعادة تدويرها. تتخذ العناصر الستة الأكثر شيوعاً المرتبطة بالجزيئات العضوية - الكربون والنيتروجين والهيدروجين والأكسجين والفوسفور والكبريت - مجموعة متنوعة من الأشكال الكيميائية وقد توجد لفترات طويلة في الغلاف الجوي أو على الأرض أو في الماء أو تحت سطح الأرض. تلعب العمليات الجيولوجية، مثل التجوية والتعرية وتصريف المياه واندساس الصفائح القارية، دوراً في تدوير العناصر على الأرض. نظراً لأن للجيولوجيا والكيمياء دوراً رئيسيّاً في دراسة هذه العملية، فإن إعادة تدوير المواد غير العضوية بين الكائنات الحية وبيئتها غير الحية تسمى دورة الكيمياء الحيوية.

الماء، الذي يحتوي على الهيدروجين والأكسجين، ضروري لجميع العمليات الحية. الغلاف المائي هو مساحة الأرض التي تحدث فيها حركة المياه وتخزينها: مثل الماء السائل على السطح (الأنهار، والبحيرات، والمحيطات) وتحت السطح (المياه الجوفية) أو الجليد (القمم الجليدية القطبية والأنهار الجليدية)، وكبخار ماء في الجو. يوجد الكربون في جميع الجزيئات العضوية الكبيرة وهو مكون مهم للوقود الأحفوري. يعتبر النيتروجين مكوناً رئيسيّاً للأحماض والبروتينات النووية لدينا وهو أمر بالغ الأهمية للزراعة البشرية. يعد الفوسفور، أحد

المكونات الرئيسية للأحماض النووية، أحد المكونات الرئيسية (إلى جانب النيتروجين) في الأسمدة الصناعية المستخدمة في الزراعة، التي لها تأثيرات بيئية في المياه السطحية لدينا. يتم إطلاق الكبريت، وهو عنصر حاسم في الطي ثلاثي الأبعاد للبروتينات، في الغلاف الجوي عن طريق حرق الوقود الأحفوري.

إن دورة هذه العناصر مترابطة. على سبيل المثال، تعتبر حركة المياه أمراً بالغَ الأهمية لتسرّب النيتروجين والفوسفات في الأنهار والبحيرات والمحيطات. المحيط هو أيضاً خزان رئيسي للكربون. وبالتالي، يتم تدوير المغذيات المعدنية، إما بسرعة إما ببطء، عبر المحيط الحيوي بأكمله بين العالم الحيوي وغير الحيوي ومن كائن حي إلى آخر.

دورة الكربـــــون Carbon Cycle

الكربون هو العمود الفقري للحياة على الأرض. نحن نأكل الكربون، وحضاراتنا - اقتصاداتنا، ومنازلنا، ووسائل نقلنا - مبنية على الكربون. نحن بحاجة إلى الكربون، لكن هذه الحاجة مرتبطة أيضاً بواحدة من أخطر المشكلات التي تواجهنا اليوم: تغير المناخ العالمي.

عنصر الكربون من أهم العناصر التي لها دور مُهمٌّ في إضفاء الحياة على كوكب الأرض، فهو يدخل في تكوين معظم العناصر ولكن بنسب مختلفة، فعلى سبيل المثال يدخل في تكوين كل من (غلاف الأرض الجوي - غلاف الأرض الحيوي - غلاف الأرض المائي - غلاف الأرض الصخري). فهو يتواجد في كل أشكال الحياة العضوية وكما أنه يتحد مع الأكسجين من أجل تكوين ثاني أكسيد الكربون الذي تقوم النباتات باستخلاصه من الجو من أجل استخدامه في عملية البناء الضوئي اللازمة لكي تصنع غذائها بنفسها. كما تقوم النبات عقب امتصاص ثاني أكسيد الكربون بإخراج الأكسجين اللازم لتنفس الكائنات الحية من جهة، ومن جهة أخري هناك بعض الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات وتتنفس أيضاً، وفي أثناء تنفسها تُخرج غاز ثاني أكسيد الكربون، من ذلك نستنتج أن دورة الكربون وعلى الرغم من أهميتها فإنها تعتبر شديدة التعقيد.

يعتبر الكربون رابع أكثر العناصر وفرة في الكون. يتم تخزين معظم كربون الأرض - حوالي 65500 مليار طن متري - في الصخور. والباقي في المحيط والغلاف الجوي والنباتات والتربة والوقود الأحفوري.

تعد الطحالب والنباتات الخضراء الأرضية من العوامل الرئيسية لتثبيت ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي، التي يتم من خلالها

تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات بسيطة. يتم استخدام هذه المركبات من قبل المنتجين لمواصلة عملية التمثيل الغذائي، ويتم تخزين الفائض على شكل دهون وعديد السكاريد. ثم يتم تناول المنتجات المخزنة من قِبل الكائنات الحية، من الكائنات الأولية إلى الإنسان، التي تحولها إلى أشكال أخرى. تتم إضافة ثاني أكسيد الكربون مباشرة إلى الغلاف الجوي عن طريق الحيوانات وبعض الكائنات الحية الأخرى كمنتج ثانوي للتنفس. يتم إطلاق الكربون الموجود في فضلات الحيوانات وفي أجسام جميع الكائنات الحية على شكل ثاني أكسيد الكربون عن طريق التحلل أو التحلل والكائنات (بشكل رئيسي البكتيريا والفطريات) في سلسلة من التحولات الميكروبية.

• دورة الكربون البطيئة

يتدفق الكربون بين كل خزان في تبادل يسمى دورة الكربون، التي تحتوي على مكونات بطيئة وسريعة. أي تغيير في الدورة ينقل الكربون من أحد المكمن يضع المزيد من الكربون في الخزانات الأخرى. تؤدي التغييرات التي تنشر غازات الكربون في الغلاف الجوي إلى درجات حرارة أكثر دفئاً على الأرض.

على المدى الطويل، يبدو أن دورة الكربون تحافظ على التوازن الذي يمنع كل الكربون الموجود على الأرض من دخول الغلاف الجوي أو من أن يتم تخزينه بالكامل في الصخور. يساعد هذا التوازن في الحفاظ على استقرار درجة حرارة الأرض نسبيّاً، مثل منظم الحرارة. يعمل منظم الحرارة هذا على مدى بضع مئات الآلاف من السنين، كجزء من دورة الكربون البطيئة. هذا يعني أنه لفترات زمنية أقصر – من عشرات إلى مائة ألف سنة – يمكن أن تختلف درجة حرارة الأرض. وفي الواقع، تتأرجح الأرض بين العصور الجليدية والفترات الجليدية الأكثر دفئاً في هذه المقاييس الزمنية. قد تؤدي أجزاء من دورة الكربون إلى تضخيم هذه التغيرات في درجات الحرارة على المدى القصير.

مـن خـلال سلسـلة مـن التفاعـلات الكيميائيـة والنشـاط التكتونـي، يسـتغرق الكربـون مـا بـين 100–200 مليـون سـنة للتنقـل بـين الصخـور والتربـة والمحيطـات والغـلاف الجـوي في دورة الكربـون البطيئـة. في المتوسـط ، يتحـرك 1013 إلـى 1014 جرامـاً (10–100 مليـون طـن متـري) مـن الكربـون خـلال دورة الكربـون البطيئـة كل عـام. وبالمقارنـة، فـإن انبعاثـات الكربـون البشـرية في الغـلاف الجـوي هـي في حـدود 1015 جرامـاً، بينمـا تتحـرك دورة الكربـون السـريعة مـن 1016 إلـى 1017 جرامـاً مـن الكربـون سـنويّاً.

تبـدأ حركـة الكربـون مـن الغـلاف الجـوي إلـى الغـلاف الصخـري (الصخـور) بالمطـر. يتحـد كربـون الغـلاف الجـوي مـع المـاء لتكويـن حمـض ضعيـف – حمـض الكربونيـك – يسـقط علـى السـطح تحـت المطـر. يـذوب الحمـض الصخـور – وهـي عمليـة تسـمى التجويـة الكيميائيـة – ويطلـق الكالسـيوم أو المغنيسـيوم أو البوتاسـيوم أو أيونـات الصوديـوم. الأنهـار تحمـل الأيونـات إلـى المحيـط.

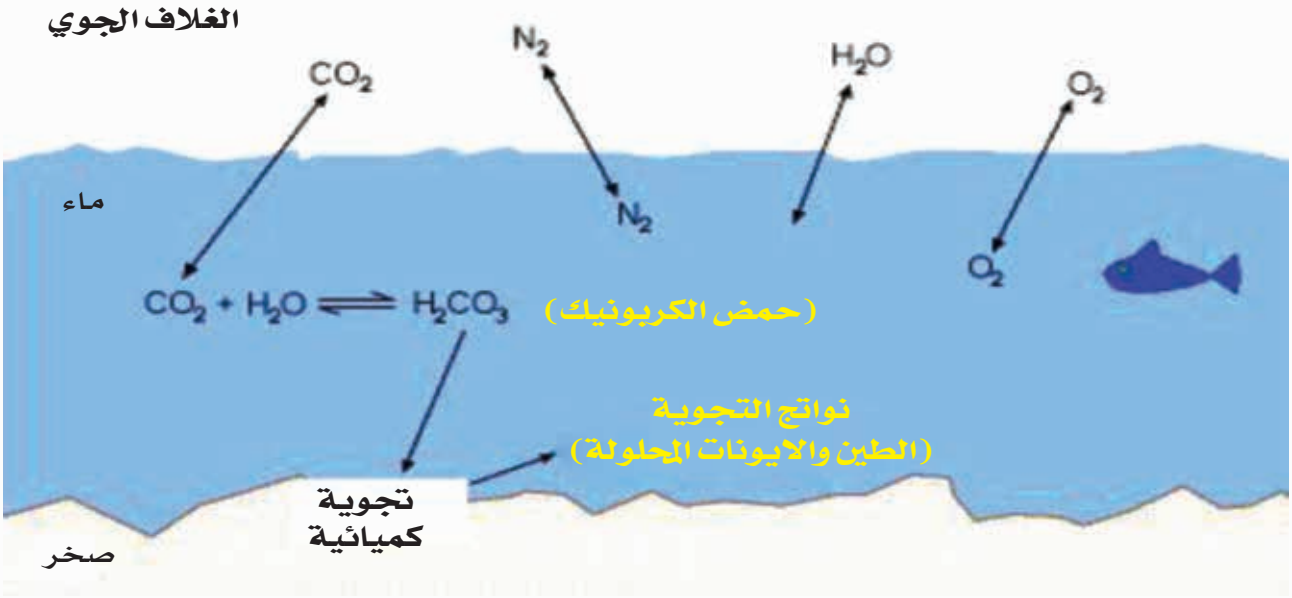
في المحيـط، تتحـد أيونـات الكالسـيوم مـع أيونـات البيكربونـات لتكويـن كربونـات الكالسـيوم، والمكـون النشـط في مضـادات الحموضـة، والمـادة البيضـاء الطباشـيرية التـي تجـف علـى الصنبـور إذا كنـت تعيـش في منطقـة بهـا مـاء عسـر. في المحيطـات الحديثـة، يتكـون معظـم كربونـات الكالسـيوم مـن كائنـات بنـاء الصـدف (التكلـس) (مثـل الشـعاب المرجانيـة) والعوالـق (مثـل جحـور كوكوليثوفـورس والمنخربـات). بعـد مـوت الكائنـات الحيـة، تغـرق في قـاع البحـر. بمـرور الوقـت، يتـم لصـق طبقـات مـن الأصـداف والرواسـب معـاً وتتحـول إلـى صخـر، وتخزيـن الكربـون في الحجـر – الحجـر الجيـري ومشـتقاته. فقـط 80 % مـن الصخـور المحتويـة علـى الكربـون تصنـع بهـذه الطريقـة. تحتـوي نسـبة الـ 20 % المتبقيـة علـى الكربـون مـن الكائنـات الحيـة (الكربـون العضـوي) التـي تم دمجهـا في طبقـات مـن الطـين. تعمـل الحـرارة

والضغط على ضغط الطين والكربون على مدى ملايين السنين، وتشكيل الصخور الرسوبية مثل الصخر الزيتي. في حالات خاصة، عندما تتراكم المادة النباتية الميتة بشكل أسرع مما يمكن أن تتحلل، تصبح طبقات الكربون العضوي زيتاً أو فحماً أو غازاً طبيعيّاً بدلاً من الصخور الرسوبية مثل الصخر الزيتي.

تعيد الدورة البطيئة الكربون إلى الغلاف الجوي من خلال البراكين. تقع أسطح الأرض والمحيطات على العديد من الصفائح القشرية المتحركة. عندما تصطدم الصفائح، تغرق إحداهما تحت الأخرى، وتذوب الصخور التي تحملها تحت حرارة وضغط شديدين. تتحد الصخور الساخنة إلى معادن السيليكات، وتطلق ثاني أكسيد الكربون.

عندما تندلع البراكين، فإنها تنفث الغاز في الغلاف الجوي وتغطي الأرض بصخور السيليكات الطازجة لبدء الدورة مرة أخرى. في الوقت الحاضر، تنبعث من البراكين ما بين 130 و 380 مليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون سنويّاً. للمقارنة، يُصدر البشر حوالي 30 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون سنويّاً – أي 100–300 مرة أكثر من البراكين – عن طريق حرق الوقود الأحفوري.

تنظم الكيمياء هذا التفاعل بين المحيط والأرض والغلاف الجوي. إذا ارتفع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بسبب زيادة النشاط البركاني، على سبيل المثال، ترتفع درجات الحرارة، مما يؤدي إلى مزيد من الأمطار، مما يؤدي إلى إذابة المزيد من الصخور، مما ينتج عنه المزيد من الأيونات التي ستؤدي في النهاية إلى ترسيب المزيد من الكربون في قاع المحيط. يستغرق الأمر بضعَ مئات الآلاف من السنين لإعادة التوازن إلى دورة الكربون البطيئة من خلال التجوية الكيميائية.



دورة الكربون البطيئة من خلال التجوية الكيميائية

• دورة الكـــربـــون الســـريعـــة

يتم قياس الوقت الذي يستغرقه الكربون للتحرك خلال دورة الكربون السريعة في العمر الافتراضي. إن دورة الكربون السريعة هي إلى حد كبير حركة الكربون من خلال أشكال الحياة على الأرض، أو المحيط الحيوي. ما بين 1015 و 1017 جراماً (1000 إلى 100000 مليون طن متري) من الكربون يتحرك خلال دورة الكربون السريعة كل عام.

يلعب الكربون دوراً أساسيّاً في علم الأحياء بسبب قدرته على تكوين العديد من الروابط - حتى أربعة لكل ذرة - في مجموعة متنوعة لا نهاية لها على ما يبدو من الجزيئات العضوية المعقدة. تحتوي العديد من الجزيئات العضوية على ذرات كربون شكلت روابط قوية مع ذرات كربون أخرى، وتتحد في سلاسل

طويلة وحلقات. سلاسل وحلقات الكربون هذه هي أساس الخلايا الحية. على سبيل المثال، يتكون الحمض النووي من جزيئين متشابكين مبنيين حول سلسلة كربون.

الروابط في سلاسل الكربون الطويلة تحتوي على الكثير من الطاقة. عندما تنفصل السلاسل، يتم تحرير الطاقة المخزنة. تجعل هذه الطاقة جزيئات الكربون مصدراً ممتازاً للوقود لجميع الكائنات الحية.

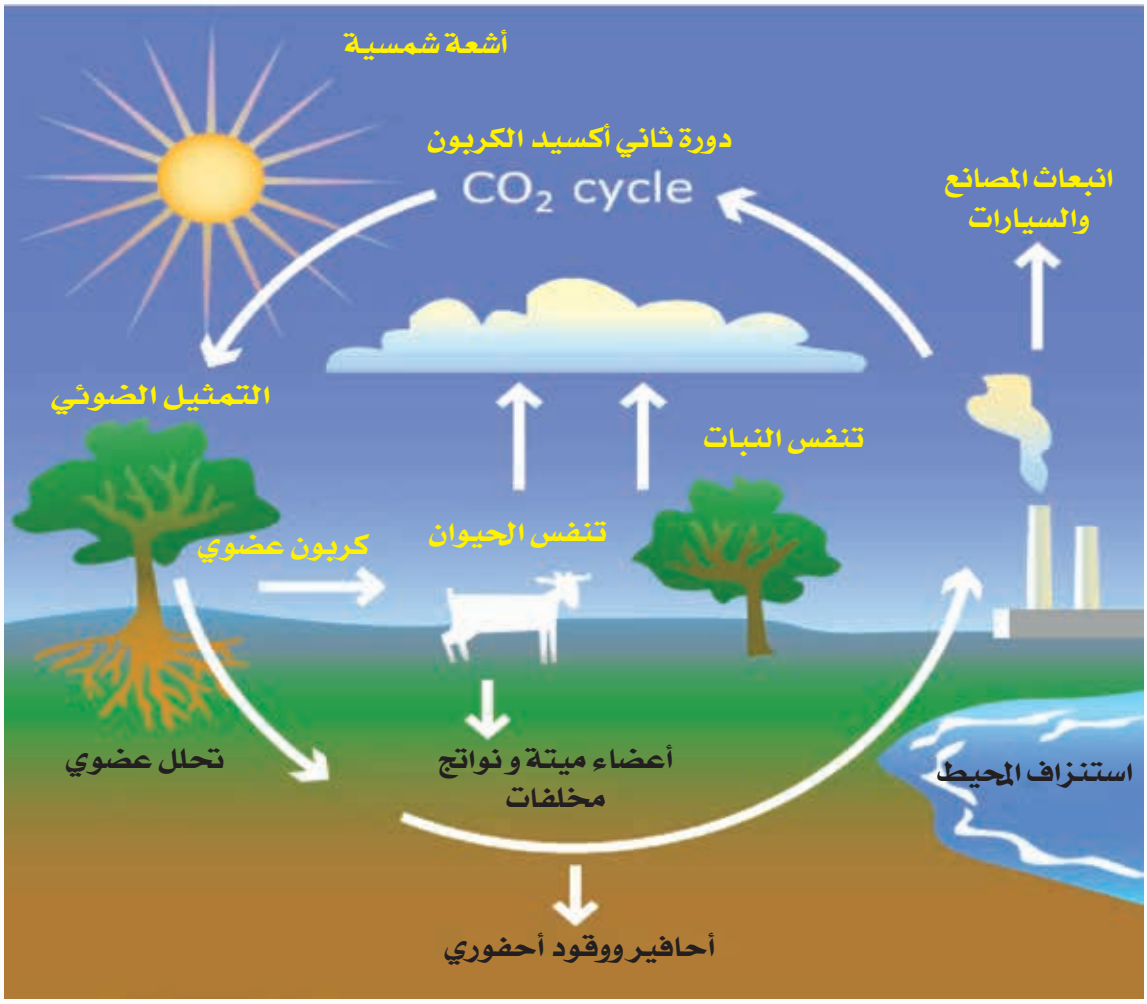
النباتات والعوالق النباتية هي المكونات الرئيسية لدورة الكربون السريعة. العوالق النباتية (الكائنات الحية الدقيقة في المحيط) والنباتات تأخذ ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي عن طريق امتصاصه في خلاياها. باستخدام الطاقة من الشمس، تجمع كل من النباتات والعوالق بين ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء لتكوين السكر (CH_2O) والأكسجين. يبدو التفاعل الكيميائي كالتالي:

$$CO_2 + H_2O + energy = CH_2O + O_2$$

يمكن أن تحدث أربعة أشياء لنقل الكربون من النبات وإعادته إلى الغلاف الجوي، لكن جميعها تنطوي على نفس التفاعل الكيميائي. تكسر النباتات السكر للحصول على الطاقة التي يحتاجونها للنمو. الحيوانات (بما في ذلك البشر) تأكل النباتات أو العوالق، وتكسر السكر النباتي للحصول على الطاقة. تموت النباتات والعوالق وتتحلل (تأكلها البكتيريا) في نهاية موسم النمو. أو النار تستهلك النباتات. في كل حالة، يتحد الأكسجين مع السكر لإطلاق الماء وثاني أكسيد الكربون والطاقة. يبدو التفاعل الكيميائي الأساسي كما يلي:

$$CH_2O + O_2 = CO_2 + H_2O + energy$$

في جميع العمليات الأربع، عادةً ما ينتهي ثاني أكسيد الكربون المنطلق في التفاعل في الغلاف الجوي. ترتبط دورة الكربون السريعة ارتباطاً وثيقاً بالحياة النباتية بحيث يمكن رؤية موسم النمو بالطريقة التي يتقلب بها ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. في فصل الشتاء في نصف الكرة الشمالي، عندما ينمو عدد قليل من النباتات البرية ويتحلل الكثير منها، ترتفع تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. خلال الربيع، عندما تبدأ النباتات في النمو مرة أخرى، تنخفض التركيزات. يبدو الأمر كما لو أن الأرض تتنفس.



دورة الكربون السريعة من خلال المحيط الحيوي

• تأثير الاحتباس الحراري Greenhouse Effect

في الدفيئة، يدخل ضوء الشمس، ويتم الاحتفاظ بالحرارة. يصف تأثير الدفيئة ظاهرة مماثلة في نطاق كوكبي، ولكن بدلاً من زجاج الدفيئة، تعمل غازات معينة على رفع درجات الحرارة العالمية بشكل متزايد. يمتص سطح الأرض أقل من نصف طاقة الشمس بقليل، بينما يمتص الغلاف الجوي 23 %، والباقي ينعكس مرة أخرى في الفضاء. تضمن العمليات الطبيعية تساوي كمية الطاقة الواردة والصادرة، مما يحافظ على استقرار درجة حرارة الكوكب.

ومع ذلك، فإن النشاط البشري يؤدي إلى زيادة انبعاث ما يسمى بغازات الدفيئة (GHGs) التي، على عكس الغازات الأخرى في الغلاف الجوي مثل الأكسجين والنيتروجين، تصبح محاصرة في الغلاف الجوي، غير قادرة على الهروب من الكوكب. تعود هذه الطاقة إلى السطح حيث يتم امتصاصها. لأن المزيد من الطاقة تدخل الكوكب أكثر من الخارج، تزداد درجات حرارة السطح حتى يتحقق توازن جديد.

• أهم الغازات التي تسبب الاحتباس الحراري

يمثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) حوالي 76 % من الانبعاثات العالمية التي يسببها الإنسان، ويبقى لفترة طويلة. بمجرد انبعاثه في الغلاف الجوي، يبقى 40 % منه بعد 100 عام، و 20 % بعد 1000 عام، و 10 % بعد 10 آلاف عام.

الميثان. على الرغم من أن الميثان (CH4) يستمر في الغلاف الجوي لفترة أقل بكثير من ثاني أكسيد الكربون (حوالي عقد من الزمان)، فإنه أكثر فاعلية من حيث تأثير الاحتباس الحراري. في الواقع، الجنيه مقابل الجنيه، فإن تأثيره

في الاحتباس الحراري أكبر بـ 25 مرة من تأثير ثاني أكسيد الكربون في مدى 100 عام. على الصعيد العالمي، فهي مسؤولة عن ما يقرب من 16 % من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي يتسبب فيها الإنسان.

أكسيد النيتروز (N_2O) من الغازات الدفيئة القوية: له قدرة احترار عالمي 300 مرة من ثاني أكسيد الكربون على نطاق زمني مدته 100 عام، ويبقى في الغلاف الجوي، في المتوسط ، أكثر من قرن بقليل. يمثل حوالي 6 % من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي يسببها الإنسان في جميع أنحاء العالم.

تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري

دورة الأكسجين Oxygen Cycle

كما نعلم جميعاً، الهواء عبارة عن مزيج من الغازات. يتكون الهواء في الغلاف الجوي من غازات مختلفة، وهي النيتروجين (78 %) والأكسجين (21 %) والأرجون والغازات النزرة الأخرى (1 %). وفقاً لتاريخ الأرض، تم إدخال غاز الأكسجين لأول مرة بواسطة البكتيريا الزرقاء من خلال عملية التمثيل الضوئي. في وقت سابق، منذ حوالي 4.6 مليار سنة، لم تكن هناك حياة على كوكب الأرض لأن الغلاف الجوي كان خالياً من الأكسجين. في وقت لاحق، كانت هناك زيادة تدريجية في مستويات الأكسجين وبحلول العصر الكربوني - قبل 299 مليون سنة، وصل الأكسجين إلى المستويات التي كانت مماثلة لتقديرات اليوم.

اليوم، يتوفر الأكسجين مجاناً في الهواء ويذوب أيضاً في الماء. إنه ثاني أكثر الغازات وفرة في الغلاف الجوي وأيضاً العنصر الأكثر شيوعاً في جسم الإنسان. يلعب دوراً أساسيّاً في معظم أشكال الحياة على الأرض، ويعمل أيضاً كعنصر أساسي في الجزيئات الحيوية مثل البروتينات والأحماض النووية.

تلعب دورة الأكسجين جنباً إلى جنبٍ مع دورة الكربون ودورة النيتروجين دوراً أساسيّاً في وجود الحياة على الأرض. دورة الأكسجين هي عملية بيولوجية تساعد في الحفاظ على مستوى الأكسجين من خلال التحرك عبر ثلاث مناطق رئيسية على الأرض، وهي: الغلاف الجوي -ليثوسفير- المحيط الحيوي. الغلاف الجوي هو في الواقع أصغر مصدر للأكسجين على الأرض، ويشكل 0.35 % فقط من إجمالي الأكسجين الموجود على الأرض. الأصغر يأتي من الغلاف الجوي. الأكبر كما ذكر من قبل في قشرة الأرض. دورة الأكسجين هي الطريقة التي يتم بها إصلاح الأكسجين لتحريره في كل من هذه المناطق الرئيسية.

يتـم تحريـر الأكسـجين في الغـلاف الجـوي مـن خـلال عمليـة تسـمى التحلـل الضوئـي. يحـدث هـذا عندمـا يكسـر ضـوء الشـمس عالي الطاقة الجزيئـات الحاملة للأكسـجين لإنتـاج الأكسـجين الحـر. واحـدة مـن أكثـر التحلـل الضوئـي المعروفـة هـي دورة الأوزون. يتحلـل جـزيء الأكسـجين O2 إلـى أكسـجين ذري بواسـطة الأشـعة فـوق البنفسـجية لأشـعة الشـمس. ثـم يتحـد هـذا الأكسـجين الحـر مـع جزيئـات O2 الموجودة لإنتـاج O3 أو الأوزون. هـذه الـدورة مُهمَّـة؛ لأنهـا تسـاعد علـى حمايـة الأرض مـن غالبيـة الأشـعة فـوق البنفسـجية الضـارة وتحويلهـا إلـى حـرارة غيـر ضـارة قبـل أن تصـل إلـى سـطح الأرض.

الـدورات الرئيسـية في المحيـط الحيـوي هـي التنفـس والتمثيـل الضوئـي. التنفس هـو عندمـا تتنفـس الحيوانـات والبشـر باسـتهلاك الأكسـجين لاسـتخدامه في عمليـة التمثيـل الغذائـي وزفيـر ثانـي أكسـيد الكربـون. التمثيـل الضوئـي هـو عكـس هـذه العمليـة ويتـم بشـكل أساسـي بواسـطة النباتـات والعوالـق.

غالبـاً مـا يثبـت الغـلاف الصخـري الأكسـجين في المعـادن، مثـل: السـيليكات والأكاسـيد. معظـم الوقـت تكـون العمليـة تلقائيـة، كل مـا يتطلبـه الأمـر هـو شـكل نقـي مـن عنصـر يتلامـس مـع الأكسـجين مثـل مـا يحـدث عندمـا يصـدأ الحديـد. يتـم تحريـر جـزء مـن الأكسـجين بواسـطة التجويـة الكيميائيـة. عندمـا يتعـرض المعـدن الحامـل للأكسـجين للعناصـر، يحـدث تفاعـل كيميائـي يؤدي إلـى تآكلـه وفي هـذه العمليـة ينتـج الأكسـجين الحـر.

تشـرح هـذه الـدورة البيوجيوكيميائيـة حركـة غـاز الأكسـجين داخـل الغـلاف الجـوي والنظـام البيئـي والمحيـط الحيـوي والغـلاف الصخـري. ترتبـط دورة الأكسـجين بـدورة الكربـون.

حركة غاز الأكسجين داخل الغلاف الجوي والبيئي والحيوي والصخري

• مراحـــــل دورة الأكســـجين

الخطوات المتبعة في دورة الأكسجين هي:

- **المرحلة الأولى:** جميع النباتات الخضراء أثناء عملية التمثيل الضوئي، تطلق الأكسجين مرة أخرى في الغلاف الجوي كمنتج ثانوي.

المرحلة الثانية: تستخدم جميع الكائنات الحية الهوائية الأكسجين الحر للتنفس.

- **المرحلة الثالثة:** تقوم الحيوانات بإخراج ثاني أكسيد الكربون مرة أخرى إلى الغلاف الجوي، الذي تستخدمه النباتات مرة أخرى أثناء عملية التمثيل الضوئي. الآن الأكسجين متوازن داخل الغلاف الجوي.

العمليات الرئيسية الأربع التي تستخدم الأكسجين الجوي هي:

- **التنفـــس:** هـي العمليـة الفيزيائيـة، التـي مـن خلالهـا تستنشـق جميـع الكائنـات الحيـة، بمـا في ذلـك النباتـات والحيوانـات والبشـر الأكسـجين مـن البيئـة الخارجيـة إلـى خلايـا الكائـن الحـي وتخـرج ثانـي أكسـيد الكربـون مـرة أخـرى في الغـلاف الجـوي.
- **التحـــلل:** هـو أحـد العمليـات الطبيعيـة والأكثـر أهميـة في دورة الأكسـجين ويحـدث عندمـا يمـوت الكائـن الحـي. تتحلـل النباتـات أو الحيوانـات الميتـة في الأرض، ويتـم إرجـاع المـواد العضويـة مـع الكربـون والأكسـجين والمـاء والمكونـات الأخـرى إلـى التربـة والهـواء. يتـم تنفيـذ هـذه العمليـة مـن قبـل اللافقاريـات، بمـا في ذلـك الفطريـات والبكتيريـا وبعـض الحشـرات التـي تسـمى مجتمعـة بالمحلـلات. تتطلـب العمليـة برمتهـا الأكسـجين وإطـلاق ثانـي أكسـيد الكربـون.
- **الاحتـراق:** وهـو أيضـاً أحـد أهـم العمليـات التـي تحـدث عندمـا يتـم حـرق أي مـن المـواد العضويـة، بمـا في ذلـك الوقـود الأحفـوري والبلاسـتيك والخشـب، في وجـود الأكسـجين وإطـلاق ثانـي أكسـيد الكربـون في الغـلاف الجـوي.
- **الصـــدأ:** تتطلـب هـذه العمليـة أيضـاً الأكسـجين. إنـه تكويـن الأكاسـيد وهـو مـا يسـمى أيضـاً بالأكسـدة. في هـذه العمليـة، تتشـكل معـادن مثـل الحديـد أو صـدأ السـبائك عندمـا تتعـرض للرطوبـة والأكسـجين لفتـرة طويلـة مـن الزمـن وتتكـون مركبـات جديـدة مـن الأكاسـيد مـن خـلال دمـج الأكسـجين مـع المعـدن.

• إنتـــــاج الأكســـــجين

◆ **النباتـات:** تعتبـر النباتـات مـن أهـم منشـئي الأكسـجين مـن خـلال عمليـة التمثيـل الضوئـي. التمثيـل الضوئـي هـو عمليـة بيولوجيـة تقـوم مـن خلالهـا جميـع النباتـات الخضـراء بتجميـع طعامهـا في وجـود ضـوء الشـمس. أثنـاء عمليـة التمثيـل الضوئـي، تسـتخدم النباتـات ضـوء الشـمس والمـاء وثانـي أكسـيد الكربـون لتوليـد الطاقـة ويتـم تحريـر غـاز الأكسـجين كمنتـج ثانـوي لهـذه العمليـة.

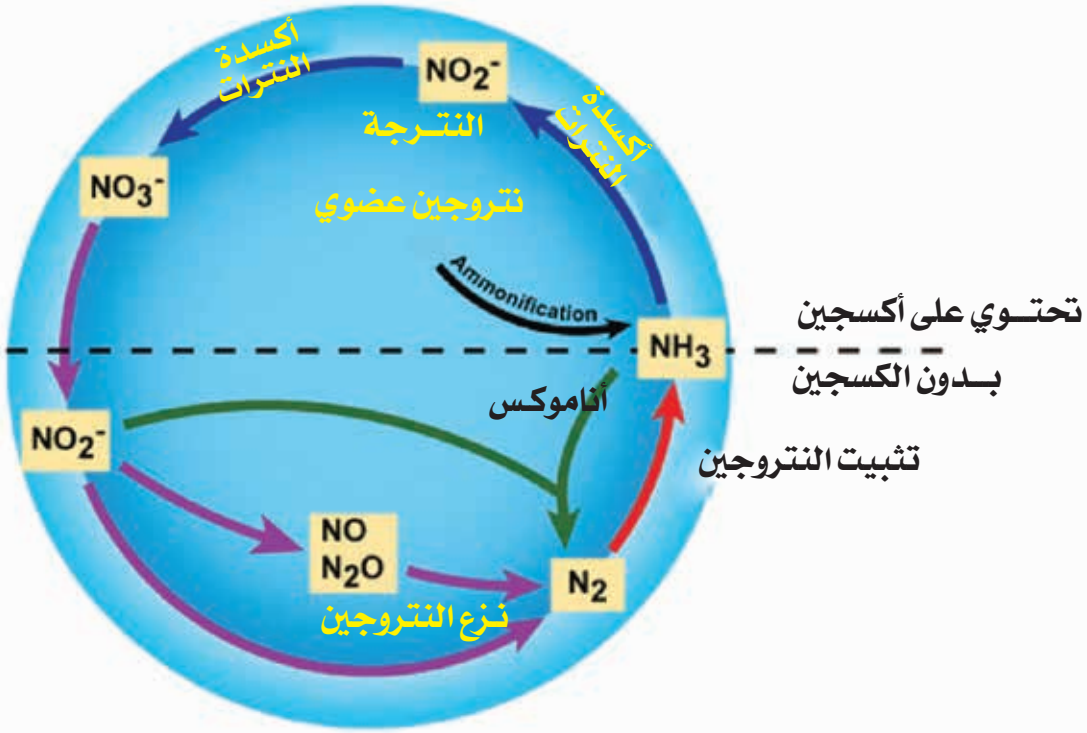
◆ **ضـوء الشـمس:** ينتـج ضـوء الشـمس الأكسـجين أيضـاً. ينتـج بعـض غـاز الأكسـجين عندمـا يتفاعـل ضـوء الشـمس مـع بخـار المـاء في الغـلاف الجـوي.

دورة النيتروجـــــين Nitrogen Cycle

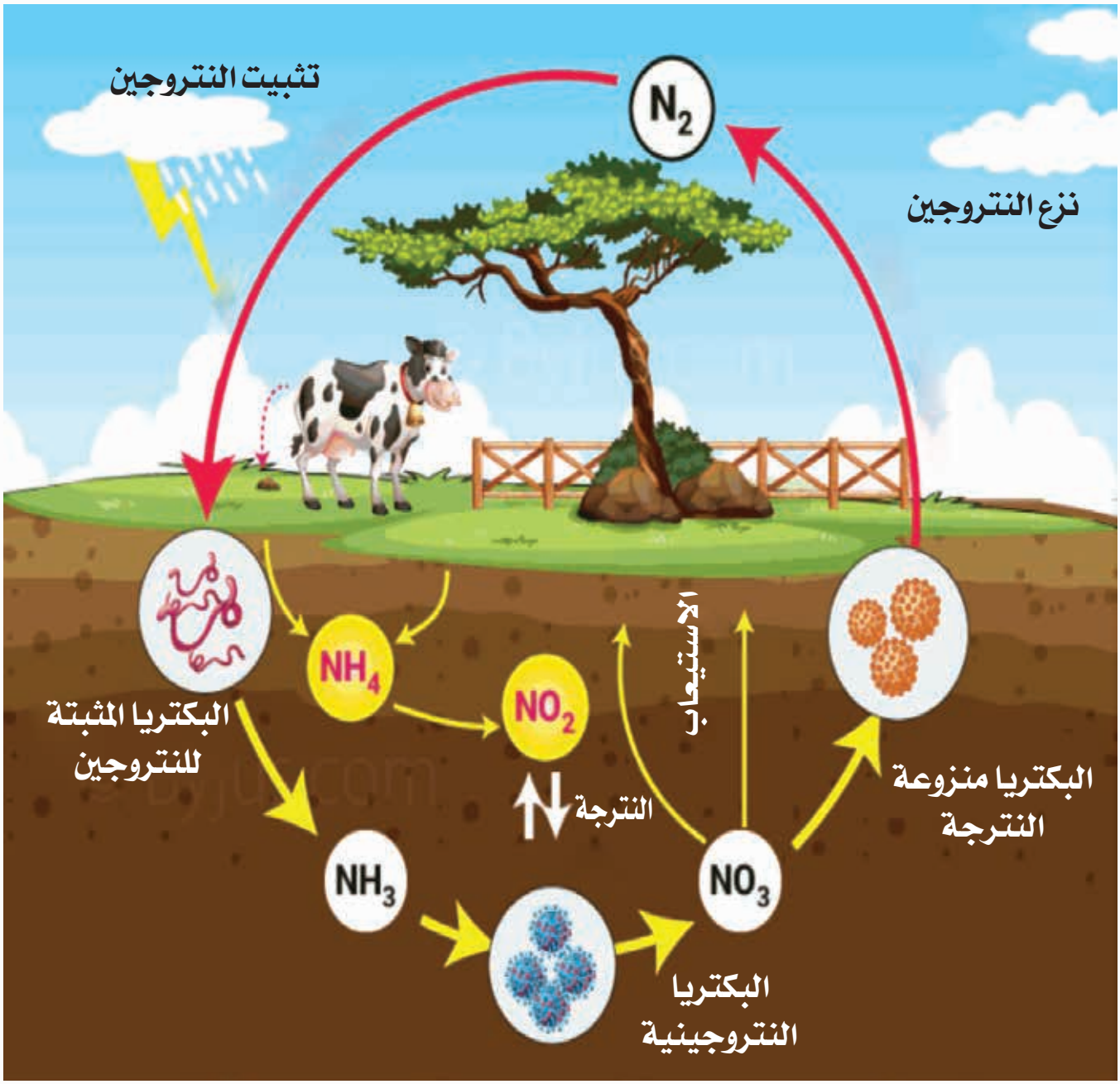
- **النيتروجين**، أو N، باستخدام اختصاره العلمي، هو عنصر عديم اللون والرائحة. يوجد النيتروجين في التربة، وفي الماء، وفي الهواء. في الواقع، النيتروجين هو العنصر الأكثر وفرة في الغلاف الجوي للأرض. النيتروجين مهم لجميع الكائنات الحية، بما في ذلك نحن. يلعب دوراً رئيسيّاً في نمو النبات: قلة النيتروجين والنباتات لا يمكنها الازدهار، مما يؤدي إلى انخفاض غلة المحاصيل؛ لكن الكثير من النيتروجين يمكن أن يكون ساماً للنباتات. النيتروجين ضروري لإمداداتنا الغذائية، لكن النيتروجين الزائد يمكن أن يضر بالبيئة.
- **النيتروجين**، أحد مكونات البروتينات والأحماض النووية، ضروري للحياة على الأرض. على الرغم من أن 78 % من حجم الغلاف الجوي عبارة عن غاز نيتروجين، فإن هذا الخزان الوفير موجود في شكل غير صالح للاستعمال من قبل معظم الكائنات الحية. ومع ذلك، فمن خلال سلسلة من التحولات الميكروبية، يتم توفير النيتروجين للنباتات، التي بدورها تحافظ في النهاية على الحياة الحيوانية بأكملها. تندرج الخطوات، التي ليست متسلسلة تماماً، في التصنيفات التالية: تثبيت النيتروجين، واستيعاب النيتروجين، والأمونيا، والنيتروجين، ونزع النتروجين.
- **دورة النيتروجين**، هي عملية بيوجيوكيميائية يتم من خلالها تحويل النيتروجين إلى أشكال عديدة، ويمر على التوالي من الغلاف الجوي إلى التربة إلى الكائن الحي ويعود إلى الغلاف الجوي. يتضمن العديد من العمليات مثل تثبيت النيتروجين، النترجة، نزع النتروجين، الاضمحلال والتعفن.

يوجد غاز النيتروجين في كل من الأشكال العضوية وغير العضوية. يوجد النيتروجين العضوي في الكائنات الحية، ويتم تمريرها عبر السلسلة الغذائية عن طريق استهلاك الكائنات الحية الأخرى. توجد أشكال غير عضوية من النيتروجين بكثرة في الغلاف الجوي. يتم توفير هذا النيتروجين للنباتات عن طريق البكتيريا التكافلية التي يمكنها تحويل النيتروجين الخامل إلى شكل قابل للاستخدام، مثل: النيتريت والنترات.

يخضع النيتروجين لأنواع مختلفة من التحول للحفاظ على التوازن في النظام البيئي. علاوة على ذلك، تمتد هذه العملية إلى المناطق الأحيائية المختلفة، حيث تعد دورة النيتروجين البحري واحدة من أكثر الدورات البيوجيوكيميائية تعقيداً.



مراحل تحول النيتروجين



مراحل دورة النيتروجين

• مراحـــل دورة النيتـروجـــين

دورة النيتروجين عبارة عن دورة متكررة من العمليات التي يتحرك خلالها النيتروجين عبر الكائنات الحية وغير الحية: الغلاف الجوي والتربة والماء والنباتات والحيوانات والبكتيريا الكائنات الحية المجهرية التي تحتوي عادة على خلية واحدة فقط وتوجد في كل مكان. يمكن أن تسبب البكتيريا تحلل أو تكسير المواد العضوية في التربة.. من أجل التحرك خلال الأجزاء المختلفة من الدورة، يجب أن يغير النيتروجين أشكاله. يوجد النيتروجين في الغلاف الجوي كغاز (N_2)، ولكنه موجود في التربة كأكسيد النيتروجين، NO، وثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، وعند استخدامه كسماد، يمكن العثور عليه في أشكال أخرى، مثل الأمونيا، NH_3، التي يمكن معالجتها بشكل أكبر إلى سماد مختلف، نترات الأمونيوم، أو NH_4NO_3.

هناك خمس مراحل في دورة النيتروجين، وسنناقش الآن كل منها على حِدة: التثبيت أو التطاير، والتمعدن، والنترة، والتثبيت، ونزع النتروجين. في هذه الصورة، تحول الميكروبات في التربة غاز النيتروجين (N_2) إلى ما يسمى الأمونيا المتطايرة (NH_3)، لذلك تسمى عملية التثبيت التطاير. النض: عندما يتم تصريف مادة معدنية أو مادة كيميائية، مثل (النترات أو NO_3) بعيداً عن التربة أو أي مادة أرضية أخرى وتتسرب إلى المنطقة المحيطة. هو المكان الذي تتحلل فيه أشكال معينة من النيتروجين، مثل (النترات أو NO_3) في الماء وتتسرب من التربة، مما قد يؤدي إلى تلوث المجاري المائية.

المرحلة 1: تثبيت النيتروجين FIXATION

في هذه المرحلة، ينتقل النيتروجين من الغلاف الجوي إلى التربة. يحتوي الغلاف الجوي للأرض على تجمع ضخم من غاز النيتروجين (N2). لكن هذا النيتروجين «غير متوفر» للنباتات، لأن الشكل الغازي لا يمكن للنباتات استخدامه مباشرة دون الخضوع لعملية تحول. لكي تستخدمه النباتات، يجب تحويل N2 من خلال عملية تسمى تثبيت النيتروجين. يحول التثبيت النيتروجين في الغلاف الجوي إلى أشكال يمكن للنباتات امتصاصها من خلال أنظمة جذورها.

يمكن **تثبيت كمية صغيرة** من النيتروجين عندما يوفر البرق الطاقة اللازمة لـ N2 للتفاعل مع الأكسجين، مما ينتج عنه أكسيد النيتروجين، وأكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد النيتروجين، NO_2. ثم تدخل هذه الأشكال من النيتروجين التربة من خلال المطر أو الثلج. يمكن أيضاً إصلاح النيتروجين من خلال العملية الصناعية التي تنتج الأسمدة. يحدث هذا الشكل من التثبيت تحت حرارة وضغط مرتفعين، حيث يتم الجمع بين النيتروجين والهيدروجين في الغلاف الجوي لتكوين الأمونيا (NH_3)، التي يمكن معالجتها بعد ذلك، لإنتاج نترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، وهو شكل من أشكال النيتروجين الذي يمكن إضافته إلى التربة والمستخدمة من قِبل النباتات.

يحدث معظم تثبيت النيتروجين بشكل طبيعي، في التربة، عن طريق البكتيريا. تلتصق بعض البكتيريا بجذور النبات ولها علاقة تكافلية (مفيدة لكل من النبات والبكتيريا) مع النبات. تحصل البكتيريا على الطاقة من خلال عملية التمثيل الضوئي، وفي المقابل، تقوم بتثبيت النيتروجين في الشكل الذي يحتاجه النبات. ثم يتم نقل النيتروجين الثابت إلى أجزاء أخرى من النبات

ويستخدم في تكوين أنسجة النبات، بحيث يمكن للنبات أن ينمو. تعيش البكتيريا الأخرى بحرية في التربة أو الماء ويمكنها إصلاح النيتروجين بدون هذه العلاقة التكافلية. يمكن لهذه البكتيريا أيضاً أن تخلق أشكالاً من النيتروجين يمكن أن تستخدمها الكائنات الحية.

تكتمل عملية تثبيت النيتروجين بالكامل بواسطة بكتيريا تكافلية تُعرف باسم Diazotrophs. تلعب Azotobacter و Rhizobium أيضاً دوراً رئيسيّاً في هذه العملية. تتكون هذه البكتيريا من إنزيم النيتروجين، الذي لديه القدرة على الجمع بين غاز النيتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا.

• أنـــواع تثبيت النيتروجـــين

♦ **تثبيت الغلاف الجوي:** ظاهرة طبيعية حيث تقوم طاقة البرق بتقسيم النيتروجين إلى أكاسيد النيتروجين ثم تستخدمه النباتات.

♦ **تثبيت النيتروجين الصناعي:** هو بديل من صنع الإنسان يساعد في تثبيت النيتروجين عن طريق استخدام الأمونيا. يتم إنتاج الأمونيا من خلال الجمع المباشر بين النيتروجين والهيدروجين وبعد ذلك يتم تحويلها إلى أسمدة مختلفة مثل اليوريا.

♦ **التثبيت البيولوجي للنيتروجين:** نحن نعلم بالفعل أن النيتروجين لا يمكن استخدامه مباشرة من الهواء للنباتات والحيوانات. تقوم البكتيريا مثل الجذور والطحالب الخضراء المزرقة بتحويل الشكل غير القابل للاستخدام من النيتروجين إلى مركبات أخرى يمكن استخدامها بسهولة أكبر. يتم تثبيت مركبات النيتروجين هذه في التربة بواسطة هذه الميكروبات.

المرحلة 2: التعدين MINERALIZATION

هذه المرحلة تحدث في التربة. ينتقل النيتروجين من المواد العضوية، مثل السماد الطبيعي أو المواد النباتية إلى شكل غير عضوي من النيتروجين يمكن للنباتات استخدامه. في نهاية المطاف، يتم استخدام العناصر الغذائية للنبات ويموت النبات ويتحلل. يصبح هذا مُهمّاً في المرحلة الثانية من دورة النيتروجين. يحدث التمعدن عندما تعمل الميكروبات على مادة عضوية، مثل روث الحيوانات أو المواد النباتية أو الحيوانية المتحللة، وتبدأ في تحويلها إلى شكل من أشكال النيتروجين يمكن أن تستخدمه النباتات.

المرحلة 3: التهيج NITRIFICATION

المرحلة الثالثة، النترجة، تحدث أيضاً في التربة. أثناء النترجة، يتم تحويل الأمونيا في التربة، التي يتم إنتاجها أثناء التمعدن، إلى مركبات تسمى النتريت، $NO2-$، والنترات، $NO3-$. يمكن استخدام النترات من قِبل النباتات والحيوانات التي تأكل النباتات. يمكن لبعض البكتيريا الموجودة في التربة تحويل الأمونيا إلى نيتريت.

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

على الرغم من أن النتريت لا تستخدمه النباتات والحيوانات بشكل مباشر، فإن البكتيريا الأخرى يمكنها تحويل النتريت إلى نترات - وهو شكل يمكن استخدامه من قبل النباتات والحيوانات. يوفر هذا التفاعل الطاقة للبكتيريا المنخرطة في هذه العملية. تسمى البكتيريا التي نتحدث عنها Nitrosomonas و Nitrobacter . Nitrobacter يحول النتريت إلى نترات؛ Nitrosomonas يحول

الأمونيا إلى نيتريت. كلا النوعين من البكتيريا يمكن أن يعمل فقط في وجود الأكسجين، O2. تعتبر عملية النترجة مُهمَّة للنباتات، حيث إنها تنتج مخزوناً إضافيّاً من النيتروجين المتاح الذي يمكن أن تمتصه النباتات من خلال أنظمة الجذر الخاصة بها.

المرحلة 4: منع الحركة IMMOBILIZATION

المرحلة الرابعة من دورة النيتروجين هي التثبيت، ويوصف أحياناً بأنه عكس التمعدن. تتحكم هاتان العمليتان معاً في كمية النيتروجين في التربة. تماماً مثل النباتات، الكائنات الحية الدقيقة، الكائنات الحية، أو الكائنات الحية، صغيرة جدّاً بحيث لا يمكن رؤيتها بدون مجهر، مثل البكتيريا. الذين يعيشون في التربة يتطلب النيتروجين كمصدر للطاقة. تسحب هذه الكائنات الدقيقة في التربة النيتروجين من التربة عندما لا تحتوي بقايا النباتات المتحللة على ما يكفي من النيتروجين. عندما تأخذ الكائنات الحية الدقيقة الأمونيوم (+NH4) والنترات (−NO3)، لم تعد هذه الأشكال من النيتروجين متاحة للنباتات وقد تسبب نقصاً في النيتروجين، أو نقصاً في النيتروجين. وبالتالي، فإن التثبيت يربط النيتروجين في الكائنات الحية الدقيقة. ومع ذلك، فإن التثبيت مُهم؛ لأنه يساعد في التحكم في كمية النيتروجين في التربة وتحقيق التوازن بينها عن طريق ربطها أو شل حركة النيتروجين في الكائنات الحية الدقيقة.

المرحلة 5: التنفيس DENITRIFICATION

في المرحلة الخامسة من دورة النيتروجين، نزع النتروجين هو العملية التي تعود فيها مركبات النيتروجين إلى الغلاف الجوي عن طريق تحويل النترات (NO3-) إلى نيتروجين غازي (N). هذه العملية لدورة النيتروجين هي المرحلة النهائية وتحدث في غياب الأكسجين. يتم إجراء عملية نزع النتروجين من قِبل

الأنواع البكتيرية المزالة للنيتروجين- Clostridium و Pseudomonas، التي ستعمل على معالجة النترات للحصول على الأكسجين وإخراج غاز النيتروجين المجاني كمنتج ثانوي.

• دورة النيتروجـــين في النظـــام البيئي البحـــري

تحدث عملية دورة النيتروجين بنفس الطريقة في النظام البيئي البحري كما في النظام البيئي الأرضي. والفرق الوحيد هو أنه يتم تنفيذه بواسطة البكتيريا البحرية.

تسقط المركبات المحتوية على النيتروجين في المحيط حيث تتضغط الرواسب على مدى فترات طويلة وتشكل صخوراً رسوبية. بسبب الارتفاع الجيولوجي، تتحرك هذه الصخور الرسوبية إلى الأرض. في البداية، لم يكن معروفاً أن هذه الصخور الرسوبية المحتوية على النيتروجين هي مصدر أساسي للنيتروجين. ولكن، أثبتت الأبحاث الحديثة أن النيتروجين من هذه الصخور يتم إطلاقه في النباتات بسبب تجوية الصخور.

دورة الفوسفور Phosphorous Cycle

الفوسفور (P) عنصر أساسي لجميع أشكال الحياة ويتم تخزينه بشكل أساسي في التربة والرواسب. الفوسفور هو عنصر أساسي في الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)، الذي ينقل الطاقة الكيميائية داخل الخلايا من أجل التمثيل الغذائي (أي امتصاص ونقل العناصر الغذائية)؛ الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين (DNA)، وهو حمض نووي يحتوي على التعليمات الجينية المستخدمة في تطوير وعمل جميع الكائنات الحية المعروفة؛ والحمض النووي الريبي (RNA)، وهو مُهم لتخليق البروتين في النباتات والحيوانات.

يوجد الفوسفور في التربة كمركبات غير عضوية وعضوية. تحتوي معظم أنواع التربة على كمية منخفضة نسبيّاً من إجمالي الفوسفور، ولا يتوفر للنباتات سوى جزء صغير من إجمالي الفوسفور. معظم مركبات الفوسفور في التربة لها قابلية منخفضة للذوبان في الماء. واحد في محلول التربة، P القابل للذوبان يتحرك بشكل أساسي عن طريق الانتشار. يحدث الفوسفور في التربة عموماً على شكل الأنيونات H2PO4- أو HPO42-. يتفاعل الفوسفور مع الكالسيوم (+ Ca2) والمغنيسيوم (+ Mg2) والحديد (+ Fe3) والألمنيوم (+ Al3). تفاعلات الفوسفور في التربة تعتمد على الرقم الهيدروجيني. في التربة الحمضية، يتفاعل الفوسفور القابل للذوبان في محلول التربة مع Fe و Al لتكوين ذوبان منخفض Fe و Al الفوسفات. في التربة الجيرية، يتفاعل الفوسفور القابل للذوبان في محلول التربة مع الكالسيوم لتكوين فوسفات الكالسيوم منخفض الذوبان.

تعتبر دورة الفسفور عملية بطيئة للغاية، حيث تساعد الظروف الجوية المختلفة، مثل (المطر، والتعرية) على غسل الفسفور الموجود في الصخور في التربة. في التربة، تمتص المادة العضوية، مثل (النباتات، والفطريات) الفوسفور لاستخدامه في العمليات البيولوجية المختلفة.

دورة الفوسفور هـي الـدورة البيوجيوكيميائيـة، التـي تصـف تحـول الفسـفور وانتقاله في التربة والماء والمواد العضوية الحية والميتة. تحدث إضافات الفسفور إلى التربة نتيجة لإضافات الأسمدة غير العضوية والعضوية (السماد الطبيعي) وتحلل المواد العضوية (النباتية والحيوانية). يحدث تصدير الفوسفور من التربة بشكل رئيسي من خلال امتصاص النبات. يمكن أيضاً تصدير الفوسفور من التربة عن طريق الجريان السطحي والتآكل أو الفقد تحت السطحي من خلال الترشيح. تحدث تفاعلات الامتصاص والامتصاص للفوسفور على أسطح وحواف الأكاسيد المائية ومعادن الطين والكربونات. يحدث الامتصاص بشكل عام عن طريق الروابط التساهمية لـ P مع Fe و Al في التربة الحمضية وكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) في التربة القلوية. تؤثر تفاعلات الترسيب والذوبان بشكل كبير في توفر الفوسفور في التربة. يحدث انحلال معادن الفسفور عندما تذوب معادن الفسفور بمرور الوقت وتجدد الفوسفور في محلول التربة. يؤدي هذا التفاعل إلى زيادة توافر P. ومن ناحية أخرى، يحدث الترسيب عندما تتشكل معادن الفوسفور عن طريق إزالة الفوسفور من محلول التربة. هذا التفاعل يقلل من توافر P. يعتبر الترسيب والذوبان عمليتين بطيئتين للغاية. يمكن أن يحدث انحلال وترسيب الفوسفور أيضاً بسبب التغيرات في إمكانات الثور الأحمر الناتجة عن التشبع بالمياه الموسمي أو الدوري وتصريف التربة. يُعرف الدوران الميكروبي للفوسفور من الأشكال غير العضوية القابلة للذوبان إلى الأشكال العضوية غير القابلة للذوبان باسم (التثبيت). يُعرف العكس بالتمعدن. يتم تحفيز تمعدن الفوسفات بواسطة إنزيم الفوسفاتيز.

• خطوات دورة الفوسفور

تعتبر دورة الفسفور عملية بطيئة، وتتضمن خمس خطوات رئيسية، كما هو موضح في الرسم البياني أدناه والموضحة كالتالي:

التجوية

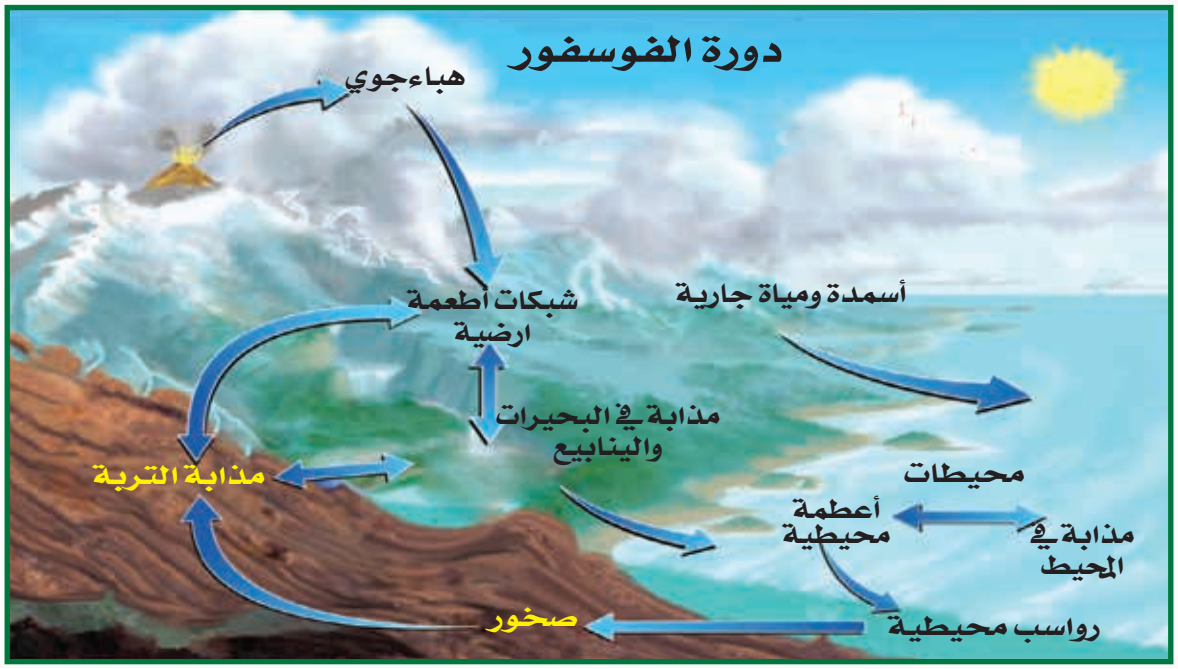
نظراً لوجود المصدر الرئيسي للفوسفور في الصخور، فإن الخطوة الأولى من دورة الفوسفور تتضمن استخراج الفوسفور من الصخور عن طريق التجوية. تؤدي الأحداث المناخية، مثل المطر ومصادر التعرية الأخرى إلى انجراف الفسفور في التربة.

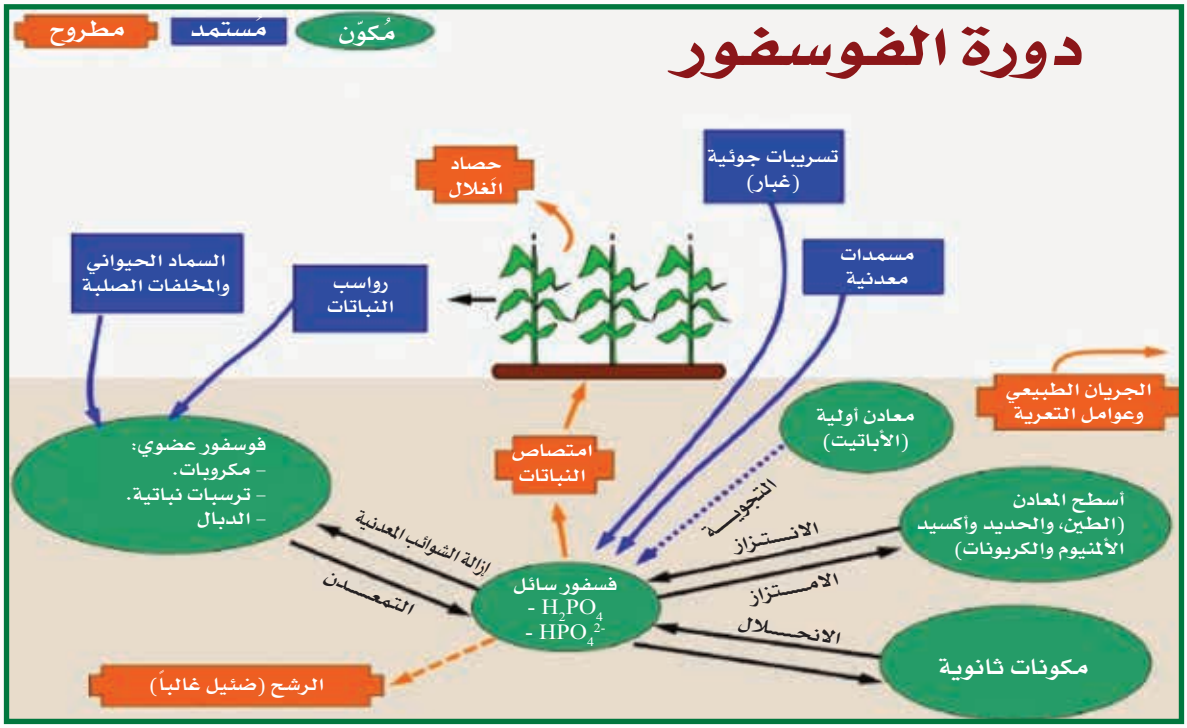
الامتصاص بالنباتات والحيوانات

بمجرد دخول التربة، تصبح النباتات والفطريات والكائنات الحية الدقيقة قادرة على امتصاص الفسفور والنمو. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضاً غسل الفوسفور في أنظمة المياه المحلية. يمكن للنباتات أيضاً أن تمتص الفسفور مباشرة من الماء وتنمو. بالإضافة إلى النباتات، تحصل الحيوانات أيضاً على الفوسفور من مياه الشرب وأكل النباتات.

العودة إلى البيئة عن طريق التحلل

عندما تموت النباتات والحيوانات، يؤدي التحلل إلى عودة الفوسفور إلى البيئة عن طريق الماء أو التربة. يمكن للنباتات والحيوانات في هذه البيئات بعد ذلك استخدام هذا الفوسفور، وتتكرر الخطوة 2 من الدورة.





مراحل دورة الفوسفور البيوجيوكيميائية

الغلاف الجوي Atmosphere

يطلق على الهواء المحيط بكوكب الأرض اسم الغلاف الجوي أو الغلاف الهوائي، ويتألف الغلاف الجوي من غازات وبخار ماء وحُلالة هوائية Aerosol، ويعتبر الوسط الرئيس الذي تعتمد عليه معظم أشكال الحياة على كوكب الأرض. يحدث في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي معظم الظواهر التي نرصدها، من رياح وهطولات وحرارة . يوصف الغلاف الجوي بـ (الدرع الحامي)، الذي يضمن استمرار الحياة على كوكب الأرض، وفي الوقت الذي يسمح فيه بوصول أشعة الشمس المفيدة إلى الأرض، فإنه يمنع وصول الأشعة الضارة والنيازك إليها، فضلاً عن دوره المؤثر في تكوين المياه.

الغلاف الجوي عبارة عن غلاف غير مرئي يحيط بكوكب الأرض، ويتكوّن من مجموعة من الغازات المجذوبة إليه بفعل الجاذبية الأرضية، أبرزها النيتروجين بنسبة 78 %، والأكسجين بنسبة 21 %، وخليط من غازات أخرى، مثل: ثاني أكسيد الكربون، والأرجون، والهيليوم، والنيون بنسبة 1 %. كما يحتوي الغلاف الجوي على بخار الماء، ومجموعة من الجسيمات الصغيرة الصلبة والسائلة العائمة تسمى الهباء الجوي، منها: حبوب اللقاح، والرماد البركاني، والغبار، وتقع 98 % من كتلة الغلاف الجوي في أول 30 كيلومتراً القريبة من سطح الأرض.

يشبه الغلاف الجوي مصفاة عملاقة تسمح بدخول أشعة الشمس إلى كوكب الأرض، ويمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية الضارة من الوصول إليها، حيث تبقى هذه الأشعة خارج الغلاف الجوي، وبذلك يحمي الكائنات الحية من الضرر الكبير الذي تسببه هذه الأشعة، مثل: الأمراض الجلدية والبصرية،

فضـلاً عـن أنـه يـزود هـذه الكائنـات بالهـواء الـلازم للتنفـس، ويسـهم في تنظيـم وتوزيـع درجـات الحـرارة. وهـذا مصـداق قـول الله عـز وجـل: ﴿ وَجَعَلْنَا ٱلسَّمَآءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا ۖ وَهُمْ عَنْ ءَايَٰتِهَا مُعْرِضُونَ ﴾ [سـورة الأنبيـاء، الآيـة 32].

• السـمـاء

السـماء مشـتقة مـن السـموِّ والعلـوِّ؛ لأنهـا تعلونـا وتمثـل منطقـة فضائيـة مرئيـة مـن الأرض علـى شـكل قبـة كبيـرة فوقنـا وتحتـوي علـى الغـلاف الجـوي. تتكـون ألـوان السـماء نتيجـة تبعثـر أو انتشـار ضـوء الشـمس عـن طريـق جزيئـات الغـاز وذرات الغبـار في الغـلاف الجـوي، ويحتـوي ضـوء الشـمس علـى أمـواج ضوئيـة بأطـوال مختلفـة، كل موجـة تـرى بلـون مختلـف، وتبـدو أقصـر الأمـواج الضوئيـة زرقـاء اللـون، وأطولهـا حمـراء اللـون. وعندمـا تكـون السـماء صافيـة تنتشـر أمـواج الضـوء الأزرق أكثـر مـن أيـة أمـواج أخـرى لأي لـون آخـر، ونتيجـة لهـذا، فـإن السـماء تبـدو زرقـاء اللـون، حيـث تكـون الشـمس عموديـة في النهـار، فتسـقط أشـعتها عاموديّـاً علـى الغـلاف الجـوي. يظهـر ضـوء الشـمس باللـون الأبيـض، وهـو عبـارة عـن جميـع ألـوان الطيـف المرئـي المختلفـة في أطوالهـا الموجيـة. تمتـص جزيئـات الهـواء الموجـودة في الغـلاف الجـويّ الأطـوال الموجيّـة القصيـرة (الزرقـاء، والبنفسـجيّة). تعكـس جزيئـات الهـواء الضـوء البنفسـجي والأزرق إلـى السـماء فيتشـتت في جميـع الاتجاهـات، فكلّمـا قـلّ الطـول الموجـي ازداد تشـتت الضـوء في قانـون يُعـرف باسـم ظاهـرة (تشـتت رالـي) ولأنّ عـين الإنسـان أكثـر حساسـية للـون الأزرق مـن البنفسـجي فتـرى السـماء باللـون الأزرق بـدلاً مـن مزيـج اللونـين. وعندمـا تكـون السـماء ملبـدة بالسـحب الكثيفـة، أو الدخـان، تنتشـر الأمـواج الضوئيـة بـكل الألـوان، وبهـذا يكـون لـون السـماء داكنـاً، أو رماديّـاً أشـهبَ، وعنـد طلـوع أو مغيـب الشـمس يرتحـل ضـوء الشـمس عبـر طبقـة أكثـر كثافـة للغـلاف الجـوي، أمـا لـو كانـت الشـمس في منتصـف النهـار، فـإن أمـواج الضـوء الأحمـر تنتقـل بعيـداً عبـر

هذه الطبقة بصورة أكثر من أمواج الأضواء الأخرى، وفي مثل هذه الحالات تبدو كل من الشمس والسماء قُرْب خط الأفق حمراوين. حيث تظهر السماء باللون الأحمر وقت غروب الشمس لأنّ ضوء الشمس يكون ساقطاً على الغلاف الجوي بزوايا مائلة، لذلك فإنّ أشعة الشمس تعبر مسافة أطول في الغلاف الجوي، فيعترض طريقها عدد أكبر من جزيئات النتروجين، والأكسجين، وغيرها من الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي، وبالتالي تمتص قدر كبير من اللون الأزرق والبنفسجي، وتنفذ باقي الأطوال الموجية عبر الغلاف الجوي، وتنعكس عن الغيوم، والأتربة، والجزيئات الموجودة في الأفق، فتتشتت في جميع الاتجاهات، فتظهر السماء باللون الأحمر ودرجات من البرتقالي والأصفر.

لقد أخبرنا الله أنّ السماء ليست حدوداً وهمية، بل هي جرم حقيقي؛ لأنّه سماها بناء، وقال:﴿بَنَيْنَٰهَا﴾ ﴿أَفَلَمْ يَنظُرُوٓاْ إِلَى ٱلسَّمَآءِ فَوْقَهُمْ كَيْفَ بَنَيْنَٰهَا وَزَيَّنَّٰهَا ... ﴾ [سورة ق، الآية 6] وقال: ﴿ٱللَّهُ ٱلَّذِى رَفَعَ ٱلسَّمَٰوَٰتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا﴾ [سورة الرعد، الآية 2] ووصفها بأنها سقف لهذا العالم، فقال: ﴿وَجَعَلْنَا ٱلسَّمَآءَ سَقْفًا﴾ [سورة الأنبياء الآية: 32]. وقال: ﴿وَٱلسَّقْفِ ٱلْمَرْفُوعِ﴾ [سورة الطور، الآية 5] وجعل لها أبواباً تُفتح وتُغلق، فقال: ﴿فَفَتَحْنَآ أَبْوَٰبَ ٱلسَّمَآءِ﴾ [سورة القمر، الآية 11]. و﴿لَا تُفَتَّحُ لَهُمْ أَبْوَٰبُ ٱلسَّمَآءِ﴾ [سورة الأعراف الآية40] ونفى أن يكون فيها منافذ غير هذه الأبواب، فقال: ﴿وَمَا لَهَا مِن فُرُوجٍ﴾ [سورة ق، الآية 6] وأن السماء تفتح يوم القيامة، ﴿وَفُتِحَتِ ٱلسَّمَآءُ﴾ [سورة النبأ، الآية 19] وأنها تتشق، ﴿إِذَا ٱلسَّمَآءُ ٱنشَقَّتْ﴾ [سورة الانشقاق، الآية 1] وتنفطر وتكشط، وبينت النصوص أنّ السموات سبع ﴿فَسَوَّىٰهُنَّ سَبْعَ سَمَٰوَٰتٍ﴾ [سورة البقرة، الآية 29] ... وأن الله قد جعلها طباقًا قال: ﴿سَبْعَ سَمَٰوَٰتٍ طِبَاقًا﴾ [سورة نوح، الآية 15].

يقول علماء الفضاء إن طبقة الغلاف الجوي المحيطة بالأرض يزيد سمكها على خمسة وستين ألف كيلومتر نحو الأعلى، و إن جو الأرض عبارة عن حاجز حقيقي، فهو على الرغم من أنه قليل الكثافة، فإنه سميك جدّاً، فهو يوقف الأشعة، ويحرق الشُهُب، وهو يحمي حياتنا الدنيوية، ويحافظ عليها، ولا يسمح إلا لكل ما هو نافعٌ لنا بالوصول إلى سطح الأرض.

ثمة علماء قسموا طبقات الغلاف الجوي إلى سبع طبقات ولكن بعض الباحثين اعتبر أن هذه الطبقات السماوات السبع التي جاء ذكرها في القرآن الكريم هي سماوات أخرى مصداقاً لقوله تعالى: ﴿وَزَيَّنَّا ٱلسَّمَآءَ ٱلدُّنۡيَا بِمَصَٰبِيحَ وَحِفۡظَاۚ ذَٰلِكَ تَقۡدِيرُ ٱلۡعَزِيزِ ٱلۡعَلِيمِ﴾ [سورة فصلت، الآية 12] ، والمصابيح هي النجوم، والنجوم كما نعلم تقع خارج الغلاف الجوي بل خارج المجموعة الشمسية، ولو تأملنا المجرات في الكون لوجدنا أنها تتألف من مليارات النجوم، وهي تزين السماء أيضاً، ولذلك يرى بعض العلماء أن كل ما نراه من نجوم ومجرات، يقع في السماء الدنيا لأن الله يقول: ﴿وَلَقَدۡ زَيَّنَّا ٱلسَّمَآءَ ٱلدُّنۡيَا بِمَصَٰبِيحَ﴾ [سورة الملك، الآية 5] ، أي أن هذه النجوم تزين السماء الأولى (الدنيا) أي الأقرب إلينا، وبقية السماوات لا يعلم حدودها إلا الله تعالى.

وخلاصة القول: إن طبقات الغلاف الجوي تقع في السماء الدنيا، ومجموعتنا الشمسية تقع في السماء الدنيا، وكل المجرات تقع في السماء الدنيا كذلك، أما السماء الثانية والثالثة والرابعة، حتى السابعة فلم نتمكن من رؤيتها بعد، ولكن قد يكشف الله للعلماء أسرار هذه السماوات في المستقبل، والله أعلم.

• طبقات الغلاف الجوي

يتكون الغلاف الجوي للأرض من خمس طبقات رئيسية وعدة طبقات ثانوية بناءً على كيفية تغير درجة الحرارة في تلك الطبقة مع الارتفاع. يقل سمك كل طبقة من طبقات الغلاف الجوي كلما ارتفعنا لأعلى، حتى يلتقي الغلاف الجوي بالفضاء الخارجي. وضع العلماء خطاً وهميّاً يسمى كارمان، وهو الخط الذي يلتقي فيه الغلاف الجوي للأرض عن الفضاء الخارجي، ويقع ذلك الخط على مسافة 100 كم من سطح الأرض. تتألف الطبقات من الأدنى إلى الأعلى، على النحو التالي: طبقة التروبوسفير والستراتوسفير والميزوسفير والثيرموسفير والإكسوسفير، إضافةً لحافة الفضاء الخارجي، وسنأتي في ما يأتي على تفاصيل كل طبقة على حِدة:

1. طبقة التروبوسفير Troposphere

تمتد طبقة تروبوسفير الأرض من سطح الأرض إلى ارتفاع يبلغ في المتوسط نحو 12 كيلومتراً، مع انخفاض ارتفاعه عند قطبي الأرض وأعلى عند خط الاستواء. ومع ذلك، فإن هذه الطبقة الضحلة جدّاً مهمتها الاحتفاظ بجميع نباتات الهواء التي تحتاجها لعملية التمثيل الضوئي وتحتاج الحيوانات إلى التنفس، وتحوي أيضاً على نحو 99 % من كل بخار الماء والهباء الجوي (جزيئات صلبة أو سائلة دقيقة معلقة في الغلاف الجوي). في طبقة التروبوسفير، تنخفض درجات الحرارة عادةً كلما ارتفعت، نظراً لأن معظم الحرارة الموجودة في طبقة التروبوسفير تتولد عن نقل الطاقة من سطح الأرض. طبقة التروبوسفير هي أكثر طبقات الغلاف الجوي كثافة، وتضغط بفعل وزن باقي الغلاف الجوي فوقها. يحدث معظم طقس الأرض هنا، وتوجد هنا جميع السحب الناتجة عن

الطقس تقريباً، باستثناء السحب الرعدية الركامية، التي يمكن أن ترتفع قممها إلى أدنى أجزاء الستراتوسفير المجاورة. يحدث معظم الطيران هنا بما في ذلك في المنطقة الانتقالية بين طبقة التروبوسفير والستراتوسفير.

تتصل الطبقة المضطربة (طبقة التروبوسفير) من الغلاف الجوي اتصالاً مباشراً بسطح الأرض، لذلك تتأثر كثيراً بما يحدث على سطح الأرض من عمليات، مثل: تبخر مياه المحيطات، وعملية التركيب الضوئي، وتنفس الكائنات الحية، والأنشطة الإنسانية المختلفة كالصناعة، وقطع الغابات أو إحراقها، وحرق الوقود العضوي ومشتقاته، إلى غير ذلك من الأعمال. سبب تسميتها المنطقة المضطربة هو أن الهواء فيها غير متجانس في حرارته وكثافته لذلك يبقى في حالة تغير دائم ومرد ذلك إلى العمليات التي تحدث بها وإلى التوزيع الحراري، ينتج عن هذا الاضطراب حدوث تيارات حمل هوائية من أسفل إلى أعلى، وهي المسؤولة عن تكوين الغيوم بأنواعها على ارتفاعات مختلفة.

يتوافق الجزء العلوي من طبقة التروبوسفير، المسمى التروبوبوز، مع المستوى الذي يتوقف فيه نمط انخفاض درجة الحرارة مع الارتفاع. يتم استبداله بطبقة متساوية الحرارة بشكل أساسي (درجة حرارة متساوية). في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، يكون التروبوبوز مرتفعاً، وغالباً ما يصل إلى حوالي 18 كم، نتيجة الاختلاط الرأسي القوي للغلاف الجوي السفلي بواسطة العواصف الرعدية. في المناطق القطبية، حيث يكون هذا الاضطراب الجوي العميق أقل تواتراً، غالباً ما يكون التروبوبوز منخفضاً يصل إلى 8 كيلومترات. تتراوح درجات الحرارة في التروبوبوز بين 80- درجة مئوية في المناطق المدارية و 50- درجة مئوية في المناطق القطبية.

تشكيل السحب والبرق في طبقة التروبوسفير

تُعرف المنطقة الواقعة فوق طبقة حدود الكوكب باسم (الغلاف الجوي الحر). الرياح في هذا الحجم لا تتأخر بشكل مباشر عن طريق الاحتكاك السطحي. تحدث الغيوم بشكل متكرر في هذا الجزء من طبقة التروبوسفير، على الرغم من أن الضباب والغيوم التي تصطدم أو تتطور فوق التضاريس المرتفعة غالباً ما تحدث عند مستويات منخفضة.

هناك نوعان أساسيان من السحب: السحب التراكمية والطبقية الشكل. يتطور كلا النوعين من السحب عندما يصعد الهواء الصافي، ويبرد بشكل ثابت أثناء تمدده حتى يبدأ الماء في التكثف أو يحدث الترسب. يخضع الماء لتغيير حالته من غاز إلى سائل في ظل هذه الظروف، لأن الهواء الأكثر برودة يمكن أن يحتوي بخار ماء أقل من الهواء الأكثر دفئاً. على سبيل المثال، يمكن أن يحتوي الهواء عند 20 درجة مئوية على ما يقرب من أربعة أضعاف كمية بخار الماء كما هو الحال عند 0 درجة مئوية قبل حدوث التشبع ويتكثف بخار الماء في قطرات سائلة.

تحدث السحب الطبقية عندما يتم دفع الهواء المشبع ميكانيكيّاً إلى الأعلى ويظل أبرد من الهواء الصافي المحيط عند نفس الارتفاع. في طبقة التروبوسفير السفلى، تسمى هذه السحب ستراتوس. الضباب الأفقي هو عبارة عن سحابة طبقية ذات قاعدتها تقع على سطح الأرض. في طبقة التروبوسفير الوسطى، تُعرف السحب الطبقية باسم Altostratus. في طبقة التروبوسفير العُليا، يتم استخدام المصطلحات Cirrostratus و Cirrus. يشير نوع السحابة الرقيقة إلى سحب سمحاقية رقيقة، وهشَّة في كثير من الأحيان. تسمى السحب الطبقية التي تمتد عبر جزء كبير من طبقة التروبوسفير والترسبات Nimbostratus.

تحدث السحب التراكمية عندما يكون الهواء المشبع مضطرباً. تُظهر هذه الغيوم، بأشكالها ذات الأبراج الفقاعية، سلوكاً صغيراً صعوداً وهبوطاً للهواء في الطبقة الحدودية المضطربة للكواكب. غالباً ما تُرى مثل هذه السحب بقواعد عند قمة الطبقة الحدودية أو بالقُرْب منها حيث تصل الدوامات المضطربة المتولدة بالقُرْب من سطح الأرض إلى ارتفاع كافٍ لحدوث التكثيف.

الرعـــد والبـــرق والعاصفـــة

الرعد والبرق ظاهرتان جويتان متلازمتان. ظاهرة البرق هي إخراج الغيوم وتفريغها لشحناتها الكهربائية، مما ينتج عن ذلك توليد حرارة بدرجة مرتفعة تتسبب في رفع درجة حرارة الهواء وتسخينه لما يقرب من ثلاثين ألف درجة مئوية، والذي ينتج عنه تمدد الهواء الذي بدوره يقوم بإنتاج ما يُعرف بالموجات الصوتية المتمثلة في الرعد. تصطدم جزيئات المياه والبلّورات الجليدية التي تتحرك بداخل السحب المرتبطة بالعواصف الرعدية للأعلى وللأسفل، مما يؤدي إلى فقدانها للإلكترونات والحصول عليها من بلّورات أخرى. مما يؤدي إلى ارتفاع الشحنة الموجبة إلى أعلى السحابة، بينما تظل الشحنة السالبة متمركزة بأسفلها، ثم تقوم الشحنة السالبة بالتدفق باتجاه الكرة الأرضية، ليتكون فروق الجهد الكهربي بينها وبين الكرة الأرضية. مما يتسبب ذلك في إطلاق الكرة الأرضية للشحنات الكهربائية معترضة طريقها قبل وصول الشحنة السالبة إلى الأرض، ويعمل هذا التيار على إحداث ما يُعرف بـ (الضربة المرتدة)، مما يؤدي إلى حدوث طاقة الضوء الساطع التي تُعرف باسم (البرق).

تُصاحب ظاهرة البرق موجة صوتية متكررة تُعرف بالرعد، وهو الناتج عن تعرض الهواء للتسخين بفعل البرد مما يؤدي إلى تمدده، ولذلك نلاحظ سماع

صوت الرعد بعد رؤية البرق مباشرة. وفيما يتعلق بالأصوات المترددة لظاهرة الرعد فذلك بسبب وصول الموجات الصوتية الآتية من الأماكن البعيدة بشكل متأخر عن الواصلة من الأماكن القريبة. وهذا التأخير في الوقت هو ما تسبب في حدوث فرق في الزمن بين ظهور الشعاع الخاص بالبرق وحدوث الرعد وسماعه، وقدر العلماء الوقت الزمني الفارق بينهما لما يقرب من ثلاث ثواني لكل واحد كم. على الأرض أيضاً، هناك اختلافات في الشحنات الكهربائية. ومع ذلك، تسعى الطبيعة دائماً إلى موازنة هذه الاختلافات في الشحنات الكهربائية. هذا يعني أن الجسيمات المشحونة ستتدفق دائماً في الاتجاه الذي تقل فيه الجسيمات بنفس الشحنة. والنتيجة صاعقة البرق.

في البداية، هناك صاعقة غير مرئية لأعيننا. في الوقت نفسه، يتراكم فائض من الجزيئات موجبة الشحنة على الأرض. عندما يقترب الصاعقة غير المرئية من الأرض بدرجة كافية، يحدث تفريغ قوي للطاقة. قوي جدّاً، في الواقع، ينتج عنه قوس كهربائي. هذا هو الصاعقة التي نراها. أثناء حدوث ذلك، يتم تسخين الهواء المحيط إلى درجات حرارة قصوى. يتمدد وينفجر، وينتج صدعاً عالياً. هذا هو الرعد الذي نسمعه.

تأتي براغي البرق بعدة ألوان مختلفة. يعتمد اللون على الرطوبة الجوية ودرجة الحرارة ومستويات تلوث الهواء. اعتماداً على الظروف، قد يكون أحمر أو أزرق أو أصفر. صواعق البرق هي أهم الأشياء على وجه الأرض. فهي لا تقوم فقط بتسخين الهواء إلى درجات حرارة قصوى، بل تنقل أيضاً كميات هائلة من الطاقة. إنها تحمل طاقة تقاس بمئات المليارات من الواط. وهذا ما يجعل الصواعق شديدة الخطورة.

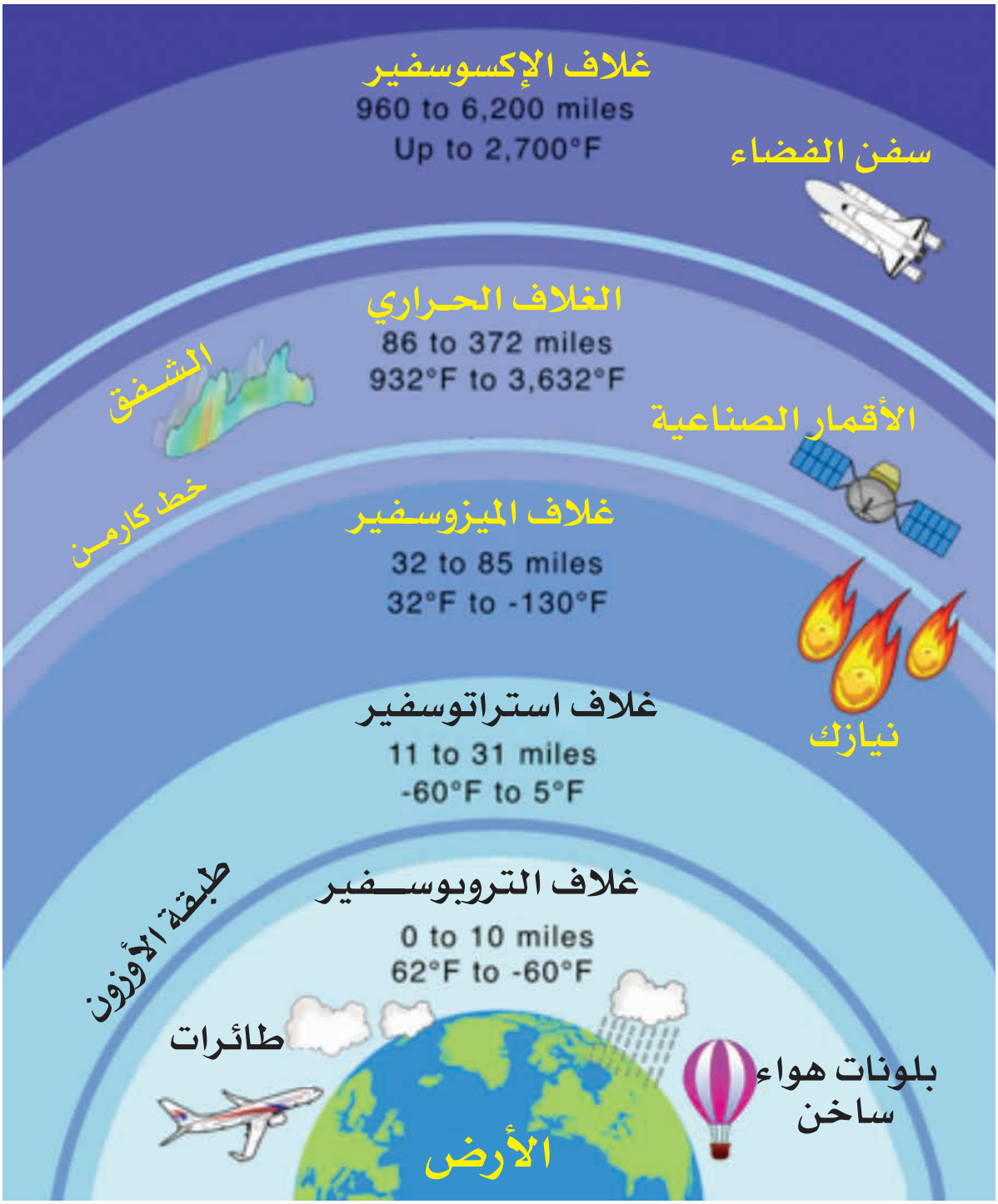
عموماً يحدث كلاهما في نفس الوقت أثناء عاصفة رعدية، ولكن نظراً لأن الضوء ينتقل أسرع من الصوت، يُرى البرق أولاً قبل أن يسمع المرء صوت الرعد.

البـرق سـريع وسـاخن للغايـة بينمـا يمكـن أن يـؤدي الرعـد إلـى هطول أمطـار غزيرة ورياح قوية، ولكن البـرق أكثر خطورة وتدميراً من الرعد. ويتشـكل البـرق عندمـا تصطـدم جزيئـات المـاء والجليـد بالهـواء الدافئ الرطـب وتكوّن طاقـة ثابتـة بينمـا يتكـون الرعـد مـن التمـدد السـريع للغـازات في الشـحنة الكهربائيـة للصاعقـة

2. طبقة الســـتراتوســـفير Stratosphere

تقـع علـى بُعْـد مـا يقـرب مـن 12 إلـى 50 كيلومتـراً فـوق سـطح الأرض، وربمـا يُعـرف الستراتوسـفير بأنـه موطـن طبقـة الأوزون علـى الأرض، التـي تحمينـا مـن أشـعة الشـمس فـوق البنفسـجية الضـارة. بسـبب تلـك الأشـعة فـوق البنفسـجية، فكلمـا ذهبـت إلـى أعلـى طبقـة الستراتوسـفير، تصبـح درجـات الحـرارة أكثـر دفئـاً. طبقـة الستراتوسـفير خاليـة تقريبـاً مـن السـحب والطقـس، لكـن السـحب الستراتوسـفيرية القطبيـة توجـد أحيانـاً في أدنـى ارتفاعاتهـا وأكثرهـا بـرودة. إنـه أيضـاً الجـزء الأعلـى مـن الغـلاف الجـوي الـذي يمكـن أن تصـل إليـه الطائـرات النفاثـة.

يغطـي الستراتوبوز الجـزء العلـوي مـن الستراتوسـفير، ويفصلـه عـن الميزوسـفير بالقُـرْب مـن ارتفـاع 45–50 كـم وضغـط 1 ملـي بـار. في الغـلاف الجـوي الأوسـط، تنخفـض درجـات الحـرارة مـرة أخـرى مـع زيـادة الارتفـاع. علـى عكـس الوضـع في الستراتوسـفير، لا يتـم منـع تيـارات الهـواء الرأسـية في الغـلاف الجـوي بشـدة. تتشـكل السـحب البلّوريـة الجليديـة، المسـماة بالسـحب الليليـة، أحيانـاً في الطبقـة الوسـطى مـن الغـلاف الجـوي. فـوق منطقـة الميزوبـوز، وهـي منطقـة تقـع علـى ارتفاعـات قريبـة مـن 85 إلـى 90 كيلـو متـراً، تـزداد درجـة الحـرارة مـرة أخـرى مـع الارتفـاع في طبقـة تسـمى الغـلاف الحـراري.



طبقـــات الغـــلاف الجـــوي

• طبقـــــــة الأوزون

تعرف طبقة الأوزون (Ozone Layer) وفقاً لوكالة ناسا على أنها طبقة مكونة من غاز عديم اللون، بالإضافة إلى أنه غاز نشط جدّاً كيميائيّاً، حيث يسهّل تفاعله مع الغازات القريبة منه والقادمة من سطح الأرض، مما يسبب إضعاف الأوزون وتلفه، وهذه الطبقة مُهمَّة بسبب قدرتها على امتصاص الإشعاعات الضارة الناتجة عن الشمس مثل الأشعة فوق البنفسجية التي تسبب الضرر للكائنات الحية. كما تم تعريف الأوزون من قِبل المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي على أنه مجموعة من الجزيئات المترابطة التي تحمي الحياة على الأرض، وهي موجودة ضمن طبقة الستراتوسفير.

يتكون جزيء الأوزون من ثلاث ذرات أكسجين بدلاً من الذرات المعتادة (الأكسجين الذي نتنفسه، O2، يشكل 21 % من الغلاف الجوي). إنه موجود فقط في الغلاف الجوي بكميات ضئيلة (أقل من 0.001 %)، لكن آثاره مُهمَّة جدّاً. يتم إنشاء جزيئات الأوزون من خلال تفاعل الأشعة فوق البنفسجية من الشمس مع جزيئات O2: عندما ينقسم جزيء O2، تترابط ذرتا الأكسجين الحران مع جزيئات O2 الأخرى لتكوين جزيئات O3. نظراً لأن الأشعة فوق البنفسجية تكون أكثر كثافة في الارتفاعات العالية حيث يكون الهواء أرق، فهي موجودة في طبقة الستراتوسفير حيث يتم إنتاج معظم الأوزون، مما يؤدي إلى ظهور ما يسمى «طبقة الأوزون». تمتد طبقة الأوزون، التي تحتوي على أكثر من 90 % من جميع الأوزون الجوي، على ارتفاع يتراوح بين 10 و 40 كم، وتبلغ ذروتها عند حوالي 25 كم. (فوق هذا المستوى، ينخفض تركيز الأكسجين المتاح لتحويله إلى أوزون، لذلك يتشكل أقل من الأوزون على الرغم من وفرة الأشعة فوق البنفسجية).

تعتبر طبقة الأوزون مُهمَّة جدّاً للحياة على الأرض لأنها تمتص أكثر أشكال الأشعة فوق البنفسجية ضرراً، وهي الأشعة فوق البنفسجية - باء التي يتراوح طولها الموجي بين 280 و 315 نانومتر. نظراً لأن الأوزون الموجود في الستراتوسفير يمتص الأشعة فوق البنفسجية، فإنه يسخن الهواء المحيط لإنتاج انعكاس درجة حرارة الستراتوسفير كما هو موضح في الرسم البياني التالي.

في الغلاف الجوي السفلي، تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بسبب الانخفاض الحاد في الضغط من مستوى سطح البحر إلى أعلى. يُشار إلى هذا على أنه تغير في درجة الحرارة ثابت الحرارة - يبرد الهواء ببساطة بسبب التمدد مع الارتفاع (وعلى العكس من ذلك، يتم ضغط الهواء تحت ضغط أكبر وتسخينه). ولكن فوق طبقة التروبوسفير، حيث يكون الضغط الجوي جزءاً صغيراً من قيمة مستوى سطح البحر، يؤدي وجود الأوزون إلى ارتفاع درجة الحرارة مع الارتفاع حتى الوصول إلى ارتفاع طبقة الستراتوبوز. فوق طبقة الستراتوسفير، تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع في الغلاف الجوي، لكنها ترتفع مرة أخرى في الغلاف الحراري بسبب تأثير الإشعاع والجسيمات المشحونة من الشمس في الغلاف الجوي الصغير المتبقي بالقُرْب من حدود الفضاء.

ثقـــــب الأوزون

نشأ ثقب الأوزون لأن الناس قد لوثوا الغلاف الجوي بمواد كيميائية تحتوي على الكلور والبروم. المواد الكيميائية الأولية المعنية هي مركبات الكربون الكلورية فلورية والهالونات ورابع كلوريد الكربون. تم استخدام مركبات الكربون الكلورية فلورية على وجه الخصوص في مجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك التبريد وتكييف الهواء وتعبئة الرغوة وصنع علب رش البخاخات. نظراً

لأن هذه المواد الكيميائية خاملة جدّاً، فإنها قادرة على البقاء في الغلاف الجوي لفترة كافية ليتم نقلها إلى أعلى إلى طبقة الستراتوسفير حيث يمكنها إتلاف طبقة الأوزون.

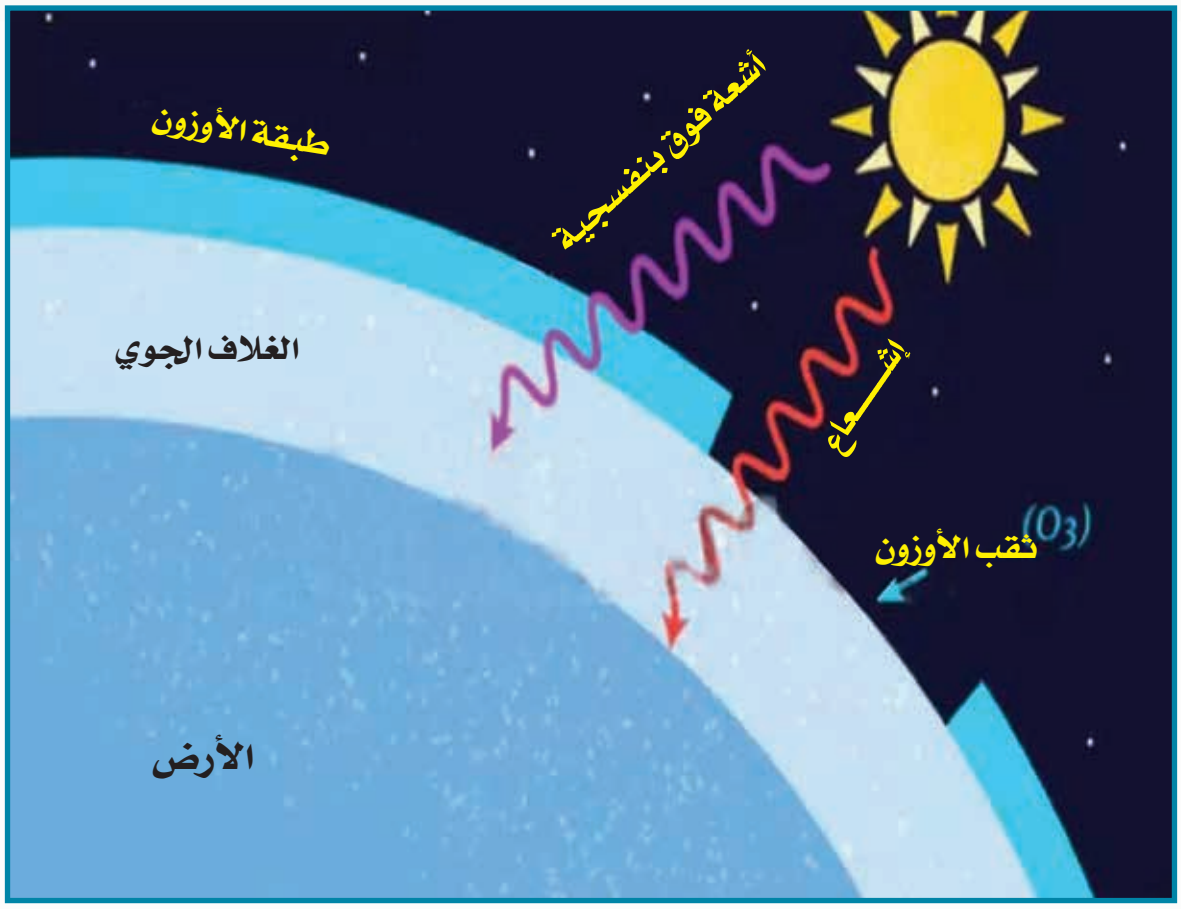
يكون نضوب طبقة الأوزون أعظم ما يكون في القطب الجنوبي. يحدث بشكل رئيسي في أواخر الشتاء وأوائل الربيع (أغسطس - نوفمبر) ويحدث النضوب الذروة عادةً في أوائل أكتوبر، عندما غالباً ما يتم تدمير الأوزون تماماً في مناطق واسعة.

هذا النضوب الشديد يخلق ما يسمى بـ «ثقب الأوزون» الذي يمكن رؤيته في صور الأوزون في القطب الجنوبي، التي يتم إجراؤها باستخدام ملاحظات الأقمار الصناعية. في معظم السنوات، تكون المساحة القصوى للحفرة أكبر من القارة القطبية الجنوبية نفسها. على الرغم من أن خسائر الأوزون أقل جذرية في نصف الكرة الشمالي، فقد لوحظ أيضاً ترقق كبير في طبقة الأوزون فوق القطب الشمالي وحتى فوق القارة الأوروبية.

في دراسة حديثة أجريت في عام 2015 م صادرة عن وكالة حماية البيئة تبيّن فيها أن ثقب طبقة الأوزون سيؤثر في الحياة بشكل كامل على سطح الأرض، سواء أكانت متعلقة بالنظام البيئي مثل درجات الحرارة ومعدلات الهطول أم بالكائنات الحية إذ أن ثقب الأوزون سيتسبب في دخول الإشعاعات الضارة إلى الكائنات الحية المختلفة لتؤثر في وجودها وتسبب لها الأمراض المختلفة كذلك.

أهـــــم فوائد طبقـــــة الأوزون

- **حماية الأرض من الأشعة فوق البنفسجية:** تمتص طبقة الأوزون الإشعاعات الضارة الناتجة عن الشمس، التي يتراوح طولها الموجي بين 280 إلى 320 نانومتر وهي أشعة ضارة.
- **حماية الإنسان من الأمراض الجلدية:** تؤدي إشعاعات الشمس الضارة إلى إتلاف الحمض النووي الموجود في الجلد وتكوين سرطانات الجلد.
- **حماية المحاصيل:** تؤدي الإشعاعات ذات الطول الموجي القصير إلى تدمير المحاصيل الزراعية مما يؤثر في الغطاء النباتي الموجود على سطح الأرض.
- **الحفاظ على التوازن البيئي:** تؤدي الإشعاعات السليمة التي لا تحتوي على الأشعة فوق البنفسجية أو أي من الإشعاعات الضارة إلى نمو النبات بشكل سليم وطبيعي، مما ينعكس بالأثر الإيجابي على الحيوانات العاشبة والدورات الجيوكيميائية الحيوية.
- **حماية الكائنات البحرية:** تتأثر الكائنات البحرية بالإشعاعات الضارة، بحيث إن هذه الإشعاعات تؤثر في معدل القدرة الإنجابية لها وتقليل نمو اليرقات في الكائنات البحرية الصغيرة، مما يؤثر في السلسلة الغذائية البحرية بأكملها.
- **حماية الموارد المائية:** يمكن أن تؤثر الإشعاعات الضارة في تغيير تركيز الغازات في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تغير في معدلات الهطول، وتقوم طبقة الأوزون بحماية الأرض من هذه الغازات والحفاظ على معدل الهطول في الأماكن الجغرافية المختلفة من الأرض.
- **حماية الأرض من ظاهرة الدفيئة:** تقوم طبقة الأوزون بالحفاظ على تركيز الغازات السليم في الغلاف الجوي عن طريق امتصاص الإشعاعات الضارة قبل أن تتفاعل مع الغازات الأخرى وتؤثر في حرارة الأرض.



طبقـــة الأوزون

3. طبقة الميزوســـــفير Mesosphere

تقع ما بين 50 و 80 كيلومتراً فوق سطح الأرض، يصبح الغلاف الجوي أكثر برودة تدريجيّاً مع الارتفاع. في الواقع، الجزء العلوي من هذه الطبقة هو أبرد مكان موجود داخل نظام الأرض، بمتوسط درجة حرارة حوالي 85 درجة مئوية تحت الصفر. يشكل بخار الماء النادر جدّاً الموجود في الجزء العلوي من الغلاف الجوي غيوماً ليلية، وهي أعلى غيوم في الغلاف الجوي للأرض، التي

يمكن رؤيتها بالعين المجردة في ظل ظروف معينة وفي أوقات معينة من اليوم. تحترق معظم الشهب والنيازك في هذه الطبقة الجوية. يمكن لصواريخ السبر والطائرات التي تعمل بالطاقة الصاروخية الوصول إلى الغلاف الجوي.

4. طبقة الثيرموسفير Thermosphere

وهو الطبقة الرابعة من طبقات الغلاف الجوي، واسمها مُشْتَق من الكلمة الإغريقيّة (Thermo) والتي تعني حار، وذلك دلالة على شدّة الحرارة فيها، تتراوح درجات الحرارة في الغلاف الحراري من حوالي 227 درجة مئوية، خلال فترات انخفاض نشاط البقع الشمسية إلى 1.725 درجة مئوية، عندما تكون الشمس نشطة. يحدث انقطاع الحرارة، الذي يُعرّف بأنه مستوى الانتقال إلى ملف تعريف درجة حرارة متساوي إلى حد ما في الجزء العلوي من الغلاف الحراري، على ارتفاعات تبلغ حوالي 250 كيلومتراً خلال فترات الشمس الهادئة وحوالي 500 كيلومتر عندما تكون الشمس نشط. فوق 500 كيلومتر، تكون الاصطدامات الجزيئية نادرة بما يكفي لدرجة يصعب معها تحديد درجة الحرارة.

يسمى الجزء من الغلاف الحراري حيث توجد الجسيمات المشحونة (الأيونات) بكثرة بالأيونوسفير. تنتج هذه الأيونات عن إزالة الإلكترونات من غازات الغلاف الجوي عن طريق الأشعة فوق البنفسجية الشمسية. يمتد الغلاف الجوي المتأين من ارتفاع 80 إلى 300 كيلومتر (حوالي 50 إلى 185 ميلاً)، وهو عبارة عن منطقة موصلة كهربائيّاً قادرة على عكس إشارات الراديو إلى الأرض.

يبلغ سُمكها فوق حد طبقة الميزوسفير من 420 كم إلى 670 كم، ويبلغ ارتفاعها فوق سطح البحر إلى ما يقارب 500 كم عندما تكون الشمس نشيطة،

ومـا يقـارب 1000 كـم عندمـا تكـون الشـمس هادئـة، وهـي أقـرب إلـى الفضـاء الخارجـي مـن قُرْبهـا مـن الغـلاف الجـوي، وتبـدأ مـن نهايـة حـد الميزوبـوز وتسـتمر إلـى الفضـاء الخارجـي في هـذه الطبقـة، تـزداد درجـات الحـرارة مـع الارتفـاع بسـبب الكثافـة المنخفضـة جـدّاً للجزيئـات الموجـودة هنـا. إنهـا خاليـة مـن السـحاب وبخـار المـاء. يُـرى الشـفق القطبـي والشـفق الأسـترالي أحيانـاً هنـا. تـدور محطـة الفضـاء الدوليـة في الغـلاف الحـراري.

عندمـا ترتطـم أشـعة الشـمس بطبقـة الثيرموسـفير، فهـذا يسـبِّب شـحن الجزيئـات والـذرات بالكهربـاء أي مـا يسـمى بعمليّـة التأيـن، ويُطلـق علـى هـذه الـذرات المشـحونة بالكهربـاء اسـم أيونـات، وتتواجـد معظـم هـذه الأيونـات في الأجـزاء السـفليّة مـن طبقـة الثيروموسـفير، لهـذا يطلـق اسـم الغـلاف الأيونـي (الأيونوسـفير) علـى هـذه الأجـزاء.

Ionosphere وهـي الطبقـة التـي تأتـي بعـد طبقـة الميزوسـفير بارتفـاع يقـارب 80 كـم ويمكـن أن يصـل إلـى 125 كـم أو أكثـر، ويعـود سـبب تسـميتها إلـى اصطـدام الأشـعة المنبعثـة مـن الشـمس ذات الطاقـة العاليـة بالـذرّات والجزيّئـات المكوّنـة لهـا، مـا ينتـج عـن هـذا الاصطـدام انفصـال الإلكترونـات، وتسـريبها، وشـحنها بالطاقـة الكهربائيـة، وهـذا مـا يكـون سـبباً في منحهـا عـدة مميّـزات خاصـة بهـا عـن باقـي طبقـات الغـلاف الجـوي.

فـوق مـا يقـرب مـن 500 كـم، تكـون حركـة الأيونـات مقيـدة بشـدة بوجـود المجـال المغناطيسـي لـلأرض. هـذه المنطقـة مـن الغـلاف الجـوي لـلأرض، التـي تسـمى الغـلاف المغناطيسـي، تتضغـط بفعـل الريـاح الشمسـية علـى جانـب ضـوء النهـار مـن الكوكـب وتمتـد إلـى الخـارج في ذيـل طويـل علـى الجانـب الليلـي. ترتبـط العـروض

الشفقية الملونة التي غالباً ما تُرى في خطوط العرض القطبية بدفعات من الجسيمات عالية الطاقة التي تولدها الشمس. عندما تتأثر هذه الجسيمات بالغلاف المغناطيسي، يتم حقن بعضها لاحقاً في طبقة الأيونوسفير السفلى.

5. طبقة الإكسوسفير Exosphere

يشار إلى الطبقة التي يزيد ارتفاعها على 500 كيلومتر على الغلاف الخارجي Exosphere، وهي منطقة لا يتصادم فيها نصف الجزيئات التي تتحرك صاعداً على الأقل مع بعضها البعض. في المقابل، تتبع هذه الجزيئات مسارات باليستية طويلة وقد تخرج من الغلاف الجوي تماماً إذا كانت سرعات هروبها عالية بدرجة كافية. يعد معدل فقدان الجزيئات عبر الغلاف الخارجي أمراً بالغَ الأهمية في تحديد ما إذا كانت الأرض أو أي جسم كوكبي آخر يحتفظ بالغلاف الجوي.

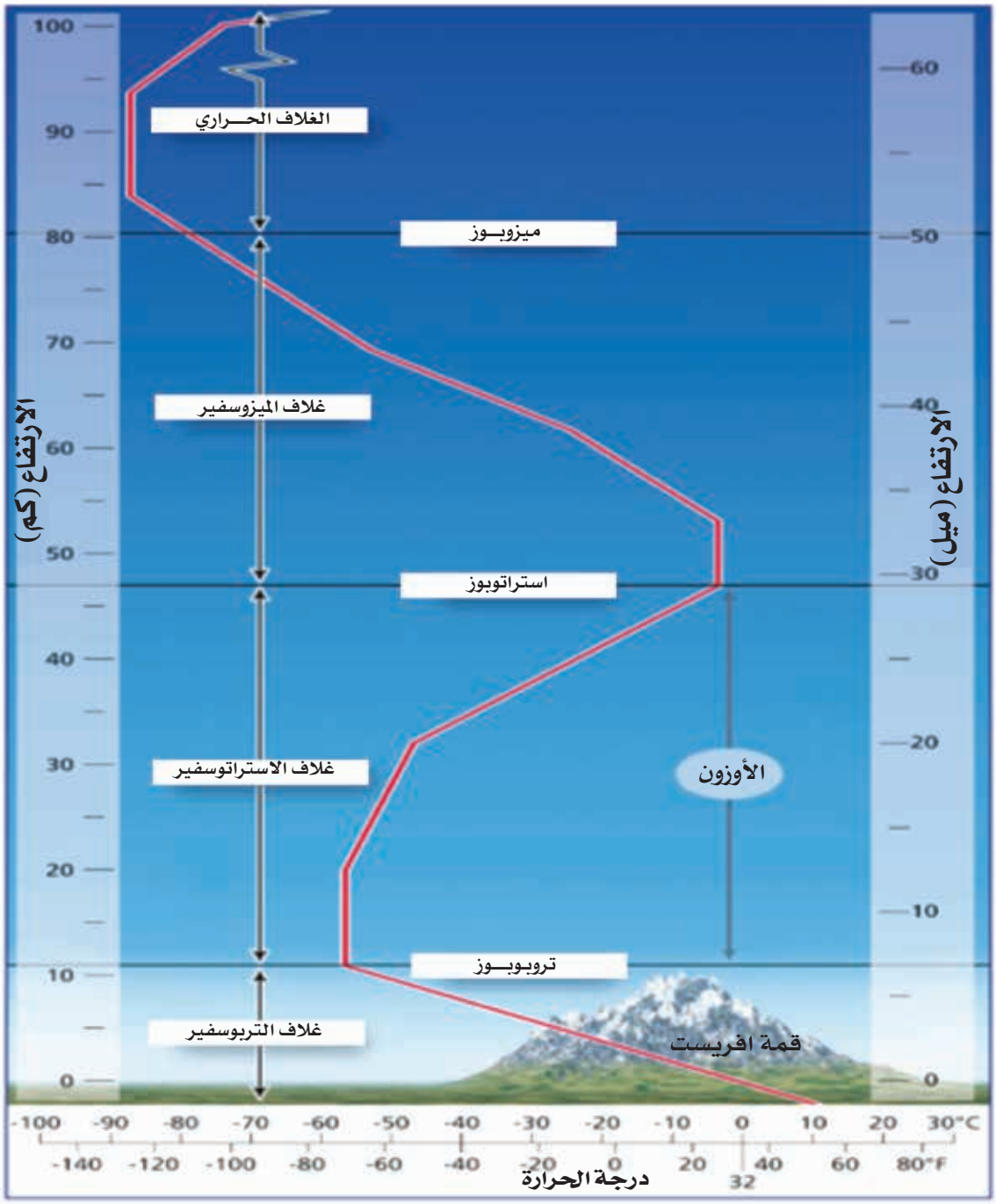
يقع الغلاف الخارجي على ارتفاع ما بين 700 و 10000 كيلومتر فوق سطح الأرض، وهو أعلى طبقة من الغلاف الجوي للأرض، وفي قمته يندمج مع الرياح الشمسية. الجزيئات الموجودة هنا ذات كثافة منخفضة جدّاً، لذلك لا تتصرف هذه الطبقة مثل الغاز، والجسيمات هنا تهرب إلى الفضاء. مع عدم وجود طقس على الإطلاق في الغلاف الخارجي.

تعد هذه الطبقة الأقرب إلى الفضاء الخارجي، وتوجد في نطاقها الأقمار الصناعية، وتحدث فيها عملية امتصاص الأشعة السينية ذات الطاقة العالية والأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع

درجة حرارة في هذه الطبقة، وتصل درجات الحرارة فيها بين 500° - 2000° درجة مئوية، كما تحدث فيها ظاهرة الشفق القطبي الذي يظهر في القطبين الشمالي والجنوبي.

6. حافة الفضاء الخارجي The Edge of Outer Space

على الرغم من عدم وجود حدود واضحة بين المكان الذي ينتهي فيه الغلاف الجوي للأرض ويبدأ الفضاء الخارجي، يستخدم معظم العلماء ترسيماً يعرف باسم (خط كارمان)، يقع على بُعْد 100 كيلومتر فوق سطح الأرض، للإشارة إلى نقطة الانتقال، ما يقرب 99.99997 % من الغلاف الجوي للأرض. تقع تحت هذه النقطة. تشير دراسة أجريت في فبراير 2019 باستخدام بيانات من المركبة الفضائية التابعة لناسا / وكالة الفضاء الأوروبية للمرصد الشمسي والهيليوسفير (SOHO) إلى أن أبعد مناطق الغلاف الجوي للأرض – سحابة من ذرات الهيدروجين تسمى Geocorona قد تمتد في الواقع إلى ما يقرب من (629300) كيلومترات في الفضاء، بعيداً عن مدار القمر. (Allaby, 2009).



يتكون الغلاف الجوي من طبقات مميزة يجري تحديدها بشكل أساسي من خلال الطريقة التي تتغير بها درجة الحرارة مع الارتفاع داخلها (Allaby, 2009)

الغـــــلاف الحيـــــوي Biosphere

الغـلاف الحيـوي عبـارة عـن طبقـة رقيقـة نسـبيّاً مـن سـطح الأرض تدعـم الحيـاة، وهـو الحيّـز أو المكان أو الوسـط الـذي تعيـش فيـه الكائنـات الحيّـة، ويمتـدّ مـن أكبـر عمـقٍ في البحـار والمحيطـات ويُقـدّر بـ13كـم، ويصـل إلـى أعلـى ارتفـاعٍ فـوق الجبـال، ويُقـدّر بـ11كـم. المحيـط الحيـوي هـو نظـام بيئـي عالمـي يتكـون مـن الكائنـات الحيـة (الكائنـات الحيـة) والعوامـل غيـر الحيـة (اللاأحيائيـة) التي تزودهم بالطاقـة والمغذيـات. المحيـط الحيـوي هـو منطقـة ضيقـة علـى سـطح الأرض حيـث تتحـد التربـة والمـاء والهـواء للحفـاظ علـى الحيـاة. يمكـن أن تحـدث الحيـاة فقـط في هـذه المنطقـة. مـن الفطريـات والبكتيريـا إلـى الحيوانـات الكبيـرة، هنـاك عـدة أنـواع مختلفـة مـن الحيـاة. يتميـز المحيـط الحيـوي بأنـه منطقـة تحتـوي علـى جميـع الكائنـات الحيـة ومنتجـات أنشـطتها. نتيجـة لذلـك، يلعـب دوراً مُهمّـاً في الحفـاظ علـى النظـم البيئيـة، أي وجـود الأنـواع وتفاعلاتهـا المتبادلـة. والغـلاف الحيـوي أمـر بالـغ الأهميـة لتنظيـم المنـاخ.

■ أهميـــــة المحيـــــط الحيـــــوي

يوفـر المحيـط الحيـوي النظـام البيئـي المطلـوب للبقـاء علـى قيـد الحيـاة. مـن المتوقـع أن تتكيـف الكائنـات الحيـة مـع منـاخ المحيـط الحيـوي. يزدهـر التنـوع البيولوجـي داخـل النظـم البيئيـة، ويعتبـر المحيـط الحيـوي مصـدراً موثوقـاً للغـذاء علـى الأرض. تُعـرف المناطـق الآمنـة لحمايـة النباتـات والحيوانـات باسـم (محميـات المحيـط الحيـوي). كمـا أنـه يسـاعد علـى اسـتعادة أسـلوب الحيـاة التقليـدي للقبائـل في المنطقـة. المحيـط الحيـوي هـو أعلـى مسـتوى للمنظمـة البيئيـة. يغطـي جميـع أنـواع الحيـاة بالإضافـة إلـى أي منطقـة حيويـة علـى الأرض.

يعمل المحيط الحيوي كنظام دعم الحياة للكوكب، ويساعد في التحكم في تكوين الغلاف الجوي، وصحة التربة، والدورة الهيدرولوجية (المياه). مؤشر على مساهمة المنطقة الأحيائية في الأرض. يتميز المحيط الحيوي بأنه بيئة تحتوي على جميع الكائنات الحية ومنتجات أنشطتها. ونتيجة لذلك، تلعب دوراً حيويّاً في الحفاظ على النظم البيئية، أي حياة الأنواع وتفاعلاتها المتبادلة. والغلاف الحيوي أمر بالغ الأهمية لتنظيم المناخ. تتأثر أي من غازات الدفيئة الرئيسية، مثل الميثان وثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز، بالمحيط الحيوي. هناك حاجة لظروف بيئية مختلفة، مثل درجة الحرارة والرطوبة الملائمة، للكائنات الحية لتعيش على الأرض. الطاقة والعناصر الغذائية مطلوبة أيضاً للأنواع. يحتوي المحيط الحيوي للأرض على جميع العناصر الغذائية المعدنية والحيوانية اللازمة للحياة.

عناصر الغلاف الحيوي

أصل وتطور المحيط الحيوي

منذ حوالي 3.8 مليار سنة، ازدهرت بدائيات النوى المبكرة في محيط حيوي بدون أكسجين. في النهاية، تطورت بعض هذه الكائنات إلى كائنات قادرة على استخدام الضوء والماء وثاني أكسيد الكربون لإنشاء مركبات غنية بالطاقة الكيميائية مع إنتاج جزيئات الأكسجين كمنتج ثانوي. يشار الآن إلى عملية تصنيع طعامهم باستخدام الطاقة الضوئية على أنها عملية التمثيل الضوئي، وتسمى الكائنات الحية القادرة على ذلك بالتغذية الذاتية. وهكذا من أحادية الخلية، على سبيل المثال الطحالب، إلى ذاتية التغذية متعددة الخلايا، مثل النباتات الوعائية، كان المزيد من الكائنات الحية قادرة على استخدام ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وفي النهاية زود الغلاف الجوي بالأكسجين.

سرعان ما أدت زيادة كمية الأكسجين في الغلاف الجوي إلى زيادة التنوع البيولوجي مع وجود الكائنات الهوائية وتطورها. يسمح هذا للمحيط الحيوي بالحفاظ على حياة أكثر تعقيداً مثل النباتات الوعائية والحيوانات والبشر للبقاء على قيد الحياة في وجود الأكسجين.

يعمل Autotrophs كمنتجي السلسلة الغذائية. الكائنات غيرية التغذية، وهي كائنات غير قادرة على إنتاج الغذاء بنفس الطريقة التي يمكن بها ذاتية التغذية، وبالتالي يتعين عليها أن تستهلك كائنات أخرى، تأخذ دور الضوابط البيولوجية الطبيعية. يشار إلى الكائنات غيرية التغذية التي تتغذى فقط على النباتات بالحيوانات العاشبة. وتسمى تلك التي تتغذى فقط على لحوم الحيوانات آكلة اللحوم بينما تسمى تلك التي تتغذى على لحوم النباتات أو الحيوانات آكلات اللحوم. مكانة بيئية مُهمَّة أخرى هي المتحللات. تتحلل هذه الكائنات الحية الميتة أو تتحلل الأنسجة أو تحول المواد العضوية إلى مركبات أبسط أو مواد

تغذي الأرض. على سبيل المثال، تحلل الفطريات المواد النباتية أو الحيوانية الميتة. إنهم يقسمون خلايا النباتات والحيوانات الميتة إلى مواد أبسط، التي تصبح مغذيات عضوية متاحة للنظام البيئي.

• مكوّنات الغلاف الحيوي

المكوّنات الحيّة: يدخل في تصنيف المكونات الحية الكائناتِ الحيةَ التي تعيش ضمن الغلاف الحيوي جميعها، وتختلف هذه الكائنات في أحجامها، وأشكالها، والبيئة التي تعيش فيها، ولكنّها تشترك في مظاهر الحياة، مثل: الحركة، والتغذية، والنمو، والتنفس، وطرح الفضلات، والتكاثر، وغيرها، ومن أبرز هذه المكونات: الإنسان، والنباتات، والحيوانات بأنواعها المختلفة، والكائنات الحيّة الأولية، مثل: الطحالب، والبكتيريا، والفطريّات.

المكوّنات غير الحية: وتشمل ثلاثة عناصر وهي الغلاف المائي، والصخري و الجوي. الغلاف الجوي يشمل جميع أنواع الغازات والبخار الموجود في الهواء ومن أهم الغازات التي يتضمنها الغلاف الجوي الأكسجين، النيتروجين، ثاني أكسيد الكربون.

الغلاف المائي تحتل مياه المحيطات والأنهار والبحيرات جزء كبير في هذا الغلاف المائي ومناطق المياه الجوفية، وتكون نسبتها 1.5 بليون كم^3، وتبلغ نسبة المياه المالحة في الموارد المائية السابقة حوالي 95:97 %. وجدت النسبة الأكبر من المياه في المحيط الحيوي من المحيطات، وتحتوي مياه المحيطات على نسبة مرتفعة من الأملاح، بالإضافة إلى احتوائها على غازات ذائبة، ومن تلك الغازات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

الغلاف الصخري حيث تعبر اليابسة عن المناطق والأجزاء الصلبة الموجودة في الطبيعة، كما أن الأتربة والمعادن أيضاً من العناصر غير الحية التي يتكون منها الغلاف الحيوي.

■ الهيكـــل التنظيمي للمحيـــط الحيـــوي

يتم وصف المحيط الحيوي بشكل أساسي من خلال مرجع الحياة الكاملة والكائنات الحية حول الأرض. يتكون من خمسة مستويات للهيكل التنظيمي:

❖ المناطـــق الأحيائيـــة

ينقسم المحيط الحيوي الكبير إلى أجزاء كبيرة من المناطق الأحيائية. صنف العلماء المناطق الأحيائية إلى خمسة أنواع مختلفة: التندرا، والأراضي العشبية، والغابات، والصحاري، والمناطق الأحيائية المائية. يسكن الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات والموائل المائية الأخرى مجموعة كبيرة ومتنوعة من النباتات والحيوانات. على العكس من ذلك، فإن الحلويات هي المناطق الأكثر جفافاً على وجه الأرض مع أدنى قياس للأمطار سنويّاً. تغطي الأراضي العشبية المساحات الخضراء من الأرض. ومع ذلك، فإنها تعاني من هطول أمطار معتدلة ولكنها ليست كافية لزراعة الأشجار الكبيرة. الغابات هي مناطق تهيمن عليها الأشجار الكبيرة. التندرا هي منطقة القطب الشمالي الشاسعة الخالية من الأشجار حيث تتجمد باطن الأرض بشكل دائم.

❖ النظـــام البيئـــي

يتكون النظام البيئي من مجتمع بيولوجي ومن البيئة المادية. ولذا فهو يشمل كلّاً من العوامل الحيوية وغير الحيوية. تعمل الكائنات الحية وبيئتها

المادية معاً كوحدة واحدة. أربعة أنواع من النظم البيئية هي الأرضية، والمياه العذبة، والبحرية، والاصطناعية. النظام البيئي الأرضي هو النظام البيئي الذي يحدث على الأرض ويمثله النظام البيئي للأراضي العشبية والنظام البيئي للغابات. النظام البيئي للمياه العذبة هو نظام بيئي مائي ويتجلى في النظم البيئية Lentic و Lotic. النظام البيئي البحري هو نظام إيكولوجي للمياه المالحة، وبالتالي يوجد في البحار والمحيطات. النظام البيئي الاصطناعي هو نظام من صنع الإنسان، مثل Terrarium.

❖ مجتمع الأنواع

نظراً لأن المحيط الحيوي يظهر تنوعاً واسعاً، فإن الأنواع المختلفة تبني المجتمع. تعيش هذه الأنواع في المناطق التي تكون فيها العوامل غير الحيوية، مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة والمغذيات مقبولة أو مثالية. ومع ذلك، يتم تعريف المجتمع البيولوجي على أنه تجمع الكائنات الحية المتفاعلة (إما من نفس النوع إما الأنواع المختلفة) التي تتعايش في منطقة ووقت معينين.

❖ السكان

يُعرف جميع أعضاء الأنواع المعينة التي تعيش في موطن واحد بالسكان. يمكن أن يختلف حجم السكان من بضعة إلى آلاف من الأعضاء. الزيادة السكانية هي حالة يتجاوز فيها عدد الأنواع القدرة الاستيعابية لمكان إيكولوجي. على العكس من ذلك، فإن الانخفاض السكاني هو انخفاض في الحجم. يشار إلى تقليص حجم السكان لفترة قصيرة من الزمن باسم (عنق الزجاجة السكاني).

قد تؤدي الزيادة في حجم السكان إلى صراع من أجل البقاء. سوف تتنافس الأنواع ضد الجميع على موارد محدودة. وهكذا، تم إنشاء علاقات تكافلية

مختلفة. يقال إن أولئك الذين يميلون إلى الأخذ والعطاء في علاقة ما يكونون في علاقة متبادلة، في حين أن أولئك الذين يميلون إلى التسبب في ضرر أو إلحاق الضرر بالكائنات الأخرى قد يكونون في نوع طفيلي أو مفترس من التعايش. هذا هو المكان الذي يأتي فيه الانتقاء الطبيعي. يتم «تفضيل» الأنواع التي لها اختلافات مفيدة أو مفيدة، وبالتالي فهي قادرة على الازدهار والتكاثر على تلك التي لها سمات أقل تفضيلاً.

❖ الكائنـــات الحيـــة

الكائنات الحية هي الكائنات الحية للمحيط الحيوي. إحدى الميزات التي جعلتها متميزة عن المواد غير الحية هي امتلاكها تنظيماً خلويّاً ونظاماً يتيح العديد من عمليات الحياة. يوجد داخل الخلية مادة وراثية تحمل الرمز لجميع الأنشطة البيولوجية والتكاثر.. يمكن أن تكون حقيقيات النوى وبدائيات النوى. على سبيل المثال، البشر والنباتات والحيوانات حقيقيات النوى، والبكتيريا هي بدائيات النوى. يمكن التعرف عليها من خلال وجود نظام غشاء داخلي وتقسيم داخلي يؤدي إلى تكوين عضيات مختلفة. تمتلك حقيقيات النوى مثل هذه الميزات في حين أن بدائيات النوى لا تمتلكها.

• العوامـل المؤثـرة في المحيـط الحيـوي

يتغير المحيط الحيوي حول الأرض دائماً بفعل الكائنات الحية وغير الحية. هناك عوامل مختلفة تؤثر في المحيط الحيوي وأنشطة الكائنات الحية التي يغطيها النظام البيئي. تؤثر العوامل الثلاثة التالية في المحيط الحيوي بطرق مختلفة:

إمالة الأرض. يؤثر ميل الأرض إلى حد كبير في المحيط الحيوي. حيث أنه يجعل جانباً واحداً من الأرض أكثر برودة لبعض الوقت بينما يظل الجانب الآخر أكثر دفئاً لفترة. الفصول هي أحد العوامل الفيزيائية التي تحدد أنواع الأنواع التي ستزدهر في منطقة معينة.

الكوارث الطبيعية. يمكن أن تترك الكوارث الطبيعية تأثيراً هائلاً وطويلَ الأمد في المحيط الحيوي. مثل هذه الكوارث، مثل: ثوران البراكين والزلازل والفيضانات وما إلى ذلك، تدمر المحيط الحيوي. الصخور والماء والحمم البركانية والأشياء الأخرى المحتملة تدمر النظام البيئي.

بعض العوامل الأصغر. العوامل الأخرى الأصغر، مثل: تغير المناخ أو الماء أو تآكل التربة أو أي نوع آخر من التغيير، تؤثر في المحيط الحيوي وتزعج حياة الأنواع المختلفة.

• أهمية المحيط الحيوي

المحيط الحيوي هو الرابط بين الحياة الصحية للكائنات الحية وتفاعلاتها. يمكن أن يتسبب التغيير الطفيف في المحيط الحيوي في إحداث تأثير كبير في حياة الكائنات الحية. ومع ذلك، فإن هذا الارتباط يجعل المحيط الحيوي مُهمّاً لكل كائن حي. بعضها مذكور أدناه:

تعزيز الحياة على الأرض. السبب الرئيسي للمحيط الحيوي وأهميته هو أنه يعزز الحياة على الأرض. للتكيف مع التغيرات البيئية المختلفة، والظروف المناخية المواتية، ومصدر الطاقة كغذاء، فإن جميع الكائنات الحية على الأرض تدعم الحياة على سطح الأرض:

المواد العضوية: يساعد المحيط الحيوي في إعادة تدوير العناصر الغذائية، مثل الأكسجين والنيتروجين، للحفاظ على الحياة على الأرض.

توفير الغذاء أو المواد الخام. كل كائن حي يحتاج إلى الغذاء ليبقى على قيد الحياة؛ وبالتالي، يلعب المحيط الحيوي دوراً مُهمّاً في توفير الغذاء للحيوانات والنباتات المختلفة.

• دورات الغـــــلاف الحيـــــوي

دورة الميـــــاه. عندما تسقط أشعة الشمس في الأماكن الموجود فيها ماء فإنها تجعله يتبخر ليصعد إلى الغلاف الجوي، وهذه العملية هي التي تتكون السحب بفضلها.

دورة الأكسجين. تعمل الدورة على نقل نسب الأكسجين بين الأغلفة الثلاثة الحيوي والجوي والصخري، حيث يحتوي الغلاف الحيوي على كمية كبيرة من الأكسجين الحر الذي ينتج عن عملية البناء الضوئي، أما الغلاف الجوي فيُعد هو المصدر الأصغر للأكسجين.

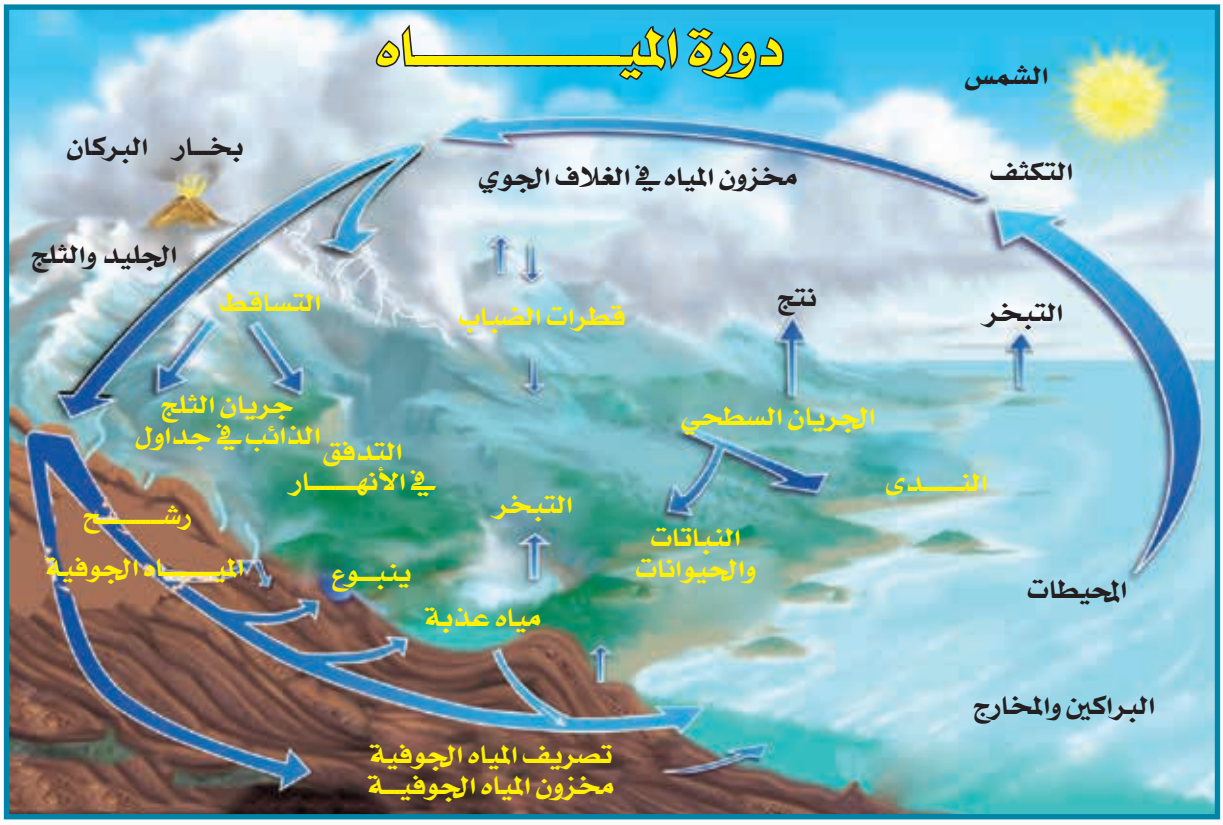
دورة النيتروجين. تبلغ نسبة النيتروجين حوالي 78 % من الهواء الموجود في الطبيعة، وهذه الدورة يكون لها أثر كبير في إنتاج البروتينات والأحماض الأمينية، يعمل كل من البرق والبكتيريا على تحليل النيتروجين إلى بعض المركبات السهلة في الامتصاص من قِبل النباتات، ومن ثم تدخل إلى جزيئات عضوية. كما أن الحيوانات عندما تأكل النباتات تحصل على النيتروجين المغذي لجسدها، وبعد موتها يتم إنتاج بعض العناصر الكيمائية التي يتم إعادتها إلى التربة والغلاف الجوي.

الغـــــلاف المائـــــي Hydrosphere

الغلاف المائي، طبقة غير متصلة من الماء على سطح الأرض أو بالقُرب منه. وتشمل جميع المياه السطحية السائلة والمجمدة، والمياه الجوفية الموجودة في التربة والصخور، وبخار الماء الجوي. الماء هو المادة الأكثر وفرة على سطح الأرض. حوالي 1.4 مليار كيلومتر مكعب من الماء في صورة سائلة ومجمدة تشكل المحيطات والبحيرات والجداول والأنهار الجليدية والمياه الجوفية الموجودة هناك. هذا الحجم الهائل من الماء، في مظاهره المختلفة، هو الذي يشكل الطبقة غير المتصلة، التي تحيط بالكثير من سطح الأرض، والمعروف باسم (الغلاف المائي).

الغلاف الجليدي Cryosphere هو الماء المتجمد على الأرض بما في ذلك الأنهار الجليدية والجليد البحري والثلج وجليد المياه العذبة والأرض المتجمدة (التربة الصقيعية).

يعتبر مفهوم دورة المياه أو (الدورة الهيدرولوجية) محورياً في أي نقاش حول الغلاف المائي. تتكون هذه الدورة من مجموعة من الخزانات التي تحتوي على المياه، والعمليات التي يتم من خلالها نقل المياه من خزان إلى آخر أو (تحويلها من حالة إلى أخرى)، ومعدلات النقل المرتبطة بهذه العمليات. تخترق مسارات النقل هذه الغلاف المائي بأكمله، وتمتد صعوداً إلى حوالي 15 كيلومتراً في الغلاف الجوي للأرض وتنخفض إلى أعماق تصل إلى 5 كيلومترات في قشرتها.



عناصر الغلاف المائي

توزيـــع وكمية ميـــاه الأرض

تشكل مياه المحيطات والمياه المحاصرة في مساحات مسام الرواسب معظم الغلاف المائي الحالي. تساوي الكتلة الإجمالية للمياه في المحيطات حوالي 50 % من كتلة الصخور الرسوبية الموجودة حالياً وحوالي 5 % من كتلة القشرة الأرضية ككل. تشكل المياه الجوفية العميقة والضحلة نسبة صغيرة من إجمالي المياه المغلقة في مسـام الصخور الرسوبية – في حدود 3 إلى 15 %. كمية الماء في الغلاف الجوي في أي وقت تافهـــة، أي ما يعـــادل 13000 كيلومتر مكعب من الماء السائل، أو حوالـــي 0.001 % من الإجمالي على سطح الأرض. ومع ذلك، تلعب هذه المياه دوراً مُهمّاً في دورة المياه.

في الوقت الحاضر، يحبس الجليد ما يزيد قليلاً على 2 % من مياه الأرض، وربما يمثل ما يصل إلى 3 % أو أكثر خلال ذروة التجمعات الجليدية في عصر البليستوسين (2.6 مليون إلى 11700 سنة مضت). على الرغم من أن تخزين المياه في الأنهار والبحيرات والغلاف الجوي صغير، فإن معدل دوران المياه عبر نظام نهر المطر والمحيط والغلاف الجوي سريع نسبيّاً. كمية المياه التي يتم تصريفها سنويّاً في المحيطات من الأرض تساوي تقريباً إجمالي كتلة المياه المخزنة في أي لحظة في الأنهار والبحيرات.

تمثل رطوبة التربة 0.005 % فقط من الماء على سطح الأرض. ومع ذلك، فإن هذه الكمية الصغيرة من الماء هي التي تؤثر بشكل مباشر في التبخر من التربة. على الرغم من أن المحيط الحيوي، على الرغم من تكوينه بشكل أساسي H2O، فإنه يحتوي على القليل جدّاً من إجمالي المياه على سطح الأرض، حوالي 0.00004 % فقط، ومع ذلك يلعب المحيط الحيوي دوراً رئيسيّاً في نقل بخار الماء مرة أخرى إلى الغلاف الجوي عن طريق عملية النتح.

مكونات الغلاف المائي

أي منطقة لتخزين المياه على الأرض تحتوي على مياه سائلة، نعتبرها جزءاً من الغلاف المائي. لهذا السبب، هناك قائمة واسعة من التكوينات التي تشكل الغلاف المائي بما في ذلك:

المحيطات: معظم المياه الموجودة على كوكبنا هي مياه مالحة، والغالبية العظمى من هذه المياه المالحة موجودة في المحيطات بنسبة 97.6 %

المياه العذبة: المياه العذبة أقل وفرة من المياه المالحة، وتتواجد في أماكن مختلفة.

المياه السطحية: تتكون المصادر السطحية للمياه العذبة من البحيرات والأنهار والجداول. بنسبة 0.008 %.

المياه الجوفية: تشكل المياه العذبة المخزنة تحت الأرض جزءاً صغيراً من المياه العذبة على الأرض بنسبة 0.5 %.

الـــدورة المائيـــة Hydrologic Cycle

تصف دورة الماء أو (الدورة الهيدرولوجية) طرق نقل الماء في الغلاف المائي. تشمل هذه الدورة الماء الموجود تحت سطح الأرض وفي الصخور (الغلاف الصخري)، والمياه في النباتات والحيوانات (المحيط الحيوي)، والمياه التي تغطي سطح الكوكب في صورة سائلة وصلبة، والمياه الموجودة في الغلاف الجوي على شكل ماء بخار وسحب وهطول الأمطار. توصف الدورة الهيدرولوجية حركة الماء داخل الغلاف المائي. من السهل رؤية هذه الحركة في الأنهار والجداول، ولكن من الصعب معرفة وجود هذه الحركة في البحيرات والبِرك.

خصائص المحيط التي تؤثر في حركته هي درجة حرارته وملوحته. الماء البارد أكثر كثافة من الماء الدافئ، والماء المالح أكثر كثافة من الماء العذب. يحدد الجمع بين درجة حرارة الماء وملوحته ما إذا كان يرتفع إلى السطح، أو يغوص إلى القاع، أو يظل عند بعض العمق المتوسط.

توضح الدورة الهيدرولوجية حركة الماء عبر الغلاف المائي والغلاف الجليدي. تؤدي حركة الماء والجليد إلى تآكل سطح الأرض وتزويد أحواض المحيطات بالرواسب. المواد الذائبة تصبح الملح في مياه البحر. تتركز الأملاح في مياه البحر مع تبخر المياه، ثم تسقط لاحقاً على شكل ترسيب، مع عودة معظمها إلى المحيط. يقع الباقي على الأرض ويتحول إلى جليد أو جريان أو مياه جوفية أو تمتصه الكائنات الحية، ومعظمها من النباتات.

الدورة الهيدرولوجية مدفوعة بالطاقة من الشمس. تمر دورة الماء بأربع خطوات رئيسية: التبخر، والتكثيف، والتساقط، وهناك عنصر إضافي في الدورة يُعرف باسم (النتح).

- **يتغير الماء الموجود** على سطح الأرض من سائل إلى بخار (غاز) من خلال التبخر، الأمر الذي يتطلب حدوث طاقة.
- **عند وصوله إلى الغلاف الجوي**، يبرد بخار الماء ويتراكم في شكل قطرات ماء تتحول إلى غيوم. تُعرف العملية بـ (التكثيف).
- **في نهاية المطاف**، تسقط الغيوم على الأرض في شكل هطول الأمطار، التي تشمل المطر والبرد والصقيع والثلج.
- **الجريان السطحي** هو مياه الأمطار التي تتدفق فوق سطح الأرض إلى المسطحات المائية.
- **تطلق النباتات** أيضاً بخار الماء في الغلاف الجوي من خلال النتح.

مراحـل الـــدورة المائيـــة

• أهميـــة الغـــلاف المائـــي

الغلاف المائي له أهمية كبيرة لأنه يلعب دوراً أساسيّاً في بقاء جميع أشكال الحياة. فيما يلي بعض الوظائف المُهمَّة للغلاف المائي على الأرض:

■ أحـد مكونـات الخلايـا الحيـة

تتكون كل خلية في الكائن الحي من 75 % ماء على الأقل. هذا يعزز الأداء الطبيعي للخلية. تتضمن معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الكائنات الحية مواد مذابة في الماء. لا يمكن لأي خلية أن تبقى على قيد الحياة أو تكون قادرة على القيام بوظائفها الطبيعية بدون ماء.

■ موطـن للعديـد من أشـكال الحيـاة

يوفر الغلاف المائي مكاناً مُهمّاً لتعيش فيه مجموعة واسعة من النباتات والحيوانات. يتم إذابة العديد من العناصر الغذائية، مثل: أيونات النترات والنتريت والأمونيوم وكذلك الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين في الماء. تلعب هذه المركبات دوراً أساسيّاً في وجود الحياة في الماء.

■ تنظيـم المنـاخ

إحدى الميزات الاستثنائية للمياه هي ارتفاع درجة حرارتها. وبالتحديد، لايستغرق الماء وقتاً طويلاً حتى يسخن فحسب، بل يستغرق أيضاً وقتاً طويلاً حتى يبرد. هل تعلم ما مغزى هذا؟

يلعب دوراً مُهمّاً في تنظيم درجات الحرارة على الأرض، مما يضمن بقاء درجات الحرارة ضمن النطاق المناسب لوجود الحياة. تلعب تيارات المحيط أيضاً دوراً مُهمّاً في تشتت الحرارة.

وجـــود الغـــلاف الجـــوي

يسهم الغلاف المائي بشكل كبير في وجود الغلاف الجوي بشكله الحالي. عندما تشكلت الأرض كانت تتكون فقط من غلاف جوي رقيق للغاية. كان هذا الغلاف الجوي مليئاً بالهيليوم والهيدروجين على غرار الغلاف الجوي الحالي لعطارد.

تم طرد غازي الهيليوم والهيدروجين لاحقاً من الغلاف الجوي. وأصبحت الغازات وبخار الماء الناتج عندما تبرد الأرض غلافها الجوي الحالي. أطلقت البراكين أيضاً غازات أخرى وبخار الماء التي دخلت الغلاف الجوي.

تشير التقديرات إلى أن هذه العملية حدثت منذ حوالي 400 مليون سنة.

احتيـــاجـــات الإنســـان

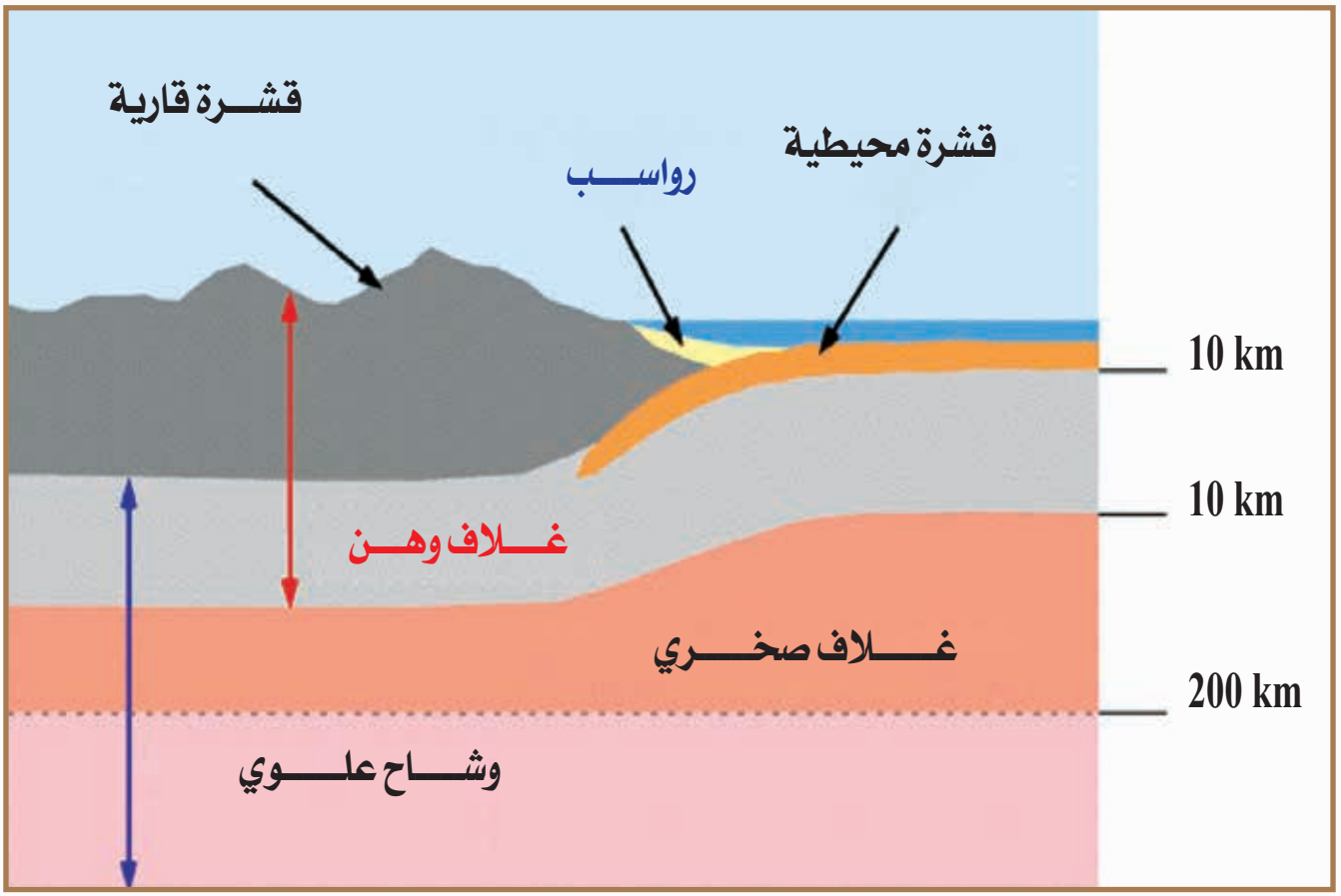
يفيد الغلاف المائي البشر بعدة طرق. إلى جانب الشرب، تُستخدم المياه للأغراض المنزلية، مثل: الطهي والتنظيف، وكذلك للأغراض الصناعية. يمكن أيضاً استخدام المياه في النقل والزراعة وتوليد الكهرباء من خلال الطاقة الكهرومائية.

الغـــــلاف الأرضـــــي Geosphere

يشمل الغلاف الأرضي الصخور والمعادن الموجودة على الأرض – من الصخور المنصهرة والمعادن الثقيلة في أعماق باطن الكوكب إلى الرمال على الشواطئ وقمم الجبال. يشمل الغلاف الأرضي أيضاً الأجزاء اللاأحيائية (غير الحية) من التربة والهياكل العظمية للحيوانات التي قد تصبح متحجرة بمرور الوقت الجيولوجي.

الغلاف الأرضي هو الأرض نفسها: الصخور والمعادن والتشكيلات السطحية والداخلية. تحت القشرة – التي يختلف عمقها من حوالي 5 كيلومترات تحت قاع المحيط إلى 70 كيلومتراً تحت سطح الأرض، تكون درجات الحرارة مرتفعة بما يكفي لتشوه وتدفق العناصر مثل العجينة. في وقت من الأوقات، منذ ما يقرب من 200 مليون سنة، كانت القارات متحدة معاً في شبه قارة عظمى تسمى (بانجيا)، ولكن منذ ذلك الحين انفصلت الصفائح التكتونية ببطء، مما أدى إلى ترتيب القارات التي اعتدنا عليها اليوم.

لا تزال حركة الصفائح التكتونية مستمرة، ويمكن للإنسان أن يشهد نشاطاً عنيفاً في بعض الأحيان على شكل زلازل وبراكين. ومع ذلك، فإن التفاعل البشري مع الغلاف الأرضي الديناميكي يأتي بشكل أكثر انتظاماً في شكل تآكل السطح، واستخدامنا للأراضي الصالحة للزراعة، والحفريات لتشييد المباني والطرق والمناجم.



مكونات الغلاف الصخري

دورة الصخـــــور Rocks Cycle

وراء هـذه الأجـزاء، فـإن الغـلاف الجـوي يـدور حـول العمليـات. عمليـات دورة الصخـور، مثـل: التحـول، والذوبـان والتصلب، والعوامل الجوية، والتعرية، والترسـب، والدفـن، هـي المسـؤولة عـن إعـادة التدويـر المسـتمر للصخـور علـى الأرض بـين الحـالات الرسـوبية والناريـة والمتحولـة.

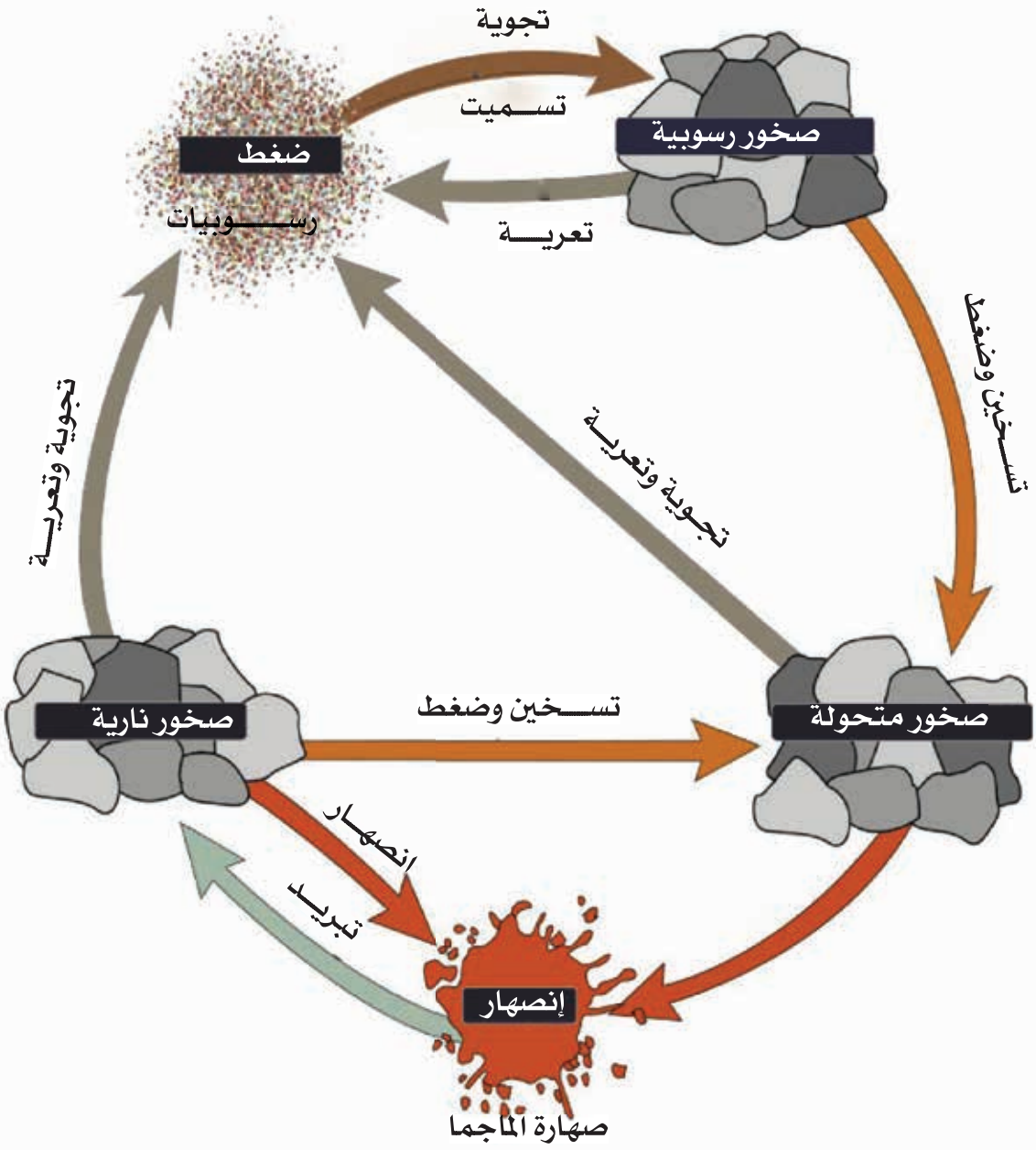
تتشكل الصخور الرسوبية عن طريق التجوية ونقل الصخور الموجودة، ثم الترسيب والتدعيم والضغط في الصخور الرسوبية.

تتشكل الصخور النارية عن طريق تبريد وتبلور الصخور المنصهرة.

تتشكل الصخور المتحولة عندما يتم تطبيق الحرارة أو الضغط على الصخور الأخرى.

العامل الأساسي الذي يقود هذه العمليات هو حركة الصفائح التكتونية للأرض، مما يؤدي إلى تكوين الجبال والبراكين وأحواض المحيطات. يمكن أن يكون للتغييرات في معدل تكوين الصخور وتدميرها تأثير عميق في الكوكب. نظراً لتغير معدل حركات الصفائح التكتونية على مدار المقاييس الزمنية الجيولوجية، فقد تغيرت دورة الصخور أيضاً، وقد تمكنت هذه التغييرات من التأثير في المناخ. على سبيل المثال، في الأوقات التي يكون فيها معدل حركات الصفائح مرتفعاً، يكون هناك المزيد من النشاط البركاني، مما يؤدي إلى إطلاق المزيد من الجزيئات في الغلاف الجوي.

كما أن الحركات التكتونية للصفائح الأسرع تعني أيضاً بناء المزيد من الجبال في المناطق التي تتلاقى فيها الصفائح. عندما ترتفع الصخور إلى الجبال، تبدأ في التآكل والذوبان، مما يؤدي إلى إرسال الرواسب والمواد المغذية إلى المجاري المائية والتأثير في النظم البيئية للكائنات الحية.



دورة الصخـــور في الطبيعـــة

• مكـــــونات الأرض

تتميز الأرض بالتركيب الكيميائي المحدد والتركيب البلّوري، حيث تتكون الأرض من حوالي 2000 معدن معروف. تتكون معظم الصخور في القشرة من حوالي 25 معدناً شائعاً فقط. بتكوين 49.5 % أكسجين و 25.7 % سيليكون، تتكون القشرة الأرضية إلى حد كبير من مركبات كيميائية لهذين العنصرين بكميات أقل من الألومنيوم والحديد والكربون والكبريت وعناصر أخرى. بخلاف الألمنيوم والحديد، يتكون حوالي 1.6 % فقط من ثقة الأرض من أنواع الصخور التي يجب أن تكون بمثابة موارد مُهمَّة للمعادن والفوسفور اللازم لنمو النبات والمعادن الأساسية الأخرى. تعد الإدارة الدقيقة لهذا المورد من المعادن الأساسية أحد المتطلبات الأساسية للاستدامة.

عندما تخترق الصهارة المنصهرة بالقُرْب من قمة قشرة الأرض ثم تبرد وتتصلب، فإنها تشكل صخوراً نارية. تتعرض الصخور النارية، التي تتعرض للماء والغلاف الجوي، لتغيرات فيزيائية وكيميائية في عملية تسمى التجوية. يمكن ضغط المواد الصخرية التي تحملها المياه والتي تترسب كطبقات رسوبية لإنتاج معادن ثانوية، والتي تعتبر الطين مثالاً مُهمّاً عليها. كان الصلصال، الذي تم تشكيله وتسخينه إلى درجات حرارة عالية لصنع الفخار والطوب ومواد أخرى، من أوائل المواد الخام التي يستخدمها البشر ولا يزال يستخدم على نطاق واسع حتى يومنا هذا.

جزء من القشرة غير المائية الأخرى هو الطبقة الرقيقة من الصخور المتآكلة، والمواد العضوية المتحللة جزئياً، والمساحات الهوائية، والتربة المكونة للمياه التي تدعم الحياة النباتية. لو كانت الأرض بحجم كرة الفصول الدراسية الجغرافية، فإن متوسط سمك طبقة التربة عليها سيكون فقط بحجم خلية بشرية! تعتبر

التربة السطحية، التي لا يزيد سمكها على بضعة سنتيمترات في العديد من المواقع، أو حتى غير موجودة حيث أدت ممارسات الزراعة السيئة والظروف المناخية المعاكسة إلى فقدانها بسبب تآكل الرياح والمياه. يعتبر الحفاظ على التربة وتعزيز إنتاجية التربة من الجوانب الرئيسية للاستدامة.

• التفاعـــل مع الأنظمـــة الأرضيـــة

على الرغم من أن الغلاف الأرضي يبدو ثابتاً، فإنه في الواقع لاعب نَشِط للغاية في أنظمة الأرض، حيث يؤثر في الغلاف الجوي والمحيطات، فضلاً عن العمليات الحرجة، مثل: دورة المياه والدورات الجيوكيميائية الحيوية. على سبيل المثال، تساعد أنواع المعادن الموجودة في التربة - نتائج العمليات الجيولوجية - في تحديد الغطاء النباتي والنظم البيئية على سطح التربة. تنقل الحركة التكتونية رواسب المحيطات إلى باطن الأرض. على النطاقات الزمنية الجيولوجية، يمكن للنشاط البركاني أن ينفث الكربون المخزن في الغلاف الجوي للأرض على شكل ثاني أكسيد الكربون. دورة الكربون هي إحدى الدورات الرئيسية التي تربط الغلاف الأرضي والغلاف الجوي والغلاف المائي والمحيط الحيوي.

يحتوي اللب الداخلي للأرض على الحديد السائل. يُعتقد أن حركتها تقود المجال المغناطيسي للأرض - الغلاف المغناطيسي - الذي يمتد إلى ما هو أبعد من الغلاف الجوي، مما يحمي الأرض والمحيط الحيوي من الرياح الشمسية والإشعاع الكوني. هذه الطبقة شديدة الحرارة ويمكن للتقدم في تكنولوجيا الطاقة الحرارية الأرضية أن يمكّننا يوماً ما من تسخير كميات أكبر من الطاقة الحرارية من داخل القشرة وتحويلها إلى كهرباء على السطح.

مع تغير المناخ، يتفاعل الغلاف الأرضي مع أجزاء أخرى مختلفة من نظام الأرض.

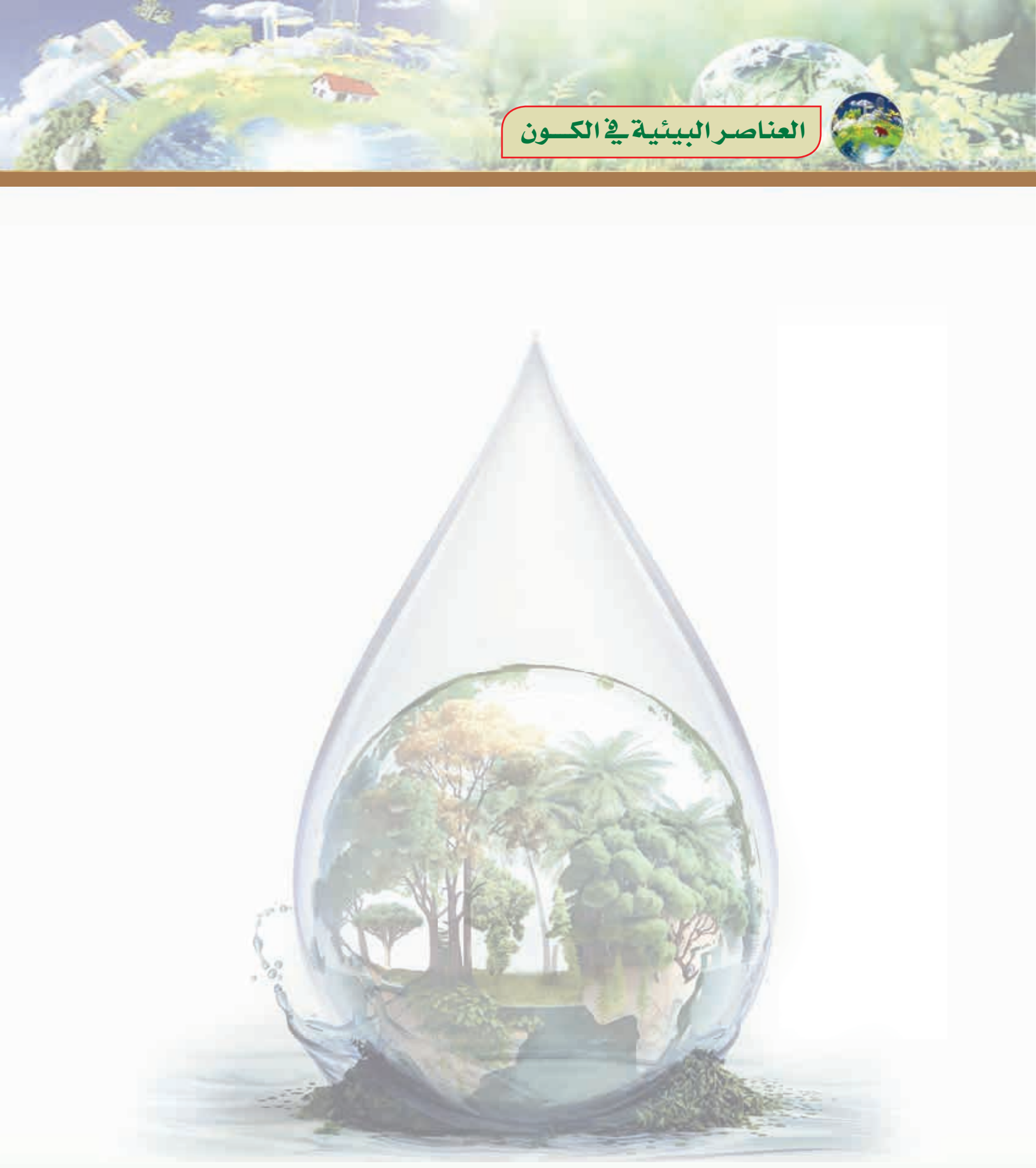
المحيط الحيوي: تتضمن دورة الكربون، التي ترتبط عادةً بالمحيط الحيوي للأرض، التخزين العميق للكربون في شكل وقود أحفوري، مثل: الفحم والنفط والغاز وكذلك صخور الكربونات مثل الحجر الجيري. دورة الكربون هي واحدة من عدة دورات بيوجيوكيميائية، التي تشمل جميعها الغلاف الأرضي والمحيط الحيوي ومجالات أخرى من نظام الأرض.

الغلاف الجليدي: الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية، وهي أجزاء من الغلاف الجليدي، لها تأثير كبير في الصخور والرواسب الموجودة تحتها. يعكس الثلج والجليد الحرارة من الشمس، مما يساعد على ذلك تنظم درجة حرارة كوكبنا.

لأن المناطق القطبية هي من أكثر المناطق حساسية إلى التحولات المناخية، قد تكون واحدة من الأماكن الأولى حيث العلماء قادرون على تحديد التغيرات العالمية في المناخ على سبيل المثال، تحركت الصخور الجليدية القارية أثناء تدفقها جنوباً خلال العصر الجليدي الأخير، مما أدى إلى إنشاء كيب كود، ولونج آيلاند، والتلال، والبحيرات. يمكن للجليد أيضاً أن يكون له تأثير إقليمي في ارتفاع الأرض، الذي يرتفع بمجرد ذوبان الجليد عن سطحه. كانت الأرض الواقعة في شمال وسط كندا ترتفع ببطء بعد ذوبان الأنهار الجليدية من العصر الجليدي الأخير.

أشكال الغلاف الجليدي Cryosphere

الغلاف المائي والغلاف الجوي: يؤدي تآكل الصخور، وهو جزء كبير من دورة الصخور والتغير في الغلاف الأرضي بمرور الوقت، إلى تحويل الصخور إلى رواسب، ثم في بعض الأحيان إلى صخور رسوبية. لكن تآكل الرواسب ونقلها وترسبها لن يحدث بدون أنهار الغلاف المائي والبحيرات والمحيطات أو رياح الغلاف الجوي وهطول الأمطار. تتشكل مجموعات مختلفة من الصخور الرسوبية في بيئات ذات ظروف مناخية مختلفة. يسمح هذا للجيولوجيين بإعادة بناء ما كانت عليه البيئة منذ ملايين السنين بناءً على الصخور الرسوبية التي ترسبت.



الفصل الرابع

المشاكل البيئية وحلولها

- تغير المناخ والاحتباس الحـراري
- استخدام الأراضي للزراعــة
- استخدام الأراضي للتنقيب عن المعادن
- النفايـات والـدورات البيوجيوكيميائية
- زيـــادة عـــدد الســـكان
- استخدام الأراضي لموارد الغابات
- استخدام الأراضي للتحضر والنقل
- المـــوارد المائيـة والبيئـــة

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

المشـاكل البيئيـة وحلولهـا

مُقَدِّمَة

البيئة هي كل شيء من حولنا، أو كما قال الفيزيائي الشهير ألبرت أينشتاين: (البيئة هي كل شيء غير أنا)، فهي تشمل الكائنات الحية وغير الحية (الهواء، والماء، والطاقة) التي نتفاعل معها في شبكة معقدة من العلاقات التي تربطنا ببعضنا بعضاً والعالم الذي نعيش فيه.

مع ظهور العديد من التطورات العلمية والتكنولوجية المتقدمة، فإننا نعتمد تماماً على البيئة للحصول على الهواء النظيف والماء والغذاء والمأوى والطاقة وكل شيء آخر نحتاجه للبقاء على قيد الحياة وبصحة جيدة. نتيجة لذلك، نحن جزء من الطبيعة ولسنا منفصلين عنها. وتتمثل الأهداف الثلاثة لعلوم البيئة في معرفة كيفية عمل الطبيعة، وفهم كيفية تفاعلنا مع البيئة، وإيجاد طرائق للتعامل مع المشكلات البيئية والعيش بشكل أكثر استدامة.

يدرس علم البيئة كيفية تفاعل الكائنات الحية مع بعضها بعضاً ومع بيئتها. كل كائن حي هو عضو في نوع معين، أي مجموعة من الكائنات الحية التي لها مجموعة فريدة من الخصائص التي تميزها عن جميع الكائنات الحية الأخرى.

التركيز الرئيسي لعلم البيئة هو دراسة النظم البيئية. والنظام البيئي هو مجموعة من الكائنات الحية داخل منطقة أو حجم محدد تتفاعل مع بعضها البعض ومع بيئتها من مادة وطاقة غير حية. مثلاً يتكون النظام البيئي للغابات

من النباتات (بخاصة الأشجار) والحيوانات والكائنات الدقيقة التي تحلل المواد العضوية وتعيد تدوير المواد الكيميائية الخاصة بها، وكلها تتفاعل مع بعضها البعض ومع الطاقة الشمسية والمواد الكيميائية الموجودة في الهواء والماء والتربة في النظام البيئي.

يجب ألا نخلط بين علم البيئة Environmental Science، وهو البيئة الطبيعية تشمل جميع الكائنات الحية، والعناصر غير الحية، التي توجد على كوكب الأرض بشكل طبيعي، وعلم التبيؤ (الإيكولوجي) Ecology الذي يدرس التفاعلات بين الكائنات الحية وبيئتها الطبيعية الحيوية، وحماية البيئة Environmentalism التي هي عبارة عن حركة اجتماعية مكرسة لحماية أنظمة دعم الحياة على الأرض لجميع أشكال الحياة. وتُمارس حماية البيئة في الساحتين السياسية والأخلاقية أكثر منها في مجال العلوم. لقد صارت مشكلات البيئة اليوم حديث الساعة، وصار من المُلحّ جدّاً إيجاد حلول عاجلة لها، وإلا فإن كوكب الأرض برمته سيكون عُرضةً لتغيرات تنعكس سلباً على حياة البشر والشجر والحجر.

سنتناول في هذا الفصل أبرز المشكلات البيئية التي تؤرق العالم كله وهي ثماني مشكلات: مشكلة زيادة عدد السكان، ومشكلة استخدام الأراضي للزراعة، ومشكلة استخدام الأراضي وموارد الغابات، ومشكلة استخدام الأراضي للتنقيب عن الموارد المعدنية والفحم، ومشكلة استخدام الأراضي للتحضر والنقل، ومشكلة الموارد المائية، ومشكلة تلوث الهواء وطبقة الأوزون، ومشكلة تغير المُناخ والاحتباس الحراري. ولكننا سنفرد للمشكلة الأخيرة جزءاً خاصّاً لوحدها.

كما سنتناول الحلول المقترحة التي يمكن أن تساعد في تقليص حجم هذه المشكلات.

نشتق المبادئ الثلاثة المترابطة للاستدامة من تعلم كيف استطاعت الطبيعة أن تحافظ على مجموعة كبيرة ومتنوعة من الحياة على الأرض لما لا يقل عن 3.5 بليون سنة، مع حدوث تغيرات الجذرية في الظروف البيئية.

مشكلة تغير المناخ والاحتباس الحراري

يعد تغير المناخ Climate Change إحدى النظريات العلمية القليلة التي تجعلنا نفحص الأساس الكامل للمجتمع الحديث. إنه تحدٍّ يجادل فيه السياسيون، ويضع الدول في مواجهة بعضها بعضاً، ويجعلهم يتساءلون عن خيارات نمط الحياة الفردية، ويطرح في النهاية أسئلة حول علاقة البشرية ببقية الكوكب.

يشير أحدث تقرير للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إلى أن الأدلة على تغير المناخ لا لبس فيها؛ مع وجود أدلة على مدى المائة عام الماضية من ارتفاع درجات الحرارة العالمية بمقدار 0.8 درجة مئوية وارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار 22 سم.

اعتماداً على مقدار تحكمنا في انبعاثات غازات الدفيئة المستقبلية (GHG)، يمكن أن يرتفع متوسط درجة حرارة السطح العالمية بين 2.8 درجة مئوية و5.4 درجة مئوية بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يرتفع مستوى سطح البحر العالمي بما يتراوح بين 52 سم و98 سم وستكون هناك تغييرات كبيرة في أنماط الطقس مع المزيد من الظواهر المناخية المتطرفة. هذه ليست نهاية العالم كما تصورها العديد من دعاة حماية البيئة في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، لكنها تعني زيادة هائلة في البؤس لبلايين البشر.

يعد الحد من انبعاثات غازات الدفيئة تحدياً كبيراً لمجتمعنا العالمي. لاينبغي الاستهانة بهذا لأنه بعد مرور 30 عاماً من المفاوضات بشأن تغير المناخ، لم يكن هناك أي انحراف في انبعاثات غازات الدفيئة عن المسار المعتاد.

أدى فشـل مفاوضـات المنـاخ الدوليـة، وعلـى الأخـص في كوبنهاجـن في عـام 2009، إلـى انتكاسـة التخفيضـات العالميـة ذات المغـزى في انبعاثـات غـازات الدفيئـة لمـدة عقـد علـى الأقـل. لكـن يتنامـى التوقـع والأمـل للمفاوضـات المسـتقبلية وهنـاك بعـض بصيـص الأمـل.

بـــــدأت الصـين، التـي تعـد حاليـاً أكبـر مصـدر لغـازات الاحتبـاس الحـراري Global Warming في العالـم، مناقشـة التحريـض علـى مخطـط وطنـي لتجـارة الكربـون. في حـين أن الولايـات المتحـدة، التـي تسـببت في ثلـث التلـوث الكربونـي في الغـلاف الجـوي قـد وضعـت مسـؤولية تنظيـم انبعاثـات ثانـي أكسـيد الكربـون تحـت إشـراف وكالـة حمايـة البيئـة، ممـا يضعهـا علـى مرمـى حجـر مـن الجـدل السياسـي في واشـنطن.

مـع هـذا الافتقـار إلـى اتفـاق سياسـي، هنـاك حجـة اقتصاديـة قويـة لاتخـاذ إجـراءات. تشـير التقديـرات إلـى أن معالجـة تغيـر المنـاخ حاليـاً سـتكلف مـا بـين 2 إلـى 3 % مـن النـاتج المحلـي الإجمالـي العالمـي مقابـل أكثـر مـن 20 % إذا أجلنـا العمـل حتـى منتصـف القـرن.

حتـى لـو لـم تكـن التكلفـة والفوائـد كبيـرة، فـإن الحجـة الأخلاقيـة حاليـاً لمنـع وفـاة عشـرات الملايـين مـن النـاس وتجنـب زيـادة كبيـرة في البـؤس البشـري يجـب أن تكـون واضحـة. إن إيجـاد حـل سياسـي دولـي أمـر حتمـي، فبـدون اتفاقيـة مـا بعـد عـام 2015، فإننـا نتطلـع إلـى زيـادات هائلـة في انبعاثـات الكربـون العالميـة وتغيـر مناخـي حـادٍّ.

يجـب أن يشـمل أي اتفـاق سياسـي البلـدان الناميـة، مـع حمايـة حقهـا في التنميـة، حيـث إنـه مـن الواجـب الأخلاقـي أن يتمكـن النـاس في أفقـر البلـدان مـن الحصـول علـى مسـتوى مماثـل مـن الرعايـة الصحيـة والتعليـم ومتوسـط العمـر المتوقـع مثـل أولئـك الذيـن يعيشـون في الغـرب.

يجب أيضاً تنفيذ سياسات وقوانين تغير المناخ المستندة إلى المفاوضات الدولية على المستويين الإقليمي والوطني لتوفير مستويات متعددة من الحوكمة لضمان حدوث هذه التخفيضات في الانبعاثات فعلاً.

هناك حاجة إلى طرائق جديدة لإعادة توزيع الثروة، على مستوى العالم وداخل الدول على حد سواء، لانتشال بلايين البشر من براثن الفقر دون حدوث زيادات هائلة في الاستهلاك، ونضوب الموارد، وانبعاثات غازات الدفيئة. هناك حاجة أيضاً إلى الدعم والمال لمساعدة البلدان النامية على التكيف مع التغيرات المناخية التي ستحدث لا محالة. لذلك، فإن تغير المناخ يتحدى الطريقة التي ننظم بها مجتمعنا. فهو لا يتحدى مفهوم الدولة القومية مقابل المسؤولية العالمية فحسب، بل يتحدى الرؤية قصيرة المدى للمسؤولين السياسيين.

يحتاج تغير المناخ أيضاً إلى أن يُنظر إليه في سياق التحديات الكبرى الأخرى للقرن الحادي والعشرين: الفقر العالمي، والنمو السكاني، والتدهور البيئي، والأمن العالمي. لمواجهة تحديات القرن الحادي والعشرين، يجب علينا تغيير بعض القواعد الأساسية لمجتمعنا، للسماح لنا بتبني نهج أكثر عالمية وطويل الأجل، وفي القيام بذلك، تطوير حل مربح للجميع يستفيد منه الجميع.

أما بخصوص الاحتباس الحراري فهو يعد من أكثر القضايا العلمية إثارة للجدل في القرن الحادي والعشرين، حيث يمثل تحدياً لبنية مجتمعنا العالمي. تكمن المشكلة في أن الاحتباس الحراري ليس مجرد اهتمام علمي، ولكنه يشمل الاقتصاد وعلم الاجتماع والجغرافيا السياسية والسياسة المحلية واختيار الأفراد لنمط الحياة.

ينتج الاحترار العالمي عن الزيادة الهائلة في غازات الدفيئة، مثل ثاني أكسيد الكربون، في الغلاف الجوي، الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات.

هنـاك دليـل واضـح علـى أننـا قمنـا بالفعـل برفـع تركيـزات ثانـي أكسـيد الكربـون في الغـلاف الجـوي إلـى أعلـى مسـتوى لهـا خـلال النصـف مليـون سـنة الماضيـة وربمـا لفتـرة أطـول.

يعتقـد العلمـاء أن هـذا يتسـبب في ارتفـاع درجـة حـرارة الأرض بشـكل أسـرع مـن أي وقـت آخـر خـلال الألـف سـنة الماضيـة علـى الأقـل. أعلـن أحـدث تقريـر صـادر عـن الهيئـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ (IPCC)، الـذي بلـغ 2600 صفحـة مـن المراجعـة والتحليـل المفصلـين للبحـوث المنشـورة، أن الشـكوك العلميـة المتعلقـة بالاحتبـاس الحـراري قـد جـرى حلهـا بشـكل أساسـي.

هنـاك دليـل واضـح علـى ارتفـاع درجـات الحـرارة العالميـة بمقـدار 0.6 درجـة مئويـة وارتفـاع مسـتوى سـطح البحـر بمقـدار 20 سـم خـلال القـرن العشـرين. كمـا يتوقـع توليـف الهيئـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ أن ترتفـع درجـات الحـرارة العالميـة بمـا يتـراوح بـين 1.4 درجـة مئويـة و5.8 درجـة مئويـة ويمكـن أن يرتفـع مسـتوى سـطح البحـر بمـا يتـراوح بـين 20 سـم و88 سـم بحلـول عـام 2100. بالإضافـة إلـى ذلـك، سـتصير أنمـاط الطقـس أقـل قابليـة للتنبـؤ بهـا وسـيزداد حـدوث الظواهـر المناخيـة المتطرفـة، مثـل: (العواصـف، والفيضانـات، والجفـاف).

سـنعالج في هـذا الفصـل مجموعـة مـن الموضوعـات المتعلقـة بالتغيـر المناخـي والاحتبـاس الحـراري العالمـي. حيـث إننـا سـنقدم الأدلـة العلميـة علـى وجودهمـا الحقيقـي، كمـا أننـا سـنرد علـى المشـككين فيهمـا، وفي الختـام سـنقدم مجموعـة مـن الحلـول المقترحـة للحـد مـن تأثيرهمـا محليّـاً وعالميّـاً.

تُظهر هذه الصورة إزالة الغابات الاستوائية الشديدة في شيانغ ماي، تايلاند. تساعد إزالة الأشجار، التي تمتص ثاني أكسيد الكربون أثناء نموها، على تسريع تغير المناخ. كما أنه يجفف التربة السطحية عن طريق تعريضها لأشعة الشمس. يمكن للتربة السطحية الجافة أن تهب بعيداً، مما قد يؤدي إلى نقطة تحول بيئية لا رجعة فيها، التي لا يمكن بعدها للغابة أن تنمو مرة أخرى في المنطقة.

التغيـــــــرات المُناخيـــــــة

يعد تغير المناخ في المستقبل أحد التحديات المحددة للقرن الحادي والعشرين، إلى جانب التخفيف من حدة الفقر، والتدهور البيئي، والأمن العالمي. تكمن المشكلة في أن «تغير المناخ» لم يعد مجرد اهتمام علمي، ولكنه صار يشمل الاقتصاد وعلم الاجتماع والجغرافيا السياسية والسياسة الوطنية والمحلية والقانون والصحة على سبيل المثال لا الحصر.

سنبحث فيما يأتي في دور غازات الدفيئة (GHGs) في تلطيف المناخ العالمي الماضي، ولماذا تتزايد منذ الثورة الصناعية، ولماذا تعتبر حالياً ملوثات خطيرة. وسنتعرف على أي البلدان تنتج معظم غازات الدفيئة وكيف تتغير مع التطور السريع.

• ما الفـــــرق بين المُنـــــاخ والطقس؟

يحتاج أي استكشاف لتغير المناخ إلى توضيح المقصود بالمناخ باعتباره مفهوماً متميزاً عن الطقس. في جوهر الأمر فإن الطقس هو المظهر اليومي للمناخ. يُحدد مناخ منطقة من خلال الظروف الجوية طويلة الأجل بما في ذلك التغيرات الموسمية. تكمن المشكلة في أن الطقس في حد ذاته ظاهرة متغيرة: إذا لم يكن الأمر كذلك، فسنواجه صعوبة أقل في الوصول إلى تنبؤات أكثر دقة على المدى الطويل. وبالتالي، إذا تغير مناخ منطقة ما، فلا يمكننا تمييز ذلك إلا على مدى فترة طويلة من الزمن بمجرد فصل تغير المناخ المحتمل عن تقلبات الخلفية الطبيعية للطقس. وبالمثل، يشير الفيزيائيون والمهندسون إلى ما يسمونه نسبة الإشارة إلى الضوضاء، وهذا ينطبق على التيارات الكهربائية أو الإشارة الكهرومغناطيسية، سواء أكان بثّاً إذاعيّاً تجاريّاً أم من جُرم نجمي.

وكذلك الحال مع تغير المناخ، تكمن المشكلة في فصل إشارة صغيرة لتغير المناخ عن ضوضاء طقس خلفية كبيرة. على سبيل المثال، صيف شديد الحرارة (أو جفاف، أو رياح موسمية غزيرة، أو أيّاً كان ...) بحد ذاته لا يعني تغير المناخ. من ناحية أخرى، قد يكون لعقد أو أكثر من تلك الأمور على التوالي أهمية مناخية. قبل أن نستكشف تغير المناخ وبخاصة المشكلات الحالية، نحتاج أولاً إلى أن نكون على دراية ببعض المفاهيم والظواهر التي تؤدي إلى الاحترار العالمي الحالي.

• الدفيئة الطبيعية لكوكب الأرض

تُحدد درجة حرارة كوكب الأرض من خلال التوازن بين الطاقة الواردة من الشمس وفقدانها مرة أخرى في الفضاء. من الأشعة الشمسية قصيرة الموجة الواردة إلى الأرض (بشكل أساسي الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي) التي يمر معظمها تقريباً عبر الغلاف الجوي دون تدخل.

الاستثناء الوحيد هو الأوزون الذي -بفضل الله- يمتص الطاقة في مجال الأشعة فوق البنفسجية عالي الطاقة مما يحد من مدى وصوله إلى سطح الأرض؛ لأنه ضار جدّاً بالخلايا والحمض النووي. ينعكس نحو ثلث الطاقة الشمسية مباشرة إلى الفضاء. يجري امتصاص الطاقة المتبقية عن طريق كل من الأرض والمحيط. ومن شأن هذا أن يسخنها، ثم تشع هذا الدفء المكتسب مثل الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة أو الإشعاع الحراري. تُعرف غازات الغلاف الجوي، مثل: بخار الماء وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) باسم غازات الاحتباس الحراري (GHGs) لأنها يمكن أن تمتص بعضاً من هذا الإشعاع طويل الموجة، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة

الغلاف الجوي. جرى قياس هذا التأثير في الغلاف الجوي ويمكن إعادة إنتاجه مراراً وتكراراً في المختبر.

نحن بحاجة إلى تأثير الاحتباس الحراري هذا لأننا بدونه، ستكون درجة حرارة الأرض أكثر برودة على الأقل 35 درجة مئوية، مما يجعل متوسط درجة الحرارة في المناطق المدارية نحو 10 درجة مئوية تحت الصفر.

منذ الثورة الصناعية، بقينا نحرق الوقود الأحفوري (النفط، والفحم، والغاز الطبيعي) المترسب منذ مئات الملايين من السنين، مما أدى إلى إطلاق الكربون مرة أخرى في الغلاف الجوي، مثل: ثاني أكسيد الكربون والميثان، مما زاد من تأثير الاحتباس الحراري ورفع درجة حرارة الأرض. في الواقع نحن نحرق ضوء الشمس المتحجر.

• المنـــاخ الماضـــي

أعيد بناء تغير المناخ في الماضي الجيولوجي باستخدام عدد من المحفوظات الرئيسية، بما في ذلك الرواسب البحرية والبحيرات، ولب الجليد، ورواسب الكهوف، وحلقات الأشجار. تكشف هذه السجلات المختلفة أنه على مدار الخمسين مليون سنة الماضية، بدأ مناخ الأرض في البرودة، وانتقل مما يسمى بـ (عالم الاحتباس الحراري) في عصر الإيوسين، بظروف دافئة ولطيفة، إلى عالم الجليد الأكثر برودة وديناميكية اليوم.

قد يبدو غريباً أن كوكبنا شديد البرودة من الناحية الجيولوجية، بينما نهتم هنا بالاحترار السريع للكوكب. هذا لأن حقيقة وجود طبقات جليدية ضخمة في كل من القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) وغرينلاند، والجليد البحري شبه الدائم في المحيط المتجمد الشمالي، تجعل المناخ العالمي شديدَ الحساسية للتغيرات في غازات الدفيئة.

بدأ التبريد العالمي طويل المدى للأرض مع التجلد في القارة القطبية الجنوبية منذ نحو 35 مليون سنة، ثم العصر الجليدي الكبير في نصف الكرة الشمالي، الذي بدأ منذ 2.5 مليون سنة. ومنذ بداية العصور الجليدية الشمالية العظيمة، تحول المناخ العالمي من ظروف كانت مماثلة أو حتى أكثر دفئاً قليلاً مما هي عليه اليوم، إلى العصور الجليدية الكاملة، مما تسبب في تكوين طبقات جليدية يزيد سمكها على 3 كيلومترات فوق معظم أمريكا الشمالية وأوروبا.

منذ ما بين 1 – 2.5 مليون سنة، حدثت هذه الدورات الجليدية وبين الجليدية كل 41000 سنة، ومنذ مليون سنة كانت تحدث كل 100000 سنة. إن دورات العصر الجليدي العظيمة هذه مدفوعة بشكل أساسي بالتغيرات في مدار الأرض المتعلق بالشمس. في الواقع، لقد أمضى العالم أكثر من 80 % من الـ 2.5 مليون سنة الماضية في ظروف أكثر برودة من الوقت الحاضر.

بدأ العصر الجليدي الحالي، عصر الهولوسين Holocene، قبل نحو 10000 عام، وهو مثال على الظروف الدافئة النادرة التي تحدث بين كل عصر جليدي. بدأ الهولوسين مع النهاية السريعة والدرامية للعصر الجليدي الأخير: في أقل من 4000 عام زادت درجات الحرارة العالمية بمقدار 6 درجات مئوية، وارتفع مستوى سطح البحر النسبي بمقدار 120 متراً، وزاد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمقدار الثلث، وتضاعف غاز الميثان في الغلاف الجوي.

ومع ذلك، فإن هذا أبطأ بكثير من التغييرات التي نشهدها اليوم. يقترح جيمس لوفلوك في كتابه (عصور غايا The Ages of Gaia) أن الكواكب الجليدية، مثل عصر الهولوسين، هي الحالة المحمومة لكوكبنا، التي من الواضح أنها تفضل خلال 2.5 مليون سنة الماضية متوسط درجة حرارة عالمية أكثر برودة. يرى لوفلوك أن الاحتباس الحراري هو مجرد زيادة في الحمى البشرية.

• الاختلافات السابقة في ثاني أكسيد الكربون

إحدى الطرائق التي نعرف من خلالها أن ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي مهم في التحكم في المناخ العالمي من خلال هذه الدراسة للمناخ الماضي. تأتي الأدلة على هذه الاختلافات السابقة في غازات الدفيئة ودرجة الحرارة من عينات الجليد التي جرى حفرها في كل من القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند. عندما يتساقط الثلج، يكون خفيفاً ورقيقاً ويحوي على الكثير من الهواء. عندما يُضغط هذا الثلج ببطء لتكوين جليد، يحتجز بعضاً من هذا الهواء.

من خلال استخراج فقاعات الهواء المحبوسة في الجليد القديم، يمكن للعلماء قياس النسبة المئوية لغازات الدفيئة التي كانت موجودة في الغلاف الجوي السابق. لقد حفر العلماء لمسافة تزيد على 3 كم في كل من الصفائح الجليدية في غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، مما مكنهم من إعادة بناء كمية غازات الدفيئة التي تولدت في الغلاف الجوي على مدى نصف مليون سنة الماضية.

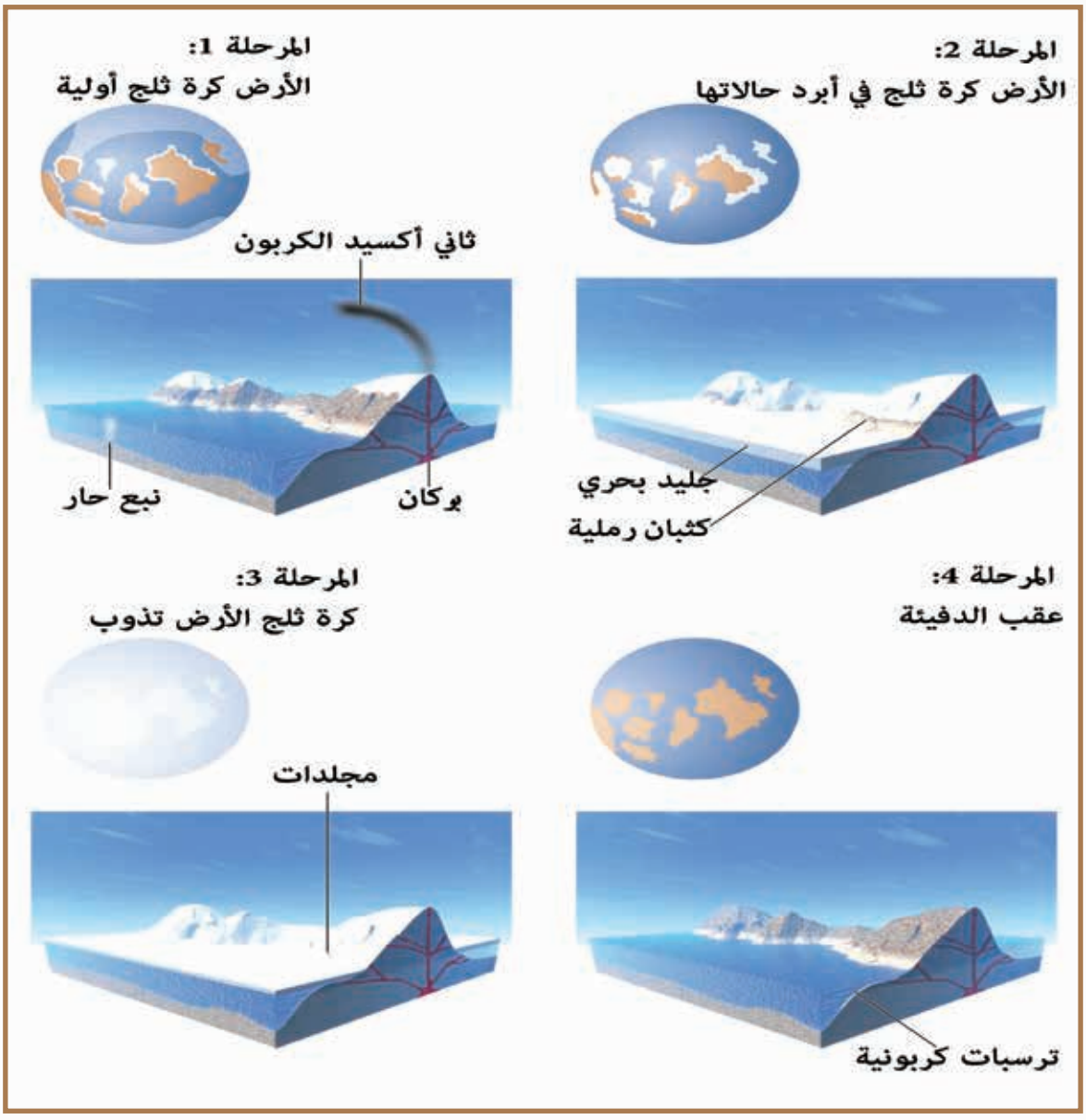
من خلال فحص نظائر الأكسجين والهيدروجين في المياه المجمدة التي تشكل لب الجليد، من الممكن تقدير درجة حرارة الهواء فوق الصفيحة الجليدية عندما تجمد الماء لأول مرة. كانت النتائج مذهلةً، حيث تتفاوت غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والميثان مع درجات الحرارة على مدار 800000 عام الماضية.

يمكن رؤية التغيرات الدورية في المناخ من فترات جليدية إلى فترات ما بين العصر الجليدي في درجات الحرارة ومحتوى غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وهذا يدعم بقوة فكرة أن غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ودرجة الحرارة العالمية مرتبطة ارتباطاً وثيقاً، أي عندما تزداد كمية ثاني أكسيد الكربون والميثان، نجد أن درجة الحرارة تزداد والعكس صحيح.

• المزارعـــون الأوائـــل

تُظهر الأدلة عالية الدقة عن جليد غرينلاند والحواف القارية للقارة القطبية الجنوبية أيضاً أن غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ازدادت بمقدار ضئيل قبل الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر. اقترح بيل روديمان، أستاذ علم المناخ القديم في جامعة فيرجينيا، أن المزارعين الأوائل تسببوا في حدوث انعكاس في التدهور الطبيعي لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ نحو 7000 عام وبدء ازدياد غاز الميثان في الغلاف الجوي منذ نحو 5000 عام.

تسببت هذه الفكرة في قدرٍ كبير من الجدل، ولكن مثل كل النظريات الجيدة، جرى اختبارها مراراً وتكراراً، ولم يتمكن أحد من دحضها بعد. لذلك فهي تقول بشكل أساسي أن التفاعلات البشرية المبكرة مع بيئتنا زادت من انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بدرجة كافية لدرجة أنه حتى قبل الثورة الصناعية كان هناك تأثير كافٍ لتأخير بداية العصر الجليدي التالي، الذي كان سيبدأ بهدوء في أي وقت في سنوات الألفية الآتية.



تناوب كرة الثلج والدفيئة على سطح الأرض. تنخفض درجات الحرارة العالمية وتتشكل كتل الجليد، مما يعكس الطاقة الشمسية إلى الفضاء. يبرد الغلاف الجوي، وتنخفض درجات الحرارة العالمية. تصير الأرض مدفونة في الجليد. مع عدم هطول الأمطار، يتراكم ثاني أكسيد الكربون البركاني في الغلاف الجوي، ويبدأ الكوكب في الاحترار وذوبان الجليد البحري. يبدأ تأثير الاحتباس الحراري المكثف، مما يؤدي إلى ذوبان الجليد، ودفع الأرض إلى حالة الدفيئة.

• الثـــورة الصناعيـــة

هناك دليل واضح على أن مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي آخذة في الارتفاع منذ بداية الثورة الصناعية. لقد بدأت القياسات الأولى لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام 1958 على ارتفاع نحو 4000 متر، على قمة جبل ماونا لوا في هاواي. وقد أُجريت القياسات هنا لتكون بعيدة عن مصادر التلوث المحلية.

يُظهر السجل بوضوح أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي زادت كل عام منذ عام 1958. وارتفع متوسط التركيز البالغ نحو 316 جزءاً في المليون بالحجم في عام 1958 إلى أكثر من 400 جزء في المليون حالياً. وترجع التغيرات السنوية في مرصد ماونا لوا في الغالب إلى امتصاص النباتات لثاني أكسيد الكربون. حيث يكون الامتصاص أعلى في فصل الربيع في نصف الكرة الشمالي. ومن ثم يحدث في كل ربيع، هناك انخفاض في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الذي للأسف لا يغير الاتجاه العام نحو قيم أعلى من أي وقت مضى.

الاختلاف بين الفترات الدافئة والباردة هو نحو 80 جزء في المليون، أي أقل من تلوث ثاني أكسيد الكربون الذي وضعناه في الغلاف الجوي على مدار المائة عام الماضية. إنه يوضح أن مستوى التلوث الذي تسببنا فيه بالفعل في قرن واحد يمكن مقارنته بالتغيرات الطبيعية التي استغرقت آلاف السنين.

• من الـــذي ينتـــــج التلـــــوث؟

جـرى إنشـاء اتفاقيـة الأمم المتحـدة الإطاريـة بشـأن تغيـر المنـاخ (UNFCCC) لإنتاج أول اتفاقية دولية بشـأن الحد من انبعاثات غازات الدفيئة العالمية. ومع ذلك، فإن هذه المُهمَّة ليست بهذه البساطة كما تبدو للوهلة الأولى، لأن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لا تنتجها البلدان بالتساوي. وفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، فإن المصدر الرئيسي الأول لثاني أكسيد الكربون هو حرق الوقود الأحفوري، نظراً لأن أربعة أخماس انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية تأتي من إنتاج الطاقة والعمليات الصناعية والنقل.

هذه النسبة ليست موزعة بالتساوي في جميع أنحاء العالم بسبب التوزيع غير المتكافئ للصناعة والثروة؛ ينبعث من أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا أكثر من 90 % من ثاني أكسيد الكربون العالمي المنتج صناعيّاً. علاوة على ذلك، فإن انبعاثات الدول المتقدمة تاريخيّاً كانت أكثر بكثير من انبعاثات الدول الأقل نموّاً.

المصدر الرئيسي الثاني، الذي يمثل خُمُس انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية، هو نتيجة للتغيرات في استخدام الأراضي. تأتي هذه الانبعاثات بشكل أساسي من قطع الغابات لأغراض الزراعة أو التحضر أو الطرق. عندما تُقطع مساحات كبيرة من الغابات المطيرة، غالباً ما تتحول الأرض إلى أراضٍ عشبية أقل إنتاجية مع قدرة منخفضة بشكل كبير على تخزين ثاني أكسيد الكربون.

هنا يختلف نمط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث تكون أمريكا الجنوبية وآسيا وأفريقيا مسؤولة عن أكثر من 90 % من انبعاثات تغير استخدام الأراضي في الوقت الحاضر. يثير هذا أسئلة أخلاقية مُهمَّة؛ لأنه من الصعب إخبار هذه البلدان بوقف إزالة الغابات، في حين أن هذا حدث تاريخيّاً بالفعل في كثير من دول أمريكا الشمالية وأوروبا قبل بداية القرن العشرين. حيث إن كمية

ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من العمليات الصناعية لا تزال تفوق بشكل كبير التغيرات في استخدامات الأراضي.

إذن من هم الذين تسببوا في هذه الزيادة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟ بطبيعة الحال، فإن البلدان المتقدمة هي التي أصدرت تاريخيّاً معظم غازات الدفيئة البشرية (من صنع الإنسان)، حيث كانت تنبعث منها منذ بداية الثورة الصناعية في النصف الأخير من القرن الثامن عشر.

مع أهمية عبء الكربون التاريخي هذا، وفقاً لتوقعات هيئة الطاقة الدولية، إلا أنه يتغير بسرعة. بين عامي 2015 و2044، سيضع العالم نصف تريليون طن من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وهي الكمية نفسها التي انبعثت بين عامي 1750 و2015. ويرجع ذلك إلى أن البلدان النامية بسرعة، مثل: الصين والهند وجنوب إفريقيا والبرازيل،... إلخ. يزيدون انبعاثاتهم من غازات الدفيئة بمعدل ضخم، حيث ترتبط التنمية الاقتصادية ارتباطاً وثيقاً باستهلاك الطاقة.

كمية نصف تريليون طن من الكربون التي وضعت في الغلاف الجوي منذ الثورة الصناعية لا تمثل سوى نصف إجمالي انبعاثاتنا. يبدو أن 50 % من انبعاثاتنا قد امتصتها الأرض، و25 % تذهب إلى المحيطات و25 % تذهب إلى الغلاف الحيوي الأرضي.

ومع ذلك، فإن العلماء قلقون لأن إزالة التلوث لدينا من غير المرجح أن تستمر بشكل كامل في المستقبل. هذا لأنه مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية، سترتفع درجة حرارة المحيطات وستكون قادرة على الاحتفاظ بكمية أقل من ثاني أكسيد الكربون. مع استمرارنا في إزالة الغابات وتحويل الأراضي للزراعة والتحضر، سيكون هناك مقدار أقل من الغطاء النباتي لامتصاص ثاني أكسيد الكربون، مما يقلل مرة أخرى من امتصاص تلوث الكربون لدينا.

الأدلـــة على حـــدوث تغيرات مُناخيـة

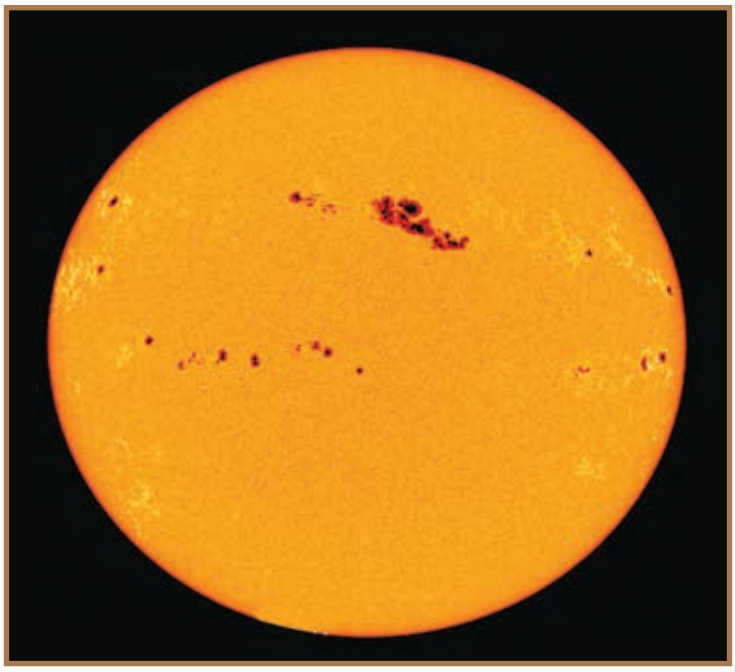
العلم ليس نظاماً معتقداً. على سبيل المثال، لا يمكنك أن تقرر أنك تؤمن بالمضادات الحيوية (لأنها قد تنقذ حياتك) أو أن الأنابيب المعدنية الثقيلة ذات الأجنحة يمكن أن تطير (لأنك تريد الذهاب في إجازة)، ولكن في الوقت نفسه تنكر أن التدخين يسبب السرطان، أو أن فيروس نقص المناعة البشرية يسبب الإيدز، أو أن غازات الدفيئة تسبب تغير المناخ. يعتمد العلم على منهجية عقلانية تمضي قدماً باستخدام الملاحظة التفصيلية والتجريب لاختبار الأفكار والنظريات باستمرار. إنه أساس مجتمعنا العالمي.

إذا أردنا أن نفهم تغيّر المناخ، يجب أن نفهم كيف يعمل العلم ومبدأ (وزن الدليل Weight of Evidence)، الذي يدفع بالحاجة المستمرة إلى تجميع بيانات جديدة وإجراء تجارب جديدة لاختبار أفكارنا ونظرياتنا المتعلقة بالمناخ. على مدى الثلاثين عاماً الماضية، لا بد أن نظرية تغير المناخ كانت واحدة من أكثر الأفكار التي جرى اختبارها شمولاً في العلوم.

يوجد ستة مجالات رئيسية من الأدلة التي ينبغي النظر فيها:

- **أولاً:** تتبع ارتفاع غازات الدفيئة في الغلاف الجوي وفهمنا لدورها في التغيرات المناخية السابقة.
- **ثانياً:** نعلم من القياسات المختبرية والجوية أن هذه الغازات تمتص بالفعل الحرارة عندما تكون موجودة في الغلاف الجوي.
- **ثالثاً:** إذا قمنا بتتبع التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة العالمية وارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الماضي.
- **رابعاً:** إذا قمنا بتحليل آثار التغيرات الطبيعية على المناخ بما في ذلك البقع

الشمسية والانفجارات البركانية، ومع أنها ضرورية لفهم نمط التغيرات في درجات الحرارة على مدى الـ 150 عاماً الماضية، إلا أنها لا تستطيع تفسير الاتجاه العام للاحتباس الحراري.



البقع الشمسية كما رُصدت خلال دورة عالية من نشاط البقع الشمسية يوم 29 مارس 2001. البقع الشمسية واضحة؛ لأنها أبرد قليلاً من بقية سطح الشمس. تتشكل عندما تبرز المجالات المغناطيسية الشديدة من الداخل. مجموعة البقع الشمسية هذه كبيرة بشكل غير عادي، حيث تزيد مساحتها على 13 ضعف مساحة سطح الأرض.

- **خامساً:** لقد لاحظنا تغيرات كبيرة في نظام مناخ الأرض بما في ذلك انحسار الجليد البحري في القطب الشمالي، وتراجع الأنهار الجليدية الجبلية في جميع القارات، وتقلص التربة الصقيعية وزيادة عمق الطبقة النشطة.
- **سادساً:** نحن نتابع الطقس العالمي باستمرار وشهدنا تحولاتٍ كبيرةً في عدد وشدة الظواهر المتطرفة.

• درجـــــة حـــــرارة

جـرى تقديـر درجـات الحـرارة علـى مـدار 2000 عـام الماضيـة مـن عـدد مـن المصـادر، سـواء أكانـت مؤشـرات مباشـرة تعتمـد علـى مقيـاس الحـرارة أم مؤشـرات قائمـة علـى الوكيـل. مـا ملـف الوكيـل؟ كمـا هـو مسـتخدم هنـا وفي أي مـكان آخـر، فهـو اختصـار لـ (المتغيـر الوكيـل Proxy variable). يسـتخدم مصطلـح (الوكيـل) بشـكل شـائع لوصـف البديـل، كمـا هـو الحـال في (التصويـت بالوكالـة) أو (القتـال بالوكالـة). وبالطريقـة نفسـها، فـإن (المتغيـر الوكيـل) في مصطلحـات علـم المنـاخ يعنـي (واصفـاً) قابـلاً للقيـاس يمثـل متغيـراً مرغوبـاً (ولكـن غيـر قابـل للرصـد)، مثـل درجـة حـرارة المحيـط أو الأرض في الماضـي. لذلـك هنـاك افتـراض أنـه يمكنـك اسـتخدام المتغيـر الوكيـل لتقديـر متغيـر مناخـي لا يمكنـك قياسـه بشـكل مباشـر. علـى سـبيل المثـال، قياسـات الأقمـار الصناعيـة بالأشـعة تحـت الحمـراء هـي أمثلـة علـى وكيـل يمكـن اسـتخدامه لتقديـر درجـات حـرارة السـطح.

لقـد جـرى تسـجيل قياسـات درجـة حـرارة الهـواء المعتمـدة علـى مقيـاس الحـرارة في عـدد مـن المواقـع في أمريـكا الشـمالية وأوروبـا منـذ 1760. ولـم يـزد عـدد مواقـع المراقبـة إلـى تغطيـة جغرافيـة عالميـة كافيـة للسـماح بحسـاب متوسـط الأرض العالمـي حتـى نحـو منتصـف القـرن التاسـع عشـر.

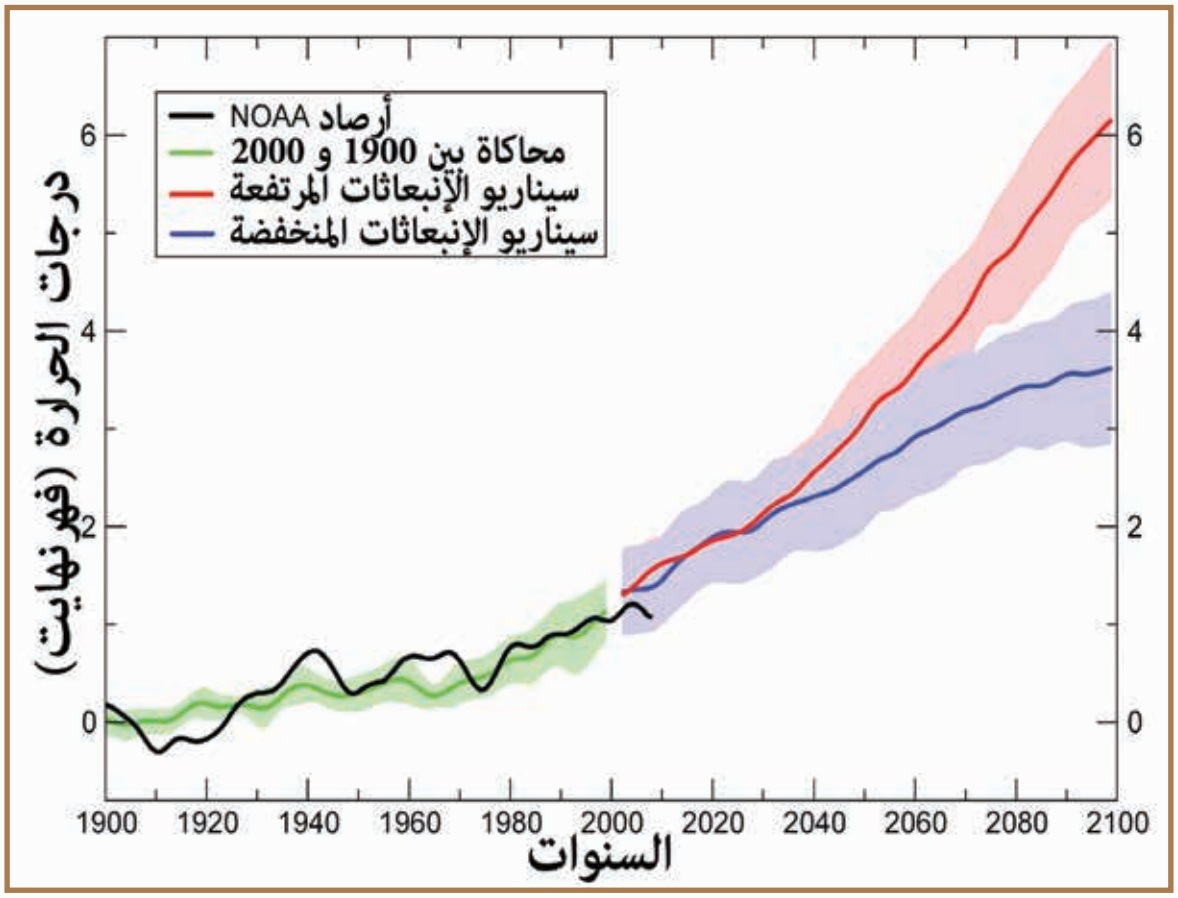
كمـا سُـجّلت درجـات حـرارة سـطح البحـر (SSTs) ودرجـات حـرارة الهـواء البحـري (MATs) بشـكل منهجـي مـن قبـل السـفن منـذ منتصـف القـرن التاسـع عشـر، ولكـن حتـى اليـوم تغطيـة نصـف الكـرة الجنوبـي سـيئة جـدّاً بسـبب مسـاحة المسـطح المائـي الكبـرة جـدّاً. تتطلـب كل مجموعـات البيانـات هـذه تصحيحـات مختلفـة لمراعـاة الظـروف المتغيـرة وتقنيـات القيـاس.

على سبيل المثال، بالنسبة لبيانات الأرض، فقد فُحصت كل محطة للتأكد من أن الظروف لم تتغير بمرور الوقت نتيجة للتغيرات في موقع القياس، أو الأدوات المستخدمة، أو ملاجئ الأجهزة، أو طريقة حساب المتوسطات الشهرية، أو نمو المُدن حول المواقع، مما يؤدي إلى درجات حرارة أكثر دفئاً بسبب تأثير جزيرة الحرارة الحضرية. في التقرير العلمي للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، جرى الاعتراف بتأثير جزيرة الحرارة الحضرية على أنه حقيقي ولكنه مهمل بالنسبة لتجميع درجات الحرارة العالمية (أقل من 0.006 درجة مئوية).

بالنسبة لـ (SST) و(MAT)، هناك عدد من التصحيحات التي يجب تطبيقها:

- **أولاً** : حتى عام 1941، أجريت معظم قياسات درجة حرارة سطح البحر في مياه البحر التي رُفعت على سطح السفينة في دلو. ومنذ عام 1941، أُجريت معظم القياسات من مآخذ المياه لمحركات السفن.

- **ثانياً**: بين عامي 1856 و1910، كان هناك تحول من الدلاء الخشبية إلى الدلاء القماشية، مما غيّر مقدار التبريد الناتج عن التبخر الذي يحدث أثناء رفع المياه إلى سطح السفينة. بالإضافة إلى ذلك، خلال هذه الفترة كان هناك تحول تدريجي من السفن الشراعية إلى البواخر، مما أدى إلى تغيير ارتفاع سطح السفينة وسرعة السفن والبواخر، والذي يمكن أن يؤثر في تبريد الدلاء بالتبخير.



التغير المتوقع في درجة حرارة سطح البحر حتى عام 2100.

التصحيح الرئيسي الآخر الذي يجب إجراؤه هو التوزيع العالمي لمحطات الأرصاد الجوية عبر الزمن، والتي تباينت بشكل كبير منذ عام 1870. ولكن من خلال إجراء هذه التصحيحات، من الممكن إنتاج سجل مستمر لدرجة حرارة سطح الأرض من عام 1880 إلى عام 2012، الذي يُظهر ارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار 0.85 درجة مئوية خلال هذه الفترة. هذه الملاحظات مدعومة بـ 50 عاماً من بيانات البالون والأقمار الصناعية. على سبيل المثال، هناك أكثر من 800 محطة تطلق مسابير أولية مرتين يومياً (أدوات الأرصاد الجوية)، أو بالونات، لقياس درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والضغط عبر الغلاف الجوي على ارتفاع نحو 20 كم، حيث تنفجر.

جرى أيضاً إعادة بناء درجات الحرارة العالمية لفترات زمنية سابقة لتأريخ سجلات الأدوات أو مقياس الحرارة. وقد جرى تحقيق ذلك باستخدام وكلاء المناخ القديم مثل سمك حلقات الأشجار والتركيب النظائري لقلوب الجليد أو رواسب الكهوف لتقدير درجات الحرارة المحلية.

ظهر مصطلح (عصا الهوكي Stick Hockey) للاحتباس الحراري، عندما جرى دمج السجل الوسيط لدرجة الحرارة العالمية مع عمليات إعادة بناء المناخ القديم على مدار 2000 عام الماضية. في هذا السياق، من الواضح أن الخمسين عاماً الماضية كانت مختلفة تماماً وأكثر دفئاً من 2000 عام الماضية.

❖ الهطـــولات المطريـــــة

يوجد مجموعتان من بيانات هطولات الأمطار العالمية: الأول هو هوليم Hulme، والثاني هو الشبكة العالمية للمناخ التاريخي (GHCN). لسوء الحظ، على عكس درجات الحرارة، لم توثّق بيانات هطولات الأمطار والثلوج جيداً ولم تُصنع سجلات لفترة طويلة. ومن المعروف أيضاً أن هطولات الأمطار البرية تميل إلى التقليل من شأنه بنسبة تصل إلى 10-15 % بسبب تأثيرات تدفق الهواء حول طبق التجميع. بدون تصحيح هذا التأثير، يمكن أن يكون هناك اتجاه تصاعدي زائف في هطولات الأمطار العالمية.

مع وجود هذه المشكلات، يبدو أن هناك زيادةً كبيرةً في هطولات الأمطار على مدى السنوات الخمس والعشرين الماضية، لا سيَّما في خطوط العرض الوسطى في نصف الكرة الشمالي. ويدعم ذلك الدليل على أن المحتوى المائي في الغلاف الجوي منذ ثمانينيات القرن الماضي قد ازداد فوق اليابسة والمحيط وكذلك في طبقة التروبوسفير العُليا. هذا يتوافق مع بخار الماء الإضافي الذي يمكن أن يحمله الغلاف الجوي الأكثر دفئاً.

هنـاك أدلـة علـى زيـادة عالميـة في هطـولات الأمطـار ولكـن الدليـل علـى هـذا التغييـر أقـوى بكثيـر عنـد النظـر في المناطـق الفرديـة. يشـير أحـدث تقريـر للهيئـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ إلـى حـدوث زيـادات كبيرة في هطـول الأمطار في الأجـزاء الشـرقية مـن أمريـكا الشـمالية والجنوبيـة، وشـمال أوروبـا، وشـمال ووسـط آسـيا. يبـدو أن موسـمية هطـول الأمطـار تتغيـر أيضـاً، علـى سـبيل المثـال في خطـوط العـرض العُليـا في نصـف الكـرة الشـمالي، مـع زيـادة هطـول الأمطـار في الشـتاء وانخفـاض في الصيـف.

• أدلة أخرى على ظاهرة الاحتباس الحراري

تأتـي الأدلـة الأخـرى علـى تغيـر المنـاخ مـن خطـوط العـرض العُليـا ومـن مراقبـة الظواهـر الجويـة المتطرفـة. فقـد انخفـض المتوسـط السـنوي لمـدى الجليـد البحـري في القطـب الشـمالي بـين 1979 و2012 في المجمـوع بمعـدل 3.5 إلـى 4.1 % لـكل عقـد ممـا يعنـي خسـارة مـا بـين 0.45 إلـى 0.51 مليـون كيلومتـر مربـع مـن الجليـد البحـري لـكل عقـد.

في حـين أن الحـد الأدنـى للجليـد البحـري في الصيـف قـد انخفـض أكثـر بنسـبة تتـراوح بـين 9.4 إلـى 13.6 % لـكل عقـد، وهـو مـا يعـادل 0.73 إلـى 1.07 مليـون كيلومتـر مربـع لـكل عقـد. علـى النقيـض مـن عامـي 1979 و2012، زاد المتوسـط السـنوي لمـدى الجليـد البحـري في القـارة القطبيـة الجنوبيـة بمعـدل يتـراوح بـين 1.2 و 1.8 % لـكل عقـد، وهـو مـا يمثـل نمـوّاً يتـراوح بـين 0.13 و 0.20 مليـون كيلومتـر مربـع لـكل عقـد.

هنـاك أيضـاً أدلـة مـن مناطـق التربـة الصقيعيـة. توجـد التربـة الصقيعيـة في مناطـق خطـوط العـرض العاليـة والارتفاعـات العاليـة، حيـث يكـون الجـو شـديد

البرودة لدرجة أن الأرض تتجمد صلبة إلى عمق كبير. خلال أشهر الصيف، يصير العمق الأعلى بمقدار متر أو نحو ذلك من التربة الصقيعية دافئاً بدرجة كافية للذوبان، وهذا ما يسمى (الطبقة النشطة Active layer).

كان هناك ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار 3 درجات مئوية في ألاسكا ودرجتين مئويتين في شمال أوروبا / روسيا، وقد انخفض إلى متر واحد على الأقل خلال الخمسين عاماً الماضية، مما يدل على أن الطبقة النشطة صارت أعمق. انخفض الحد الأقصى للمساحة التي تغطيها التربة الصقيعية الموسمية بنسبة 7 % في نصف الكرة الشمالي منذ عام 1900، مع انخفاض في الربيع بنسبة تصل إلى 15 %. وسيؤدي هذا الغلاف الجليدي الديناميكي المتزايد إلى تضخيم المخاطر الطبيعية على الأشخاص والهياكل ووصلات الاتصال. لقد رأينا هذا بالفعل في الأضرار التي لحقت بالمباني والطرق وخطوط الأنابيب، مثل خطوط أنابيب النفط التي تضررت في ألاسكا.

بالإضافة إلى ذلك، هناك دليل على أن معظم، إن لم يكن كل، الأنهار الجليدية غير الجليدية في حالة انحسار. انخفض إجمالي تساقط الثلوج والغطاء الجليدي بشكل كبير خاصة في نصف الكرة الشمالي. على سبيل المثال، تُظهر سجلات الغطاء الجليدي من نهر تورنيو في فنلندا، التي جرى تجميعها منذ 1693، أن ذوبان الجليد في الربيع للنهر المتجمد يحدث حالياً قبل شهر من موعده.

هناك أدلة أيضاً على أن أنماط الطقس لدينا تتغير. على سبيل المثال، في السنوات الأخيرة، ضربت العواصف الشديدة والفيضانات اللاحقة الصين وإيطاليا وإنجلترا وكوريا وبنغلاديش وفنزويلا وموزمبيق. في إنجلترا في أعوام 2000 و2007 و2013 و2014، حدثت الفيضانات والعواصف المصنفة على أنها «أحداث تحدث مرة كل 200 عام» في غُضون 13 عاماً وفي كثير من الأحيان خلال عام واحد.

عـلاوة على ذلـك، كان شتاء 2013 و2014 في بريطانيا هو الأكثر رطوبة منذ أن بدأت السجلات في القرن الثامن عشر، بينما كان أغسطس 2008 هو الأكثر رطوبة على الإطلاق، والربيع البريطاني يأتي حالياً في وقت مبكر، مع وجود أدلة على أن الطيور تعشش من 4 إلى 12 يوم مما كانت عليه قبل 35 عاماً.

كذلك تتحرك أنواع الحشرات - بما في ذلك النحل والنمل الأبيض - التي تحتاج إلى طقس دافئ للبقاء على قيد الحياة شمالاً، وقد وصل بعضها بالفعل إلى إنجلترا عن طريق عبور القنال من فرنسا. زاد تواتر موجات الحر في أوروبا وآسيا وأستراليا، على سبيل المثال، في أوروبا في عامي 2003 و2007، وروسيا في عام 2010، والولايات المتحدة الأمريكية في عام 2012، وأستراليا في عامي 2009 و2014.

هناك أيضاً أدلة على حدوث المزيد من العواصف في نصف الكرة الشمالي. فقد رُصد ارتفاع الموج في شمال المحيط الأطلسي منذ أوائل الخمسينيات من القرن الماضي، من السفن المنارة ومحطات الطقس في المحيط ومؤخراً من الأقمار الصناعية. بين خمسينيات وتسعينيات القرن الماضي، زاد متوسط ارتفاع الموجة من 2.5 متراً إلى 3.5 متراً، بزيادة قدرها 40 %.

شدة العاصفة هي المحدد الرئيسي لارتفاع الموجة، مما يوفر دليلاً على زيادة نشاط العاصفة على مدار الأربعين عاماً الماضية. يتناسب هذا أيضاً مع الزيادة الملحوظة في الأعاصير الشتوية خارج المدارية، أي تلك التي تحدث في خطوط العرض الوسطى، والتي زادت بشكل ملحوظ على مدار المائة عام الماضية، مع ارتفاعات كبيرة في كل من قطاعي المحيط الهادئ والأطلسي منذ أوائل السبعينيات. هناك أيضاً أدلة على زيادة نشاط الأعاصير المدارية الشديدة منذ السبعينيات في شمال المحيط الأطلسي.

• مـــاذا يقـــول المشـــككون؟

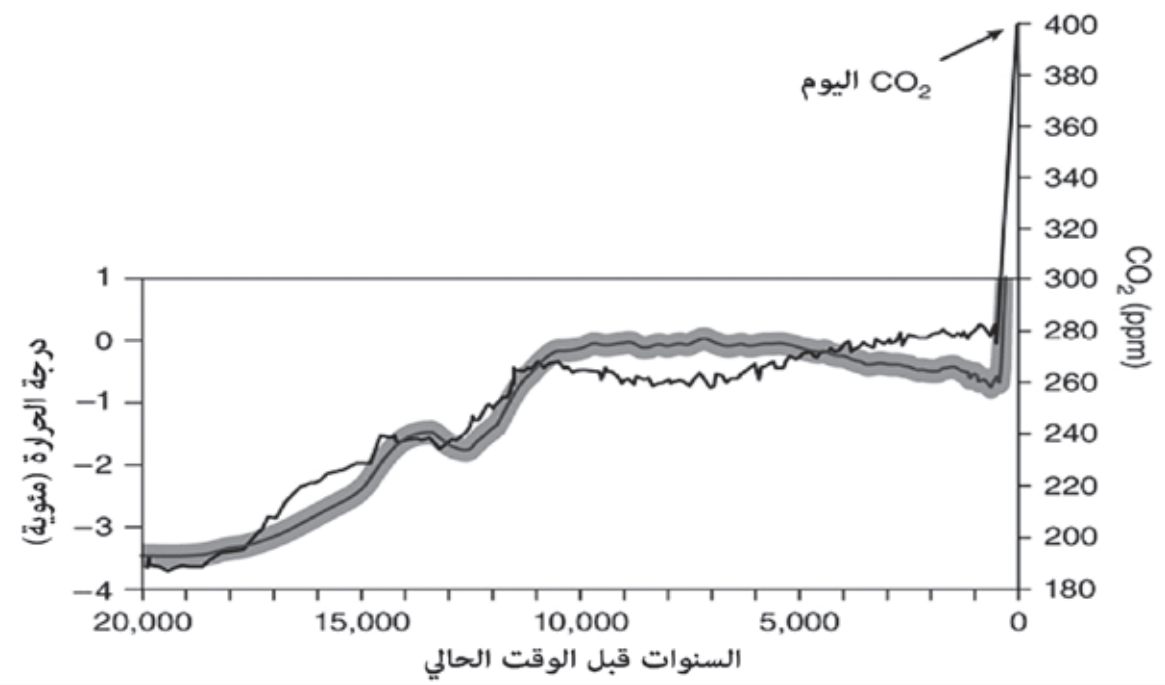
واحدة من أفضل الطرائق لتلخيص الأدلة على تغير المناخ هي مراجعة ما يقوله المشككون في الاحتباس الحراري أو المنكرون لتغير المناخ ضد أحدث العلوم الحالية. إذْ يشكك جميع العلماء الكبار في حالة المعرفة الحالية، وهذا يدفعهم إلى الأمام في إجراء أرصاد وتجارب جديدة للسماح لهم بتطوير نظريات جديدة قابلة للاختبار. المبدأ الأساسي لـ «وزن الدليل» في العلم هو طريقة اختبار المتشككين حول الأفكار والبيانات الجديدة. لذا فإن مصطلح (منكري تغير المناخ) ربما يكون مصطلحاً أفضل من الناحية الفنية؛ لأنهم ينكرون الثقل العلمي للأدلة.

1. التشكيك الأول: تشير بيانات الجليد الأساسية إلى استجابة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي لدرجة الحرارة العالمية، وبالتالي لا يمكن لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أن يسبب تغيرات في درجات الحرارة العالمية.

الرد على التشكيك الأول: في نهاية العصر الجليدي الأخير مع ارتفاع درجة حرارة الأرض، نعلم الآن من عينات اللب الجليدية من غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية أن النصف الشمالي والجنوبي من الكرة الأرضية قد ارتفعت درجة حرارته في أوقات مختلفة وبمعدلات مختلفة. علاوة على ذلك، هناك أحداث مناخية على مدى آلاف السنين، عندما انفصلت كميات هائلة من الجليد عن الغطاء الجليدي لأمريكا الشمالية، مما أدى إلى إغراق شمال المحيط الأطلسي بالمياه العذبة المتغيرة في دوران المحيط وفي جوهرها محاولة إعادة المناخ العالمي إلى ظروف أكثر برودة.

وقـع أحـــد هـذه الأحداث الـذي يُسـمّى حـدث هاينريش Heinrich Event قبل نحو 15000 عـام والآخـر كان الدرياسـي الأصغـر Younger Dryas، والـذي حـدث قبـل نحـو 12000 عام. بسبب (التأرجح المناخي ثنائي القطب) Bipolar Climate Seesaw المسماة بشـكل رائـع، كلمـا بـرد نصـف الكـرة الأرضيـة الشـمالي، يتـم تصديـر الحـرارة إلـى الجنـوب ودفـء النصـف الجنوبـي مـن الكـرة الأرضيـة.

لذلـك إذا قارنـت سـجل درجـة حـرارة الجليـد الأساسـي الفـردي مـع مسـتويات ثانـي أكسـيد الكربـون في الغـلاف الجـوي المعـاد بناؤهـا، فسـتكون هنـاك أوقـات يبـدو فيهـا أن العلاقـة تتبـادل. لفهـم العلاقـة بـين درجـات الحـرارة العالميـة وثانـي أكسـيد الكربـون فعـلاً، أنشـأ الباحـث د. جيريمـي شـاكون مـن جامعـة هارفـارد وزمـلاؤه مجموعـة رئيسـية مـن جميـع سـجلات درجـات الحـرارة عبـر نهايـة العصـر الجليـدي الأخيـر. يوضـح هـذا أن ثانـي أكسـيد الكربـون الموجـود في الغـلاف الجـوي يقـود درجـات الحـرارة العالميـة ممـا يزيـد مـن ثقتنـا بأنـه يسـهم في ارتفـاع درجـة حـرارة الأرض مـع خروجنـا مـن آخـر عصـر جليـدي عظيـم.



تغيرات درجات الحرارة العالمية وثاني أكسيد الكربون خلال العشرين ألف سنة الماضية.

2. التشكيك الثاني: جرى تصحيح أو تعديل كل مجموعة بيانات تظهر الاحترار العالمي لتحقيق هذه النتيجة المرجوة.

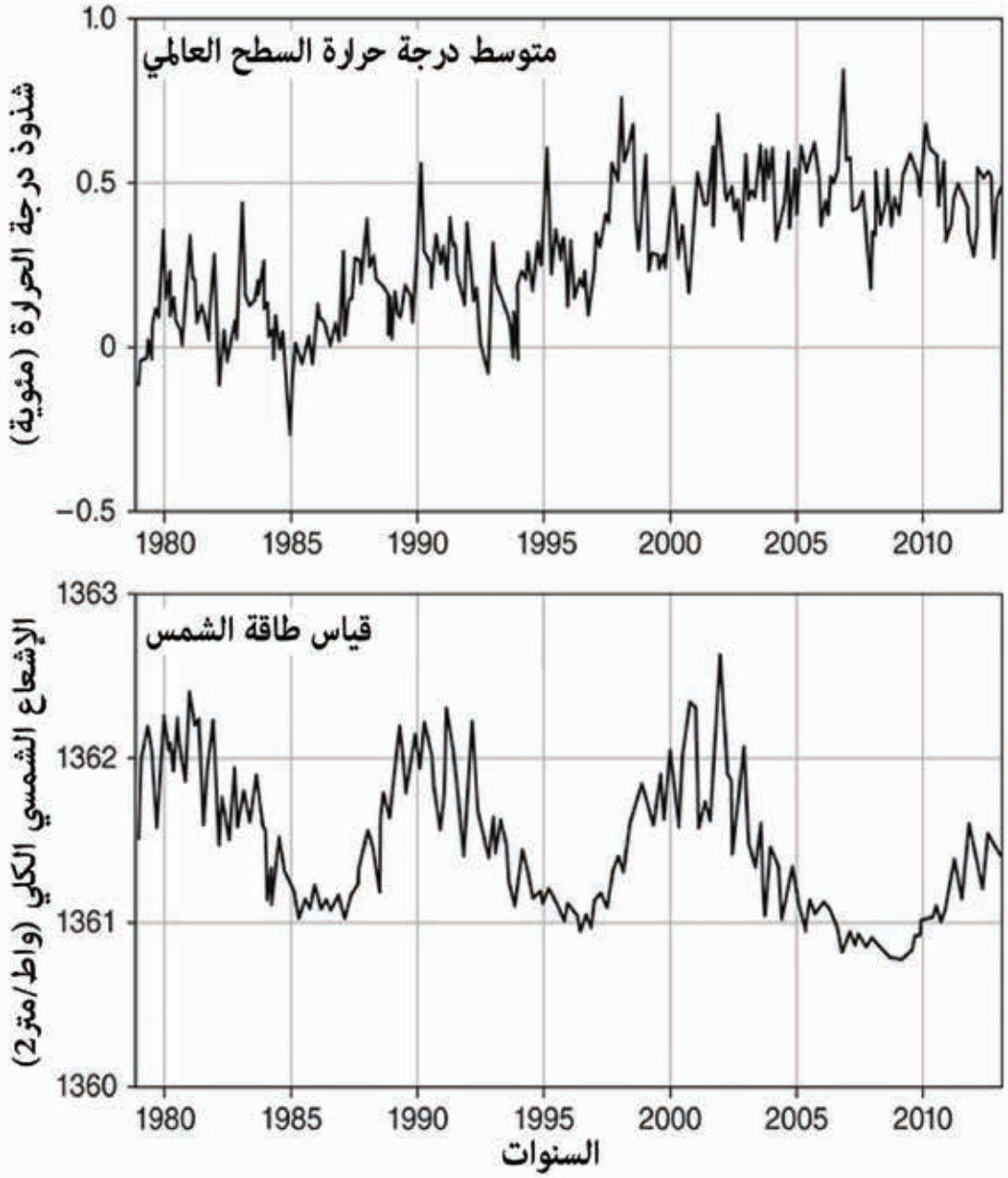
الرد على التشكيك الثاني: بالنسبة للأشخاص الذين لا يشاركون بانتظام في العلوم، يبدو أن هذه هي المشكلة الأكبر في حجة (حدث تغير المناخ). كما هو موضح أعلاه، تتطلب جميع مجموعات البيانات المناخية التي تغطي الـ 150 عاماً الماضية نوعاً من التعديل، وهذا جزء من العملية العلمية. على سبيل المثال، إذا لم يجرِ إيلاء عناية كبيرة للاتجاهات الزائفة في قاعدة البيانات العالمية لهطول الأمطار، سنفترض حالياً أن هطولات الأمطار العالمي آخذ في الازدياد. ومع تقدم العلم بشكل تدريجي، فإنه يكتسب المزيد والمزيد من الفهم والبصيرة في مجموعات البيانات التي يقوم ببنائها.

هـذا الاسـتفهام المسـتمر لجميـع البيانـات والتفسـيرات هـو القـوة الأساسـية للعلم: كل تصحيح أو تعديل جديد يرجع إلى فهم أكبر للبيانات والنظام المناخي، وبالتالي فإن كل دراسة جديدة تضيف إلى ثقتنا في النتائج. هذا هو السبب في أن تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ يشير إلى (وزن الدليل)، حيث إن ثقتنا في العلم تزداد إذا جرى الحصول على نتائج مماثلة من مصادر مختلفة تماماً.

3. التشكيك الثالث: التغييرات الأخيرة في درجات الحرارة العالمية ترجع إلى التغيرات في الشمس.

الرد على التشكيك الثالث: يتفق كل من المتشككين وعلماء المناخ على أن البقع الشمسية والنشاط البركاني يؤثران في المناخ ودرجات الحرارة العالمية. الفرق بين المعسكرين هو أن المتشككين يولون أهمية أكبر لأهمية هذه الاختلافات الطبيعية. هناك أدلة على أن الدورة الشمسية التي تبلغ مدتها 11 عاماً، والتي يختلف خلالها إنتاج طاقة الشمس بنحو 0.1 %، يمكن أن تؤثر في تركيزات الأوزون ودرجات الحرارة والرياح في الستراتوسفير. ومع ذلك، فإن هذه التغييرات لها تأثير ضئيل جدّاً في درجات حرارة السطح.

لا يوجد دليل أيضاً على حدوث تغير واضح طويل المدى في إنتاج الشمس خلال القرن الماضي، حيث كانت الزيادات التي يسببها الإنسان في تركيزات ثاني أكسيد الكربون كبيرة. يوضح الشكل الآتي أنه منذ عام 1980، مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية، لم يكن هناك تغيير ملحوظ في الاتجاه في إنتاج الطاقة الشمسية. علاوة على ذلك، تُظهر ملاحظة اتجاهات درجات الحرارة المختلفة على ارتفاعات مختلفة في الغلاف الجوي بوضوح أن الاحترار العام لا يمكن أن يكون بسبب زيادة الإشعاع الشمسي.



منحنٍ بياني يوضح العلاقة بين البقع الشمسية ودرجات الحرارة العالمية.

4. التشكيك الرابع: التباطؤ الأخير في الاحتباس الحراري يعني أن تغير المناخ ليس بالسوء المتوقع.

الرد على التشكيك الرابع: أحد أسباب تباطؤ الاحتباس الحراري أو حتى توقفه هو عام 1998، الذي كان أحد أكثر الأعوام دفئاً على الإطلاق. كان هذا العام متطرفاً لأنه أعقب ظاهرة النينيو El Niño القوية بين عامي 1997-1998 الذي أدى إلى ارتفاع درجة حرارة واحدة على الأقل حول العالم.

ومع ذلك، عندما يلاحظ المرء الرسم البياني لدرجة الحرارة العالمية، ينجذب المرء إلى هذا الحدث ويبدو أنه لم يكن هناك أي ارتفاع في درجات الحرارة منذ ذلك الحين. من الواضح أن الزيادة في متوسط درجة حرارة السطح قد تباطأت مقارنة بالعقد السابق. لذلك كان معدل الاحترار أبطأ في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين مقارنة بالتسعينيات، لكن العقد الأول من القرن الحادي والعشرين لا يزال أكثر دفئاً من التسعينيات.

إن التباطؤ قصير المدى في ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض مثل هذا لا يبطل فهمنا لتغير المناخ. فقد تحدث التغييرات في المعدل أو الاحترار بين العقود بشكل طبيعي في نظام المناخ. يمكن ملاحظة ذلك في أرصاد درجات الحرارة على مدار الـ 150 عاماً الماضية. وذلك لأن الغلاف الجوي يخزن القليل جدّاً من الحرارة، وبالتالي يمكن أن تتأثر درجات حرارة السطح بسرعة بامتصاص الحرارة في أماكن أخرى من النظام المناخي والتغيرات في التأثيرات الخارجية على المناخ مثل الانفجارات البركانية والبقع الشمسية. تمتص المحيطات أكثر من 90 % من الحرارة المضافة إلى الأرض ولا تخترق إلا ببطء في المياه العميقة.

سيؤدي تغلغل الحرارة بشكل أسرع في المحيط الأعمق إلى إبطاء الاحترار الملحوظ على السطح وفي الغلاف الجوي، ولكنه لن يغير الاحترار طويل المدى

في حد ذاته والذي سيحدث بسبب مستويات معينة من غازات الدفيئة. على سبيل المثال، نعلم أن الحرارة تخرج من المحيط إلى الغلاف الجوي أثناء أحداث ظاهرة النينيو الدافئة، ويتم ضخ المزيد من الحرارة في أعماق المحيط خلال ظاهرة النينيا الباردة.

على مدى العقد الماضي، كانت هناك مصادفة لعدد من تأثيرات التبريد الصغيرة بما في ذلك فترة هادئة نسبيّاً للنشاط الشمسي وزيادة مقاسة في كمية الهباء الجوي (الجسيمات العاكسة) في الغلاف الجوي بسبب الآثار التراكمية لتعاقب البراكين ذات الانفجارات الصغيرة. ولكن عند النظر إلى سجل درجات الحرارة العالمية عقداً بعد عقد، يتضح أن العقود الثلاثة الماضية كانت جميعها أكثر دفئاً على التوالي من سابقتها.

الاحتبـــاس الحـــراري العالمـــــي

الاحتـرار أو الاحتبـاس الحـراري العالمـي هـو ارتفـاع درجـة حـرارة الغـلاف الجـوي السـفلي لـلأرض (التروبوسـفير) بسـبب الزيـادات في تركيـزات واحـد أو أكثر مـن غـازات الدفيئـة. يمكـن أن يـؤدي إلـى تغيـر المنـاخ الـذي يمكـن أن يسـتمر مـن عقـود إلـى آلاف السـنين. ويشـمل تغيـر المنـاخ المعاصـر كلاً مـن الاحتبـاس الحـراري وتأثيراتـه في أنمـاط طقـس الأرض. كانـت هنـاك فتـرات سـابقة لتغيـر المنـاخ، ولكـن التغيـرات الحاليـة أسـرع بشـكل واضـح وليسـت نتيجـة لأسـباب طبيعيـة.

لقـد تركـزت المناقشـات -خـلال السـبعينيات وأوائـل الثمانينيـات مـن القـرن الماضـي- حـول القضايـا البيئيـة إلـى حـد كبيـر علـى تلـوث الهـواء والمـاء وتأثيـرات الأمطـار الحمضيـة علـى البحيـرات والنظـم البيئيـة الأرضيـة.

كانـت المخـاوف خطيـرة وتضمنـت الآثـار التلـوث المحلـي والإقليمـي العابـر للحـدود في الـدول القوميـة المجـاورة. علـى مقربـةٍ مـن هـذا السـيناريو البيئـي يوجـد تأثيـر آخـر لبعـض هـذه الغـازات في المنـاخ العالمـي ككل.

كمـا شـمل ذلـك كميـة أقـل مـن الأشـعة تحـت الحمـراء التـي تغـادر طبقـة التروبوسـفير وبالتالـي الاحتفـاظ بكميـات أكبـر مـن الحـرارة في الغـلاف الجـوي لـلأرض. يُظهـر الاطـلاع علـى الأدبيـات العلميـة أن آثـار هـذه الظاهـرة - أي احتبـاس الحـرارة بواسـطة الغـازات - قـد ذُكـرت في وقـت مبكـر مـن عـام 1827 مـن قبـل الفرنسـي جـان بابتيسـت فوريـيه. لقـد كان فوريـيه هـو الـذي قـدم مفهـوم تأثيـر الاحتبـاس الحـراري لتحديـد العمليـات الطبيعيـة التـي تحافـظ الأرض مـن خلالهـا علـى تـوازن الحـرارة. كتـب بعـد ذلـك الكيميائـي السـويدي سـفانتي أرهينيـوس في تسـعينيات القـرن التاسـع عشـر تحديـداً دور ثانـي أكسـيد الكربـون، كمـا فعـل روجـر ريفيـل في معهـد سـكريبس لعلـوم المحيطـات في عـام 1957.

• الدفيئة الطبيعية للأرض

يجري التحكم في درجة حرارة الأرض من خلال التوازن بين المدخلات من طاقة الشمس وفقدانها مرة أخرى في الفضاء. تعتبر غازات معينة في الغلاف الجوي ضرورية لتوازن درجة الحرارة وتعرف باسم (غازات الاحتباس الحراري).

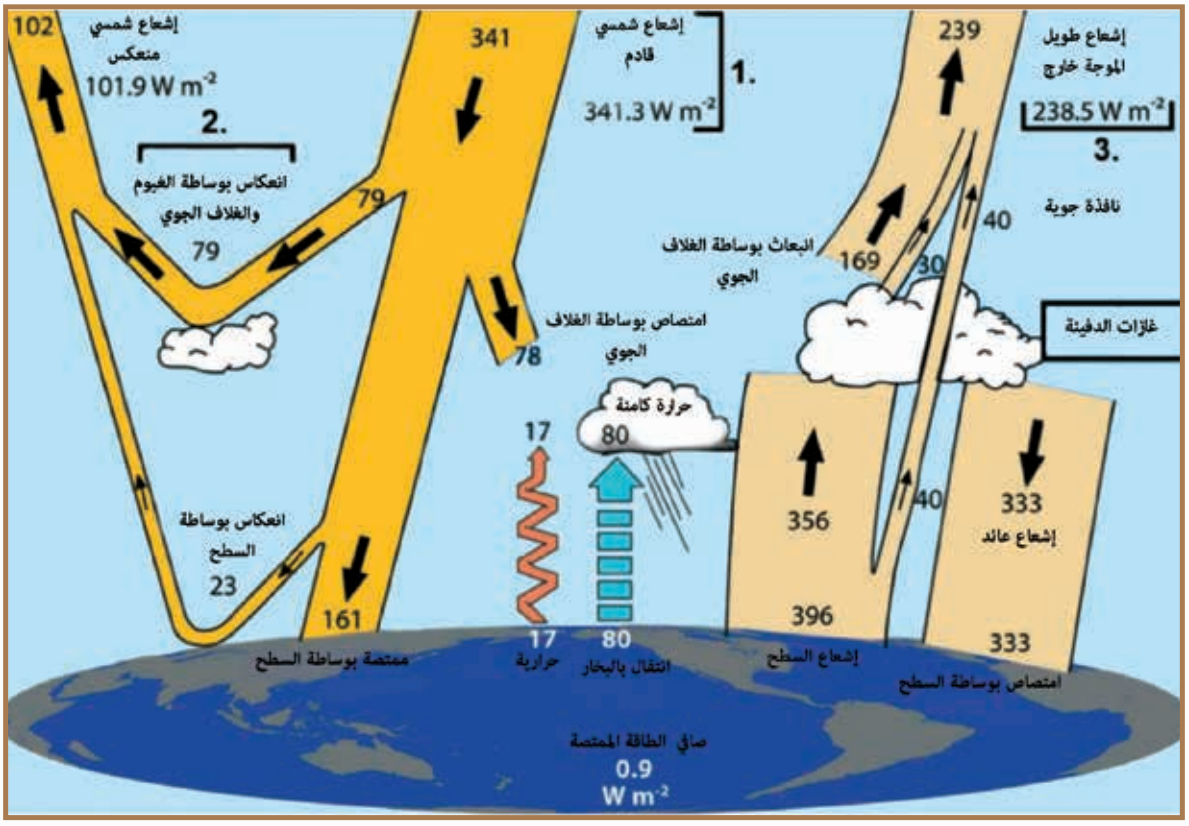
تكون الطاقة المتلقاة من الشمس عادةً في شكل إشعاع قصير الموجة، أي في الطيف المرئي والأشعة فوق البنفسجية. في المتوسط، ينعكس نحو ثلث هذا الإشعاع الشمسي الذي يضرب الأرض مرة أخرى إلى الفضاء. ومن البقية، يمتص الغلاف الجوي بعضها، لكن معظمها تمتصه الأرض والمحيطات.

يصير سطح الأرض دافئاً ونتيجة لذلك تنبعث أشعة تحت الحمراء طويلة الموجة. تحبس غازات الدفيئة وتعيد إصدار بعض من هذا الإشعاع طويل الموجة، وتسخن الغلاف الجوي.

تشمل غازات الدفيئة التي تحدث بشكل طبيعي بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون والميثان وأكسيد النيتروز، وتشكّل معاً دفيئة طبيعية أو تأثيراً شاملاً، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض. مع أن غازات الدفيئة غالباً ما تُصوّر في الرسوم البيانية كطبقة واحدة، ويحدث هذا فقط لإثبات (تأثيرها الشامل)، حيث إنها في الواقع مختلطة في جميع أنحاء الغلاف الجوي.

هناك طريقة أخرى لفهم (الدفيئة الطبيعية للأرض) وهي مقارنتها بأقرب جيران لها. يُحدّد مناخ الكوكب من خلال عدة عوامل: كتلته، وبعده عن الشمس، وبالطبع تكوين غلافه الجوي وبخاصة كمية الغازات المسببة للاحتباس الحراري. على سبيل المثال، كوكب المريخ صغير جدّاً، وبالتالي فإن جاذبيته أصغر من أن تحتفظ بجو كثيف؛ غلافه الجوي أرق بمائة مرة من غلاف الأرض ويتكون أساساً من ثاني أكسيد الكربون. يبلغ متوسط درجة حرارة سطح المريخ نحو

50 درجة مئوية تحت الصفر؛ لذا فإن القليل من ثاني أكسيد الكربون الموجود يتجمد على الأرض. وبالمقارنة، فإن كوكب الزهرة له كتلة الأرض نفسها تقريباً ولكن غلافه الجوي أكثر كثافة، ويتكون من 96 % من ثاني أكسيد الكربون. تنتج هذه النسبة العالية من ثاني أكسيد الكربون الاحترار العالمي الشديد، وبالتالي فإن درجة حرارة سطح الزهرة تزيد على 460 درجة مئوية فوق الصفر.



متوسـط تـوازن الطاقـة العالمـي السـنوي للأرض

يتكـون الغـلاف الجـوي لـلأرض مـن 78 % نيتروجـين و 21 % أكسـجين و1 % غـازات أخـرى. هـذه الغـازات الأخـرى هـي التـي نهتـم بهـا؛ لأنهـا تشـمل مـا يسـمى بغـازات الاحتبـاس الحـراري. أهـم غازيـن مـن غـازات الدفيئـة همـا ثانـي أكسـيد الكربـون وبخـار المـاء.

حالياً، يمثل ثاني أكسيد الكربون 0.03-0.04 % فقط من الغلاف الجوي، بينما يتفاوت بخار الماء من 0 إلى 2 %. بدون تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي الذي ينتجه هذان الغازان، سيكون متوسط درجة حرارة الأرض نحو 20 درجة مئوية تحت الصفر.

المقارنة مع المناخ على كوكب المريخ والزهرة كبيرة جدّاً بسبب سماكة الغلاف الجوي المختلفة والكميات النسبية لغازات الدفيئة. ومع ذلك، نظراً لأن كمية ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء يمكن أن تختلف على الأرض، فإننا نعلم أن هذا التأثير الطبيعي للاحتباس الحراري قد أنتج نظاماً مناخيّاً غير مستقر بشكل طبيعي وغير قابل للتنبؤ به مقارنةً بالمريخ والزهرة.

❖ المنـــــاخ الماضي ودور ثاني أكســـــيد الكربـــــون

إحدى الطرائق التي نعرف من خلالها أن ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مهم في التحكم في المناخ العالمي من خلال دراسة مناخنا السابق. على مدى المليونين ونصف المليون سنة الماضية، تبدل مناخ الأرض بين العصور الجليدية العظيمة، مع وجود طبقات جليدية يزيد سمكها على 3 كيلومترات فوق أمريكا الشمالية وأوروبا، إلى ظروف كانت أكثر اعتدالاً مما هي عليه اليوم.

هذه التغييرات سريعة جدّاً إذا ما قورنت بالتغيرات الجيولوجية الأخرى، مثل حركة القارات حول العالم، حيث إننا ننظر إلى فترة زمنية قدرها ملايين السنين. لكن كيف نعرف عن هذه العصور الجليدية الضخمة ودور ثاني أكسيد الكربون؟

يأتي الدليل بشكل أساسي من عينات اللب الجليدية التي جرى حفرها في كل من القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند. عندما يتساقط الثلج، يكون خفيفاً ورقيقاً ويحوي على الكثير من الهواء. عندما ينضغط هذا الهواء ببطء لتكوين

ثلج، يجري احتجاز بعض من هذا الهواء. من خلال استخراج فقاعات الهواء المحبوسة في الجليد القديم، يمكن للعلماء قياس النسبة المئوية لغازات الدفيئة التي كانت موجودة في الغلاف الجوي السابق.

لقد حفر العلماء ما يزيد على ميلين في كل من الصفائح الجليدية في غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، مما مكنهم من إعادة بناء كمية غازات الدفيئة التي حدثت في الغلاف الجوي على مدار نصف مليون سنة الماضية.

من خلال فحص نظائر الأكسجين والهيدروجين في لب الجليد، يمكن تقدير درجة الحرارة التي تشكل فيها الجليد. كانت النتائج مذهلة، حيث تتباين غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (CO_2) والميثان (CH_4) مع درجات الحرارة على مدى 400000 عام الماضية. وهذا يدعم بقوة فكرة أن محتوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ودرجة الحرارة العالمية مرتبطان ارتباطاً وثيقاً، أي عندما يزداد ثاني أكسيد الكربون والميثان، تزداد درجة الحرارة والعكس صحيح.

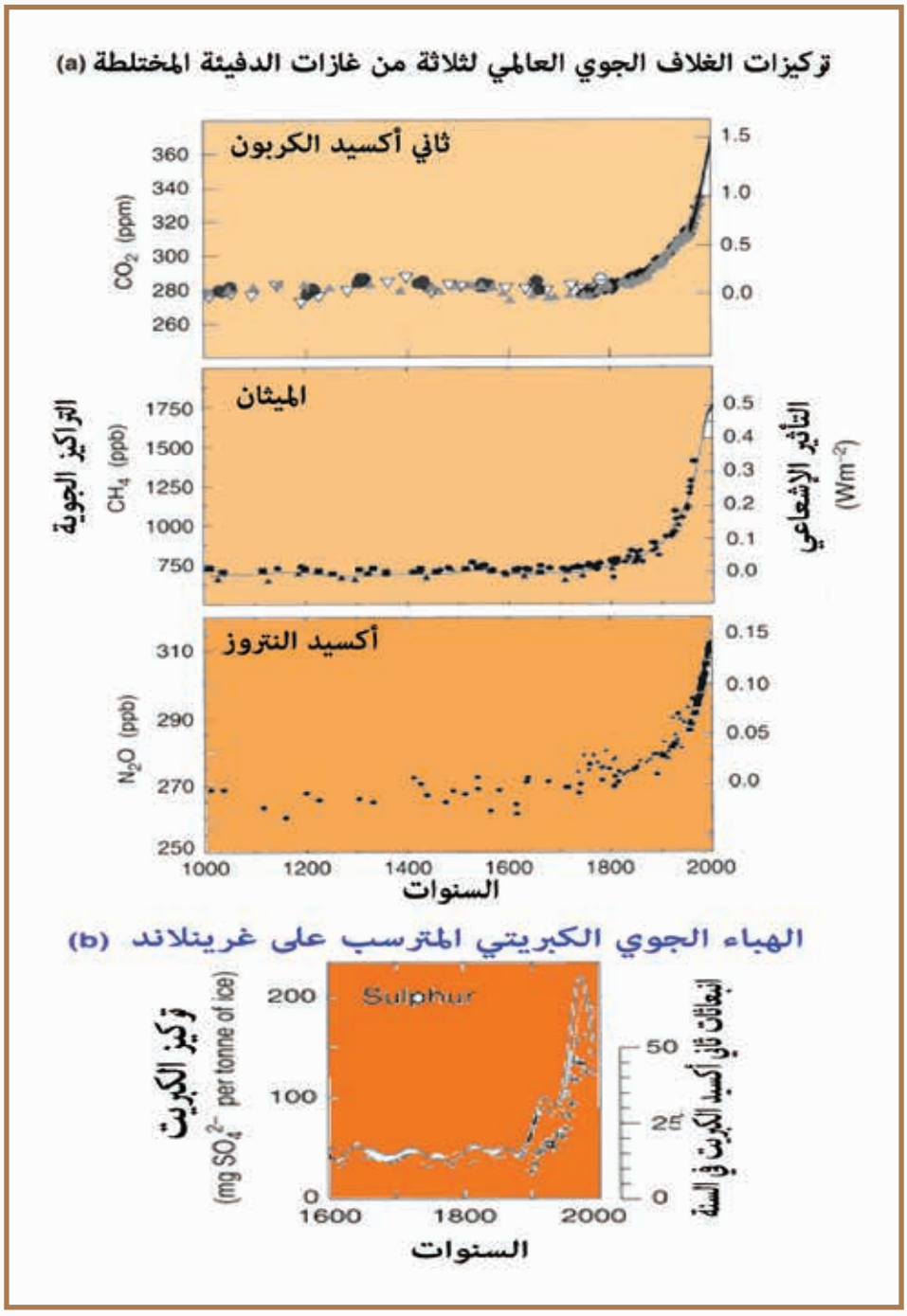
هذا هو أكبر اهتمامنا بالمناخ في المستقبل: إذا استمرت مستويات غازات الدفيئة في الارتفاع، فستستمر درجة حرارة الغلاف الجوي أيضاً في الارتفاع. تقدم دراسة المناخ في الماضي، كما سنرى لاحقاً، أدلة كثيرة حول ما يمكن أن يحدث في المستقبل.

واحدة من أكثر النتائج إثارة للقلق من دراسة عينات الجليد والبحيرات ورواسب أعماق البحار هي أن المناخ الماضي قد تغير إقليميّاً بما لا يقل عن 5 درجات مئوية في بضعة عقود، مما يشير إلى أن المناخ يتبع مساراً غير خطي. ومن ثم يجب أن نتوقع مفاجآت مباغتة ودراماتيكية عندما تصل مستويات غازات الاحتباس الحراري إلى نقطة انطلاق غير معروفة في المستقبل.

❖ ارتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي خلال الفترة الصناعية

أحد المجالات القليلة المثيرة للجدل حول الاحتباس الحراري الذي يبدو أنه مقبول عالميّاً هو أنه يوجد دليل واضح على أن مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي آخذة في الارتفاع منذ بداية الثورة الصناعية.

ذكرنا سابقاً أن القياسات الأولى لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بدأت في عام 1958 على ارتفاع نحو 4000 متر على قمة جبل ماونا لوا في هاواي. ويمكن دمج بيانات ثاني أكسيد الكربون هذه من مرصد ماونا لوا مع العمل التفصيلي على لب الجليد لإنتاج سجل كامل لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ بداية الثورة الصناعية.



مؤشرات تأثير الإنسان على تكوين الغلاف الجوي خلال العصر الصناعي.

ما يوضحه هذا هو أن ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد زاد من تركيز ما قبل الصناعة بنحو 280 جزء من المليون بالحجم إلى أكثر من 370 جزءاً في المليون في الوقت الحالي، وهو ما يمثل زيادة قدرها 160 بليون طن، مما يمثل زيادة إجمالية قدرها 30 %.

ترافقت هذه الزيادة في ثاني أكسيد الكربون مع ارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار 6 درجات مئوية حيث حرر العالم نفسه من قبضة العصر الجليدي الأخير. مع أن السبب النهائي لنهاية العصر الجليدي الأخير كان التغيرات في مدار الأرض حول الشمس، فقد أدرك العلماء الذين يدرسون المناخات الماضية الدور المركزي لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي باعتباره ردود فعل مناخية تترجم هذه الاختلافات الخارجية إلى تضاؤل في العصور الجليدية. إنه يوضح أن مستوى التلوث الذي تسببنا فيه بالفعل في قرن واحد يمكن مقارنته بالتغيرات الطبيعية التي استغرقت آلاف السنين.

• تأثير الاحتباس الحراري المعزز

يدور الجدل حول فرضية الاحتباس الحراري ما إذا كانت غازات الدفيئة الإضافية التي تُضاف إلى الغلاف الجوي ستعزز تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي.

يجادل المتشككون في ظاهرة الاحتباس الحراري بأنه مع ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، إلا أن هذا لن يتسبب في الاحتباس الحراري، إما أن التأثيرات صغيرة جدّاً أو أن هناك ردودَ فعل طبيعية أخرى ستواجه الاحترار الكبير. حتى لو أخذ المرء وجهة نظر غالبية العلماء وتقبل أن حرق الوقود الأحفوري سيؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة، فهناك نقاش مختلف حول مقدار ارتفاع درجات الحرارة بالضبط. ثم هناك نقاش حول ما إذا كان

المناخ العالمي سيستجيب بطريقة خطية لغازات الدفيئة الإضافية أو ما إذا كانت هناك عتبة مناخية تنتظرنا.

يزيد تأثير الاحتباس الحراري المعزز من متوسط درجة حرارة سطح الأرض، مما يخلق تأثير الدومينو على العمليات غير الحية والحية الأخرى بحكم ترابطها البيئي وتفاعلها. جرى التعرف على هذا الارتباط منذ أكثر من 100 عام عندما تبين أن الزيادة في درجة حرارة السطح مرتبطة بزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وهي زيادة مرتبطة باحتراق الفحم كما ذكر الكيميائي السويدي سفانتي أرينيوس في عام 1896.

• غـــازات الاحتبـاس الحـراري

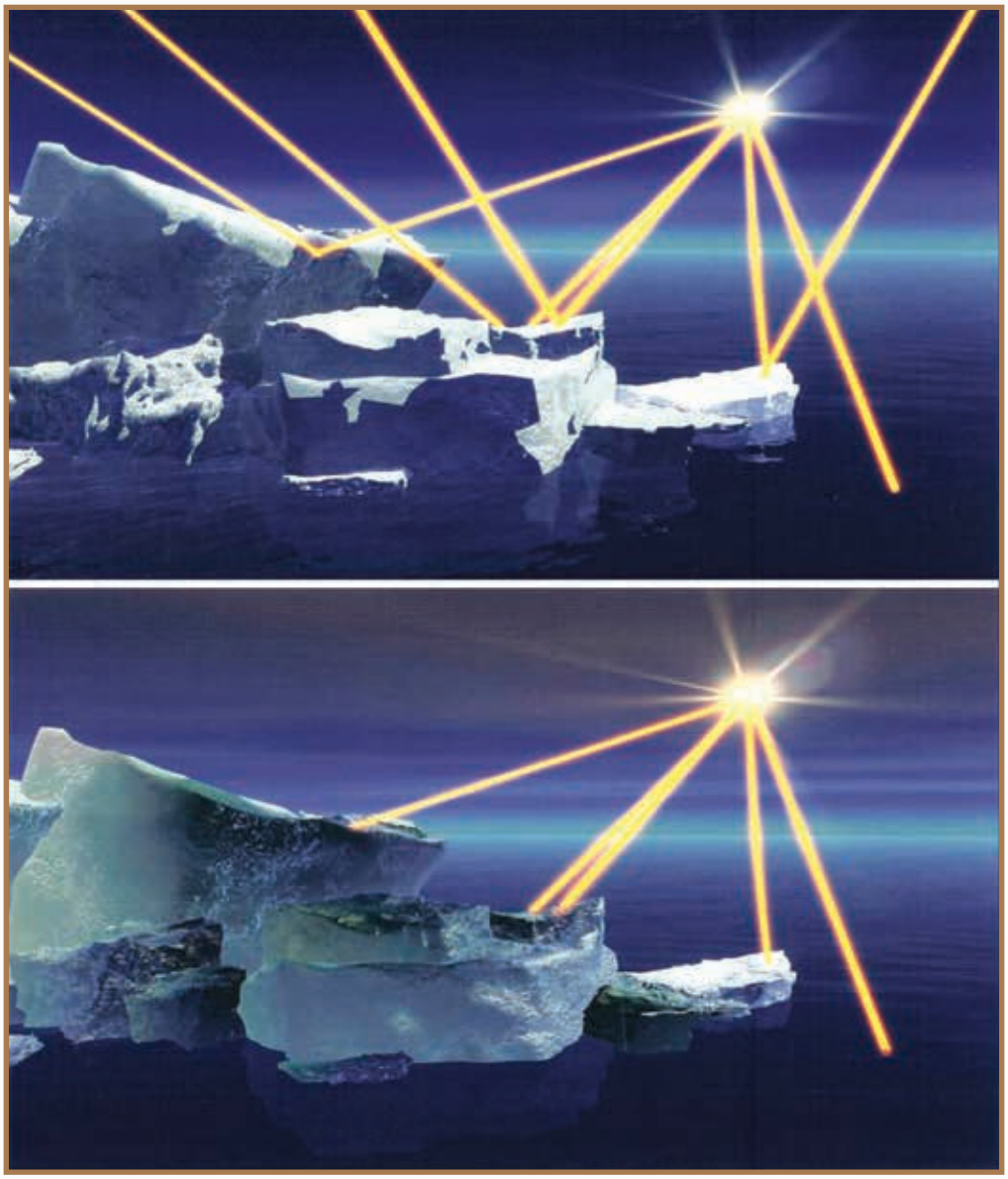
لقد صار مصطلح (تأثير الاحتباس الحراري) رائجاً لأن الغلاف الجوي يحمل تشابهاً في حبس الحرارة ضمن دفيئة زجاجية. في حالة عدم وجود أي تأثير للاحتباس الحراري، سيكون متوسط درجة حرارة سطح الأرض أكثر برودة بمقدار 33 درجة مئوية. وقد كان الاحتباس الحراري بعد العصر الجليدي الأخير هو الذي جعل الزراعة والأنشطة الأخرى في الوقت الحاضر ممكنة.

لقد شهدت الأرض العديدَ من التغيرات المناخية عبر تاريخها. في المليوني سنة الماضية، مرت الأرض بعدة دورات عرضية سببها أساساً دورانها حول الشمس. الدورات الثلاث الأكثر شيوعاً هي:

- **الاختلاف المركزي Eccentricity**: وهو شكل مدار الأرض حول الشمس، مع دورية تبلغ نحو 100000 سنة.

- **الميل المحوري Obliquity:** وهو ميل محور الأرض بالنسبة لمستوى مداره حول الشمس، مع فترات دورية تبلغ 40000 سنة.
- **المبادرة Precession:** وهو (التذبذب البطيء) حيث تدور الأرض حول محورها، بمعدل دوري يبلغ نحو 23000 سنة.

يشار إلى هذه الدورات الثلاث باسم دورات ميلانكوفيتش. تؤثر دورات ميلانكوفيتش الثلاث معاً في الموسمية وموقع الطاقة الشمسية حول الأرض، وبالتالي تؤثر في التناقضات بين الفصول. وعندما تتزامن الدورات، تبدأ فترات البرد. من المهم ملاحظة أن الوضاءة أو العاكسية Albedo، وهو انعكاس إشعاع الشمس من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي، يعد متغيراً مُهمّاً في دورات التبريد.



(الصورة العليا) عندما يغطي الجليـــد والثلج الكوكب، تكون العاكسـية مرتفعةً. عندما يصل الإشعاع الشمسي الوارد إلى سطح الأرض، فإنه ينعكس عن الجليد والثلـــج ويرسل مرة أخرى إلى الغـــلاف الجـــوي للأرض، مما يحافظ على سطح الأرض بارداً. يمكن أن يكون هذا بمثابة ردود فعل إيجابية، وتشجيع المزيد من الثلج والجليد في البيئة الباردة. (الصورة السفلى) القاع: إذا بدأ الجليد الموجود على سطح الأرض في الذوبان أو صار مغطىً بالسخام والملوثات الأخرى، فإنه يصير من الأسطح الداكنة. يعمل الإشعاع الشمسي الوارد على تسخين السطح الأكثر قتامة، مما يتسبب في ذوبان المزيد من الثلج والجليد. يؤدي هذا إلى بدء دورة من الذوبان المتزايد، ويشار إليها بالتغذية الراجعة السلبية.

• التاريخ الجيولوجي ودرجة الحرارة

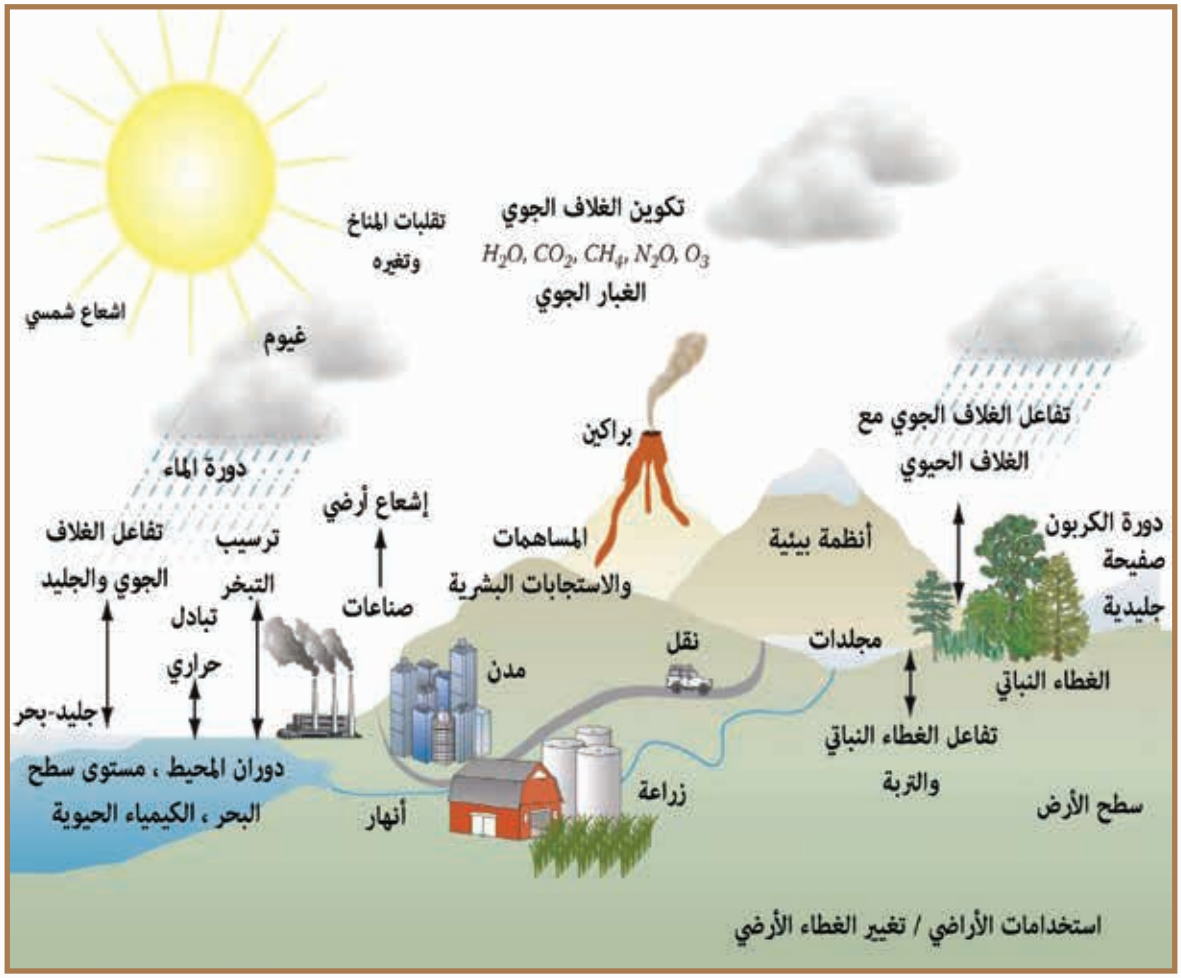
في آخر 1.5 مليون سنة أو نحو ذلك، والمعروفة من الناحية الجيولوجية باسم (العصر الجليدي)، مرت الأرض بعدة فترات باردة، تسمى مجتمعة التجمعات الجليدية أو العصور الجليدية. كانت السمة المشتركة لجميع الكتل الجليدية هي أن أجزاء كبيرة من الأرض كانت مغطاة بصفائح جليدية. استمرت كل فترة جليدية لنحو 70000 – 100000 سنة، وتناوبت أربع مجموعات جليدية على الأقل مع فترات ما بين الجليدية من 10000 إلى 12000 سنة.

الزمن من العصر الجليدي الأخير (الهولوسين) هو الفترة التي نعيش فيها. يبدو أن متوسط درجات حرارة سطح الأرض خلال هذه الفترة قد تقلبت بشكل معتدل فقط، صعوداً أو هبوطاً بمقدار 0.5–1 درجة مئوية خلال فترات تتراوح بين 100 و 200 عام.

باستثناء الأحداث المناخية المحلية أو الإقليمية الشديدة، لم تكن هناك ظواهر رئيسية. وهكذا، خلق الاستقرار المناخي خلال الهولوسين درجة كبيرة من الثقة في العقل البشري فيما يتعلق بأنماط الطقس. على سبيل المثال، في المناخات المعتدلة، سيتبع فصل الشتاء دائماً الربيع، ثم الصيف، وأخيراً الخريف، مع تغيرات متوقعة إلى حد ما في درجات الحرارة لكل موسم.

تعتمد كمية الحرارة في الغلاف الجوي في الغالب على تركيزات غازات الاحتباس الحراري المختلفة المعروفة باسم غازات الاحتباس الحراري (GHGs). وتشمل هذه الغازات: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وبخار الماء (H_2O)، غازات الاحتباس الحراري السائد)، وأوزون التروبوسفير (O_3)، والميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O)، ومركبات الكربون الكلورية فلورية من صنع الإنسان.

غازات الدفيئة شفافة بالنسبة للإشعاع الشمسي قصير الموجة الوارد، ولكنها تمتص الأشعة الصادرة من الأشعة تحت الحمراء (الموجة الطويلة) المنبعثة من سطح الأرض والغلاف الجوي في مجال 7–19 ميكرومتر. هذه الأشعة تحت الحمراء هي جزء من (نافذة) الغلاف الجوي والتي يتسرب من خلالها أكثر من 70 % من الإشعاع المنبعث من سطح الأرض إلى الفضاء.

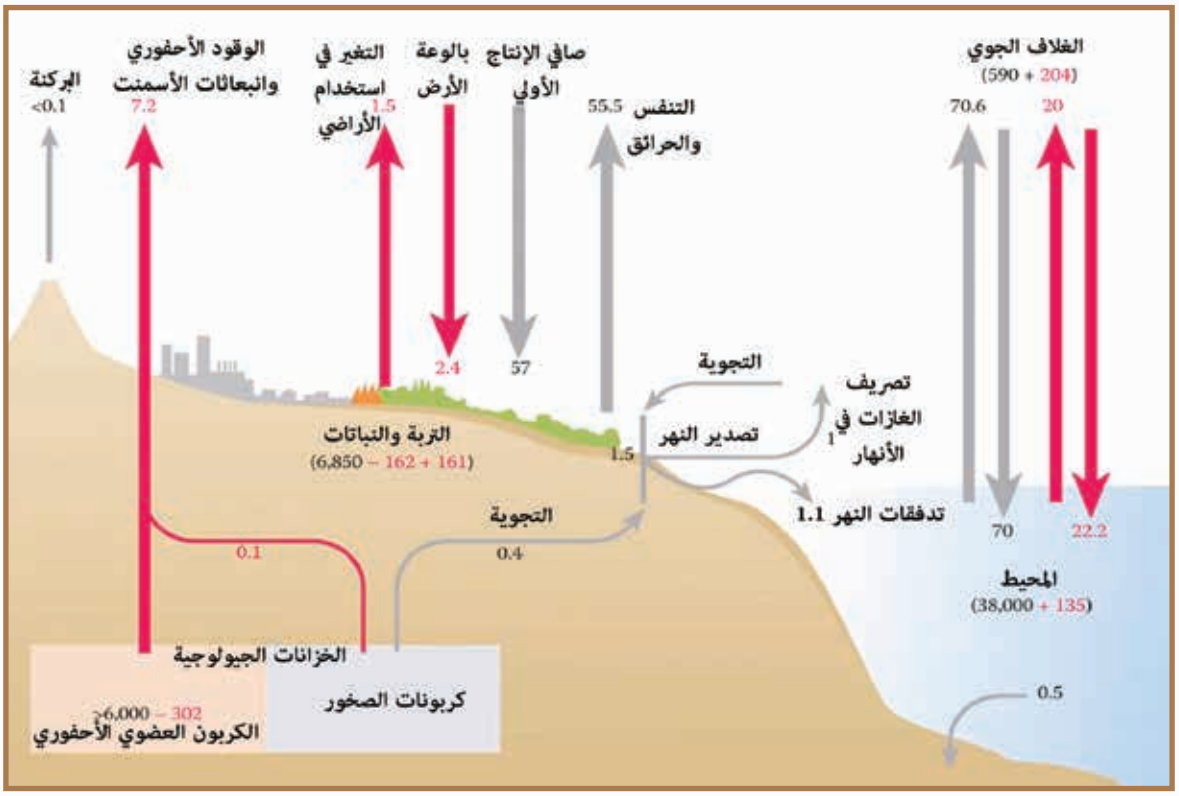


المكونات الرئيسية لفهم النظام المناخي وتغير المناخ. يمثل المناخ العالمي التعبير العام عن العديد من العمليات التي تحركها الشمس والمحيطات والبحار والتي تغطي 71 % من سطح الأرض و21 % من مساحة اليابسة.

• ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة

منذ الثورة الصناعية (على وجه الخصوص، السبعون سنة الماضية أو نحو ذلك)، كان معدل إطلاق غازات الدفيئة في الغلاف الجوي (من خلال استهلاك الوقود الأحفوري وتدهور وفقدان الغطاء النباتي والتربة) أسرع مما هو معروف في تاريخ البشرية. يعتمد المعدل الذي سيستمر به الاحترار على انبعاثات غازات الدفيئة، وأوقات البقاء في المصارف المختلفة، والسرعة التي تنمو بها المصادر والمصارف (الحجز).

وهكذا، وخلال القرن الماضي، زاد متوسط درجة حرارة الهواء العالمية بنحو 0.6 درجة مئوية (± 0.2)، مع أن الزيادات في جزيئات الكبريتات التي تنتج تأثيرات التبريد (التأثير الإشعاعي السلبي). وهكذا ولدت أول صلة واضحة بين الأنشطة البشرية والاحتباس الحراري: على وجه التحديد، الارتباط بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة. لقد تقدمت معرفتنا العلمية كثيراً في العقود القليلة الماضية لتسليط الضوء على العوامل التي تؤثر في نظام المناخ العالمي وفي القياس الكمي لدورة الكربون.



دورة الكربون العالمية (2000-2005): تجمعات الكربون ببليون طن متري وهي بين قوسين. التدفقات السنوية ببلايين الأطنان من الكربون سنوياً. تظهر التجمعات والتدفقات في الخلفية أو ما قبل الإنسان باللون الأسود. يظهر الاضطراب البشري لحمامات السباحة وتدفقها باللون الأحمر.

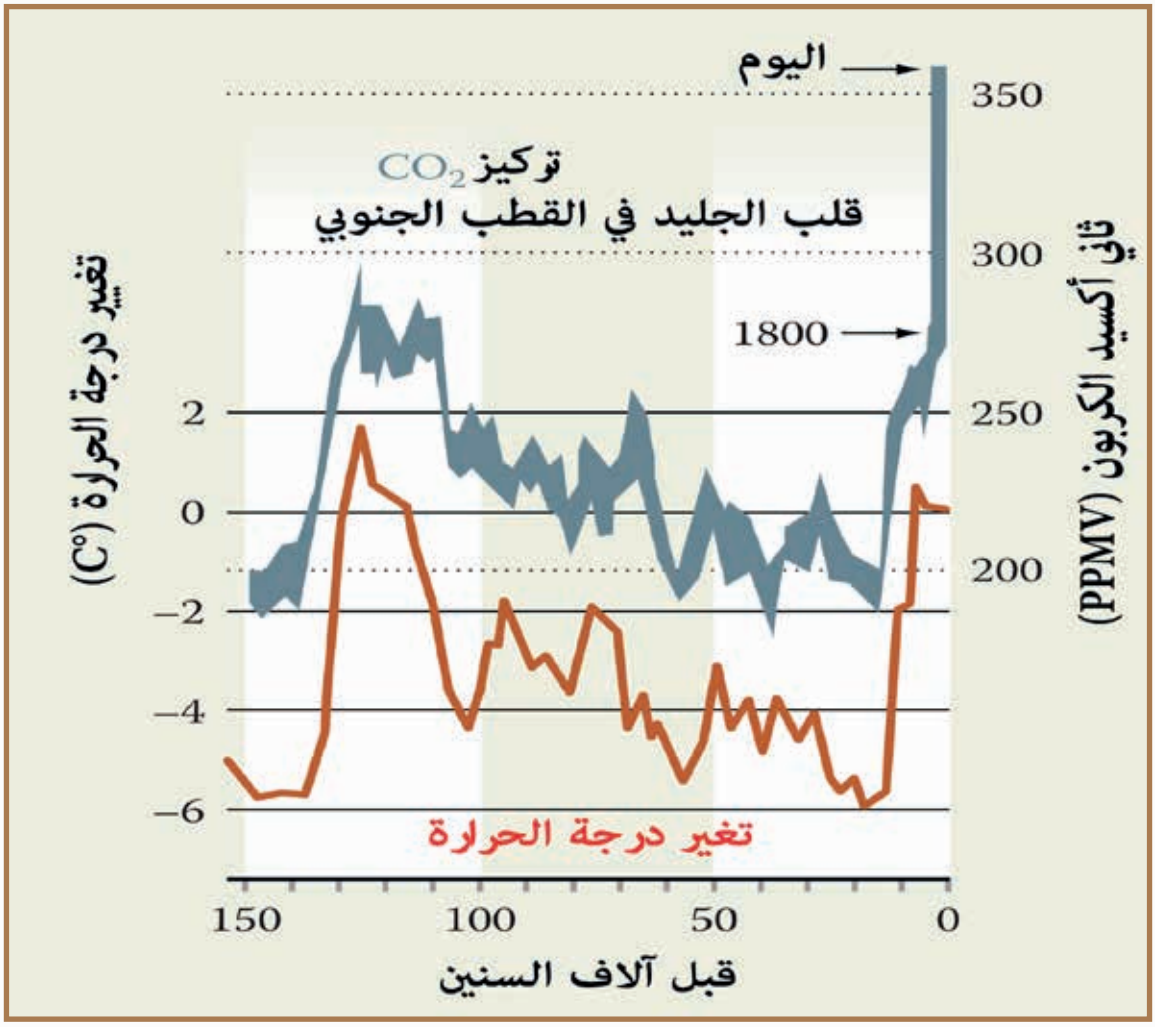
يبدو أن أفعالنا – بشكل متزايد – لا تقتصر على المعرفة العلمية بقدر ما هي مقيدة بالاعتبارات الاقتصادية والسياسية والاجتماعية.

لا يمكن استيعاب التغيرات المناخية دون مخاطر. يتمثل أكبر تهديد لإنتاج الغذاء البشري والغطاء النباتي والحياة البرية والنظم الاقتصادية في تغير المناخ السريع الذي قد ينطوي على ارتفاع درجات قليلة فقط في متوسط درجة حرارة الهواء على الأرض على مدى بضعة عقود قصيرة.

وكلما زادت سرعة حدوث مثل هذا التغيير، قل استعداد الكائنات الحية للتكيف مع هذه الظروف البيئية المتغيرة. وبالتالي، تصير درجة الحرارة والمناخ والتركيب الكيميائي لطبقة التروبوسفير والستراتوسفير عوامل مُهمَّة جدّاً في تحديد متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض.

لإنشاء علاقات واضحة بين تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ودرجة حرارة سطح الأرض، يحتاج المرء إلى سجلات مفيدة لكلا المعاملين. وفي ظل غيابها، جرى إنشاء علاقة تاريخية بناءً على دراسات ألباب الجليد التي حصل عليها العلماء من الأنهار الجليدية من أجزاء كثيرة من العالم.

استكملت هذه الدراسات بفك رموز المناخ والظروف الجوية باستخدام النوى المأخوذة من أقدم الأشجار، وهو مجال موضوع يسمى علم تحديد أعمار الأشجار Dendrochronology. يكشف تجميع هذه البيانات عن وجود علاقة وثيقة بين تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة خلال الـ 150000 سنة الماضية.



العلاقة التاريخية بين درجة حرارة الهواء العالمية وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

استناداً إلى قراءات مقياس الحرارة على مدار المائة عام الماضية، يبدو أن العلاقة المباشرة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة قد تأكدت. لاحظ في الشكل الآتي أن درجات الحرارة قد انخفضت مع الانفجارات البركانية: سانتا ماريا في سلسلة جبال سييرا مادري في غواتيمالا في عام 1902؛ وأغونغ في بالي، إندونيسيا، في عام 1963؛ وبيناتوبو في سلسلة جبال زامباليس بالفلبين في عام 1991.

وذلك لأن الانفجارات البركانية تنفث الغبار والغازات (بشكل أساسي ثاني أكسيد الكبريت). تختلط هذه الغازات مع بخار الماء في الغلاف الجوي ويعكس الهباء الجوي والضباب الناتج بعضاً من إشعاع الشمس، مما يتسبب في تأثير التبريد وخفض درجة الحرارة. تظهر البيانات من السنوات الخمس والعشرين الماضية أو نحو ذلك بوضوح أنه مع ارتفاع تركيزات ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى، ارتفعت درجة الحرارة، لا سِيَّما في نصف الكرة الشمالي.

• الدليل على زيادة ثاني أكسيد الكربون

يجب أن تبدأ أي مناقشة حول ثاني أكسيد الكربون في السياق البيئي الحالي بالعمل الدقيق لعالم معهد سكريبس ديفيد كيلينغ. فقد سجل تقلبات موسمية وسنوية في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في ماونا لوا، هاواي. ربما يكون رسمه التوضيحي، المعروف باسم منحني كيلينغ، المثال الأكثر ذكراً وتميزاً لتغير ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. يوضح المنحني أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون ارتفعت، دون استثناء، منذ أن بدأ كيلينغ قياساته في عام 1958، وعندما يكون التمثيل الضوئي في أقصى حد له في الصيف شمال خط الاستواء (مع معظم كتلة اليابسة)، يكون ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منخفض ويزداد في الشتاء.

أظهرت القياسات في السنوات الأخيرة أن زيادات ثاني أكسيد الكربون تأتي في الغالب من البلدان المتقدمة والصناعية. مع أن نصيب الفرد من انبعاثات الكربون العالمية متواضع، إلا أن أمريكا الشمالية تتصدر العالم من حيث نصيب الفرد من الانبعاثات.

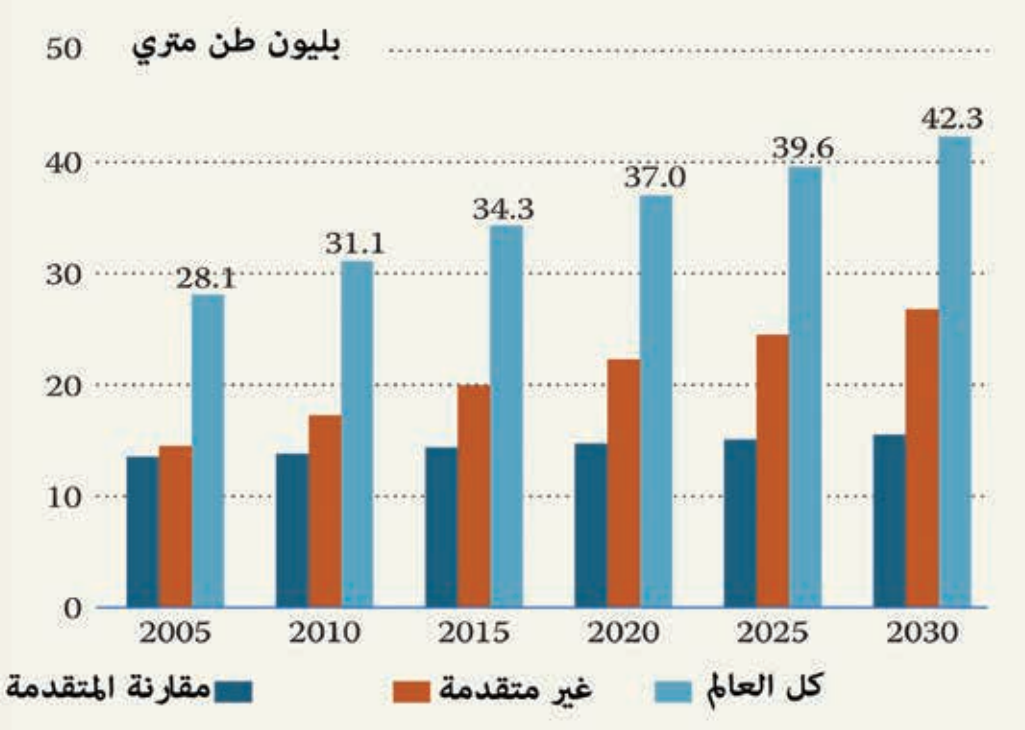
يُظهر استهلاك الوقود الأحفوري أنه في الولايات المتحدة، كما هو الحال في جميع البلدان الأخرى تقريباً، تأتي انبعاثات الكربون بشكل أساسي من

النقل وتوليد الكهرباء، وبالإضافة إلى قطاعي الصناعة والنقل، تسهم الزراعة واستخدام الأراضي والحراجة وتوليد النفايات بشكل كبير في انبعاث ثاني أكسيد الكربون وكذلك في انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز. في الولايات المتحدة، انخفضت المستويات الإجمالية لأكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية (NMVOCs)، وثاني أكسيد الكبريت (SO2) بشكل كبير.

بشكل عام، كانت الولايات المتحدة والصين وروسيا واليابان والهند وألمانيا والمملكة المتحدة وكندا وإيطاليا وكوريا الجنوبية أكبر مصادر العالم لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالوقود الأحفوري، حيث أنتجت 64 % من الإجمالي العالمي في عام 1998. كان استهلاك البترول (43 %) والفحم (36 %) والغاز الطبيعي (21 %) المصدر الرئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم. يحوي الفحم على أعلى كمية من الكربون لكل وحدة طاقة، وتتجاوز البترول والغاز الطبيعي بنسبة 25 و 45 % على التوالي.

على الصعيد العالمي، بلغ إجمالي التدفق الصافي للكربون إلى الغلاف الجوي من التغيرات في استخدام الأراضي 124 غيغا طن من الكربون من عام 1850 إلى عام 1990، وزاد معدل التدفق من نحو 0.4 غيغا طن كربون في عام 1850 إلى 2.0 غيغا طن كربون في عام 1990. مساهمات تغيرات استخدام الأراضي إلى أن بلغ إجمالي التدفق الصافي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي 68 % من التوسع الزراعي و13 % عن طريق حرق الكتلة الحيوية.

زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من نحو 285 جزءاً في المليون بالحجم (ppmv) في عام 1850 إلى أكثر من 380 جزءاً من المليون في عام 2007 (33 %). في عام 2005، كانت انبعاثات الكربون في الغلاف الجوي أكثر من 28 بليون طن متري وجاءت بالتساوي من البلدان المتقدمة والنامية.



انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم 2005-2030 (بالأطنان المترية) بمقارنة البلدان المتقدمة (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي) والبلدان النامية (غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي).

بحلول عام 2030، ستأتي الانبعاثات العالمية التي تزيد على 42 بليون طن في الغالب من البلدان النامية (غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية)، مع تصدر الصين والهند للانبعاثات.

شكلت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مابين عامي 1994 - 1498 طن متري (81.5 %) من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة في الولايات المتحدة، أي ما يعادل

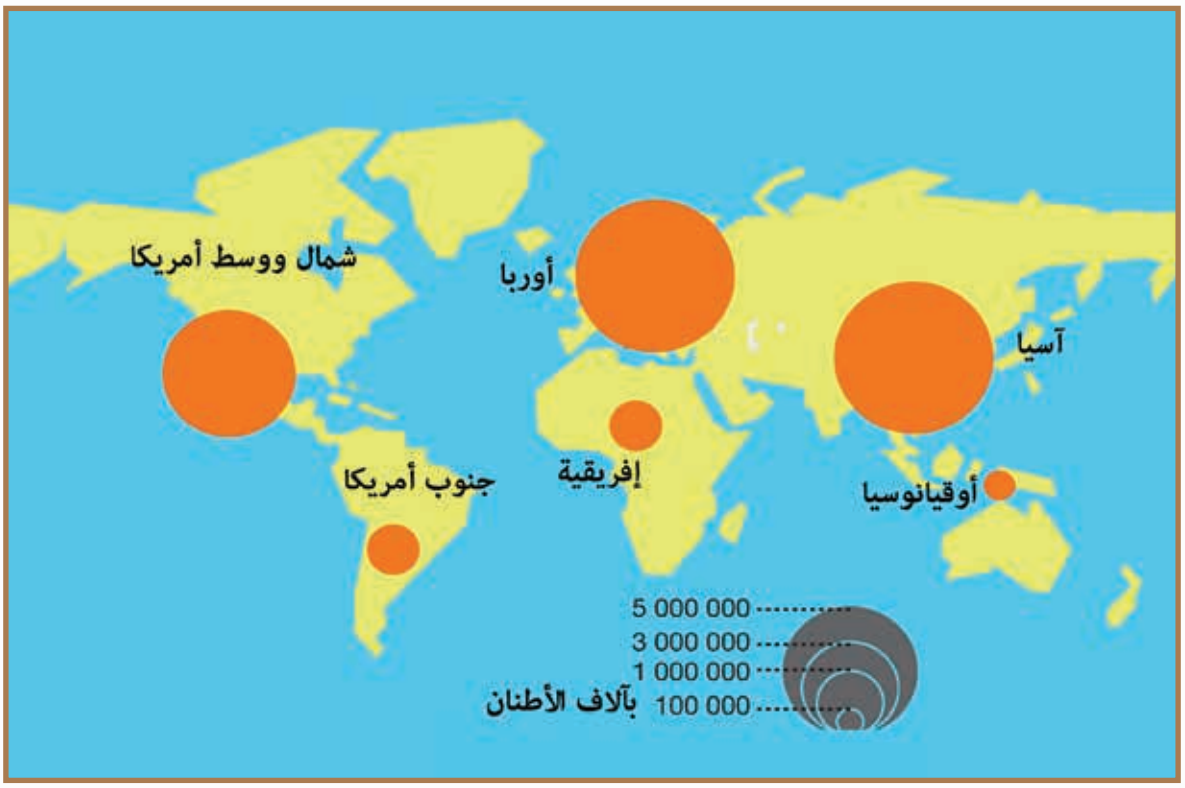
1834 مليون طن من الكربون. وشكل حرق الوقود الأحفوري 98 % من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وباقي الغازات التي تأتي من الأنشطة الصناعية، مثل: إنتاج الأسمنت، وحرق الغاز الطبيعي، والجير، والحجر الجيري، والحديد، والصلب، ورماد الصودا، ومدافن النفايات. قد توفر إعادة تشجير الغابات مصرفاً جيداً، ولكن يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن امتصاص الأشجار يتضاءل مع نضوج الغابات.

• من الـــذي ينتـــج التلـــوث؟

لقد أُنشئت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ لإنتاج أول اتفاقية دولية للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية. ومع ذلك، فإن هذه المُهمَّة ليست بهذه البساطة كما تبدو للوهلة الأولى، لأن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لا تنتجها البلدان بالتساوي.

المصدر الرئيسي الأول لثاني أكسيد الكربون هو حرق الوقود الأحفوري، حيث يأتي جزء كبير من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استهلاك الطاقة والعمليات الصناعية والنقل. هذا المصدر ليس موزعاً بالتساوي في جميع أنحاء العالم بسبب التوزيع غير المتكافئ للصناعة؛ وبالتالي، فإن أي اتفاق من شأنه أن يؤثر في اقتصادات بعض البلدان أكثر من غيرها.

وبالتالي، وفي الوقت الحالي، يجب أن تتحمل البلدان الصناعية المسؤولية الرئيسية عن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى نحو 22 بليون طن من الكربون سنويّاً. تنبعث من أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا أكثر من 90 % من ثاني أكسيد الكربون المنتج صناعيّاً على مستوى العالم. علاوة على ذلك، فقد أطلقوا تاريخيّاً انبعاثات أكثر بكثير من البلدان الأقل نموّاً.

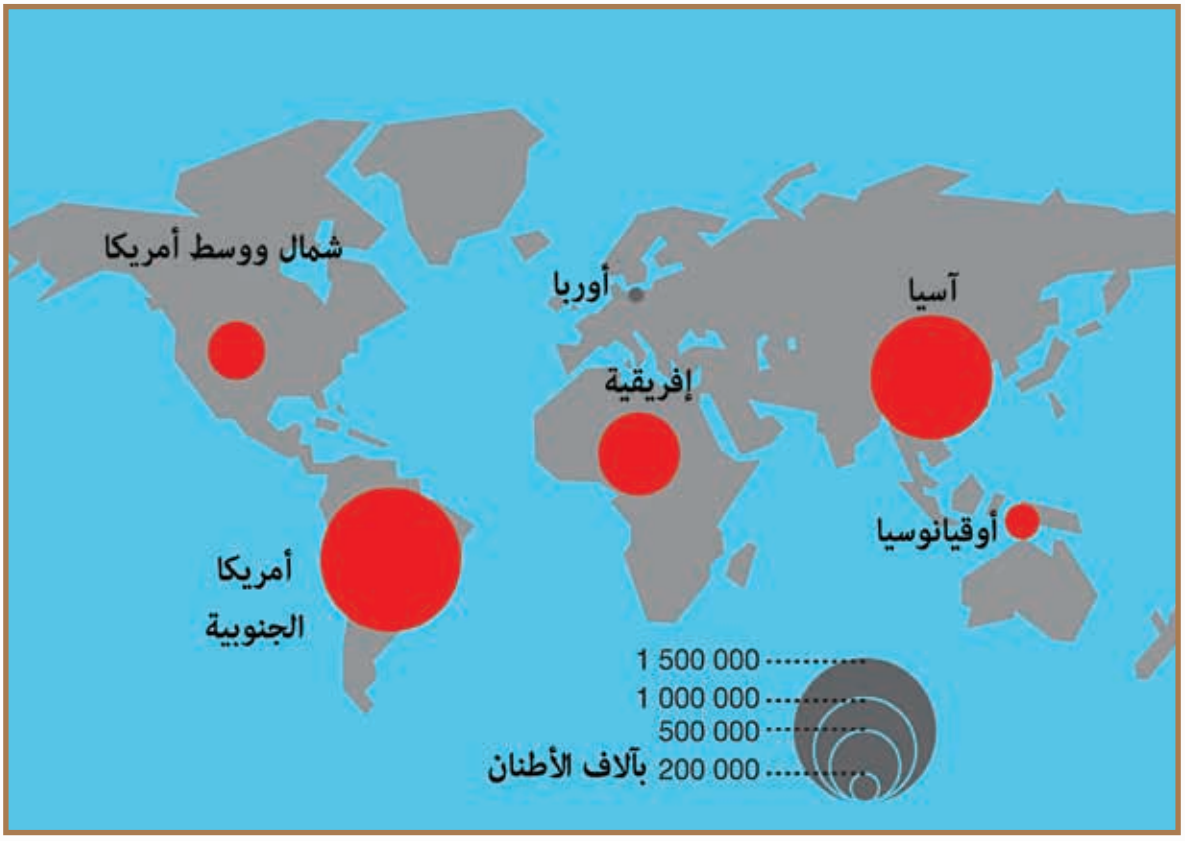


انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب العمليات الصناعية في العالم.

المصدر الرئيسي الثاني لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون هو نتيجة للتغيرات في استخدام الأراضي. تأتي هذه الانبعاثات بشكل أساسي من قطع الغابات لأغراض الزراعة أو التحضر أو الطرق.

عندما تُقطع مساحات كبيرة من الغابات المطيرة، غالباً ما تتحول الأرض إلى أراضٍ عشبية أقل إنتاجية مع قدرة أقل بكثير على تخزين ثاني أكسيد الكربون. يختلف نمط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون هنا، حيث تكون أمريكا الجنوبية وآسيا وأفريقيا مسؤولة عن أكثر من 90 % من انبعاثات تغير استخدام الأراضي الحالية، أي نحو 4 بلايين طن من الكربون سنوياً.

ومع ذلك، ينبغي النظر إلى هذا مقابل الحقيقة التاريخية المتمثلة في أن أمريكا الشمالية وأوروبا قد غيرتا بالفعل مشهدهما بحلول بداية القرن العشرين. من حيث كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة، لا تزال العمليات الصناعية تفوق بشكل كبير التغيرات في استخدام الأراضي.



انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب تغير استخدام الأراضي.

مصـــــادر ومصـــــارف الكربـــــون

أحد الأسئلة المُهمَّة هو أين يذهب ثاني أكسيد الكربون (والغازات الأخرى أيضاً) بعد أن يدخل الغلاف الجوي. من المُهمِّ أيضاً أن نسأل عما إذا كان هذا الغاز وغيره لديه وقت مكوث طويل، فماذا ستكون الاستجابة التراكمية للتراكمات المزمنة بمرور الوقت؟ أخيراً، ما مدى جدية ردود الفعل الإيجابية الخارجة عن سيطرة الإنسان (يشار إليها مؤخراً باسم نقطة التحول Tipping Point)؟

في ظل الظروف الطبيعية العادية – أي مع الحد الأدنى من الانبعاثات من الأنشطة البشرية – تكون دورة الكربون متوازنة إلى حدٍ ما مع تبادل النصف مع المحيطات والبحار والنصف الآخر مع الغطاء النباتي والتربة. وبالتالي، لتقدير تأثير الانبعاثات التي يسببها الإنسان، فقد جرى تصور دور الكربون كمشكلة مصدر وتصريف ويمكن قياسه على هذا النحو.

يوجـــد ثلاثـــة مصـــادر ومصـــارف:

- **الأول هو المحيطات.** بشكل عام، يكون نصف التمثيل الضوئي في الطبيعة من العوالق النباتية والنصف الآخر من اليابسة. تمتص المحيطات كل عام 92.4 غيغا طن من الكربون وتطلق 90 غيغا طن، وتخزن 2.4 غيغا طن ككربون غير عضوي مذاب في أعماق المحيط.

- **الثاني هو التربة.** تمتص تربة العالم كل عام 50 غيغا طن من الكربون من النباتات المحتضرة وتطلق 50 غيغا طن من خلال التحلل. على مدى آلاف السنين، تراكم في تربة العالم 1500 غيغا طن من الكربون، منها 500-800 غيغا طن محتجزة في أراضي الخثّ (وهي نباتات متفحمة توجد بالأراضي

الغدقة في المناطق المعتدلة) في العالم، بما في ذلك 500 غيغا طن في التندرا القطبية الشمالية.

- **الثالث هو الغطاء النباتي.** تخزن الغابات والنباتات في العالم نحو 550 غيغا طن من الكربون، 40 % منها في الغابات الاستوائية. تفقد الغابات كل عام 50 غيغا طن من الكربون في التربة و50 غيغا طن في الغلاف الجوي من خلال التنفس؛ ومع ذلك، فإنها تمتص 101.5 غيغا طن من الغلاف الجوي، مما يقلل من حملها بمقدار 1.5 غيغا طن. لا يمكن عزل جميع انبعاثات الكربون الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري واضطرابات الأرض الأخرى، مما يترك نحو 3 غيغا طن سنويّاً في الغلاف الجوي.

• غـــازات الدفيئة الأخرى

◆ بخـــــار المـــــــاء

بخار الماء هو أكثر غازات الدفيئة وفرة وانتشاراً. في رأي البعض، فإن هذا الغاز هو المسؤول عن معظم الاحترار. هذا الرأي لا تشاركه الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. يرجع معظم بخار الماء في الغلاف الجوي إلى الدورة الهيدرولوجية. مع أن النشاط البشري لا يرتبط ارتباطاً مباشراً بتركيز بخار الماء في الغلاف الجوي، إلا أن حالته وخلطه ووفرة وخصائصه الإشعاعية تتأثر بغازات الدفيئة الأخرى.

◆ الميثـــــــان (CH_4)

يُعزى ما يقرب من 20 % من إجمالي التأثير الإشعاعي المباشر لغازات الدفيئة (245 ميكرومتر -2) إلى الميثان، وهو ثاني أكبر مساهم في انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ. منذ منتصف القرن الثامن عشر الميلادي، زاد

تركيز الميثان في الغلاف الجوي بنحو 143 % من 722 جزءاً في البليون (ppb) إلى 1774 جزء في البليون في 2005.

البكتيريا التي تحلل المواد العضوية في البيئات الفقيرة بالأكسجين (اللاهوائية) تنتج غاز الميثان الذي يبقى في الغلاف الجوي لمدة 12-17 سنة. كل جزيء من الميثان أكثر فاعلية بنحو 25 مرة في حبس الحرارة في الغلاف الجوي من جزيء ثاني أكسيد الكربون على مدى 100 عام من الأفق (وبالتالي، فإن قيمة الاحترار العالمي للميثان هي 25). شكلت انبعاثات الميثان 10 % من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة في الولايات المتحدة.

المصادر البشرية في الولايات المتحدة هي الأنشطة الزراعية مثل حقول الأرز والتخمير المعوي وإدارة السماد الطبيعي وحرق المخلفات الزراعية (33 %)؛ ومدافن النفايات (32 %)؛ الأنشطة المتعلقة بالوقود الأحفوري مثل الغاز الطبيعي وأنظمة البترول، وتعدين الفحم، وإنتاج البتروكيماويات (32 %)؛ والمصادر الثابتة والمتنقلة (2 %)؛ ومعالجة مياه الصرف الصحي (1 %).

يمثل استخدام الوقود الأحفوري والزراعة والتخلص من النفايات أكثر من 50 % من غاز الميثان في الغلاف الجوي. وقد تفوقت الثروة الحيوانية (التخمر المعوي في الماشية بشكل أساسي) على زراعة الأرز في أوائل الثمانينيات كمصدر زراعي رائد.

◆ أكسيد النيتروز (N_2O)

زاد تركيز أكسيد النيتروز N_2O في الغلاف الجوي بنسبة 18 %، من 270 جزء في البليون في عام 1750 إلى 319 جزء في البليون في عام 2005. حيث أطلق من خلال أنشطة بشرية مثل احتراق الوقود الأحفوري والنفايات الصلبة، وتحلل الأسمدة النيتروجينية، ونفايات الماشية، والمياه الجوفية الملوثة، وحرق

الكتلة الحيوية، ويسهم أكسيد النيتروز بنحو 6 % من غازات الدفيئة. يبلغ متوسط وقت مكوثه في طبقة التروبوسفير نحو 120 عاماً. تبلغ القدرة على إحداث الاحترار العالمي لكل جزيء أكسيد النيتروز من نحو 298 ضعفاً من ثاني أكسيد الكربون على مدى 100 عام في الأفق.

تعتبر جميع أكاسيد النيتروجين الغازية مُهمَّة إشعاعيّاً وكيميائيّاً وبيئيّاً، كما أن تبادلها عبر حدود التربة والجو يرتبط بشكل مباشر أو غير مباشر بأحداث مثل ترسب الحمض، والاحتباس الحراري، ونضوب الأوزون O3 في الستراتوسفير، وتلوث المياه الجوفية، وإزالة الغابات، وحرق الكتلة الحيوية. في حين أن التفاعل العالي لأكاسيد النيتروجين (NO + NO2) هو أحد العوامل، فإن العواقب الجوية العالمية المُهمَّة لتبادل أكسيد النيتروز تنتج من عمره الطويل وخصائصه الطيفية.

شكلت انبعاثات أكسيد النيتروز في عام 1998 6.4 % (ارتفاعاً من 5.7 % في عام 1992) من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة في الولايات المتحدة؛ الأنشطة الزراعية، مثل إدارة التربة والسماد الطبيعي، وحرق المخلفات تمثل 74 % والأنشطة المتعلقة بالطاقة لنحو 18 %.

◆ مركبات الكلوروفلوروكربون وبدائلها

تشمل غازات الدفيئة التي لا تحدث بشكل طبيعي المنتجات الثانوية لمركبات الكلوروفلوروكربون، وكذلك مركبات الكربون الهيدروفلورية (HFCs) ومركبات الكربون المشبعة بالفلور (PFCs) وسداسي فلور الكبريت (SF6) المتولدة عن العمليات الصناعية.

مركبات الكربون الهيدروفلورية ومركبات الكربون المشبعة بالفلور هي فئات من المواد الكيميائية الاصطناعية التي جرى إدخالها كبدائل للمواد المستنفدة للأوزون والتي يتم التخلص منها تدريجيّاً بموجب قوانين دولية ووطنية جديدة.

بالإضافة إلى استخدامها كبدائل للمواد المستنفدة للأوزون، تنبعث هذه الغازات من إنتاج الألومنيوم، وإنتاج الهيدروكلوروفلوروكربون (HCFC-22)، وتصنيع أشباه الموصلات، ونقل وتوزيع الكهرباء، وإنتاج المغنيسيوم ومعالجته.

اعتماداً على النوع، تبقى مركبات الكلوروفلوروكربون في الغلاف الجوي لمدة 60 إلى 400 سنة ويكون تأثيرها بشكل عام من 5000 إلى 10000 مرة لكل جزيء على الاحتباس الحراري مقارنة بثاني أكسيد الكربون. شكلت مركبات الكربون الهيدروفلورية، ومركبات الكربون المشبعة بالفلور، وسادس فلوريد الكبريت في عام 1998 نسبة 2 % من إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الولايات المتحدة.

◆ غازات الدفيئة غير المباشرة

أول أكسيد الكربون (CO) وأكسيد النيتروجين (NOx) والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية (NMVOCs) وثاني أكسيد الكبريت (SO2) ليس لها تأثير مباشر في الاحتباس الحراري. ومع ذلك، تؤثر هذه الغازات، بشكل غير مباشر، في امتصاص الإشعاع الأرضي من خلال التأثير في تكوين وتدمير أوزون التروبوسفير والستراتوسفير. في قانون الهواء النظيف بالولايات المتحدة، يشار إلى هذه الغازات عموماً على أنها مركبات طليعية Precursor للأوزون أو ملوثات المعايير.

يمكن أن يؤثر الهباء أيضاً في الخصائص الامتصاصية للغلاف الجوي. حيث ينتج أول أكسيد الكربون عندما يحترق الوقود الأحفوري الحاوي على

الكربـون بشـكل غيـر كامـل. وتتشـكل أكاسـيد النيتروجـين (أي NO وNO2) عـن طريـق الصواعـق والحرائـق واحتـراق الوقـود الأحفـوري، وفي طبقـة السـتراتوسـفير مـن N2O.

تنبعـث غـازات البروبـان والبيوتـان والإيثـان بشـكل أساسـي مـن عمليـات النقـل والعمليـات الصناعيـة مثـل تصنيـع المنتجـات الكيماويـة والمنتجـات المماثلـة ومعالجـة المعـادن واسـتخدام المذيبـات.

في الولايـات المتحـدة، ينبعـث ثانـي أكسـيد الكبريـت بشـكل أساسـي مـن احتـراق الوقـود الأحفـوري وصناعـة المعـادن. يؤثـر ثانـي أكسـيد الكبريـت علـى الميزانيـة الإشـعاعية لـلأرض مـن خـلال تحولـه الكيميائـي الضوئـي إلـى هبـاء كبريتـات في الغـلاف الجـوي.

وهـذا بـــدوره، يمكـن أن:

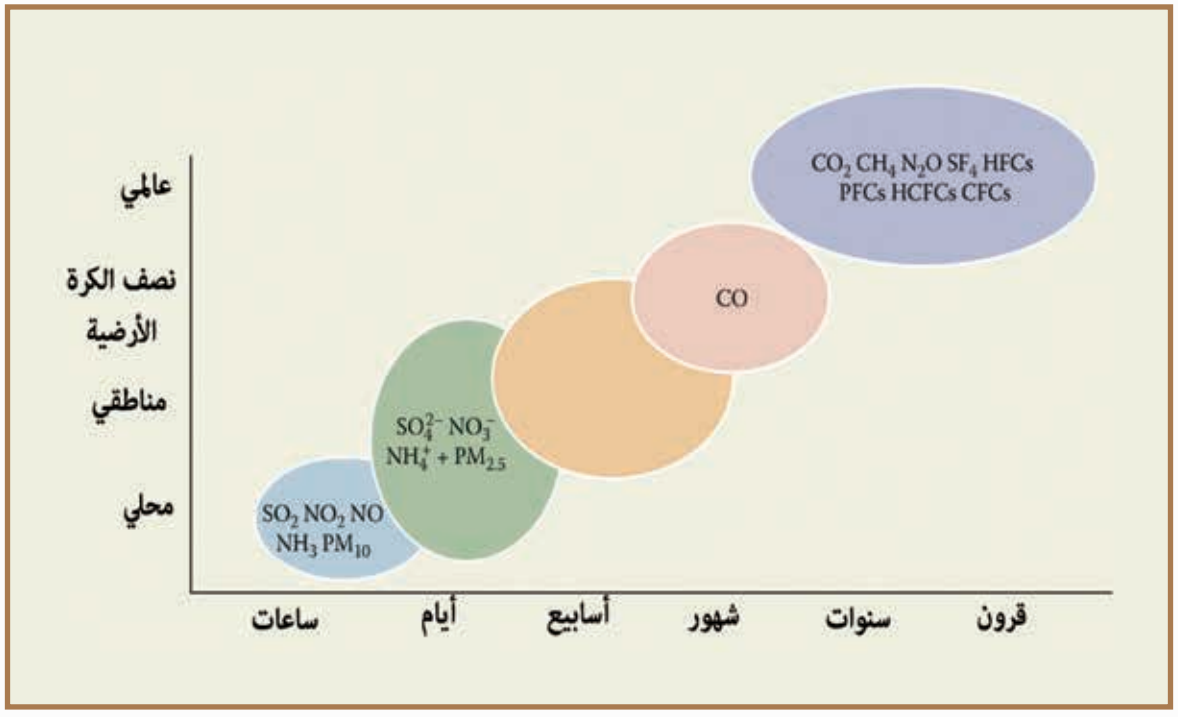
- يبـدد ضـوء الشـمس مـرة أخـرى إلـى الفضـاء، وبالتالـي تقليـل الإشـعاع الـذي يصـل إلـى سـطح الأرض.
- يؤثـر في تكوين السحب.
- يؤثـر في التركيـب الكيميائـي للغـلاف الجـوي (علـى سـبيل المثـال، أوزون السـتراتوسـفير، مـن خـلال توفيـر أسـطح لتفاعـلات كيميائيـة غيـر متجانسـة).

كما نوقش سـابقاً، يعـد ثانـي أكسـيد الكبريـت أيضـاً مسـاهماً رئيسـيّاً في تكويـن الضبـاب الدخانـي في المناطـق الحضريـة، وتعـد المرافـق الكهربائيـة أكبـر مصـدر لانبعاثـات ثانـي أكسـيد الكبريـت.

باختصـار، بالنسـبة لغـازات الدفيئـة الرئيسـية، يجـب أن يسـتند تقييـم التأثيـر إلـى وقـت مكوثهـا في الغـلاف الجـوي، والمعـدل الـذي تـزداد بـه كل عـام، وإمكانيـة

إحداث الاحترار العالمي النسبية (GWP). والقدرة على الاحترار العالمي هي نسبة التأثير الإشعاعي المباشر وغير المباشر من وحدة كتلة واحدة لغاز الدفيئة إلى كتلة وحدة واحدة من الغاز المرجعي (CO2) خلال فترة زمنية.

لقد جرى تطوير مفهوم القدرة على إحداث الاحترار العالمي لمقارنة قدرة كل غاز من غازات الدفيئة على احتجاز الحرارة في الغلاف الجوي بالنسبة إلى غاز آخر. لا تتوفر القدرة على إحداث الاحترار العالمي للملوثات الأخرى مثل: CO وNOx وNMVOCs وSO2، لأنه لا توجد حالياً طريقة متفق عليها لتقدير مساهمة التأثير الإشعاعي غير المباشر في تغير المناخ لهذه الغازات. في أحدث تقرير للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، قورنت قيمها بتلك التي جرى الإبلاغ عنها في ثلاثة تقارير سابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.



ملوثات الهواء المختارة، ومتوسط فترات بقائها في الغلاف الجوي، ومدى تأثيرها الأقصى

الأدلة على ظاهـــرة الاحتبـــــاس الحـــــراري

إن المجتمع العلمي، كما سنجد في الصفحات الآتية، مقتنع بأن الزيادة في غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية تعمل بالفعل على تغيير المناخ وخصائص الطقس. يبدو أن الفكرة السائدة لدى بعض شرائح المواطنين عامة أن تغير المناخ العالمي هو في الغالب نتاج للنمذجة النظرية، لكن الأدلة من الأرصاد الميدانية تثبت خلاف ذلك.

من المناقشات حول بنية النظام البيئي ووظيفته والتأثيرات البشرية المصاحبة عليها، لاحظنا سابقاً أن عمليات النظام البيئي معقدة وأن المعرفة العلمية القائمة على تجارب طويلة الأجل لكل عملية أو قسم بيئي غير متاح للتوصل إلى استنتاجات نهائية. للتعويض عن هذه القيود، يستخدم العلماء كلّاً من الأرصاد المباشرة ونماذج الحاسوب المبتكرة التي يجري فيها محاكاة بيانات الغلاف الجوي والبيولوجية لإسقاط التغييرات التي من المحتمل أن تحدث نتيجة تأثير بشري واحد أو عدة تأثيرات.

ومع ذلك، فإن النمذجة توفر خطّاً واحداً فقط من الأدلة. استناداً إلى القياسات المباشرة لعدد من معايير النظام البيئي، فإن الغالبية العظمى من العلماء مقتنعون بأن الاحترار العالمي يحدث بالفعل؛ عدم اليقين يكمن فقط في مداه وحجمه. بمعنى، ما مدى شدة تأثير الاحترار في مختلف المناطق الأحيائية في جميع أنحاء العالم؟ الأدلة من النظم الفيزيائية والبيولوجية (المباشرة وغير المباشرة) على الاحترار المناخي قد تصاعدت في العقد الماضي. فيما يأتي، سنقدم بعض الأدلة المباشرة أولاً، ثم نلخص بعض التأثيرات المتوقعة من نماذج الدوران العام.

أولاً: أدلـــــة مباشـــــرة

- **درجة حرارة الهواء العالمية** تُظهر البيانات التي جُمعت من عددٍ من المحطات حول العالم أن درجات حرارة الهواء السطحي آخذة في الارتفاع. على المستوى العالمي، كانت 22 من السنوات الأكثر سخونة في التاريخ الحديث في الفترة ما بين 1983 و2007، و23 سنة متتالية كانت أعلى من المتوسط. ترتفع درجة حرارة نصف الكرة الشمالي على وجه الخصوص بمعدل أسرع من النصف الكرة الأرضية الجنوبي. يشير تقرير البيت الأبيض، (كوكبنا المتغير)، إلى ما يأتي: (بغض النظر عن النهج الذي تم اعتماده، تتفق جميع عمليات إعادة البناء (بالإضافة إلى عمليتين أخريين من فصول خط العرض المتوسط) على أن درجات الحرارة في أواخر القرن العشرين هي الأعلى في آخر 1000 عام على الأقل). ارتفعت درجات الحرارة العالمية بمعدل 1 درجة مئوية لكل قرن.

- **درجة حرارة الهواء في الولايات المتحدة** كانت درجات الحرارة في العامين التقويميين 1998 و1999 للولايات المتحدة هي الأكثر دفئاً منذ عام 1900 (بلغ المتوسط في عام 1998 13.56 درجة مئوية وفي عام 1999 13.33 درجة مئوية). تجاوزت درجات الحرارة هذه درجات الحرارة في العقد الدافئ في الثلاثينيات. كانت هذه الاتجاهات مماثلة لتلك الموجودة في درجات الحرارة العالمية، أي اتجاه نحو الاحترار طويل المدى في الولايات المتحدة (0.5 درجة مئوية لكل قرن)، مع حدوث الكثير من الاحترار خلال فترتين: 1910–1955 و1976 إلى الوقت الحاضر.

- **درجة حرارة الهواء في القطب الشمالي** أُبلغ عن ارتفاع درجة حرارة النظم البيئية الشمالية، ولا سيَّما القطب الشمالي، بمتوسط 2 درجة مئوية في درجة الحرارة على مدى المائة عام الماضية من البيانات المسجلة. في القطب

الشمالي، كان لهذا الاحترار تأثير ملحوظ في الغلاف الجليدي (وهو مصطلح جماعي يشمل الأنهار الجليدية والقمم الجليدية والجليد البحري والتربة الصقيعية)، وهو في حالة تراجع. في الواقع، مجلس القطب الشمالي، الذي يضم ثماني دول في القطب الشمالي (كندا، الدنمارك، وغرينلاند، وجزر فارو، فنلندا، أيسلندا، النرويج، روسيا، السويد، والولايات المتحدة)، جمع مئات عدة من العلماء لتقييم آثار تغير المناخ العالمي في المنطقة. في تقرير واضح وموثق جيداً، أجمعوا على أن التغييرات الجارية في ذوبان التربة الصقيعية والجليد البحري والكائنات الحية ستكون مدمرة.

- **ارتفاع درجة حرارة مياه المحيطات** أظهر عدد من الدراسات أن مياه المحيط السطحية والمتوسطة العميقة كانت أكثر دفئاً في العقدين الماضيين. أجرى الباحثون مسحاً عبر المحيط الهادئ في أعمق مياه شمال المحيط الهادئ في عامي 1985 و1999. ووجدوا أن (أعمق مياه في شمال المحيط الهادئ قد ارتفعت درجة حرارتها بشكل كبير على عرض حوض المحيط بكامله في فترة 10 سنوات. وتشير الأرصاد إلى أن التغييرات في خصائص الماء يمكن اكتشافها حالياً في كتل الماء المعزولة منذ فترة طويلة عن التبادل الحراري مع الغلاف الجوي). كما يُعزى ارتفاع منسوب مياه المحيط الهادئ الجنوبي إلى ارتفاع درجات الحرارة.

- **درجات حرارة البئر** من بين 600 بئر عميقة جرى حفرها في الأرض، أظهرت قراءات درجة الحرارة زيادة ملحوظة في النصف الأخير من القرن العشرين. بالمقارنة مع اتجاهات 400–1000 سنة الماضية، كان يُعتقد أن الزيادات في درجات الحرارة لم يسبق لها مثيل. لاحظ العلماء الذين أبلغوا عن هذه الزيادات أنه لا توجد مجموعة من الآليات الطبيعية تفسر ظاهرة الاحترار هذه.

♦ **ذوبان الأنهار الجليدية** تتراجع الأنهار الجليدية في جميع القارات. في أمريكا الشمالية، تراجع نهر كولومبيا الجليدي في ألاسكا مسافة 13 كيلومتراً منذ عام 1982، وتتراجع جميع الأنهار الجليدية الأربعة عشر الأخرى في المنطقة. لقد ذاب أكثر من 100 من 150 نهراً جليديّاً في الحديقة الجليدية الوطنية تماماً منذ عام 1850، ومن المتوقع أن يختفي الباقي في غُضون 30 عاماً. في أمريكا الجنوبية، تراجع نهر أبسالا الجليدي في الأرجنتين بمقدار 60 متراً في السنة على مدار الستين عاماً الماضية، ويتسارع المعدل. انخفض حقل جنوب باتاغونيا الجليدي في الأرجنتين وتشيلي بأكثر من 500 كيلومتر مربع في الخمسين عاماً الماضية. زاد غطاء كويلكايا الجليدي في جبال الأنديز في بيرو معدل تراجعه من 3 أمتار في العام في السبعينيات إلى 30 متراً في السنة في التسعينيات. في أوروبا، فقدت الأنهار الجليدية في جبال الألب 50 % من حجمها منذ عام 1850، واختفى 14 من 27 نهراً جليدياً في إسبانيا منذ عام 1980، وفقدت الأنهار الجليدية في القوقاز 50 % من حجمها في القرن الماضي. في إفريقيا، فقد أكبر جبل جليدي في كينيا 92 % من كتلته منذ أواخر القرن التاسع عشر. تقلصت الأنهار الجليدية في جبل كليمنجارو في تنزانيا بأكثر من 70 % منذ أواخر القرن التاسع عشر. في آسيا، تقلصت الأنهار الجليدية في قمة دوسوغانغ Duosuogang Peak في جبال أولان ألو Ulan Ula في الصين بنسبة 60 % منذ أوائل السبعينيات. وفقدت الأنهار الجليدية لجبال تيان شان في آسيا الوسطى 22 % من حجمها في الأربعين سنة الماضية. وفي جبال الهيمالايا الشرقية، اختفى نحو 2000 من الأنهار الجليدية في القرن الماضي.

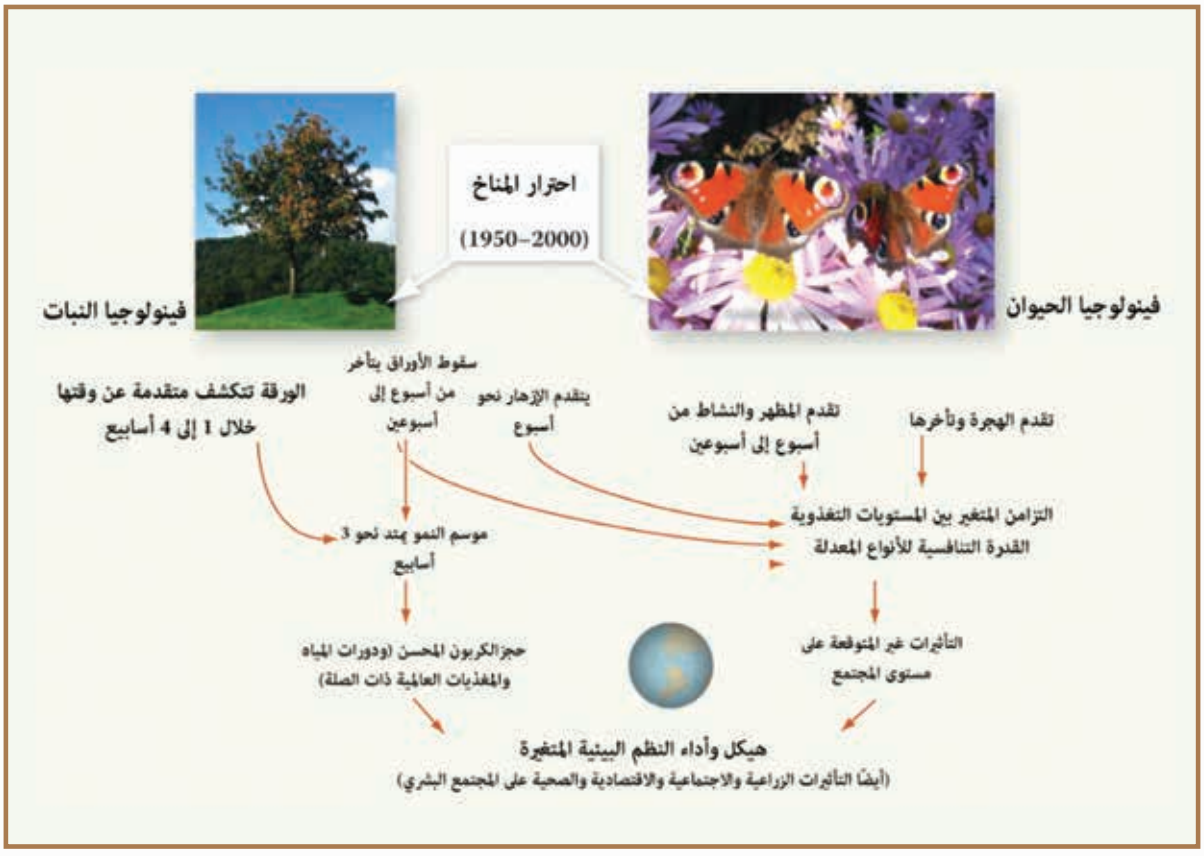
♦ **ذوبان الجليد** قامت عدد من الدراسات من مواقع عدة في العالم بتوثيق التغيرات في الغلاف الجليدي بشكل منهجي. وأفادت التقارير أن الجليد

البحري في القطب الشمالي قد تقلص بنحو 58.800 كيلومتر مربع سنويّاً بين عامي 1978 و1998، وهو انخفاض إجمالي بنسبة 6 % ومساحة مساوية لمساحة ماريلاند وديلاوير مجتمعين. وقد صار انحسار الجليد البحري حالياً ظاهرة ثابتة. في غرينلاند، تقلص الجليد البحري أيضاً بنحو 40 % في العقود الأخيرة، من متوسط 3 أمتار في الفترة ما بين 1958 و1976 إلى نحو 2 متراً بين عامي 1993 و1997. وفي المتوسط، يقدر التخفيف الحالي نحو 10 سم لكل عام. منذ عام 1993، تقلصت الطبقة الجليدية في غرينلاند - وهي الأكبر في القطب الشمالي - بأكثر من متر سنويّاً على حوافها الجنوبية والشرقية. ضعف الغطاء الجليدي في غرينلاند في بعض المناطق بأكثر من 6 أمتار منذ عام 1992. هامش التدفق السريع للنهر الجليدي جيكوبشافن إيسبرا Jacobshavn Isbrae في غرب غرينلاند وعدد كبير من الجبال الجليدية مثل نهر كانجرلوسواك Kangerdlugssuaq الجليدي في شرق غرينلاند تذوب سريعاً.

1. **هطول الأمطار الشديد:** أظهرت الولايات المتحدة انخفاضاً في هطول الأمطار خلال عام 1999. وكان هذا العام هو العام الثاني والعشرون الأكثر جفافاً من بين المائة عام الماضية، حيث بلغ متوسط هطول الأمطار على المستوى الوطني 76 سم. كشفت بيانات الأقمار الصناعية عن أعمدة من انخفاض حجم الجسيمات السحابية وهطول الأمطار المكبوت الناشئ من المناطق الحضرية الرئيسية ومن المرافق الصناعية مثل محطات الطاقة. يمكن للتلوث الحضري والصناعي أن يمنع هطول الأمطار تماماً على مناطق واسعة من السحب التي تصل درجات الحرارة في قممها إلى نحو 10- درجات مئوية.

ثانياً: الأدلـــــة غير المباشـــــرة

جرى فك رموز تغير المناخ أيضاً من خلال التغييرات التي وثّقت في الاستجابات المورفولوجية والفسيولوجية بمرور الوقت التي أظهرتها النباتات والحيوانات. تشمل هذه التغييرات في الفينولوجيا توقيت المراحل المختلفة لنمو النبات والحيوان، والتغيير في الاستجابات الموسمية، وتعديلات الاستجابات الأخرى لتغير درجة الحرارة.



العواقب البيئية لظاهرة الاحتباس الحراري على الفينولوجيا النباتية والحيوانية

ســـــنوضح العديـــــــد منها كما يأتـــــي:

- بالنسبة للعقد 1981–1991، أُبلِغَ عن زيادة في نمو النبات بالنسبة للنباتات النامية في خطوط العرض العُليا الشمالية (45–70 درجةً شمالاً). كانت هناك زيادة ملحوظة في نشاط التمثيل الضوئي بنسبة 10–12 %، تُعزى إلى فصل الربيع الدافئ.

- لقد ثبت أن نباتات الأراضي العشبية تتفاعل بشكل مختلف مع الزيادات في درجات الحرارة الدنيا (TMin) مقارنة بدرجات الحرارة القصوى (TMax). في مرج العشب القصير، وتبين أن عشب الغراما الأزرق C4 السائد كان نموه أبطأ من أعشاب C3 الأصلية والغازية. ومن شأن هذا أن يجعل العشب أكثر عرضةً للغزو من قِبل الأنواع الأخرى وأقل تحملاً للجفاف والرعي. وبالتالي، قد تكون هذه النظم البيئية حساسة للزيادات في درجات الحرارة الدنيا.

- في النظم البيئية الصحراوية في شيواوا بالمكسيك، لوحظ أن الشجيرات الخشبية تظهر زيادة في النمو بمقدار ثلاثة أضعاف. يمكن أن يرتبط التحول في الأنواع الحيوانية في هذه النظم البيئية بتحول في المناخ الإقليمي منذ عام 1977، بدلاً من التغييرات المرتبطة عموماً بالتصحر التاريخي الناجم عن رعي الماشية أو الجفاف. من الواضح أن التغييرات كانت ناجمة عن تحول في المناخ الإقليمي: منذ عام 1977، كان هطول الأمطار في فصل الشتاء في جميع أنحاء المنطقة أعلى بكثير من متوسط هذا القرن.

- لقد وثقت العديد من الدراسات مؤخراً النشاط الموسمي لكل من الحيوانات والنباتات. وتشمل هذه التغييرات في أنماط هجرة الطيور في إنجلترا، ووضع البيض في وقت مبكر عن طريق التعشيش على الأشجار في أمريكا الشمالية،

والتكاثر المبكر للطيور والبرمائيات، والتغيرات في فينولوجيا العثة، والانكسار المبكر لبراعم الأوراق، وما إلى ذلك. في كل حالة، جرى ربط هذه الأنشطة بالتغيرات في درجات الحرارة على ارتفاعات منخفضة.

- في دراستين منفصلتين، جرى استخدام تقنية التحليل التلوي Meta-analysis (أي التحليل الإحصائي الذي يجمع بين نتائج دراسات علمية عدة) لمعرفة إذا كان يمكن الكشف عن الأنماط الشائعة أو استجابات الأنواع لتغير المناخ العالمي. في إحدى الدراسات، حُلل 1700 نوع ووجد أن 279 نوعاً أظهر (بصمة تشخيصية Diagnostic Fingerprint) مميزة للمناخ العالمي. وقد أظهرت الأنواع تحولاً بطول 6.1 كيلومتر في نطاقاتها نحو القطبين. في تحقيق آخر للتحليل التلوي، كشفت 143 دراسة شملت أنواعاً من الحيوانات والنباتات تتراوح من الرخويات إلى الثدييات ومن الأعشاب إلى الأشجار أن تأثيرات تغير المناخ العالمي يمكن تمييزها بالفعل. أُبلغ عن نتائج مماثلة من الحيوانات والنباتات البريطانية.

- تكشف دراسات الشعاب المرجانية أنها أكثر حساسية لدرجات الحرارة الأكثر دفئاً من التغيرات البيئية الأخرى، بما في ذلك التلوث. تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى «ابيضاض» الشعاب المرجانية (فقدان قدرة الطحالب التكافلية على القيام بعملية التمثيل الضوئي)، مما أثر على ما يصل إلى 27 % من الشعاب المرجانية في عام 2000. وأكثرها تضرراً هي 59 % من الشعاب المرجانية في المحيط الهندي، 35 % في الشرق الأوسط، و34 % في جنوب شرق وشرق آسيا.

- حتى الوقت الحالي، لم تثبت أي دراسات وجود صلة بين تواتر الأعاصير وزيادة درجة الحرارة. ومع ذلك، نظراً لارتباطها الإيجابي بدرجة حرارة

الماء، فقد اقترح وجود صلة بكثافة الإعصار. من يستطيع أن ينسى الدمار الهائل الذي لحق بأعاصير كاترينا وريتا ووِيلما عام 2005؟

- **أخيـراً**، يُعزى تغير المناخ العالمي إلى أنشطة الشمس. لكن لا يبدو هذا ممكناً للأسباب الآتية:
  - تصبح طبقة الستراتوسفير أكثر برودة مع ارتفاع درجة حرارة السطح.
  - ترتفع درجات الحرارة في الليل بشكل أسرع من درجات الحرارة أثناء النهار.
  - تكون خطوط العرض الشمالية أكثر دفئاً من خطوط العرض المنخفضة.
  - تكون الارتفاعات الأعلى أكثر دفئاً من الارتفاعات المنخفضة.
  - وترتفع درجات الحرارة بسرعة أكبر في الشتاء منها في الصيف. يشير الباحثون إلى أن هذه بصمات الاحتباس الحراري التي يسببها الإنسان.

• نمـــاذج الـدوران العامـــــة

يعتبر علم الاحتباس الحراري أكثر تعقيداً؛ لأنه يتضمن العديد من التفاعلات بين الأرض والماء والغلاف الجوي التي تكون فردية وجماعية معقدة جدّاً. وبالتالي، لتقييم التأثير العام لغازات الدفيئة على درجة الحرارة والعلاقات الأخرى، استخدم العلماء على مدار العقد الماضي ما يُعرف بنماذج الدوران العامة أو (العالمية) General (or Global) Circulation Models (GCMs).

تستخدم هذه النماذج المعرفة الحالية لمتغيرات الغلاف الجوي، وأنماط استخدام الأراضي العامة (الخام)، والمحيطات، والجليد البحري، ودوران الغلاف

الجـــوي والمحيطات. تقارن نماذج الدوران العام للتوازن النتائج بتركيزات ثاني أكســـيد الكربون في الغلاف الجوي الحالية (1 × O2) وسيناريوهات مضاعفة (2 × CO2) للتنبؤ بما سيفعله مضاعفة مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على مدى 100 عام وتقدير متوسط زيادة درجة حرارة السطح العالمية في مجال 1.5 سوف تكون –4.5 درجة مئوية.

لن تكون الأنهار الجليدية ولا الجليد البحري بأمان مع ارتفاع درجة حرارة الأرض درجتين مئويتين أعلى من مستويات ما قبل عصر الصناعة.

في التناسب التقريبي مع متوسط تغير درجة الحرارة العالمية، من المتوقع أن تـــزداد الكميات المتوسطة العالمية من بخار الماء في طبقة التروبوسفير السفلى (6 % لكل درجة مئوية واحدة من الاحترار)، مما يسهم أيضاً في الاحترار العالمي.

من المتوقع أن يحدث ارتفاع في مستوى سطح البحر بمقدار 50 ± 25 سم بحلول عام 2100 بسبب التمدد الحراري لمياه البحر وذوبان الغطاء الجليدي.

نظراً لعدم وجود بيانات كمية فعلية حول درجة الحرارة وغازات الاحتباس الحراري من الماضي، فقد كثف العلماء في العقد الماضي أو نحو ذلك الأبحاث وابتكروا طرقاً تمكنوا من محاكاة التغييرات بناءً على المعلومات المعروفة وحتى المجزأة. باستخدام الأرقام المعروفة من الماضي القريب، التي توجد لها سجلات وأدلة مجزأة من الماضي البعيد، يحاكي العلماء التغييرات التفاعلية بين أربعة أقسام: الغلاف الجوي والأرض والمحيط والجليد البحري.

وبالتالي، عندما تستخدم النماذج حالات التوازن عند (1 × CO2) أو (2 × CO2) (وبالتالي فهي أساساً على الأرض)، تسمى هذه النماذج بنماذج الدوران العامة (أو العالمية). في المقابل، تستخدم النماذج العابرة تغييرات في البارامترات المحيطية وبالتالي فهي أكثر تعقيداً. من بين العديد من مراكز النمذجة الرئيسية هذه، التي استشهد بها في الأدبيات العلمية: مختبر ديناميكيات السوائل الجيوفيزيائية في الولايات المتحدة، ومركز هادلي التابع لمكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة، ومركز المناخ الكندي.

حقق مصممو نماذج المناخ تقدماً هائلاً في فترة زمنية قصيرة نسبيّاً. وأجريت العديد من التقييمات بشأن اليقين والاحتمال النسبي للنواتج التي تولدها النماذج المناخية. بعد فحص النماذج بعناية، توصل الباحثون إلى استنتاج مفاده أنه (من الواضح أن الاحتباس الحراري الذي يسببه الإنسان ليس مشكلة يمكن التغاضي عنها أو تجاهلها بشكل عقلاني).

حتى بعد تقييم أوجه عدم اليقين في توقعات النماذج، كان الاستنتاج العام هو أنه (من المؤكد تقريباً أن الاحترار الذي يسببه الإنسان سيستمر في الظهور، ببطء ولكن بلا هوادة، لفترة طويلة في المستقبل). فحصت دراسة

أخرى 928 ورقة علمية وخلصت إلى أنه (من اللافت للنظر أن أياً من الأوراق لم تتفق بالإجماع) بأن تغير المناخ العالمي هو نتيجة للأنشطة البشرية. عندما تسفر العديد من نُهج النمذجة عن نتائج مماثلة، تُعزز الاستنتاجات المستخلصة بناءً على أدلة النماذج.

• المناخ والطقس: حالة عدم اليقين

وفقاً لتقاليدهم الراسخة، سوف يشرع العلماء ليس فقط في صقل نماذجهم ولكن أيضاً بالتحقق من صحتها؛ وهناك اتجاه واحد واضح بالفعل: عدم القدرة على التنبؤ بأنماط الطقس في عدة أماكن حول العالم. وفيما يأتي بعض الأمثلة على ذلك. بين عامي 1988 و1997، تضرر ما يقرب من 80 مليون شخص بشدة من الكوارث المرتبطة بالطقس. وفي عام 1998، أسقط إعصار ميتش بين 91–183 سم من الأمطار خلال 48 ساعة في أمريكا الوسطى، مما أسفر عن مقتل أكثر من 10000 شخص بسبب الانهيارات الأرضية والفيضانات، مما أدى إلى انتشار وباء الكوليرا، والقضاء فعليّاً على اقتصادات هندوراس ونيكاراغوا.

في الولايات المتحدة، أبلغ عن العديد من حالات الطقس الشاذة بين عامي 1998 و1999:

- هطل على جبل بيكر في واشنطن 28 متراً من الثلج (رقم قياسي).
- سجلت أوكلاهوما عاصفة رياح قياسية تبلغ 512 كيلومتراً في الساعة.
- شهدت ألاسكا درجة حرارة منخفضة قياسية بلغت 53 درجة مئوية تحت الصفر.
- تساقط رقم قياسي من الثلوج بلغ 46 سم في عاصفة ثلجية واحدة في شيكاغو. ومع ذلك، كان عام 1998 أدفأ شتاء في التاريخ المسجل في الولايات الـ 48 الأدنى!

تهتم صناعة التأمين بكل هذه التغييرات والأضرار التي سيتعين عليها دفعها. قارنت شركة ميونيخ لإعادة التأمين الألمانية، في دراستها لعام 1999، الستينيات بالتسعينيات. وخلصت الدراسة إلى أن عدد الكوارث الطبيعية الكبرى زاد بمقدار ثلاثة أضعاف، مع زيادة الخسائر الاقتصادية – مع مراعاة تأثيرات التضخم – بمعامل يزيد على 8 وخسائر مؤمنة بمعامل لا يقل عن 16.

• آثار تغير المناخ على الكائنات الحية

سوف يتجلى الاحترار العالمي بطرائق متنوعة، اعتماداً على الأنظمة المناخية الحالية وأنواع الكائنات الحية التي تكيفت معها خلال مسار التطور. بشكل عام، فإن القدرة على التنبؤ بأحوال الطقس سوف تتجاوز التفاعلات مع العوامل الأخرى في تحديد التأثير على إنتاجية النظام الإيكولوجي.

بالنسبة للزراعة، يمكن أن تنشأ نتيجتان إيجابيتان من ارتفاع درجة حرارة المناخ في خطوط العرض الشمالية. أولاً، سيكون هناك مستوى أعلى من ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي زيادة التمثيل الضوئي. ثانياً، سيؤدي الاحترار العام إلى فترة نمو أطول والمزيد من الأيام الخالية من الصقيع. في المناخات الأكثر دفئاً، قد يؤدي ارتفاع التبخر والنتح إلى انخفاض توافر المياه.

سيقترن هذا مع تغيير الأحداث البيولوجية بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وبالنسبة لبعض الأنواع، فإن قلة فترة البرد اللازمة لتبطين البذور ستؤدي إلى انخفاض الإنتاجية، كما أن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون سيكون له تأثير تفاضلي في إنتاج الأجزاء النباتية والتكاثرية للنباتات بشكل عام والمحاصيل بشكل خاص.

بالنسبة للغابات، تصور نماذج الدوران العام بوضوح تغيراً في بقاء وهجرة أنواع الغابات الناجم عن ظاهرة الاحتباس الحراري. من المهم جدّاً أن نتذكر

أن للأشجار وقتاً طويلاً من الأجيال، وأن هجرتها وتوطيدها في مناطق جديدة يعتمد على عدد من العوامل. تشمل هذه العوامل المسافة التي يمكن أن تحمل البذور (عن طريق الرياح والمياه والحيوانات) في مواجهة التجزئة المتسارعة للموائل، ووصولها إلى بيئة مضيافة، وقدرتها على التنافس مع الأنواع المقيمة.

تُستخدم عبارة (مسيرة الأنواع نحو الشمال Northward March of Species) أحياناً في الأدبيات العلمية، كما لو أن جميع الأشجار يمكنها أن تحزم أمتعتها وترحل بإحدى وسائل النقل العام، ولكن هذا قد يولد شعوراً بالرضا عن النفس لا داعي له. فقد أظهرت دراسات حبوب اللقاح الأحفورية أن عدداً قليلاً فقط من الأنواع كان قادراً على الهجرة بعد التجلد الأخير.

وضع العلماء عدداً من الإسقاطات بشأن استجابة الكائنات الحية في النظم البيئية الزراعية والغابات وغيرها من النظم البيئية لارتفاع درجة حرارة المناخ. جرى الاستشهاد هنا بدراسة قائمة على نموذج الدوران العام أو (العالمي) كمثال لأننا نعتقد أنها دراسة شاملة.

باستخدام قاعدة بيانات واسعة من شرق الولايات المتحدة، قام الباحثون بتحليل بيانات جرد الغابات بعناية، التي تضمنت أكثر من 100000 قطعة غابة من أكثر من 2100 مقاطعة شرق خط الطول 100. حيث تضمن التحليل المناخ، والتربة، واستخدام الأراضي، والارتفاع، وتكوين الأنواع للمجتمعات الرئيسية الموجودة في هذه المنطقة. بشكل عام، كان من المتوقع فقدان التنوع البيولوجي وتجانس أنواع المجتمعات.

يُظهر نبات سكر القيقب وطائر الغرز الأسود تقلصاً كبيراً في مناطق التوزيع الحالية، بينما سيوسع كل من الصنوبر قصير الأوراق والدباغة الصيفية مناطق توزيعهما بشكل كبير. التقدم في تنقيح نماذج الدوران العام واستخدامها

للتنبؤ بالاستجابات الحيوية المحتملة للتغيرات المناخية المحتملة يجري بوتيرة محمومة. من المهم أن الناتج من النماذج صار أقرب بكثير إلى الاستطلاع الأرضي والمراقبة الميدانية.

بالنسبة للنظم الإيكولوجية المائية، فقد تبين أن ارتفاع درجة حرارة طبقات سطح الماء يؤدي إلى هجرة العوالق النباتية إلى أعماق أكثر برودة؛ قد يكون التوزيع إلى 23 متراً على عكس 15 متراً الطبيعي.

ولكن هذا يعني أيضاً أن العوالق النباتية ستنمو بشكل أبطأ؛ لأن ضوءاً أقل يخترق مع زيادة العمق. يعني انخفاض نمو العوالق النباتية كمية أقل من الغذاء بالنسبة للمستويات الغذائية الأعلى. إذا تسبب شيء ما فجأة في انهيار أعداد العوالق، فقد تبدأ السلسلة الغذائية بكاملها في الانهيار. بالنسبة لشمال وغرب أمريكا الشمالية، يمكن أن تؤثر درجة حرارة الهواء الدافئ مقترنة بزيادة في ثاني أكسيد الكربون على بيئة البحيرة والجداول بعدة طرق.

تبدو طريقتان رئيسيتان: خسارة أكبر في التبخر والنتح بالنسبة للهطول المطري الشديد الوارد وتدفق المياه بشكل أسرع من تواتر حريق أعلى في النظم البيئية الأرضية. ستؤثر الدورات الهيدرولوجية المتغيرة وتدفقات المجاري المائية بشكل مباشر على السمات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للنظم الإيكولوجية للبحيرة، بما في ذلك التغيرات في الخط الحراري، وبالتالي معدل دوران البحيرة، والتغذيات. مجتمعة، كل هذه العوامل سيكون لها تأثير كبير في كل من الأنواع الأصلية وغير الأصلية.

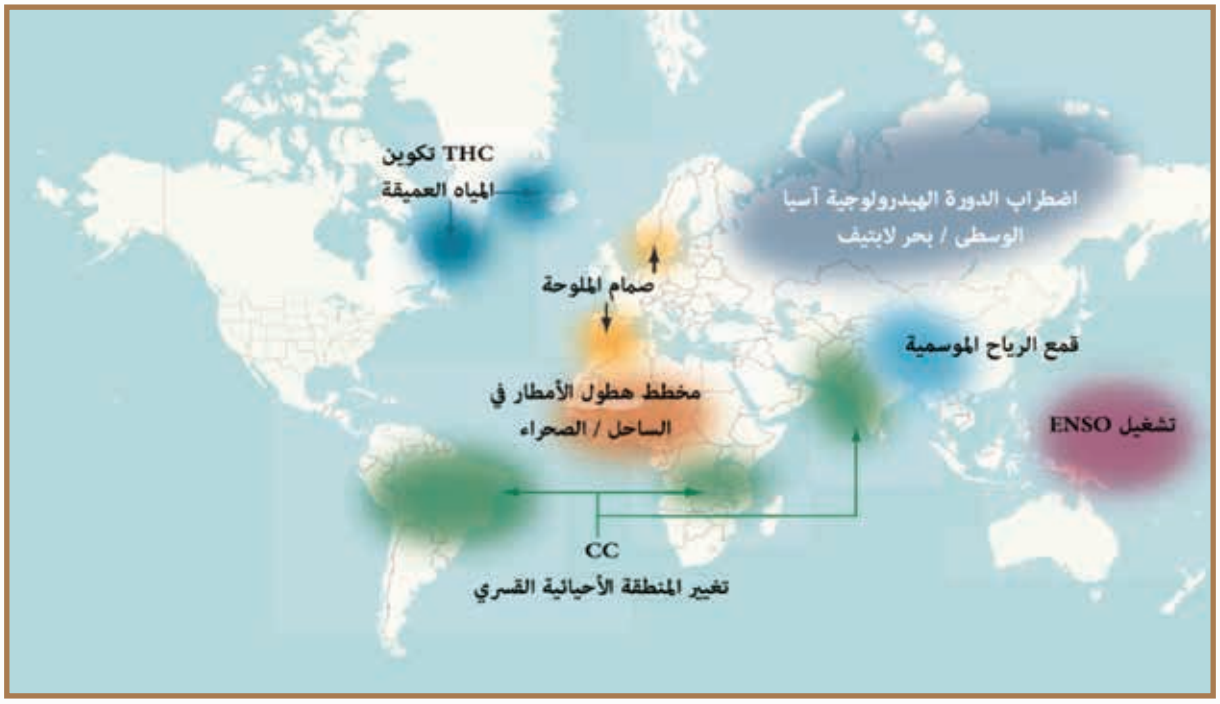
من المناقشة السابقة نجد أن جميع أنظمة الدعم البشري، أو ما يسمى (خدمات النظام البيئي / الخدمات البيئية)، تعتمد إلى حد كبير على الأداء السليم للنظم الإيكولوجية. كما أن الموارد الطبيعية لإنتاج الغذاء والغابات

والمراعي وموائل أشكال الحياة بخلاف البشر كلها مرتبطة ببعضها بعضاً وبعوامل الغلاف الجوي التي سنناقشها لاحقاً.

هناك اتفاق واسع النطاق بين المجتمع العلمي على أنه، نظراً لجميع التغييرات التي أحدثتها الأنشطة البشرية، من المحتمل أن تكون التأثيرات التي يفرضها تغير المناخ متنوعة ومكثفة ومعقدة جدّاً، ويوجد عدة أمثلة توضح هذه النقطة.

إذْ يُظهر تقييم تأثير المناخ في القطب الشمالي أن التغير في درجة الحرارة العالمية قد يؤدي إلى تغيير كبير في الظروف الحرارية الملحية، وبالتالي تسريع الظروف المناخية التي سيكون لها تأثير هائل في أوروبا. ويشير كذلك إلى أن التغيرات في دوران المحيطات العالمية يمكن أن تؤدي إلى تغير مناخي مفاجئ.

يمكن أن يبدأ هذا التغيير من خلال زيادة هطول الأمطار في القطب الشمالي وجريان الأنهار، وذوبان الثلوج والجليد في القطب الشمالي، وذلك يؤدي إلى انخفاض ملوحة مياه المحيط في شمال المحيط الأطلسي، وهو ما يظهر أعلاه. لاحظ الباحثون أنه قد يكون هناك بالفعل العديد من التغييرات التي ستحدث في جميع أنحاء العالم، من التغيرات في الدورة الهيدرولوجية في شمال آسيا، إلى قمع الرياح الموسمية في جنوب آسيا، إلى تغيرات المناطق الأحيائية في أمريكا الجنوبية، كما هو الحال.

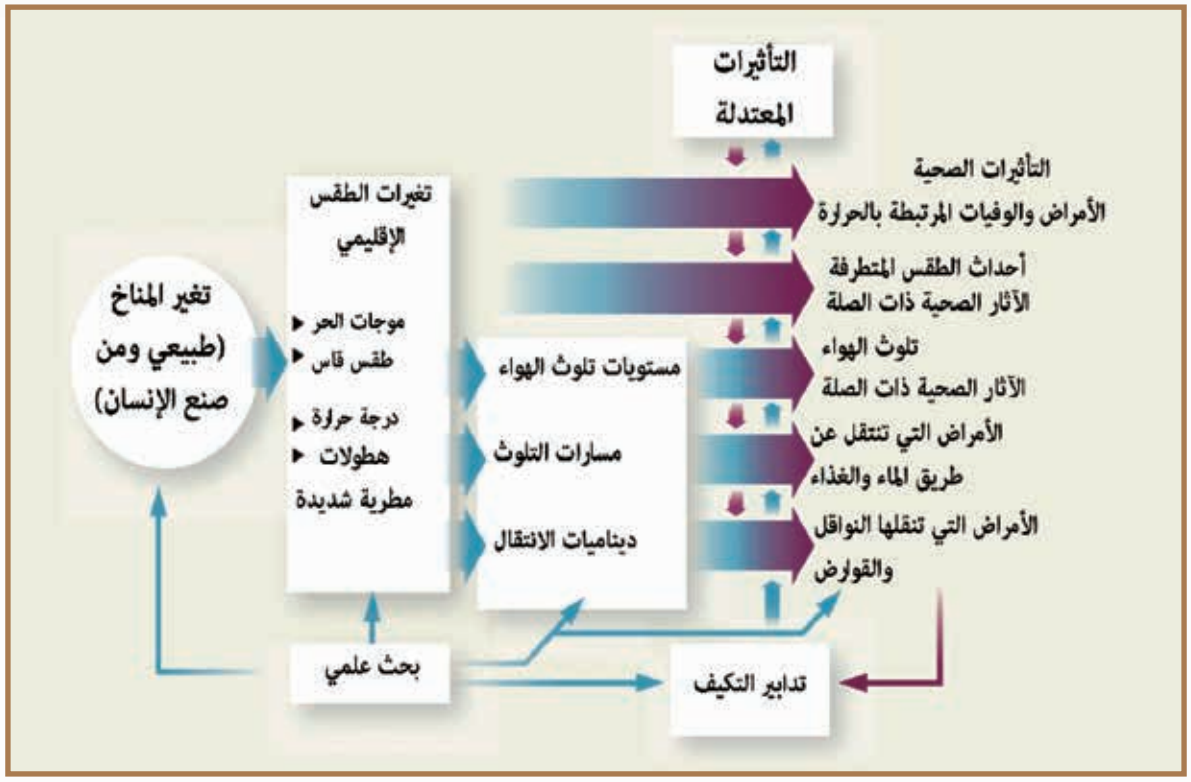


التبديل الحرج ونقاط الاختناق داخل نظام الأرض بسبب الاحتباس الحراري.

• آثـــار تغير المنـــــاخ على صحـــــة الإنســـــان

عامل آخر ذو أهمية كبيرة هو صحة الإنسان. اقترحت التقارير العلمية، على سبيل المثال، أنه مع حدوث استنفاد الأوزون وتجاوز الأشعة فوق البنفسجية عتبة معينة، فإن الأمراض الجلدية، وتشكل إعتام عدسة العين، وحتى العمى في البشر والحياة البرية، خاصة في أستراليا وأمريكا الجنوبية سيكون واقعاً لا محالة.

كما يبدو أن انتشار مسببات الأمراض وضعف جهاز المناعة إلى جانب جودة الهواء والماء سيكون لهما آثار ضارة في صحة الإنسان. يمكن أن يكون لتغير المناخ تأثير بعيد المدى في الأنماط الصحية في الولايات المتحدة، وسيأخذ هذا أشكالاً عدة ويتبع العديد من المسارات.



الآثار الصحية المحتملة لتقلبات المناخ وتغيره

التغيرات في الأحداث البيولوجية للطفيليات والناتجة عن درجات الحرارة الأكثر دفئاً ومواسم النمو الأطول، وكذلك انتشار الأمراض وناقلات الأمراض، تلوح في الأفق بشكل كبير في كل من المشاهد العالمية والوطنية. كما سُيناقش لاحقاً، يبدو أن الأنواع النباتية الغازية تنتج المزيد من حبوب اللقاح، مثل: (عشبة الرجيد) ولديها قوة كبيرة من السموم، على سبيل المثال، (تلك الموجودة في اللبلاب السام التي تسبب التهاب الجلد). يمكن أن تسبب أوبئة الأمراض مثل خنفساء الصنوبر الجبلية، على سبيل المثال (بحيرة أوتسا، كولومبيا البريطانية) وخنفساء التنوب، على سبيل المثال (شبه جزيرة كيناي الجنوبية، ألاسكا) أضراراً كبيرةً للغابات.

• التعتيـــــم العالمـــــي

التعتيم العالمي Global Dimming هو مفهوم مهم يصاحب ظاهرة الاحتباس الحراري. لم يُفهم كثيراً حتى وقت قريب، إنه ظاهرة تؤدي دوراً في الصحة البيئية العامة للأرض ولها آثار محددة على ظاهرة الاحتباس الحراري.

مع وجود التعتيم العالمي منذ وجود التلوث، إلا أنه اكتسب اهتماماً خاصّاً خلال الهجمات على الولايات المتحدة يوم 11 سبتمبر 2001، عندما توقفت حركة الطيران التجارية لمدة ثلاثة أيام. خلال هذا الإطار الزمني القصير، اكتشف العلماء أن درجة حرارة الغلاف الجوي ارتفعت (1 درجة مئوية) خلال تلك الفترة القصيرة. وأثناء دراستهم للاحتمالات، أدركوا أن السبب في ذلك هو عدم وجود نفثات في الغلاف الجوي خلفتها الطائرات التجارية.

تعكس مسارات بخار الماء بعض الإشعاع الشمسي الوارد، مما يمنعه من الوصول إلى سطح الأرض. قاد هذا الاكتشاف علماء المناخ في وكالة ناسا والإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) إلى فهم أن الأنشطة التي تعكس أشعة الشمس قد تعمل ضد ظاهرة الاحتباس الحراري.

بعبارة أخرى، فإن الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي - الملوثات (ثاني أكسيد الكبريت، والسخام، والرماد) وبخار الماء - في حين أنها غير صحية في حد ذاتها، وتسبب ظروفاً صحية مثل أمراض الجهاز التنفسي، تعمل في الواقع على مواجهة بعض الآثار السيئة للاحتباس الحراري من خلال عكس الحرارة بعيداً عن الأرض.

مع أن هذا قد يبدو كحل ممكن لمواجهة الاحتباس الحراري، إلا أنه ليس خياراً قابلاً للتطبيق لأن التعتيم العالمي له آثاره السلبية المرتبطة به. يعتقد

علماء المناخ في وكالة ناسا أنه أدى إلى انخفاض هطول الأمطار في منطقة الساحل في شمال إفريقيا، حيث تسبب في الجفاف الشديد والمجاعة، مما تسبب في وفيات مرتبطة بالحرارة لأكثر من مليون شخص في إفريقيا وألحق الضرر بـ 50 مليون شخص بالجوع والمجاعة.

من الحقائق القاسية بشأن التعتيم العالمي، التي تثير قلق العلماء، أنه بينما تتعامل المُدن مع تنظيف التلوث وتقليل مستويات الجسيمات في الغلاف الجوي، فإن ذلك سيزيد من آثار الاحتباس الحراري.

يعتقد الكثير أن التعتيم العالمي يعمل على مواجهة الآثار السلبية للاحتباس الحراري. إذا جرى التعامل مع قضايا التعتيم العالمي فقط، فإن الآثار السلبية للاحتباس الحراري ستزداد أكثر.

أحد الجوانب المقلقة لهذا الأمر في المجتمع العلمي هو أن التأثير المعاكس للتعتيم العالمي لم يُحسب بشكل كافٍ في النماذج المناخية الحالية. لذلك، مع تنظيف الغلاف الجوي، قد يؤدي ذلك إلى ارتفاع حادٍّ في ظاهرة الاحتباس الحراري، مما يؤدي إلى الإضرار بالنظم البيئية بشكل أسرع مما كان متوقعاً. يعتقد الخبراء أن هذا قد يؤثر سلباً في بلايين الأشخاص.

في الواقع، استناداً إلى الفيلم الوثائقي (أفق Horizon) الذي بثته هيئة الإذاعة البريطانية في يناير 2005، يعتقد العلماء أن التعامل مع التعتيم العالمي دون التعامل أيضاً مع آثار الاحتباس الحراري من شأنه أن يتسبب في العديد من الآثار الخطيرة مع أضرار لا رجعة فيها في نحو عقدين فقط.

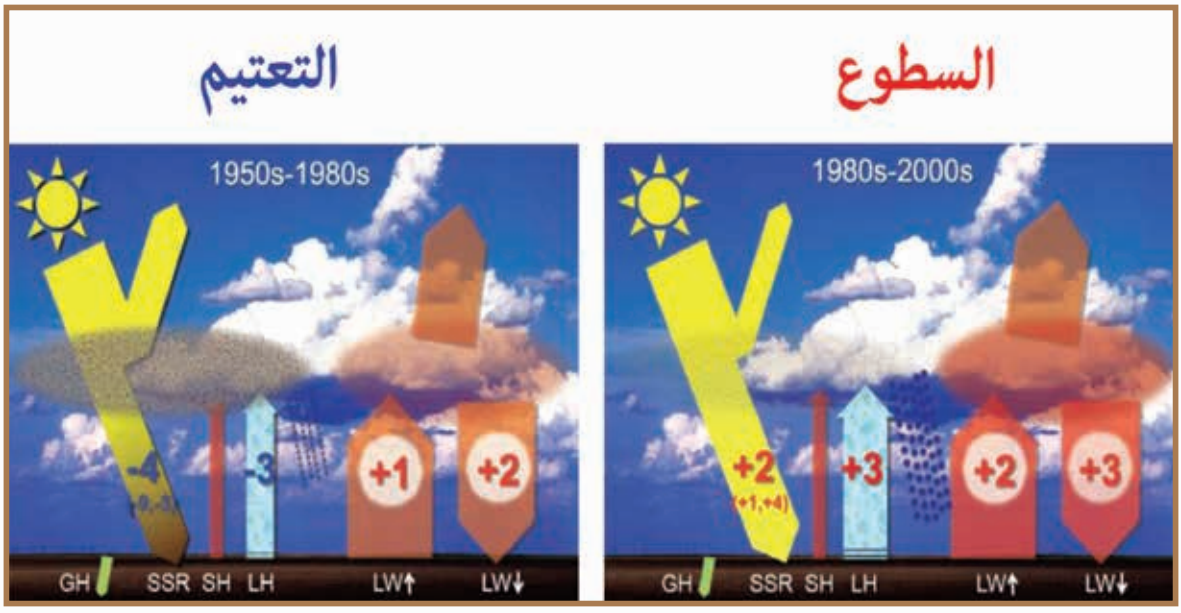
حيث سيزيد ذوبان الصفائح الجليدية في العالم؛ وتجفف الغابات الاستوائية المطيرة، مما يزيد من خطر الحرائق وبالتالي إطلاق المزيد من ثاني أكسيد

الكربون في الغلاف الجوي؛ وقتل الغطاء النباتي بما في ذلك المحاصيل وتدمير الصناعة الزراعية؛ وتدهور التربة وإطلاق كميات هائلة من هيدرات الميثان من قاع المحيط، وهي أقوى بنحو ثماني مرات من غازات الاحتباس الحراري من ثاني أكسيد الكربون.

إذا لم يُتعامل مع ظاهرة الاحتباس الحراري في الوقت نفسه، فمن المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة (10 درجات مئوية) خلال المائة عام القادمة - وهو ضعف ما تتوقعه معظم النماذج اليوم.

يتطلب التعامل بنجاح مع قضايا التفاعلات المختلفة لإشعاع الشمس مع الأرض والغلاف الجوي -غازات الدفيئة وتفاعلاتها ودورات الحياة، فضلاً عن التفاعلات بين الاحتباس الحراري والتعتيم العالمي- بحثاً مشتركاً واهتماماً من العلماء والمخططين والمديرين والسياسيين وعامة الناس على حد سواء.

إن فهم القضايا الحالية المتعلقة بغازات الدفيئة والمعرفة التطبيقية لما سيحدث للبيئة - إذا لم يُتحكم فيها وإدارتها بشكل صحيح - هو نصف المعركة التي يواجهها سكان العالم اليوم. بمجرد فهم المشكلات وقبولها، فإن الانتقال إلى الخطوة التالية يمكن أن يحدث الإجراء الإيجابي المستنير بنجاح.



تمثيل تخطيطي لفترات (التعتيم) و (السطوع) على سطح الأرض. (لليسار) أثناء التعتيم (من خمسينيات إلى ثمانينيات القرن العشرين)، ربما يكون الانخفاض في الإشعاع الشمسي السطحي (SSR) يفوق الإشعاع الحراري النازل في الغلاف الجوي (LW↓) من غازات الدفيئة المحسنة والتصدي بفعالية للاحتباس الحراري، مما تسبب فقط في زيادة طفيفة في الانبعاثات الحرارية السطحية (LW↑). قد يؤدي الانخفاض الناتج في الطاقة الإشعاعية على سطح الأرض إلى تبخر ضعيف وما يعادله من الطاقة، وهو التدفق الحراري الكامن (LH)، مما يؤدي إلى تباطؤ دورة المياه. (لليمين) مع الانتقال من التعتيم إلى السطوع (الثمانينيات والعقد الأول من الألفية الثانية)، لم يعد تأثير الدفيئة المعزز مقنعاً، مما تسبب في ارتفاع درجة حرارة أسرع، وتبخر أقوى (LH)، وتكثيف لدورة المياه. تشير القيم إلى أفضل التقديرات للتغيرات الإجمالية في تدفقات الطاقة السطحية خلال كلتا الفترتين مقدرةً بالواط/ المتر المربع (نطاقات تقديرات الأدبيات للتعتيم / سطوع SSR بين قوسين). تشير الأرقام الموجبة، الموضحة باللون الأحمر، إلى زيادة مقادير تدفقات الطاقة في الاتجاه الذي تشير إليه الأسهم. تعتبر التغييرات في تدفق حرارة الأرض (GH) وتدفق الحرارة المعقول (SH) صغيرة مقارنة بتغيرات التدفق المذكورة أعلاه.

• الاستجابات الوطنية والدولية الأخيرة

اقترحت الأمم المتحدة بروتوكول كيوتو للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وقد وافق عدد من الدول على ذلك. بالإضافة إلى ذلك، اتخذت العديد من الدول مبادراتها الخاصة، كما فعلت العديد من الولايات في الولايات المتحدة، لتحقيق أهداف مماثلة.

في عام 1989، أقرت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCC) الذي يُعزى بشكل مباشر أو غير مباشر إلى النشاط البشري الذي يغير تكوين الغلاف الجوي العالمي، الذي يضاف إلى التقلبات المناخية الطبيعية التي لوحظت على مدى فترات زمنية مماثلة.

ولكن حتى قبل إقرار اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، أدركت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة الأثر العميق الذي قد يخلفه مثل هذا التغير المناخي على البشر والكائنات الحية الأخرى على حد سواء؛ قاموا بشكل مشترك بتأسيس IPCC وهو الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ - في عام 1988.

كانت المُهمَّة الموكلة إلى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ هي دراسة وتوليف التغييرات المحتملة التي قد تحدث نتيجة لتراكم غازات الاحتباس الحراري وما يترتب على ذلك من تغير المناخ العالمي. ويضطلع الفريق بمُهمَّة ثلاثية: تقييم المعلومات العلمية المتاحة بشأن تغير المناخ، وتقييم الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية لتغير المناخ، وصياغة استراتيجيات يمكن من خلالها معالجة التخفيف من هذه التغيرات. في عام 2007، أصدرت هذه الهيئة تقريرها الرابع الذي جرى بحثه بصرامة واستعراض الأقران على نطاق واسع.

مع أن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تُعرّف تغير المناخ على أنه أي نوع من التغيير في مناخ الأرض بغض النظر عن السبب، فقد وجدت أدلة

دامغة على الزيادة الكبيرة في غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية، وبخاصة استخدام الوقود الأحفوري، وتغير استخدام الأراضي، والزراعة.

قدمت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) حافزاً كبيراً لمزيد من التطوير والصقل لنماذج الدوران العام التي تتنبأ بزيادة درجة الحرارة بمقدار 1.0–4.5 درجة مئوية بحلول نهاية هذا القرن. وتقديراً لعملها النموذجي، تقاسمت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ جائزة نوبل للسلام في عام 2007.

الحلول المقترحة لمشكلات التغيرات المُناخية والاحتباس الحراري

في الوقت الحالي، لا توجد اتفاقية دولية ملزمة لخفض الانبعاثات مع أن العديد من البلدان تتخذ سياسات الخفض من جانب واحد. من الواضح أن الاتجاه الحالي لانبعاثات غازات الدفيئة أعلى حالياً من أسوأ السيناريوهات التي تناولتها تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2014/2013.

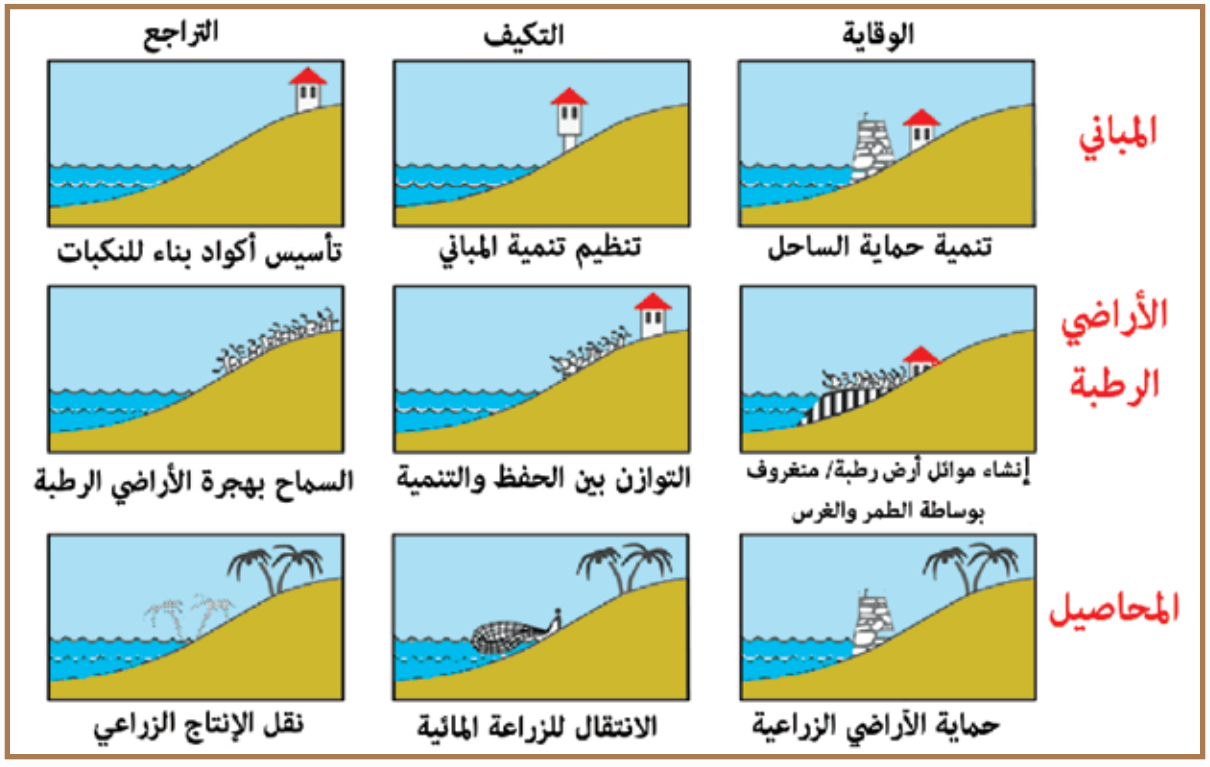
ويرجع ذلك في المقام الأول إلى التطور السريع للاقتصادات الناشئة، مثل: (الصين والهند والبرازيل وجنوب إفريقيا). لذا سنبحث هنا ثلاثة أنواع من الحلول لتغير المناخ. الأول هو التكيف، والذي يعني ببساطة توفير الحماية للسكان؛ لأننا نعلم بالفعل أنه سيكون هناك تغير مناخي حتى لو انخفضت الانبعاثات بشكل جذري إلى مستويات عام 1990. ثانياً، التخفيف، والذي في أبسط مصطلحاته يقلل من بصمتنا الكربونية وبالتالي عكس اتجاه الزيادة المستمرة في انبعاثات غازات الدفيئة. ثالثاً، الهندسة الجيولوجية التي تتضمن استخراج ثاني أكسيد الكربون على نطاق واسع من الغلاف الجوي أو تعديل المناخ العالمي.

• التكيـــف

سـيكون هنـاك بالتأكيـد تغيـر مناخـي. سـتتأثر العديـد مـن البلـدان سـلباً في المسـتقبل القريـب، وسـتتأثر جميـع البلـدان تقريبـاً في الثلاثـين عامـاً القادمـة؛ لـذا فـإن التقريـر الثانـي للتقييـم الخامـس للهيئـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ الـذي نُشـر في عـام 2014 يفحـص آثـار تغيـر المنـاخ والحساسـية المحتملـة، والقـدرة علـى التكيـف، وقابليـة تأثـر كل بيئـة وطنيـة وأنظمـة اقتصاديـة محيطيـة. علـى سـبيل المثـال، نظـراً لأن الفيضانـات سـتصير أكثـر انتشـاراً في بريطانيـا، يمكـن منـع الأضـرار التـي تلحـق بالممتلـكات وفقـدان الأرواح مـن خـلال دفاعـات جديـدة ضـد الفيضانـات وقوانـين جديـدة صارمـة تحـد مـن البنـاء في السـهول الفيضيـة والسـواحل المعرضـة للخطـر. تعتقـد الهيئـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ أن هنـاك سـتة أسـباب تدفعنـا للتكيـف مـع تغيـر المنـاخ:

- لا يمكن تجنب تغير المناخ.
- يعـد التكيـف الاسـتباقي والوقائـي أكثـر فعاليـة وأقـل تكلفـة مـن الإصلاحـات الطارئـة القسـرية في اللحظـة الأخيـرة.
- قـد يكـون تغيـر المنـاخ أسـرع وأكثـر وضوحـاً ممـا تشـير إليـه التقديـرات الحاليـة، ومـن المحتمـل أن تحـدث أحـداث غيـر متوقعـة ومتطرفـة.
- يمكـن جنـي الفوائـد الفوريـة مـن التكيـف الأفضـل مـع تقلـب المنـاخ والظواهـر الجويـة الشـديدة، علـى سـبيل المثـال، (مـع مخاطـر العواصـف، يجـب تنفيـذ قوانـين البنـاء الصارمـة وممارسـات الإخـلاء الأفضـل).
- يمكـن أيضـاً جنـي الفوائـد الفوريـة مـن خـلال إزالـة السياسـات والممارسـات غيـر القـادرة علـى التكيـف، علـى سـبيل المثـال، (البنـاء علـى السـهول الفيضيـة والسـواحل المعرضـة للخطـر).
- تغير المناخ يجلب الفرص وكذلك التهديدات.

التهديد الرئيسي من تغير المناخ هو عدم القدرة على التنبؤ به. يمكن للبشرية أن تعيش في أي مناخ متطرف تقريباً، من الصحاري إلى القطب الشمالي، لكن لا يمكننا فعل ذلك إلا عندما نتمكن من التنبؤ بما سيكون عليه الطقس المتطرف؛ لذا فإن التكيف هو -حقّاً- مفتاح التعامل مع تغير المناخ، ولكن يجب أن يبدأ حالياً، حيث يمكن أن يستغرق تنفيذ تغييرات البنية التحتية ما يصل إلى 30 عاماً.



مثال على كيفية تكيف البلدان مع الارتفاع المتوقع في مستوى سطح البحر.

على سبيل المثال، إذا كنت ترغب في تغيير استخدام الأراضي، عن طريق بناء دفاعات بحرية أفضل أو إعادة الأراضي الزراعية إلى الأراضي الرطبة الطبيعية في منطقة معينة، فقد يستغرق الأمر عشر سنوات للبحث والتخطيط

للإجراءات المناسبة. قد يستغرق الأمر بعد ذلك عشر سنوات أخرى للعمليات الاستشارية والقانونية الكاملة، وعشر سنوات أخرى لتنفيذ هذه التغييرات. يمكن أن تستغرق الاستعادة الطبيعية بعد ذلك عقداً آخرَ لإكمال مشروع التكيف.

وخير مثال على ذلك هو حاجز التايمز، الذي يحمي لندن حالياً من الفيضانات. فقد جرى بناؤه استجابة للفيضانات الشديدة في عام 1953 ولكن لم يفتتح رسميّاً حتى عام 1984، بعد 31 عاماً. منذ ذلك الحين، كان لدى وكالة البيئة في المملكة المتحدة برنامج للترقية المستمرة لجميع الدفاعات ضد الفيضانات على طول نهر التايمز لجعل الحاجز فعَّالاً قدر الإمكان.

ومع ذلك، هناك حدود للتكيف:

- قد يتخطى تغير المناخ في مناطق معينة قدرتنا أو مواردنا المالية لحماية السكان الذين يعيشون هناك.
- في بعض المناطق، تكون قدرتنا على التنبؤ بآثار تغير المناخ محدودة، وبالتالي فإن صياغة خطة للتكيف أمر صعب.

مثال حوض نهر الميكونغ وعجزنا الحالي عن التنبؤ فيما إذا كان تغير المناخ سيزيد أو ينقص تصريفه السنوي. يصير تقديم المشورة لصانعي السياسات صعباً جدّاً عندما لا تسمح حالات عدم اليقين حتى لأحد بمعرفة ما إذا كان نظام تجميع المياه في الأنهار في المستقبل سيحوي على مياه أكثر أو أقل. ولكن ينبغي أيضاً نقل هذا النقص في المعرفة إلى صانعي السياسات حتى يفهموا النطاق الكامل لسيناريوهات المناخ المحلي المحتملة التي قد يواجهونها.

المشكلة الأخرى هي أن التكيف يتطلب أموالاً تستثمر حالياً؛ كثير والمشكلة الأخرى هي أن التكيف يتطلب المال ليجري استثماره حالياً؛ العديد من البلدان ليس لديها المال، وعندما يتوفر لديها، لا يرغب الناس في دفع المزيد من الضرائب لحماية أنفسهم في المستقبل؛ يعيش معظم الناس في الوقت الحاضر.

ومن ثم فإن حلول تغير المناخ يجب أن تجمع بين التكيفات واستراتيجيات التخفيف التي ستناقش أدناه. كان محور مفاوضات اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ هو المساعدة في نقل التكنولوجيا من البلدان المتقدمة إلى البلدان النامية وإنشاء صندوق لتغير المناخ لمساعدة البلدان النامية على التكيف.

الشيء الوحيد الذي تفعله الحكومات حالياً هو إجراء تقييمات لتأثير تغير المناخ. على سبيل المثال، يوجد في المملكة المتحدة برنامج تأثير المناخ في المملكة المتحدة الذي أطلق في يناير 2009 منتجات جديدة، بناءً على أحدث تقارير IPCC 2007، والتي تُظهر التأثيرات المحتملة لتغير المناخ على المملكة المتحدة على مدار المائة عام القادمة.

تستهدف هذه المنتجات الحكومة الوطنية والمحلية في المملكة المتحدة، والصناعة، والأعمال التجارية، ووسائل الإعلام، وعامة الناس. وسيجري حالياً تحديث هذه التقارير وفقاً لآخر تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2014/2013. إذا أنشأت كل حكومة أحد هذه البرامج، فستتاح لمواطنيها على الأقل الفرصة لاتخاذ خيارات مستنيرة حول الكيفية التي ينبغي أن تتكيف بها بلدانهم مع تغير المناخ.

• التخفيف

قد تبدو فكرة خفض انبعاثات الكربون العالمية بمقدار النصف في السنوات الثلاثين المقبلة وبنسبة تصل إلى 80 % بحلول نهاية القرن صعبة جدّاً؛ ومع ذلك، فقد قدمت المملكة المتحدة والمكسيك وكاليفورنيا بالفعل تعهدات ملزمة قانوناً لخفض انبعاثات الكربون بنسبة 80 % و50 % و60 % على التوالي بحلول عام 2050. وقد نشر الأستاذان ستيف باكالا وروبرت سوكولو في جامعة برينستون ورقة مؤثرة جدّاً في مجلة العلوم مما يجعل هذا التحدي يبدو أكثر

قابلية للتحقيق. لقد أخذا سيناريو الانبعاثات غير العادية للأعمال والسيناريو المطلوب هو 450 جزءًا في المليون ووصفوا الفرق بين الاثنين بعدد من «الأوتاد». بناءً على وجهة النظر هذه، بدلاً من رؤية مشكلة واحدة ضخمة لا يمكن التغلب عليها، فإن ما نواجهه حقّاً هو ما بين 16 و20 تغييراً متوسط الحجم يضاف إلى التغيير الكبير المطلوب.

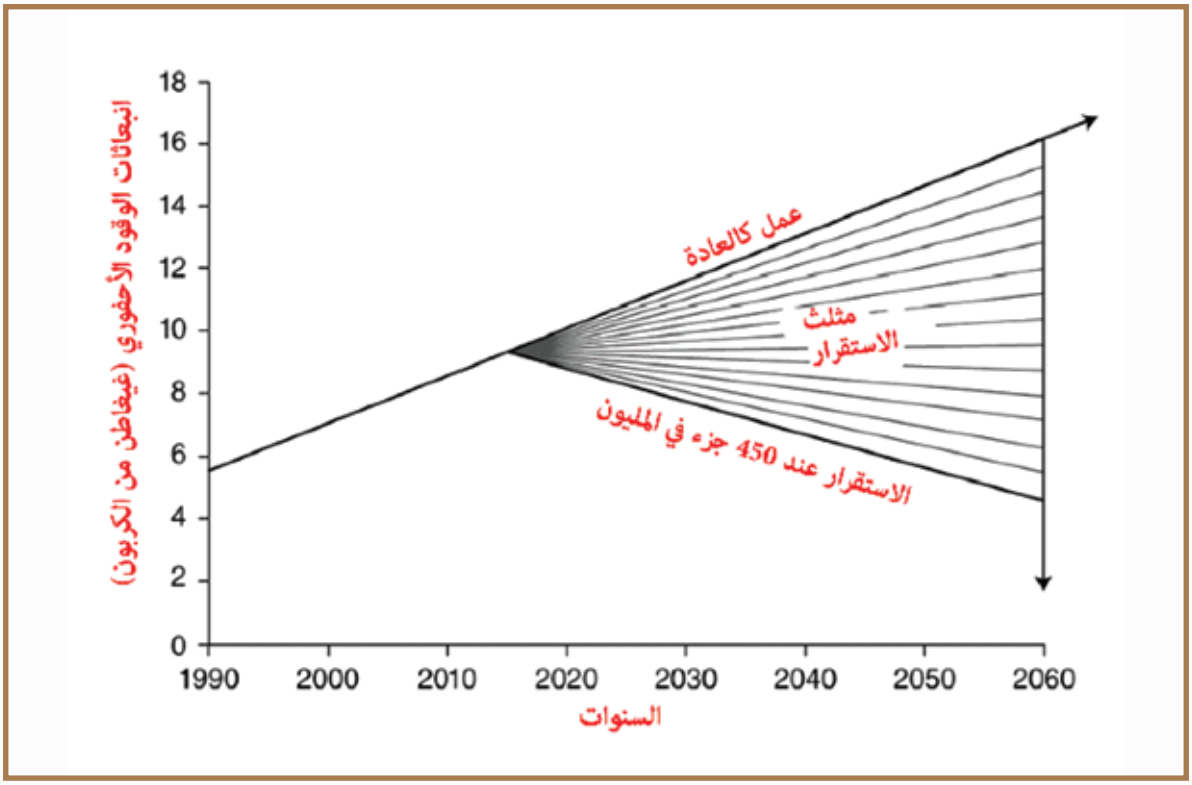
قدموا أيضاً عدة أمثلة للأوتاد، كل منها يوفر تقريباً 1 غيغا طن من الكربون كل عام. على سبيل المثال، يمكن أن يضاعف وتد واحد كفاءة بليوني سيارة من 30 ميلاً للغالون (~ 9.4 لتر لكل 100 كم) إلى 60 ميلاً للغالون (~ 4.7 لتر لكل 100 كيلومتر)، وهو في الواقع هدف قابل للتحقيق جدّاً، حيث جرى بالفعل تصنيع سيارات يمكنها بسهولة أن تسير 100 ميل لكل غالون (2.8 لتر لكل 100 كيلومتر).

مع أن ستيف باكالا وروبرت سوكولو يقدمان أمثلة على ما يمكننا القيام به لتحقيق التخفيضات المطلوبة في غازات الدفيئة، سيكون لكل دولة نقاط قوة وضعف مختلفة، ويمكنها تطبيق الأوتاد الأكثر ملاءمة لها. من أولى الإجراءات التي يمكن أن تتخذها جميع البلدان والصناعات والأفراد هو أن تكون أكثر كفاءة في استخدام الطاقة.

في الوقت الحالي، يبلغ استخدام الطاقة في منزل متوسط في إحدى الولايات المتحدة ضعف مثيله في المنزل العادي في ولاية كاليفورنيا، في حين يبلغ استخدام الطاقة المحلية في كاليفورنيا ضعف استخدام الدنمارك؛ لذلك يوجد بالفعل داخل العالم المتقدم مدخرات ضخمة يجب تحقيقها فقط من خلال تحسين كفاءة الطاقة.

لا يزال يمثل لغزاً لماذا لا تعمل الصناعة والأعمال على تحسين استخدامهما للطاقة، حيث يمكن أن يؤدي ذلك أيضاً إلى خفض تكاليف التشغيل بشكل

كبير. ومع ذلك، سيتم الاستيلاء على مكاسب الكفاءة في نهاية المطاف عن طريق زيادة الاستخدام. على سبيل المثال، إذا ضاعفنا كفاءة بليوني سيارة، فسيتم القضاء على هذا المكسب بمجرد وضع بليوني سيارة أخرى على الطرق؛ لذا فإن أحد أهم المجالات هو إنتاج طاقة نظيفة أو خالية من الكربون.

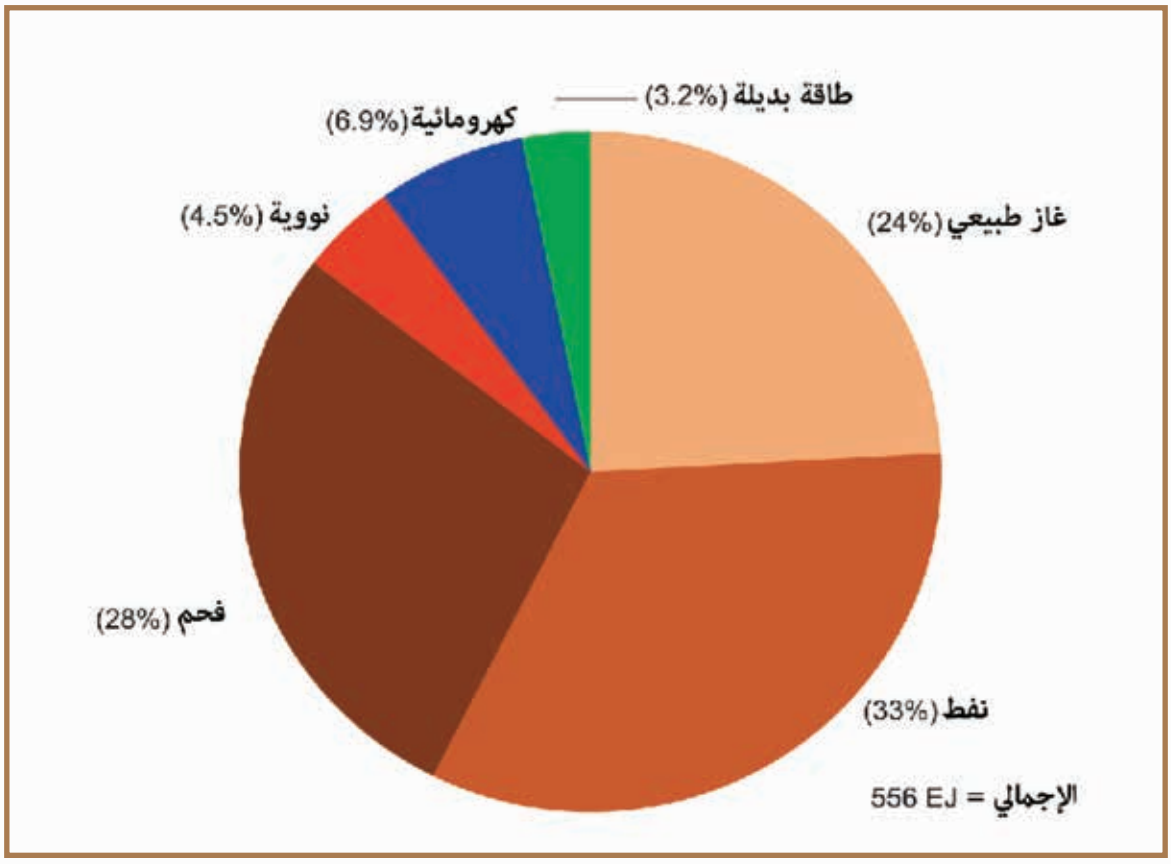


أوتاد التثبيت لتحقيق تركيز في الغلاف الجوي يبلغ 450 جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون.

• الطاقة البديلة والمتجددة والنظيفة

يعتبر الوقود الأحفوري اكتشافاً مذهلاً، وقد سمح للعالم بالتطور بمعدل أسرع مما كان عليه في أي وقت آخر في التاريخ. يعتمد مستوى المعيشة المرتفع في العالم المتقدم على أنواع الوقود الأحفوري الرخيصة والآمنة نسبيّاً. ولكن كما وجدنا، فإن حرق الوقود الأحفوري له نتيجة غير مقصودة لتغير المناخ العالمي.

لـذا ففـي القـرن الحـادي والعشـرين، نحتـاج إلـى التحـول مـن طاقـة الوقـود الأحفـوري إلـى طاقـة خاليـة مـن الكربـون. وتشـمل هـذه الطاقـة الشمسـية وطاقـة الريـاح والطاقـة المائيـة والأمـواج والمـد والجـزر. هنـاك أسـباب أخـرى للتحـول إلـى مصـادر الطاقـة المتجـددة. الأول هـو القلـق مـن أننـا وصلنـا إلـى مسـتويات مـوارد «ذروة النفـط» و «ذروة الفحـم»، وهمـا ينفـدان حاليـاً مـن العالـم.



الاستهلاك العالمي للطاقة الأولية حسب الوقود عام 2016. قدم الوقود الأحفوري 85 % من طاقة العالم، بينما شكلت الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والأشكال المتجددة الأخرى للطاقة 3.2 %. بلغ الاستهلاك الإجمالي 556 إكساجول (= 10^{18} جول).

هذا غير مرجح تماماً نظراً لجميع الاحتياطيات الجديدة من النفط والفحم عالي الجودة التي جرى اكتشافها على مدار العشرين عاماً الماضية. ومع ذلك، وكما يقول الكيميائيون، فإن أكبر جريمة يمكن أن تفعلها بالنفط هي حرقه، حيث يجري بناء المجتمع الصناعي بكامله اعتماداً على البلاستيك المصنوع من النفط.

علاوة على ذلك، نظراً لدورة التكسير الهيدروليكي، يوجد حالياً إمدادات غير محدودة تقريباً من الغاز الطبيعي. ثانياً، صارت البلدان في القرن الحادي والعشرين على دراية تامة بـ (أمن الطاقة Energy security)؛ حيث تعتمد اقتصادات معظم البلدان المتقدمة بشكل كبير على استيراد الوقود الأحفوري، مما يجعلها عرضة لتقلبات الأسواق والابتزاز الدولي.

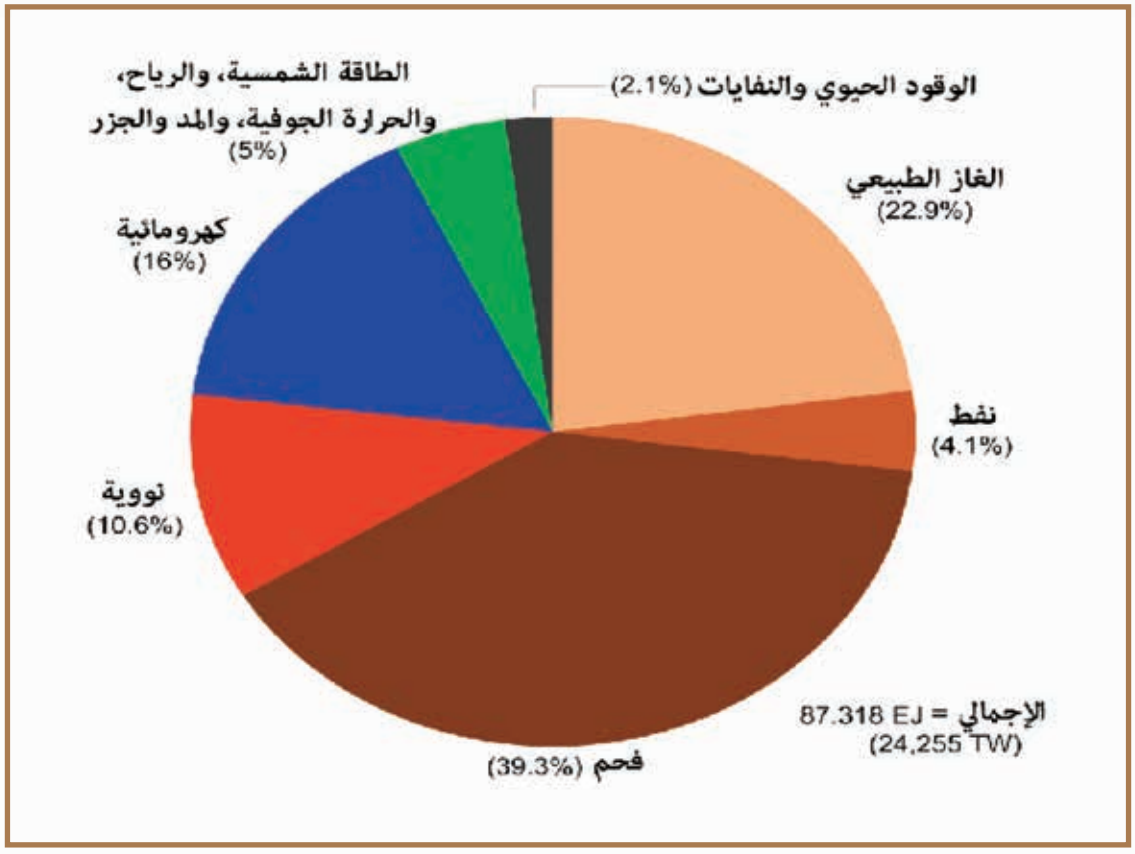
سنناقش فيما يأتي بشكلٍ موجز لمصادر الطاقة البديلة الرئيسية. ويمكننا أن نرى على الفور كيف تناسب المحافظ المختلفة البلدان المختلفة. على سبيل المثال، تمتلك المملكة المتحدة أفضل موارد طاقة الرياح في جميع أنحاء أوروبا، بينما تتمتع المملكة العربية السعودية بظروف ممتازة للطاقة الشمسية. توجد جميع التقنيات الخاصة بهذه البدائل تقريباً، باستثناء الاندماج النووي.

◆ الطاقـــة الشمسية

تستقبل الأرض في المتوسط 343 واط / متر مربع من أشعة الشمس، ومع ذلك فإن الأرض ككل لا تتلقى سوى 2 بليون واط من كل الطاقة التي تبثها الشمس؛ لذا فإن الشمس من نواحٍ عديدة هي المصدر النهائي للطاقة، وهي الطاقة التي تستخدمها النباتات لبلايين السنين. في الوقت الحالي يمكننا تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى حرارة أو كهرباء أو يمكننا التقاط الطاقة من خلال عملية التمثيل الضوئي عن طريق زراعة الوقود الحيوي. وأبسط نهج هو التسخين الشمسي. على نطاق صغير، يمكن أن تحوي المنازل والمباني

الأخرى في البلدان المشمسة على ألواح تسخين بالطاقة الشمسية على السطح، مما يؤدي إلى تسخين المياه، بحيث يمكن للناس الحصول على حمامات ساخنة خالية من الكربون. على نطاق واسع، تُستخدم المرايا المكافئة لتركيز الطاقة الشمسية لتوليد سائل ساخن (ماء أو زيت) لتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء.

أفضل الأماكن لوضع محطات التدفئة الشمسية هي الصحاري ذات خطوط العرض المنخفضة، التي يكون فيها عدد الأيام الملبدة بالغيوم قليل جدّاً في السنة. جرى بناء محطات التسخين الشمسية في ولاية كاليفورنيا منذ الثمانينيات ويجري بناؤها حالياً في العديد من البلدان الأخرى. تقوم الألواح الكهروضوئية الشمسية بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء؛ حيث تصطدم أشعة الشمس الفردية باللوح الشمسي وتحرر الإلكترونات الموجودة بداخلها، مما يُولّد تياراً كهربائيّاً.



توليد الكهرباء على مستوى العالم حسب مصدر الطاقة عام 2015؛ حيث شكل الوقود الأحفوري أكثر من 66 % من توليد الكهرباء، بينما شكلت الطاقة الشمسية وطاقة الرياح أقل من 5 %.

الميزة الرئيسية للألواح الشمسية هي أنه يمكنك وضعها في المكان المطلوب للطاقة وتجنب البنية التحتية المعقدة المطلوبة عادة لنقل الكهرباء. على مدى العقد الماضي، كانت هناك زيادة هائلة في كفاءتها، حيث كانت كفاءة أفضل الألواح الشمسية المتاحة تجاريّاً تبلغ نحو 21 %، وهو أكثر بكثير من التمثيل الضوئي عند نحو 1 %. علاوة على ذلك، كان هناك انخفاض كبير في الأسعار بسبب الاستثمار الضخم في التكنولوجيا.

توجد أشكال متعددة للاستفادة من الطاقة الشمسية: إما بتحويلها إلى كهرباء، وإما باستخدامها في التسخين.

تكنولوجيا تحويل طاقة الشمس إلى كهرباء ليست جديدة. مدفوعة بأزمة النفط في السبعينيات ، جرى بناء تسع محطات للطاقة الحرارية الشمسية بسعة إجمالية قدرها 354 ميغاواط في الثمانينيات في صحراء موهافي، كاليفورنيا. تضاءل الاهتمام بالطاقة الشمسية مع انخفاض أسعار النفط، إلا أنه استيقظ مرة أخرى عندما بدأت الأسعار في الارتفاع في عام 2002.

يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء بطريقين: الأول هو تحويل الإشعاع مباشرة إلى كهرباء باستخدام الخلايا الكهروضوئية. والآخر هو توجيه التوربينات بسائل يجري تسخينه بواسطة الطاقة الشمسية باستخدام المرايا.

تستخدم الخلايا الكهروضوئية التأثير الكهروضوئي، وهي عملية تحرير إلكترون من ذرة عن طريق امتصاص الذرة للفوتون الساقط، أو حزمة من

الضوء. في أبسط أشكالها، تتكون الخلية الكهروضوئية من طبقات من مادة p و n شبه موصلة، غالباً ما تكون مصنوعة من السيليكون، محصورة بين طبقات من المواد الموصلة.

ينتج ضوء الشمس الساقط على الطبقة n إلكترونات يجري تجميعها في المشغل لإنشاء فرق جهد بين الوجهين الأمامي والخلفي للخلية. يحرّك فرق الجهد تياراً كهربائيّاً عندما يكون الجانبان متصلين بواسطة موصل. تتناسب كمية الكهرباء التي تنتجها الخلية الكهروضوئية تقريباً مع كمية الإشعاع الشمسي الساقط عليها.

يجري تركيب الخلايا الكهروضوئية في وحدات تُدمج بدورها لتشكيل لوحات بأحجام وأرقام مختلفة، حسب التطبيق والاستخدام. مع أن وجود أنواع أخرى من الخلايا الكهروضوئية، فإن خلية السيليكون الكهروضوئية القياسية تشكل 90 % من السوق. تنتج الخلايا الكهروضوئية تياراً كهربائيّاً مباشراً يجب تحويله إلى التيار المتردد المنزلي القياسي باستخدام أجهزة تعرف بالعاكسات (إنفرترات).

توفر الخلايا الكهروضوئية مرونة كبيرة. على سبيل المثال، يمكن تركيب آلاف الألواح الشمسية معاً لتشكيل مزارع شمسية شاسعة، أو يمكن تركيب عدد قليل من الألواح الشمسية على المباني السكنية والتجارية الفردية لتلبية الطلب المحلي. يعمل التكوين الأخير جيداً بشكل خاص إذا كانت الألواح الشمسية متصلة بالشبكة الكهربائية؛ لأنه يمكن بعد ذلك بيع الطاقة الزائدة أو مبادلتها بالكهرباء العامة عندما لا يجري الحصول على أي منها من المصفوفات الكهروضوئية. وهذا يغني أيضاً عن الحاجة إلى أجهزة تخزين باهظة الثمن، مثل بنوك البطاريات. والمصفوفات الكهروضوئية مناسبة أيضاً لأجهزة الطاقة المعزولة عن مصادر الطاقة الأخرى، مثل مضخات المياه في المراعي الزراعية البعيدة.

مشـروع جاسـبر للطاقـة الشمسـية الكهروضوئيـة Jasper Solar PV Power Project، في جنـوب إفريقيـا. يتكـون مشـروع جاسـبر مـن 325000 لـوح شمسـي بسـعة 96 ميغـاواط. دخـل المصنـع الخدمـة في أكتوبـر 2014 وهـو حاليـاً الأكبـر في إفريقيـا. اعتبـاراً مـن عـام 2016، تبلـغ قـدرة أكبـر محطـة للطاقـة الشمسـية في جميـع أنحـاء العالـم 648 ميغـاواط وتقـع في كاموثـي، تاميـل نـادو، الهنـد.

تُعرّف كفاءة الخلية الشمسية على أنها كمية الطاقة الكهربائية التي تنتجها الخلية مقسومة على كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها. تحقق الخلايا التجارية عموماً كفاءات تتراوح بين 16 و 20 %. يجري توجيه الكثير من الجهد لإنتاج الخلايا الكهروضوئية ذات كفاءة أكبر.

على سبيل المثال، يتكون الإشعاع الشمسي من فوتونات ذات طيف من الطاقات، لكن مواد معينة من أشباه الموصلات يمكنها امتصاص الفوتونات فقط في نطاقات ضيقة من الطاقات، مما يحد من كفاءتها.

لذلك، تتمثل إحدى طرائق اكتساب الكفاءة في بناء خلايا تتكون من طبقتين أو ثلاث طبقات من أشباه موصلات مختلفة تمتص الفوتونات في أجزاء مختلفة من طيف الطاقة. اعتباراً من عام 2016، بلغت كفاءة الألواح الشمسية التجارية الأكثر كفاءة نحو 23 %.

حققت بعض الخلايا الكهروضوئية المختبرية كفاءات تزيد على 40 %، وكفاءات تصل إلى 50 % ممكنة من الناحية النظرية. يشير أداء الخلايا البحثية إلى أنه لا يزال يتعين تحقيق تقدم تكنولوجي كبير في كفاءة الخلايا وتصنيعها، مما سيؤدي إلى مزيد من خفض التكاليف.

يمكن أيضاً توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية باستخدام المرايا التي تركز ضوء الشمس على أجهزة الاستقبال. يتحول ضوء الشمس الذي يصيب جهاز الاستقبال إلى حرارة، مما يؤدي إلى تسخين سائل يدفع بدوره توربيناً بخاريّاً مقترناً بمولد قياسي. وتُعرف هذه العملية عموماً بتركيز الطاقة الشمسية، أو ببساطة الطاقة الشمسية الحرارية، وهي عملية أكثر في المناطق الخالية من السحب التي تستقبل أكثر من 7 كيلو واط / متر مربع يوميّاً من الطاقة الشمسية، مثل معظم المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية في العالم.

الطريقة الشائعة لتركيز الطاقة الشمسية هي استخدام حوض خطي مكافئ يعكس ويركز ضوء الشمس على أنبوب مملوء بالزيت أو الملح المصهور يمر أسفل مركز الحوض.

يمكن توجيه القيعان في اتجاه الشمال والجنوب وتتبع الشمس مع تقدم اليوم. تتمثل الطريقة الثانية في استخدام مجال كبير من مرايا تتبع الشمس لتركيز ضوء الشمس على جهاز استقبال في أعلى برج مركزي، حيث يقوم الضوء المركز مرة أخرى بتسخين الزيت أو الملح المصهور.

في كلتا الحالتين، يستخدم السائل الساخن لغلي الماء، والذي بدوره يقود التوربينات البخارية. يعد نظام توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية ايفانباه Ivanpah، الموجود في صحراء موجاف Mojave في أمريكا، من بين أكبر أنظمة الأبراج الشمسية، بسعة 392 ميغاواط.

مع أن أنظمة الطاقة الشمسية المركزة أغلى من الأنظمة الكهروضوئية، إلا أن ميزتها الرئيسية هي أنه يمكن تصميمها لتخزين الطاقة لاستخدامها في الليل أو في الأيام الملبدة بالغيوم. أحد هذه الأنظمة هو مشروع أنداسول AndaSol، وهو عبارة عن محطة على الشكل قطع مكافئ للطاقة الشمسية بقدرة 150 ميغاواط في مقاطعة غرناطة بإسبانيا. وسيط التخزين عبارة عن ملح مصهور يشتمل على 60 % نترات صوديوم و40 % نترات بوتاسيوم. بعد التسخين، يُضخ الملح المصهور في خزان تخزين ساخن عند 386 درجة مئوية، ثم يمر عبر مبادل حراري لغلي الماء حيث يُنقل إلى خزان «بارد» عند 292 درجة مئوية، وبعد ذلك يُضخ الملح المصهور للعودة إلى أنابيب التسخين في أحواض القطع المكافئ. يحافظ النظام على أكثر من سبع ساعات من سعة التخزين عند التحميل الكامل.

◆ الوقـــود الحيـــوي

هذه هي نتاج الطاقة الشمسية التي يجري تحويلها إلى كتلة حيوية للنبات عن طريق التمثيل الضوئي، والتي يمكن استخدامها بعد ذلك لإنتاج وقود سائل. يقوم الاقتصاد العالمي على استخدام الوقود الأحفوري السائل، ولا سِيَّما في قطاع النقل. لذلك على المدى القصير، يمكن أن يكون الوقود المشتق من النباتات وسيلة وسيطة منخفضة الكربون لتشغيل السيارات والسفن والطائرات.

هناك مخاوف من أن إنتاج الوقود الحيوي يمكن أن ينافس المحاصيل

الغذائية. في الواقع، أُلقي اللوم في البداية على ذروة أسعار الغذاء في الأعوام 2008 و 2011 و2012 على إنتاج الوقود الحيوي، لكن تحليل هذه الزيادات الهائلة أظهر أن الجاني الحقيقي كان في الواقع زيادة أسعار النفط والمضاربة على الغذاء في الأسواق المالية.

في النهاية، السيارات الكهربائية هي المستقبل؛ لأن الكهرباء المطلوبة يمكن إنتاجها بطريقة محايدة الكربون. ومع ذلك، فإن مصدر الطاقة هذا ليس خياراً للطائرات. يجمع وقود الطائرات التقليدي الكيروسين بين الوزن الخفيف نسبيّاً وإنتاج الطاقة العالي. تجري الأبحاث لمعرفة ما إذا كان يمكن إنتاج وقود حيوي يكون خفيفاً وقويّاً بدرجة كافية ليحل محل الكيروسين.

◆ طاقة الريح

ينعكس نمو صناعة طاقة الرياح في الحجم المتزايد لتوربينات الرياح. قبل ثلاثين عاماً، ربما كان التوربين النموذجي يبلغ قطره الدوار 10 أمتار (قطر الدائرة التي تعبرها الشفرة).

حالياً، يبلغ قطر التوربينات الأرضية النموذجية ذات الحجم الكبير 100 متر، وتقع على برج بارتفاع 80 متراً (ارتفاع يعادل ارتفاع مبنى مكون من 26 طابقاً)، ولها سعة (أقصى طاقة يمكن أن يولدها التوربين الواحد) 2 ميغاواط.

تعد التوربينات البحرية أكبر حجماً، حيث يقترب قطر الدوار من 200 متر، وارتفاع البرج 120 متراً، وتصل قدرات توليد الطاقة حتى 10 ميغاواط.

أدت التطورات في تصميم التوربينات أيضاً إلى عوامل قدرة أعلى، تُعرّف على أنها متوسط ناتج الطاقة الفعلي مقسوماً على السعة لسرعة رياح معينة.

قد تحقق التوربينات الحديثة في المناطق العاصفة نسبيّاً عوامل قدرة سنوية تبلغ نحو 40 %.

يجري تجميع توربينات الرياح معاً في مزارع الرياح. معظمها لديها قدرات إجمالية تتراوح من عشرات إلى مئات ميغاواط، لكن أكبرها حالياً تبلغ طاقتها أكثر من 1000 ميغاواط. بعبارة أخرى، صارت محطات الطاقة هذه حالياً كبيرة، من حيث القدرة المنتجة، مثل محطات الطاقة النووية الكبيرة وتلك التي تعمل بالوقود الأحفوري.

تتناسب الطاقة التي يمكن أن تولدها الرياح نظريّاً مع مكعب سرعتها. وبالتالي، فإن الزيادة في سرعة الرياح بنسبة 50 % لنقل من 10 إلى 15 كيلومتراً في الساعة يجب أن تنتج طاقة أكبر بنحو 3.4 مرة (مع أن التوربينات لا تلتقط هذه الزيادة بكاملها).

نتيجة لذلك، تعد سرعة الرياح بشكل عام عاملاً أكثر أهمية في تحديد موقع مزارع الرياح من موقع مستهلكي طاقة الرياح. في الولايات المتحدة، يكون متوسط سرعات الرياح السنوية أكبر بكثير في الحزام الشمالي الجنوبي الذي يمر عبر الجزء الأوسط من البلاد منه في أي مكان آخر، وهذا هو المكان الذي تتركز فيه مزارع الرياح حالياً.

تكون سرعات الرياح في المتوسط أقوى بنحو 90 % وأكثر اتساقاً على الماء منها فوق الأرض، لذا فإن المواقع البحرية لديها إمكانات هائلة لتطوير مزارع الرياح واسعة النطاق.

جرى تطوير توربينات الرياح البحرية في الغالب في أوروبا، إذْ أُنشأ أول مشروع من هذا النوع في الدنمارك في عام 1991، وبحلول عام 2016 كان هناك

ما يقرب من 15 غيغاواط من طاقة الرياح البحرية المثبتة، ثلثها في المملكة المتحدة. ومع ذلك، فإن هذا لا يمثل سوى 3 % من إجمالي طاقة الرياح المثبتة في جميع أنحاء العالم.

في الولايات المتحدة، لم يُشغّل المشروع البحري الأول، مزرعة بلوك آيلاند للرياح قبالة رود آيلاند، حتى عام 2016. مع أن الرياح البحرية يمكن أن تولد ضعف كمية الكهرباء التي تستخدمها الولايات المتحدة حالياً، إلا أن تكلفتها المرتفعة نسبيّاً والبيئة التنظيمية المعقدة أدت إلى تباطؤ تطورها.

إذاً تعتبر توربينات الرياح وسيلة فعَّالة لتوليد الكهرباء، إذا كانت كبيرة ويفضل أن تكون موجودة في البحر. من الناحية المثالية، نحتاج إلى توربينات بحجم تمثال الحرية لتحقيق أقصى قدر من الفعالية. يجري بناء مصفوفة لندن في مصب نهر التايمز وستولد 1000 ميغاواط، مما يجعلها أكبر مزرعة رياح بحرية جرت الموافقة عليها في العالم. وعند الانتهاء، يمكن أن تزود ما يصل إلى 750 ألف منزل في لندن الكبرى بالطاقة وتقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الضارة بمقدار 1.4 مليون طن سنويّاً. ومع ذلك، فإن مشكلة توربينات الرياح ذات شقين:

أولاً: لا توفر مصدراً ثابتاً للكهرباء؛ إذا لم تهب الريح فلا كهرباء.

ثانياً: لا يحبها الناس، ويجدونها قبيحة، وصاخبة، ومقلقة من حيث الآثار التي قد تحدثها على الموائل الطبيعية المحلية.

طبعاً من السهل التغلب على كل هذه المشكلات من خلال وضع مزارع الرياح في مواقع بعيدة وفي البحر وبعيداً عن المناطق ذات الأهمية العلمية أو الطبيعية الخاصة.

عـلاوة علـى ذلـك، أظهـرت الأبحـاث الحديثـة تأثيـراً ضئيـلاً أو معدومـاً علـى الحيـاة البريـة المحليـة حتـى عندمـا تكـون قريبـة مـن توربينـات الريـاح الأرضيـة. تشـير إحـدى الدراسـات إلـى أن الريـاح مـن حيـث المبـدأ يمكـن أن تولـد أكثـر مـن 125000 تيـراواط في السـاعة، وهـو مـا يعـادل خمسـة أضعـاف متطلبـات الكهربـاء العالميـة الحاليـة.

◆ طاقـــة الأمـــواج والمـــد والجـــــزر

يمكـن أن تكـون قـوة الأمـواج والمـد والجـزر أيضـاً مصـدراً مُهمّـاً للطاقـة في المسـتقبل. المفهـوم بسـيط: تحويـل الحركـة الموجيـة المسـتمرة للمحيـط إلـى كهربـاء. ومـع ذلـك، فـإن قـول هـذا أسـهل مـن فعلـه، ويشـير الخبـراء في هـذا المجـال إلـى أن تقنيـة طاقـة الأمـواج كانـت قبـل تقنيـة الألـواح الشمسـية منـذ نحـو 20 عامـاً، ولا يـزال يلزمهـا الكثيـر للحـاق بالركـب. لكـن قـوة المـد والجـزر علـى وجـه الخصـوص لهـا ميـزة رئيسـية واحـدة علـى الطاقـة الشمسـية وطاقـة الريـاح إنهـا ثابتـة. في أي بلـد، حتـى يجـري الحفـاظ علـى إمـدادات الطاقـة عنـد مسـتوى ثابـت، يجـب أن يكـون هنـاك مـا لا يقـل عـن 20 % مـن الإنتـاج مضمـون، والمعـروف باسـم متطلبـات خـط الأسـاس. مـع التحـول إلـى الطاقـة البديلـة، يجـب تطويـر مصـادر جديـدة لخـط الأسـاس المتسـق هـذا.

◆ الطاقـــة الكهرومائيـــة

تعـد الطاقـة الكهرومائيـة مصـدراً مُهمّـاً للطاقـة علـى مسـتوى العالـم. في عـام 2010، زودت 5 % مـن طاقـة العالـم. تأتـي غالبيـة الكهربـاء مـن مشـاريع السـدود الكبيـرة. يمكـن أن تمثـل هـذه المشـاريع مشـكلات أخلاقيـة كبيـرة حيـث يجـب غمـر مسـاحات كبيـرة مـن الأرض فـوق السـد، ممـا يتسـبب في نقـل جماعـي للنـاس وتدميـر البيئـة المحليـة.

يعمل السد أيضاً على إبطاء تدفق المياه إلى أسفل النهر ويمنع ترسب الطمي الغني بالمغذيات في الأسفل. إذا كان النهر يعبر الحدود الوطنية، فهناك قضايا محتملة حول الحقوق في الماء والطمي. على سبيل المثال، أحد أسباب غرق بنغلاديش هو نقص الطمي بسبب السدود على الأنهار الرئيسية في الهند.

هناك أيضاً نقاش حول مقدار ما توفره محطات توليد الطاقة الكهرومائية من غازات الاحتباس الحراري؛ لأنه مع أن إنتاج الكهرباء لا يتسبب في أي انبعاثات كربونية، فإن النباتات المتعفنة في المنطقة التي غمرتها المياه خلف السد تنتج كميات كبيرة من الميثان.

كما اتضح سابقاً، يجري توليد أكثر من ثلاثة أضعاف كمية الكهرباء التي جرى توليدها في عام 2015 من الطاقة الكهرومائية مقارنةً بالطاقة الشمسية والرياح مجتمعة. هذا يطرح السؤال عن مستقبل الطاقة الكهرومائية: هل ستبقى مصدراً مُهمّاً للكهرباء وتنمو لتلبية الطلب المتزايد، أم ستفوقها الرياح والطاقة الشمسية؟

حدد الجرد الذي جُمع في عام 2014 وجود 3700 سد للطاقة الكهرومائية مخطط لها أو قيد الإنشاء في جميع أنحاء العالم بسعة تزيد على 1 ميغاواط. إذا تم بناؤها كلها، فإنها ستوفر نحو 700 غيغاواط من سعة الطاقة الإضافية خلال العقد أو العقدين القادمين. تقع معظم هذه السدود في البلدان النامية في آسيا وأمريكا الجنوبية وأفريقيا والبلقان.

وهي تشمل تطورات كبيرة جدّاً في حوض الغانج - براهمابوترا في الهند، وحوض نهر اليانغتسي في الصين، وحوض الأمازون وبلاتا في البرازيل، وحوض الكونغو في جمهورية الكونغو الديمقراطية.

على الجانب الإيجابي، فإن الطاقة الكهرومائية ليست مصدراً متقطعاً للكهرباء، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية. لكن من أجل الحفاظ على انخفاض التكاليف، يتطلب دمج مصادر الطاقة المتقطعة في شبكة الطاقة مع مصادر طاقة مصاحبة يمكنها توفير الكهرباء في أي وقت. لذلك، ينبغي أن يؤدي التوسع في استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إلى زيادة جاذبية الطاقة الكهرومائية.

على الجانب السلبي، تأتي الطاقة الكهرومائية مع تأثيرات اجتماعية وبيئية كبيرة، التي صار بعضها واضحاً مؤخراً فقط. تضافرت هذه المخاوف، وارتفاع تكاليف التطوير، والتكلفة المنخفضة باستمرار للطاقة القادمة من الغاز الطبيعي لتكون سبباً في تأخيرات كبيرة في عدد من مشاريع الطاقة الكهرومائية الكبيرة.

في الواقع، توقعت وكالة الطاقة الدولية أن تتوسع قدرة الطاقة الكهرومائية بمقدار 27 غيغاواط فقط سنويّاً من عام 2016 إلى عام 2021، وهو ما يمثل معدل نمو سيكون أبطأ مما كان عليه في السنوات الخمس السابقة. في عام 2016، بالمقارنة، توسعت قدرات طاقة الرياح والطاقة الشمسية بنحو 50 و75 غيغاواط على التوالي مقارنة بعام 2015، وكلاهما ينمو بمعدلات متسارعة خلال العقد الماضي، ويرجع ذلك أساساً إلى انخفاض التكاليف والتقدم التكنولوجي.

كان هذا صحيحاً بشكل خاص في الولايات المتحدة، حيث تجاوزت قدرة طاقة الرياح في عام 2016 قدرة الطاقة الكهرومائية. تشير هذه الاعتبارات إلى أن الطاقة الكهرومائية سيكون لها دور تؤديه في مستقبل الطاقة، ولكن توسعها سيكون محدوداً بسبب العوامل الاقتصادية والبيئية / الاجتماعية التي تفضل التوسع المستمر والسريع لطاقة الرياح والطاقة الشمسية.

◆ الطاقة الحرارية الجوفية

تحت أقدامنا، في أعماق الأرض، توجد صخور منصهرة ساخنة. في بعض المواقع، على سبيل المثال في أيسلندا وكينيا، تقترب هذه الصخور الساخنة جدّاً من سطح الأرض ويمكن استخدامها لتسخين المياه لتكوين البخار. هذا مصدر طاقة ممتاز خالٍ من الكربون؛ لأن جزء الكهرباء الذي تولده من البخار الذي تستخدمه لضخ المياه إلى الصخور الساخنة، لسوء الحظ، مقيد بالجغرافيا. ومع ذلك، هناك طريقة أخرى يمكن من خلالها استخدام حرارة الأرض. يمكن أن تحوي جميع المباني الجديدة على بئر تحتها بمضخات حرارية من مصادر أرضية. ثم يُضخ الماء البارد إلى هذه الآبار وتسخن الأرض المياه، مما يقلل تكلفة توفير الماء الساخن للمباني ويمكن استخدامه في كل مكان في العالم تقريباً.

محطة نيسجافليير Nesjavellir لتوليد الطاقة في أيسلندا؛ تعطي 120 ميغاواط من الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى 380 ميغاواط من الطاقة الحرارية من 83 درجة مئوية من المياه في عام 2010، وتصل درجات حرارة الخزان إلى 380 درجة مئوية.

◆ الطاقـــــــة النوويـــــة

لا ينتج عن توليد الكهرباء من الطاقة النووية ثاني أكسيد الكربون (باستثناء الكميات الصغيرة نسبيّاً المرتبطة بإنتاج الوقود، وإنشاء المصانع، وإدارة الوقود المستهلك) أو تلوث الهواء، وبالتالي يمكن أن يكون له تأثير كبير في الانبعاثات. على سبيل المثال، ستؤدي زيادة قدرة التوليد الحالية للطاقة النووية من ثلاثة أضعاف إلى 1000 غيغاواط من الناتج الكهربائي بحلول عام 2050 إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمقدار 2.9 إلى 6.6 غيغا طن سنويّاً، طبعاً اعتماداً على ما إذا كانت الطاقة النووية تحل محل الفحم أو الغاز. ويبقى أن نرى ما إذا كانت هذه الزيادة ستحدث. من ناحية أخرى، ينبغي إدراك أن الطاقة النووية هي تقنية عاملة. في عام 2015، كان هناك 450 مفاعلاً نووياً عاملاً توفر نحو 11 % من الكهرباء في العالم، أو نحو 2500 تيراواط / ساعة من الطاقة، وهو ما يمثل أكثر من ضعف الكهرباء التي تنتجها الرياح بالإضافة إلى الطاقة الشمسية.

قادت الولايات المتحدة الطريق من خلال 99 مفاعلاً عاملاً زودت 20 % من الكهرباء، في حين أن فرنسا لديها 58 مفاعلاً عاملاً توفر 76 % من طاقتها الكهربائية. في جميع أنحاء العالم، كان هناك 60 مفاعلاً قيد الإنشاء، بطاقة إجمالية 60 غيغاواط. وكان من بينها 20 في الصين، وسبعة في روسيا، وخمسة في الهند، وأربعة في الولايات المتحدة.

من ناحية أخرى، يواجه التوسع في الطاقة النووية عقبات كبيرةً. وتشمل هذه التكلفة والأمان وتخزين النفايات المشعة عالية المستوى وانتشار الأسلحة النووية. في الواقع، أشارت دراسة نُشرت في عام 2003 إلى أنه نظراً للتحديات التقنية والاقتصادية اللازمة للتغلب على هذه العقبات، فلا فائدة تذكر من

تطوير الطاقة النووية ما لم يكن من الممكن القيام بها على نطاق واسع بما يكفي لتقليل الانبعاثات بشكل كبير.

الدافع حالياً هو تطوير جيل جديد من المفاعلات القابلة للتطبيق تجاريّاً، التي يمكن نشرها على المستويين الكبير والصغير. تعد هذه المفاعلات بتحسينات كبيرة في السلامة والتكلفة والميزات الأخرى مقارنة بأسطول المفاعلات الحالي.

يؤكد مؤيدو الطاقة النووية أنه ليس لدينا خيار سوى تطوير هذه المفاعلات الجديدة لأنه لا توجد طريقة أخرى لتوفير تيار مستمر من الطاقة النظيفة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وحدهما بسبب تقطعهما. يشير المعارضون إلى النمو السريع للطاقة الشمسية وطاقة الرياح وإلى مخاوف تتعلق بالسلامة ومخاطر الانتشار والتكاليف المرتبطة بالأسطول الحالي من المفاعلات النووية ليقولوا إن السعي وراء الطاقة النووية هو (حماقة).

يوجد لدينا نوعان من الطاقة النووية:

♦ طاقة الانشطار النووي

تتولد الطاقة عندما نقوم بشطر ذرات ثقيلة مثل اليورانيوم وهذا إصدار نووي. لديها بصمة كربونية منخفضة جدّاً، ولكن يجري توليد كمية كبيرة من الكربون لتعدين اليورانيوم واستخراجه من خاماته، وبناء محطة الطاقة النووية، وإيقاف تشغيل محطة الطاقة والتخلص من النفايات النووية بأمان. في الوقت الحالي يجري توليد 5 % من الطاقة العالمية بواسطة الطاقة النووية.

يعتبر الجيل الجديد من محطات الطاقة النووية عالي الكفاءة، حيث ينتج ما يقرب من 90 % من إنتاج الطاقة الممكن نظريّاً. تتمثل العيوب الرئيسية للطاقة النووية في توليد نفايات مشعة عالية المستوى ومخاوف بشأن السلامة، مع أن

التحسينات في الكفاءة تقلل من النفايات وأن الأجيال الجديدة من المفاعلات النووية تحوي على أحدث احتياطات الأمان المضمنة فيها.

ومع ذلك، كما تظهر كارثة تشيرنوبيل في عام 1986 وكارثة فوكوشيما دايتشي النووية في عام 2011، لا تزال المحطات النووية غير آمنة، وعرضة للخطأ البشري والكوارث الطبيعية. ومع ذلك، فإن مزايا الطاقة النووية هي أنها موثوقة ويمكن أن توفر الحمل الأساسي المطلوب في مزيج الطاقة، وهي التكنولوجيا المتاحة بالفعل التي جرى اختبارها بدقة.

♦ طاقـــة الاندمـــاج النـــووي

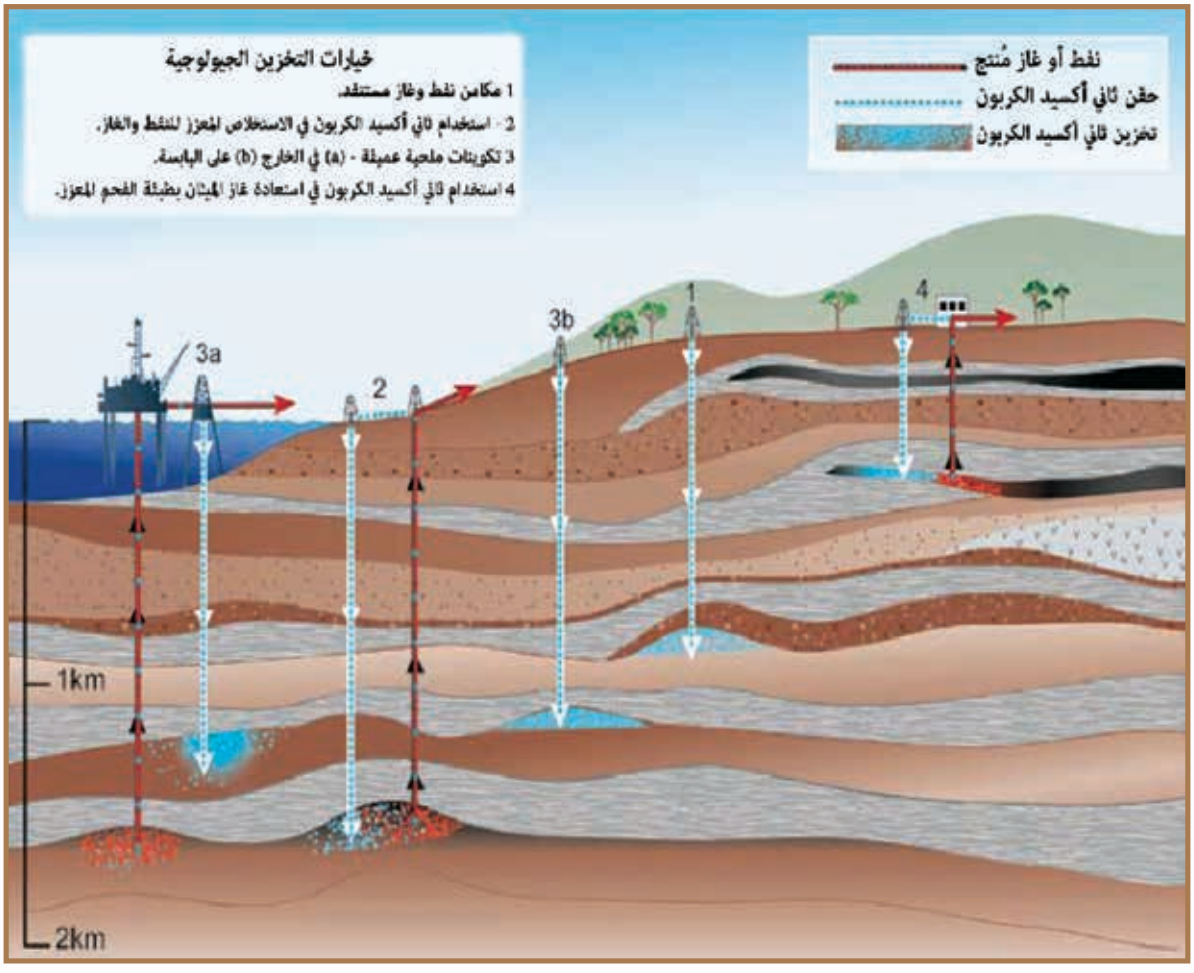
يحدث توليد الطاقة هذا عندما تلتحم ذرتان صغيرتان معاً. إنه يحدث في شمسنا وأيّ نجم آخر. الفكرة هي أنه يمكن الجمع بين الشكل الثقيل للهيدروجين الموجود في مياه البحر وأن منتج النفايات الوحيد هو الغاز غير المشع أي الهليوم.

تكمن المشكلة بالطبع في إقناع هاتين الذرتين بالاتحاد معاً. وتقوم الشمس بذلك عن طريق تعريض الذرات لدرجات حرارة وضغوط عالية بشكل هائل. لقد أُحرز بعض التقدم في مشروع طوروس Torus الأوروبي المشترك (JET) في المملكة المتحدة، الذي أنتج 16 ميغاواط من طاقة الاندماج. تكمن المشكلة في كمية الطاقة المطلوبة لتوليد درجات الحرارة الهائلة في المقام الأول وصعوبة زيادتها إلى حجم محطة توليد الكهرباء.

• احتجـــاز الكربـــون وتخزينـــه

يمكن أن تكون إزالة ثاني أكسيد الكربون أثناء العمليات الصناعية أمراً صعباً ومكلفاً؛ لأنه لا يلزم إزالة الغاز فحسب، بل يجب تخزينه في مكان ما أيضاً.

في المملكة المتحدة، جرى حساب كلفة أول مشروع تجريبي لاحتجاز الكربون وتخزينه (CCS) في العالم يسمى (الوردة البيضاء White Rose) الذي ستكون جزءاً من موقع Drax Power Station بالقُرب من سيلبي، شمال يوركشاير، لتوليد الكهرباء للمملكة المتحدة بالإضافة إلى التقاط ما يقرب من 2 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، وهي نحو 90 % من جميع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تنتجها المحطة.



إحدى طرائق احتجاز وتخزين الكربون هي إعادته لطبقات الصخور تحت الأرض.

سيتم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر خط الأنابيب المقترح للشبكة الوطنية للتخزين الدائم تحت البحر في بحر الشمال. يتم دعم المشروع ماليّاً من قبل كل من المفوضية الأوروبية (نحو 250 مليون جنيه إسترليني) وحكومة المملكة المتحدة (نحو 100 مليون جنيه إسترليني). يتم تنفيذ هذا المشروع الواسع النطاق لإثبات أن التكنولوجيا تعمل بالفعل وأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه يؤدي دوراً رئيسيّاً في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المستقبل.

مطلوب دعم مالي من المملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي، حيث يمكن أن تتراوح تكاليف الإزالة والتخزين في مكان ما بين 10 دولارات و50 دولاراً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون. سيؤدي هذا إلى زيادة بنسبة 15 إلى 100 % في تكاليف إنتاج الطاقة. ومع ذلك، لا يلزم تخزين ثاني أكسيد الكربون المستعاد؛ يمكن استخدام بعضها في الاستخلاص المعزز للنفط، وصناعة الأغذية، والتصنيع الكيميائي (إنتاج رماد الصودا، واليوريا، والميثانول)، وصناعات معالجة المعادن.

يمكن أيضاً استخدام ثاني أكسيد الكربون في إنتاج مواد البناء، والمذيبات، ومركبات التنظيف، والتعبئة، وفي معالجة مياه الصرف. ومع ذلك، في الواقع، يجب تخزين معظم ثاني أكسيد الكربون الذي يتم التقاطه من العمليات الصناعية.

تشير التقديرات إلى أنه من الناحية النظرية يمكن تخزين ثلثي ثاني أكسيد الكربون المتكون من احتراق إجمالي احتياطيات النفط والغاز في العالم في الخزانات المقابلة. تشير تقديرات أخرى إلى تخزين 90-400 غيغا طن في حقول الغاز الطبيعي وحدها و90 غيغا طن أخرى في طبقات المياه الجوفية.

يمكن أيضاً استخدام المحيطات للتخلص من ثاني أكسيد الكربون. تضمنت الاقتراحات التخزين عن طريق تفريغ الهيدرات إذا قمت بخلط ثاني أكسيد الكربون والماء عند ضغط مرتفع ودرجات حرارة منخفضة، فإنه ينتج مادة صلبة، أو هيدرات، وهي أثقل من المياه المحيطة، وبالتالي تنخفض إلى القاع. اقتراح آخر أكثر حداثة هو حقن ثاني أكسيد الكربون بعمق نصف ميل في الصخور البركانية المحطمة بين تدفقات الحمم البركانية العملاقة.

يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الصخور البركانية بين تدفقات الحمم البركانية العملاقة. كما يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء المتسرب عبر الصخور. وستعمل المياه المحمضة على إذابة المعادن في الصخور، وبخاصة الكالسيوم والألومنيوم.

بمجرد أن تتكون بيكربونات الكالسيوم مع الكالسيوم، فإنها لا تستطيع أن تخرج وتهرب. مع أنه إذا هرب إلى المحيط، فإن البيكربونات غير ضارة نسبيّاً. يوجد في تخزين المحيطات، تعقيد إضافي يتمثل في دوران مياه المحيطات، لذلك مهما كان مصدر ثاني أكسيد الكربون الذي يجري التخلص منه، فإن بعضاً منه سيعود في النهاية. علاوة على ذلك، فإن العلماء غير متأكدين تماماً من الآثار البيئية في النظم البيئية للمحيطات.

المشكلة الرئيسية في كل طرق التخزين هذه هي السلامة. ثاني أكسيد الكربون غاز خطير جدّاً لأنه أثقل من الهواء ويمكن أن يسبب الاختناق. كان أحد الأمثلة المُهمَّة على ذلك في عام 1986، عندما أدى انفجار هائل لثاني أكسيد الكربون من بحيرة نيوس، في غرب الكاميرون، إلى مقتل أكثر من 1700 شخص ونفوق الماشية على مسافة تصل إلى 25 كيلومتراً.

مع وقوع كوارث مماثلة في السابق، إلا أنه لم يجر اختناق هذا العدد الكبير من الأشخاص والحيوانات على هذا النطاق في حدث قصير واحد. ما يعتقد العلماء حالياً أنه حدث تسرب لثاني أكسيد الكربون المذاب من البركان القريب من الينابيع تحت البحيرة وكان محاصراً في المياه العميقة بسبب وزن الماء أعلاه.

في عام 1986، كان هناك انهيار جليدي اختلط بمياه البحيرة، مما أدى إلى انقلاب متفجر للبحيرة بكاملها، وأطلق كل ثاني أكسيد الكربون المحاصر دفعة واحدة. ومع ذلك، في هذه اللحظة بالذات، يُضخ كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون القديم المستخرج في جميع أنحاء الولايات المتحدة لتعزيز استخلاص النفط. لا توجد تقارير عن أي حوادث كبيرة ويشعر المهندسون العاملون في خطوط الأنابيب هذه بأنها أكثر أماناً من خطوط أنابيب الغاز والنفط، التي تمر عبر معظم المُدن الكبرى.

• المواصـــلات

يعتبر النقل من أكبر التحديات التي تواجه التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة. في الوقت الحالي، يمثل النقل 13 % من انبعاثات غازات الدفيئة على مستوى العالم. في المملكة المتحدة، تنخفض انبعاثات الكربون من استهلاك الطاقة والأعمال والقطاعات السكنية مع أن النمو السنوي في الاقتصاد يزداد؛ لكن حتى حكومة المملكة المتحدة تقر بأن انبعاثات النقل، بشكل أساسي من السيارات، تتزايد بمعدل هائل.

يمكن أن يؤدي نمو السيارات على مدار العشرين عاماً القادمة إلى القضاء على جميع التخفيضات في انبعاثات الكربون التي أجرتها المملكة المتحدة منذ

عام 1990. إذا قمنا باستقراء هذا الأمر في بقية أنحاء العالم، فإن كل شخص في العالم النامي يطمح في الحصول على مستوى المعيشة نفسه الذي يعيشه الغرب، ويشمل ذلك سيارة واحدة على الأقل لكل أسرة وعطلات منتظمة بالطائرة.

فيما يتعلق بوقود السيارات، يوجد نوعان من الحلول الممكنة: الوقود الحيوي والكهرباء. وقد ناقشنا الوقود الحيوي سابقاً، وهذا يعني أنه يمكن الحفاظ على البنية التحتية الحالية لتوفير الوقود السائل للسيارات. ولكن كما رأينا، يجب إنتاج الوقود الحيوي بعناية حيث يمكنه المنافسة على استخدام الأراضي مع إنتاج الغذاء، ويمكن أن يؤدي إلى إزالة الغابات الاستوائية، ويمكن أن يبقى مصدراً نقيّاً لانبعاثات الكربون بسبب تكاليف النقل والإنتاج.

في الوقت الحالي، لدينا بالفعل سيارات هجينة تجمع بين محرك بنزين ونظام البطارية. أنتجت بورش وماكلارين بالفعل أول سيارات هجينة خارقة في العالم، حيث يمكن للمحرك الكهربائي توليد المزيد من عزم الدوران الذي ينتج من 0 إلى 60 ميلاً في الساعة في 2.5 و2.8 ثانية على التوالي.

بالنسبة للسيارات العادية، يمكن للنظام الهجين تحسين كفاءة المحرك وتقليل انبعاثات الكربون بمعدل 50 %. ستكون خطوة مُهمَّة إلى الأمام إذا كان لا بد من أن تتمتع جميع السيارات الجديدة المنتجة بهذا النوع من الأنظمة. ستكون الخطوة التالية هي الانتقال إلى السيارات الكهربائية بالكامل.

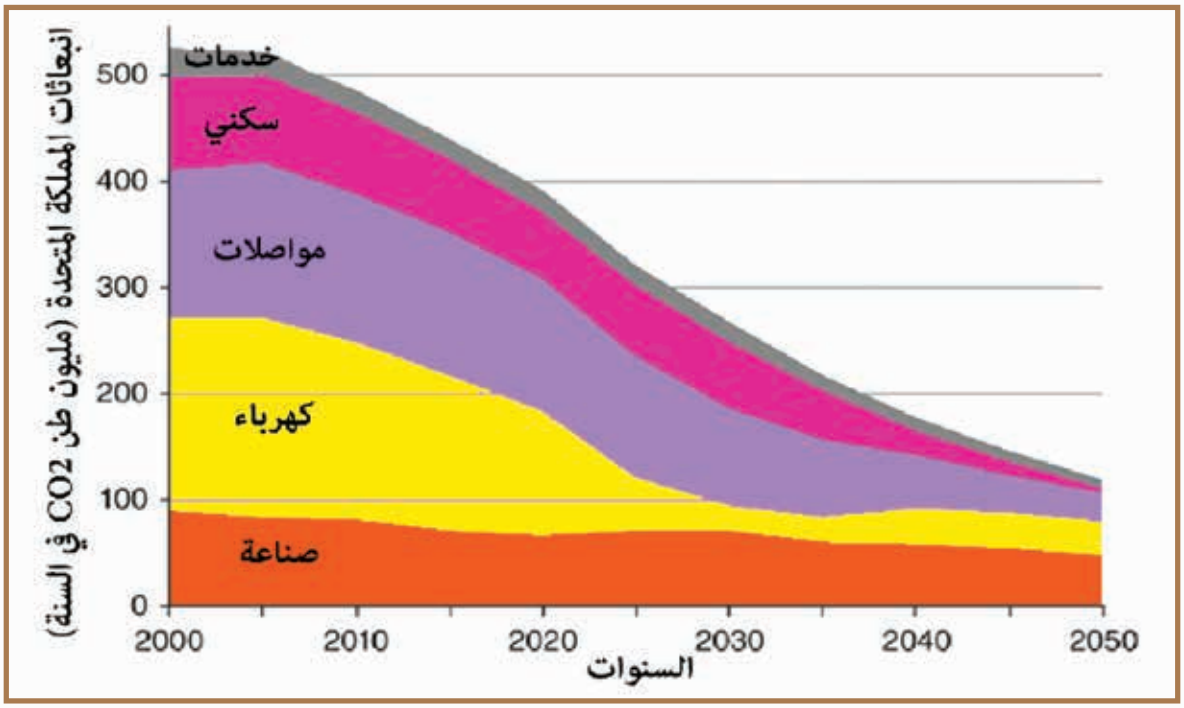
في نهاية المطاف، فإن السيارات الكهربائية هي المستقبل الذي سيعتمده الناس في تنقلاتهم؛ لأنه يمكن ضمان أن الكهرباء المنتجة محايدة الكربون.

سيتطلب هذا الانتقال تحسيناً مستمراً في عمر البطارية وبناء البنية التحتية للسماح للسيارات بشحنها، تماماً كما تشحن هاتفك المحمول في المنزل. في الرؤية طويلة المدى للجنة تغير المناخ في المملكة المتحدة، تتمثل الخطوة الأولى في إزالة الكربون تماماً من توليد الكهرباء في المملكة المتحدة، ثم زيادة الإنتاج بشكل كبير لضمان أن تكون أنظمة النقل البري والسيارات والحافلات والقطارات كهربائية بنسبة 100 %.

صارت الطائرات هدفاً سهلاً لنشطاء تغير المناخ حيث لم يجر تغطية الرحلات الجوية الدولية من قِبل معاهدة دولية. حاول الاتحاد الأوروبي من خلال مخطط تداول الانبعاثات تضمين الانبعاثات الناتجة عن انبعاثات الطيران التجاري، لكن يُحارب هذا الأمر في المحاكم الدولية.

في الوقت الحالي، يأتي 1.6 % فقط من الانبعاثات العالمية من الطيران. تُجرى الأبحاث لمعرفة ما إذا كان يمكن إنتاج وقود حيوي يكون خفيفاً وقويّاً بدرجة كافية ليحل محل كيروسين وقود الهواء التقليدي، مع أن هذا يبدو بعيداً وقت كتابة هذا العمل.

الهيدروجين ليس حلّاً، لأن منتجه الثانوي هو الماء؛ هذا جيد على الأرض، ولكن في الهواء العالي ينتج غيوماً رمادية تسهم في ارتفاع درجة حرارة الكوكب. نظراً لعدم وجود حل حقيقي لوقود الطائرات في الوقت الحالي، تحرص شركات الطيران على المشاركة في تجارة الكربون. بهذه الطريقة، يمكن لشركات الطيران تعويض انبعاثات الكربون الخاصة بها من خلال ضمان توفير كمية معادلة في مكان آخر.



انبعاثات الكربون المتوقعة في المملكة المتحدة حتى عام 2050

• تجـــــارة الكربـــــون وتعويضـــــه

تعتبر تجارة الكربون واحدة من أهم الأدوات في أوروبا لضمان خفض انبعاثات الكربون. هذا هو أحد النهجين اللذين يمكن استخدامهما لجعل الطاقة البديلة وتخزين الكربون مجدية اقتصاديّاً. النهج الثاني هو شراء تصاريح الكربون الناتج عن طريق الوقود الأحفوري من خلال مخطط تجاري.

نظراً لأنه من غير الفعَّال من حيث التكلفة أبداً ملاءمة احتجاز الكربون لمحطات الطاقة التي تعمل بالفحم، يمكن تقليل هذه التكلفة من خلال السماح لهذه الشركات بتبادل الكربون الذي جرى توفيره. تعمل قوانين ETS الأوروبية والاتحاد الأوروبي بالفعل على جعل مصادر الطاقة المتجددة أكثر تنافسية؛ لذا يجب أن نتذكر أنه إذا أردنا فعلاً تحويل الاقتصاد العالمي بعيداً عن الكربون إلى مصادر الطاقة البديلة وتخزين الكربون، فنحن بحاجة إلى طريقة مالية لدفع الأسواق.

حتى الوقت الحالي، النهج الوحيد الذي يبدو أنه نجح هو داخل البلدان، واستخدام الكتل التجارية هو نظام الحد الأقصى والتجارة، مما يؤكد بحقيقة أن الحد من انبعاثات الكربون يختلف اختلافاً كبيراً في البلدان والمناطق المختلفة.

أحد أكثر الجوانب إثارة للجدل في تجارة الكربون هو التعويض، والذي حدث من خلال نظامين: آلية التنمية النظيفة التابعة للأمم المتحدة والأسواق الطوعية. حيث تتضمن آلية التنمية النظيفة برامج معتمدة من الأمم المتحدة في البلدان النامية التي يجري تمويلها لتحقيق وفورات كبيرة في غازات الدفيئة. ويمكن أن يشمل ذلك منع إطلاق غاز الميثان من منجم مهجور، أو زيادة كفاءة الطاقة، أو توليد الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، أوً تقليل تصنيع مركبات الكربون الهيدروفلورية ومركبات الكلورو فلورو كربون. ويمكن شراء اعتمادات

آلية التنمية النظيفة من قِبل الدول أو الشركات أو من خلال السوق التطوعي.

على سبيل المثال، في كل مرة تسافر فيها بالطائرة، يمكنك شراء تعويضات الكربون من خلال عدد من الشركات بما يعادل الكربون المنبعث من رحلتك. في الغرب، شوهدت علامة تجارية جديدة للمنتجات (المحايدة للكربون). يبدو أن هذا يشمل أي شيء من شركات التلفزيون مثل BSkyB إلى الشركات المصنعة للورق مثل Arjowiggins.

الموازنة أمر مثير للجدل حيث يقال إن العديد من هذه التخفيضات كان من الممكن إجراؤها على أي حال، وهذا يعني أيضاً أن الشركات والأفراد قد لا يكون لديهم الدافع لتغيير سلوكياتهم الفعلية. على المستوى العملي، فإنه يوفر طريقة يمكن للأفراد والشركات والدول أن تحدث فرقاً.

كما أنه يوفر وسيلة للتعامل مع انبعاثات الكربون التي لا يمكن تجنبها مثل انبعاثات الطيران. ما يجب أن يحدث هو أن تكون هناك قواعد عالمية واضحة بشأن تعويض الكربون المقبول وغير المقبول. يجب أيضاً أن تكون هناك خدمة تحقق واضحة لضمان توفير الكربون الذي جرى توفيره بالفعل.

• الإعـــانـــات

تتعلق إحدى المشكلات السياسية الرئيسية المتعلقة بالحد من انبعاثات الكربون بدعم الطاقة:

أولاً : هناك إعانات ضخمة للوقود الأحفوري، والتي تستمر في جعل النفط والغاز والفحم رخيصاً نسبيّاً.

ثانياً: هناك مقاومة لتقديم الإعانات والحوافز الضريبية لشركات الطاقة لبناء وتوفير الطاقة المتجددة بأسعار تنافسية.

ويرجع ذلك أساساً إلى وجهة النظر النيوليبرالية الحالية القائلة بأنه لا ينبغي للدول أن تتدخل في الأسواق. ومع ذلك، فإن وجهة النظر هذه بشأن دعم الطاقة المتجددة تأتي عادة من الجهل بالمبالغ الهائلة من دعم الوقود الأحفوري. في عام 2011، وصل دعم الوقود الأحفوري إلى 90 بليون دولار في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وأكثر من 500 بليون دولار على مستوى العالم. بالمقارنة مع دعم الطاقة المتجددة، الذي وصل إلى 88 بليون دولار فقط على مستوى العالم. وإذا ركزنا فقط على الولايات المتحدة الأمريكية، فقد قدرت دراسة أجرتها شركة خدمات المعلومات الإدارية الاستشارية أنه بين عامي 1950 و2010، قدمت الحكومة الأمريكية 369 بليون دولار لشركات النفط، و121 بليون دولار لشركات الغاز الطبيعي، و104 بليون دولار لشركات الفحم.

كما استفاد النفط بشكل كبير من الدعم التنظيمي مثل الإعفاءات من ضوابط الأسعار. خلال الفترة نفسها، استفادت الطاقة غير المائية المتجددة (الرياح والطاقة الشمسية بشكل أساسي) من 74 بليون دولار من الإعانات، إلى حد كبير في شكل سياسة ضريبية ونفقات حكومية مباشرة على البحث والتطوير (R & D).

واستفادت الطاقة النووية من 73 بليون دولار من الإعانات، إلى حد كبير في شكل بحث وتطوير، وحصلت الطاقة المائية على 90 بليون دولار من الدعم. وفقاً لوكالة الطاقة الدولية، فإن دعم الطاقة يخفض بشكل مصطنع سعر الطاقة التي يدفعها المستهلكون، أو يرفع السعر الذي يتقاضاه المنتجون، أو يخفض تكلفة الإنتاج.

(تكاليف دعم الوقود الأحفوري عموماً تفوق الفوائد. يمكن أن تحقق الإعانات لمصادر الطاقة المتجددة وتقنيات الطاقة منخفضة الكربون فوائد اقتصادية وبيئية طويلة الأجل) وفقاً لفاتح بيرول، كبير الاقتصاديين في وكالة

الطاقة الدولية، دون الإلغاء التدريجي لدعم الوقود الأحفوري، لن تكون لدينا فرصة للوصول إلى أي أهداف مناخية.

ومع ذلك، هناك سبب آخر لاستمرار دعم الوقود الأحفوري، وهذا يعود إلى ملكية شركات النفط والغاز الكبرى. من بين أكبر 26 شركة للنفط والغاز، هناك 7 شركات خاصة فقط، بينما تمتلك الدول الـ 19 الأخرى بالكامل أو جزئيّاً.

ومن ثم فإن الشركات المملوكة للدولة تجني مبالغ طائلة للبلاد وستستمر في الحصول على مساعدة الدولة في شكل إعانات وإعفاءات ضريبية لضمان قدرتها على المنافسة مع الدول الأخرى المنتجة للنفط والغاز. من المقرر أن يزداد هذا الأمر سوءاً مع دورة التكسير والغاز الصخري، حيث وجدت العديد من البلدان مثل الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة احتياطيات جديدة من الغاز الطبيعي تحت الأرض.

مشـــكلة زيـــادة عـــدد الســـكان

أشـار (أبـو الثـورة الخضـراء)، نورمـان بورلـوغ، في محاضرتـه عـن جائـزة نوبـل للسـلام عـام 1970 إلـى أن (معظـم النـاس مـا زالـوا يفشـلون في فهـم حجـم وخطـر «وحـش السـكان»). لكـن لمـاذا يحـدث هـذا الفشـل؟ ولمـاذا هنـاك تخـوّف حقيقـي مـن مشـكلة الزيـادة السـكانية؟ لنناقـش الاتجاهـات الزمنيـة للزيـادة في عـدد السـكان وآثارهـا في رفاهيـة البشـر والكائنـات الحيـة الأخـرى والبيئـة.

• القُوى الدافعة للنمو السكاني البشري

تُظهـر الدراسـة العلميـة لحجـم وتكويـن ومعـدل تغييـر السـكان (الديموغرافيـا) أن البشـر لديهـم القـدرة علـى النمـو مثـل جميـع المجموعـات السـكانية الأخـرى في الطبيعـة - أي بشـكل أسـي - ويخضـع البشـر لجميـع المبـادئ البيئيـة المتعلقـة بالتغييـر في حجـم السـكان خـلال فتـرة زمنيـة ومسـاحة معينـة في نظـام مغلـق، مثـل كوكـب الأرض، وهـو نتـاج حجـم السـكان الحالـي ومعـدل التغييـر، أو معـدل النمـو (معـدل المواليـد مطروحـاً منـه معـدل الوفيـات). وهـو مـا يعبّـر عنـه عمومـاً علـى أنـه عـدد المواليـد والوفيـات لـكل 1000 شـخص في السـنة:

حجم السكان في المستقبل = حجم السكان الحالي × (معدل المواليد - معدل الوفيات)

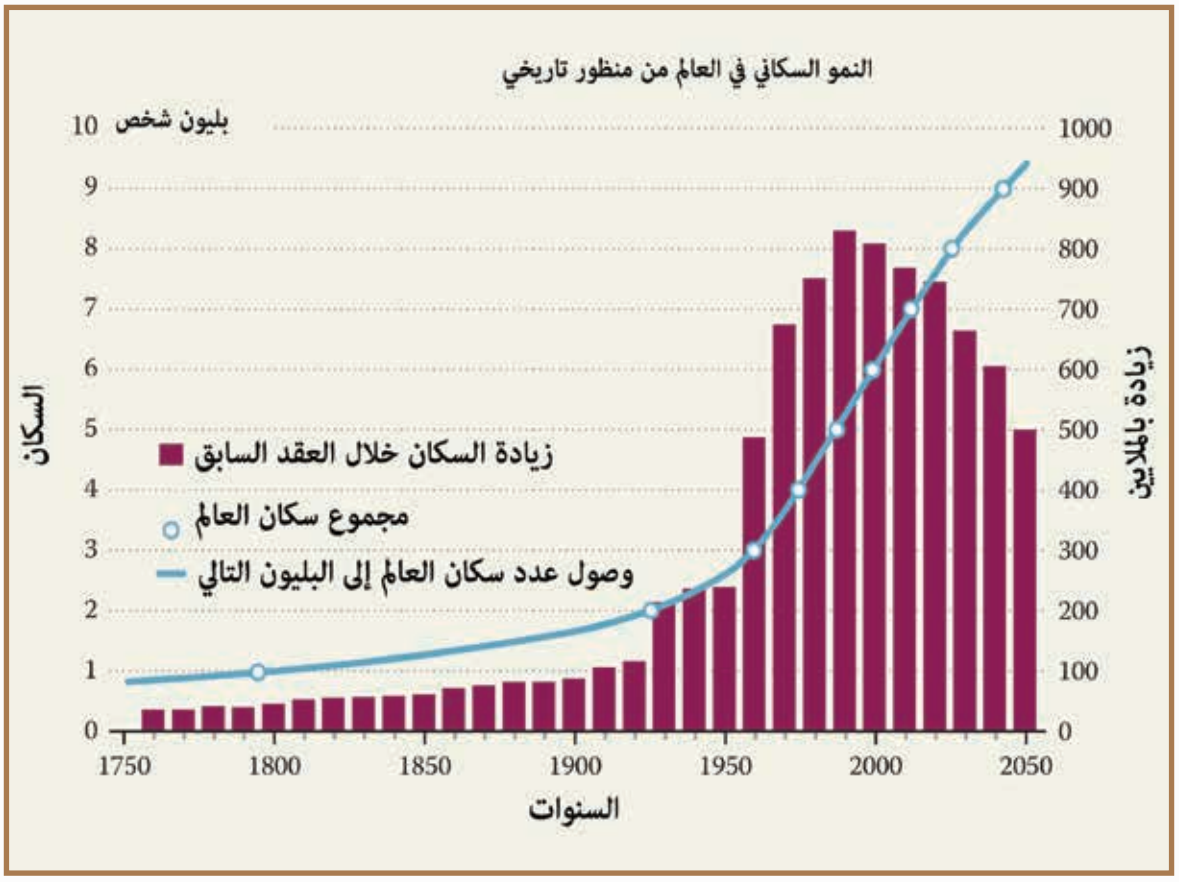
يمكـن أن يخضـع معـدل النمـو (r) للبشـر علـى المسـتوى العالمـي (عـادةً مـا يُعبّـر عنـه بنسـبة مئويـة لـكل عـام) لزيـادة طبيعيـة أو انخفـاض طبيعـي، أو يمكـن أن يبقـى مسـتقراً، وهـي حالـة تُعـرف باسـم النمـو السـكاني الصفـري، حيـث تتسـاوى معـدلات المواليـد مـع معـدلات الوفيـات:

معدل النمو السنوي (%) = [(معدل المواليد - معدل الوفيات) / 1000 شخص] × 100

عندما يُنظر في ديناميات السكان (التغيرات عبر الزمان والمكان) على المستويات المحلية والإقليمية والدولية، يجري تضمين الهجرة (الهجرة إلى الخارج) كعامل في تقدير التغير السكاني. والمقصود بالهجرة هي هجرة الناس إلى أو إلى خارج السكان من منطقة أخرى. مع إدراج عوامل الهجرة، يمكن تقدير التغير السكاني على النحو التالي:

معدل النمو السنوي (%) = [(المواليد + الهجرة) - (الوفيات + الهجرة)] / 1000 شخص

النمو الأسي هو سلوك نظام يُعرض عندما يتغذى أحد مكونات النظام على نفسه من خلال حلقة تغذية مرتدة إيجابية. مثلاً، ضع في اعتبارك عدد السكان في العالم، حيث تؤدي ولادة البشر إلى زيادة الحجم الأولي للسكان، مما يؤدي إلى زيادة عدد البشر الذين يولدون.



النمو الهائل في عدد السكان وتقدير عدد السكان بحلول عام 2050.

كلما زاد عدد السكان، كان معدل نموه أسرع. وعندما يُرسم منحني تغير عدد الأشخاص على الأرض بمرور الوقت، فإن شكل النمو الأسي يأخذ شكل حرف (J) المميز. ويوجد مقياس مفيد لمعدل النمو السكاني هو الزمن المضاعف (Td) لحجم السكان، والذي يُحسب من معدل النمو السنوي (r) على النحو الآتي:

$$Td = 70/r$$

لقد ارتفع عدد سكان العالم من نحو 500 مليون في عام 1650 إلى نحو 4 بلايين (10^9) من خلال التضاعف في 1800 و1930 و1975، من المتوقع أن يرتفع عدد سكان العالم الحالي الذي يزيد على 6 بليونات إلى 9.3 بليون بحلول عام 2054. ومع ذلك، من المتوقع أن يستمر المعدل السنوي للنمو السكاني في كل من البلدان النامية والمتقدمة في الانخفاض.

التغييرات في معدل النمو السكاني في البلدان النامية متخلفة عن تلك في البلدان المتقدمة بنحو 30 سنة. من المهم هنا التأكيد على العلاقة بين الأسعار والأسهم. ما يتناقص هو معدل النمو السنوي لسكان العالم، مما يعني أن حجم السكان لا يزال مستمرًا في الزيادة (وإن كان ذلك أبطأ) حتى يتم الوصول إلى الاستقرار السكاني على مستوى العالم. ستؤدي الاختلافات الإقليمية في معدلات النمو وحجم السكان الحالي للبلدان العشرين الأكثر اكتظاظاً بالسكان إلى تغيير صفوف أحجام سكانها بين عامي 2000 و2050.

تعتمد معدلات المواليد والوفيات البشرية على العديد من العوامل الداخلية والخارجية المتفاعلة، مثل معدلات الخصوبة، ونسبة الرجال والنساء في سن الإنجاب (الهيكل العمري)، ووفيات الأطفال، ومتوسط العمر المتوقع، والأعراف الدينية والثقافية، ومستوى التعليم والوفرة، وكمية ونوعية الموارد الطبيعية.

هناك نوعان من معدلات الخصوبة: مستوى الإحلال والخصوبة الإجمالية. الخصوبة على مستوى الاستبدال (RLF) هي عدد الأطفال الذين يجب على الزوجين أن يحلوا مكانهم أطفال آخرين. أما معدل الخصوبة الإجمالي (TFR) فهو متوسط عدد الأطفال المولودين لكل امرأة خلال حياتها. يجب أن يكون معدل الخصوبة الإجمالي أعلى بقليل من طفلين لكل امرأة من أجل الوصول

إلى مستوى الإحلال (2.1 في البلدان ذات معدلات الوفيات المنخفضة) لأن بعض الفتيات يمتن قبل بلوغ سن الإنجاب.

متوسط الخصوبة على مستوى الاستبدال في البلدان النامية التي ترتفع فيها وفيات الرضع يصل إلى 2.7. إذا بقي معدل الخصوبة الإجمالي منخفضًا لفترة طويلة، فإن السكان يعانون من انخفاض طبيعي. انخفض المتوسط العالمي لمعدل الخصوبة الإجمالي من 5.0 بين 1950 - 1955 إلى 2.9 بين 1990-1995. في الصين، استغرقت عملية خفض معدل الخصوبة الإجمالي من نحو 6 إلى 2.4 طفل لكل امرأة 20 عاماً. من ناحية أخرى، أدت فترة الخصوبة المرتفعة بين الخمسينيات وأوائل السبعينيات في العديد من البلدان النامية إلى ارتفاع هيكل سن الإنجاب الحالي. تسبب النسبة العالية للأفراد في سن الإنجاب بين السكان ما يسمى بـ(الزخم السكاني)، وهو أحد أهم العوامل التي تخلق تأخراً زمنيّاً في استقرار النمو السكاني في العالم.

تميز النماذج الديموغرافية بشكل عام بين أربع مراحل للتحول الديموغرافي الذي يؤدي إلى نمو سكاني مستقر في البلدان الأكثر تقدماً. يحدث هذا عندما يكون هناك انتقال من معدلات المواليد والوفيات المرتفعة إلى معدلات المواليد والوفيات المنخفضة نسبيّاً على مراحل.

- في مرحلة ما قبل الصناعة (المرحلة 1)، كانت معدلات المواليد والوفيات مرتفعة. في المرحلة الانتقالية (المرحلة 2)، ينمو السكان بسرعة لأن معدلات الوفيات تنخفض مع زيادة معايير النظافة وتوافر العلاجات الطبية (مما يؤدي إلى زيادة متوسط العمر المتوقع)، لكن معدلات المواليد تبقى مرتفعة.
- في المرحلة الصناعية (المرحلة 3)، ينخفض معدل نمو السكان حيث تبدأ معدلات المواليد في الانخفاض بسبب انخفاض الحوافز لوجود أسر كبيرة.

- في مرحلة ما بعد الصناعة (المرحلة 4)، يستقر عدد السكان عند مستوى منخفض نسبيّاً وقد يخضع أيضاً لانخفاض طبيعي. في هذه المرحلة يقال إنّ السكان قد مروا بتحول ديموغرافي كامل.

يوجد مؤشران مترابطان بشكل وثيق للصحة العامة الشاملة والجودة البيئية في بلد ما هما متوسط العمر المتوقع ومعدل وفيات الرضع (IMR). متوسط العمر المتوقع هو متوسط عدد السنوات التي يتوقع أن يعيشها المولود الجديد. أما معدل وفيات الرضع هو عدد الأطفال لكل 1000 مولود جديد كل عام يموتون قبل عيد ميلادهم الأول.

يمكن للأشخاص الفقراء أن يروا أن إنجاب المزيد من الأطفال يُحسّن أملهم في الأمن والرفاهية في المستقبل؛ لأنهم يعتمدون على أطفالهم في الأعمال المنزلية أو الصناعية أو الزراعية وفي الدعم في سن الشيخوخة. على الصعيد العالمي، هناك نحو 87 % من الرجال و 77 % من النساء يعرفون القراءة والكتابة، وتشمل العوامل التي تسبب انخفاضاً في التحاق النساء بالمدارس مقارنة بالرجال: الفقر، والتحيز الجنساني، والزواج المبكر وإنجاب الأطفال، ومحدودية فرص العمل للنساء في العديد من القطاعات الاقتصادية.

ومع ذلك، شهد النصف الثاني من القرن العشرين اتساعاً في وصول المرأة إلى التعليم وخدمات الصحة الإنجابية، فضلاً عن تطوير أساليب تنظيم الأسرة، التي أطلق عليها بشكل تراكمي (الثورة الإنجابية).

ترتبط خصائص الصحة الإنجابية للمجتمع ارتباطاً وثيقاً بحالة التنمية. مثلاً، انتشار عدوى فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز هو الأعلى في الجنوب الأفريقي، مع أنّ هذه العدوى شوهدت في كل من البلدان الفقيرة

والغنيـة معـاً. وبالمثـل، يُحـدّد معـدل وفيـات الأمهـات مـن خـلال تفاعـل العوامـل البيولوجيـة والاجتماعيـة والاقتصاديـة والثقافيـة وتعتبـر مؤشـراً علـى التطـور الاجتماعـي، وكذلـك معـدل الخصوبـة المرتفـع ووفيـات الأطفـال.

تعتبـر سياسـات الهجـرة والفقـر مـن العوامـل الاجتماعيـة والاقتصاديـة المُهمَّـة التـي تؤثـر في النمـو السـكاني بغـض النظـر عـن وضـع المـرأة. يمكـن اسـتخدام سياسـات الهجـرة لتنظيـم النمـو السـكاني: مثـلاً، يمكـن أن يـؤدي تشـجيع الهجـرة إلـى زيـادة عـدد سـكان البلـدان مـع انخفـاض معـدلات المواليـد. وعلـى العكـس مـن ذلـك، فـإن تقييـد الهجـرة أو التشـجيع علـى الهجـرة يخفـف مـن الازدحـام والبطالـة.

• النمو السريع في الأرقام يعني زيادة الاستهلاك

أدى النمو السكاني السريع وما يصاحب ذلك من التصنيع / التحضر السريع إلى تقلص الغابات والأراضي الحراجية في العالم بمقدار 1.2 بليون هكتار والأراضي العشبية والمراعي بمقدار 580 مليون هكتار منذ عام 1700. لقد زاد البشر من مساحة الأراضي الصالحة للزراعة بمقدار 1.2 بليون هكتار منذ عام 1700 بما يتناسب مع الاحتياجات البشرية المتزايدة للغذاء والألياف.

توسعت الأراضي الزراعية بنسبة 466 % من عام 1700 إلى عام 1980، وكان ذلك في الغالب على حساب الغابات والأراضي العشبية والتنوع البيولوجي. ولكن منذ عام 1960، تباطأ معدل توسع الأراضي الزراعية بشكل كبير بما يتناسب مع النمو السكاني بحيث أصبح إجمالي الأراضي الصالحة للزراعة حالياً نحو 1.3 أو 1.4 بليون هكتار.

في الوقت نفسه، زاد متوسط غلات الحبوب العالمية بمعدل 1 طن في الهكتار لكل 2 بليون شخص بسبب زيادة استخدامات المحاصيل عالية الغلة والأسمدة والمبيدات الحيوية ومياه الري في عملية تسمى الثورة الخضراء. مكنت الثورة الخضراء في الستينيات من مضاعفة إنتاج الغذاء العالمي في السنوات الخمس والثلاثين الماضية دون زيادة كبيرة في الأراضي الصالحة للزراعة.

ومع ذلك، انخفض نصيب الفرد من إنتاج الحبوب بنسبة 8 % (0.5 % في السنة) في جميع أنحاء العالم منذ عام 1984 بسبب نقص الأراضي المنتجة والمياه، وتناقص العائدات من الأسمدة الباهظة الثمن ومبيدات الآفات والوقود الأحفوري. لقد كان للتكثيف الزراعي في السنوات الخمس والثلاثين الماضية آثار ضارة كبيرة على كل من النظم البيئية البرية والمائية نتيجة لزيادة 6.87

ضعف في الأسمدة النيتروجينية، وزيادة 3.48 ضعف في الأسمدة الفوسفورية، وزيادة 1.68 ضعف في الكمية من الأراضي الزراعية المروية.

نظرًا لأن البشر أصبحوا النوع المهيمن، فقد أدت الأنشطة البشرية إلى تجانس كبير وتبسيط تكوين الأنواع، وتنوع ووفرة النظم الإيكولوجية الأرضية والمائية، وأنظمة الاضطرابات الطبيعية الخاصة بها. مع مرور كل يوم، يجري القضاء على ما يقدر بنحو 150 نوعاً بسبب الاضطرابات المتزايدة التي يسببها الإنسان، بما في ذلك إزالة الغابات؛ وتلوث التربة والمياه والهواء، واستخدام مبيدات الحشرات. إضافة إلى التحضر والتصنيع.

تسببت الزراعة الأحادية في جعل أربعة نباتات كانت نادرة في السابق (الشعير والذرة والأرز والقمح) هي النباتات المهيمنة على مستوى العالم. مجتمعة، تغطي هذه حالياً 39.8 % من أراضي المحاصيل العالمية، ولأنها مزارع أحادية المحصول، فإن لديها قابلية طبيعية أعلى لمسببات الأمراض والآفات.

يعتمد ما يقرب من ثلث الإمدادات الغذائية في العالم على خدمات التلقيح والمكافحة الحيوية التي تقدمها الحشرات والطيور والثدييات التي تعيش في النظم البيئية الطبيعية المجاورة. وبالتالي، تؤدي مثل هذه الزراعة الأحادية إلى خسارة نحو 40 % من إجمالي إنتاج المحاصيل المحتمل بسبب الآفات (مثل لفحة الذرة الجنوبية، ودودة جذر الذرة الغربية، وصدأ رأس القمح) مع أنّ الاستخدام السنوي لـ 2.5 مليون طن من المبيدات الحيوية.

يذهب نحو 40 % من إنتاج الحبوب العالمي إلى العلف الحيواني (70 % في الولايات المتحدة و 24 % في آسيا)، ومن المتوقع أن يزداد إجمالي استهلاك اللحوم الحالي من 211 مليون طن في 1997 إلى 513 مليون طن في 2050. سوف تؤدي إلى زيادة الضغوط على جودة البيئة والأمن الغذائي.

توسعت مساحة الأرض العالمية من الحبوب من 590 مليون هكتار في عام 1950 إلى 670 مليون هكتار في عام 2004، وبلغت ذروتها التاريخية التي بلغت 730 مليون هكتار في عام 1981. وانخفضت مساحة أراضي الحبوب للفرد من 0.23 هكتار في عام 1950 إلى 0.11 هكتار في عام 2000 ومن المتوقع أن تنخفض إلى 0.07 هكتار في عام 2050.

يوجد بالفعل انخفاض خطير في الاكتفاء الذاتي الغذائي في البلدان النامية. فقد زادت واردات الحبوب البالغة 20 مليون طن في 1969-1971 من قِبل البلدان النامية ككل إلى نحو 112 مليون طن في عام 2000. وقد جرت تغطية الجزء الأكبر من هذا العجز حتى الوقت الحالي من خلال الفوائض في أمريكا الشمالية، مما يجعل الأمن الغذائي العالمي في خطرٍ شديدٍ. مثل أي اختلاف في أداء المزارعين والظروف المناخية في المنطقة الواحدة أو في استخدام المحاصيل للمنتجات غير الغذائية مثل الإيثانول.

• الضوابط الطبيعية الحيوية على النمو السكاني

بشكل عام، لا تأخذ الإسقاطات الديموغرافية للبلدان في الاعتبار الضوابط المفروضة عليها بسبب القيود الطبيعية الحيوية المحلية والعالمية. لا يمكن أن يستمر النمو الأسي الناتج عن ردود الفعل الإيجابية في النظام إلى ما لا نهاية. بمعنى آخر، هناك دائماً عوامل مقيدة وردود فعل سلبية لمنع النمو الأسي للنظام من الاستمرار إلى الأبد؛ تُعرف هذه العوامل أيضاً باسم حدود النمو أو القدرة الاستيعابية.

مثلاً، سيؤدي وجود كميات محدودة من الغذاء والماء والطاقة والأرض في النهاية إلى تقييد رفاهية النظم الاجتماعية والطبيعية والاقتصادية والسياسية

للحد من عدد السكان. يأخذ حجم السكان شكل (S) (النمو اللوجستي) على مدى فترة زمنية أطول عندما يتم تنظيم الإمكانات الحيوية (أقصى معدل نمو في ظل الظروف المثالية) لتلك المجموعة من خلال العوامل المحددة والقدرة الاستيعابية في منطقة معينة.

يحوي رأس المال الطبيعي (الموارد) على جميع مخزونات سلع النظام البيئي وجميع تدفقات خدمات النظام البيئي التي يعتمد عليها بقاء وصحة النباتات والحيوانات والبشر. كما توفر سلع وخدمات النظم البيئية وظائف إنتاجية وتنظيمية ووقائية ومعرفية من أجل رفاهية البشر والنظم الإيكولوجية الطبيعية المحيطة بهم. ويمكن تصنيف الموارد الطبيعية بشكل أساسي إلى مجموعتين: الموارد الطبيعية المتجددة، وغير المتجددة.

الموارد المتجددة محدودة السعر (متوفرة في التدفقات الثابتة) بحكم معدلات قدرتها على التجدد الذاتي في أقل فترة زمنية بشرية. أما الموارد غير المتجددة فهي مخزون محدود (متاح بكميات ثابتة) بسبب معدلات التجديد البطيئة جدّاً.

وهذا بدوره يضر بشكل تدريجي بإنتاجية الأرض وسلامتها وتنوعها البيولوجي واستقرارها. وكون رأس المال الطبيعي للأرض محدود وغير قابل للاستبدال، فإنه يحد في النهاية من النمو غير المحدود للبشر والاستهلاك.

توجد ثلاثة أسباب تفسر كيف توصل البشر إلى الأرقام التي لديهم حالياً:

أولاً : التوسع في مناطق جديدة وموائل جديدة.

ثانياً: من خلال استيراد الموارد والزيادات في الإنتاجية بسبب التقدم التكنولوجي، حدث توسيع للقدرات الاستيعابية للبيئات المشغولة بالفعل.

ثالثاً: جرى إخفاء عدد من الوسائل وتأخير عمل العوامل المحددة. مثلاً، قد تؤدي التجارة والتقدم التكنولوجي وإخفاقات السوق إلى تأجيل الحدود البيئية لزيادة الطلب البشري على الموارد الطبيعية والخدمات على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

يشير فشل السوق إلى عدم قدرة أسعار السوق على أن تعكس بطريقة دقيقة وفي الوقت المناسب القيمة الاجتماعية لسلع وخدمات النظام البيئي غير المسوقة وغير القابلة للتداول. تشمل إخفاقات السوق ما يأتي:

- العوامل الخارجية (مثلاً، التقييم غير الكافي لسلع وخدمات النظام الإيكولوجي غير المسوقة في عملية صنع القرار).
- التوزيع غير العادل للدخل من أجل الرفاهية الجماعية للمجتمع.
- الافتقار إلى التحليلات والمؤشرات البيئية طويلة الأجل لرفاهية الأجيال الحالية والمستقبلية.
- نقص الإشارات التي توجه القرارات في ظل وجود موارد وخدمات طبيعية مشتركة (مثل الغلاف الجوي وطبقة الأوزون وتأثيرات الاحتباس الحراري) التي يستحيل تخصيص حقوق الملكية لها.

يعزو العديد من الباحثين تدهور واستنفاد رأس المال الطبيعي إلى مجموعة من الأسباب الرئيسية ويعتبرونها قوى دافعة أساسية أو أسباب، وتشمل النمو السريع للسكان والاستهلاك البشريين، واستخدام التقنيات غير المتوافقة بيئيّاً، وعدم تقدير وتقييم خدمات النظام البيئي. والتعقيدات في السوق وعدم العدالة في توزيع الثروة والسلطة.

إن اكتشاف هذه الأسباب الكامنة والتعرف عليها ضرورة لإيجاد حلول فعَّالة وطويلة الأجل للمشكلات البيئية. وقد اقترح مقياس ديموغرافي لتأثير السكان في جودة البيئة لأول مرة بوساطة كلود Cloud على النحو الآتي:

التأثير = إجمالي الموارد المتاحة / الكثافة السكانية × الاستهلاك الفردي

المقياس التالي، الذي اقترحه إيرليش وهولدرين واستشهد بهما على نطاق واسع، يحسب تأثير (I) السكان في البيئة كمنتج للسكان (P)، ومستوى الثراء (A)، والضرر الذي تسبب فيه تقنيات معينة (T) التي تدعم هذا الثراء (الاستهلاك الفردي): $I = P \times A \times T$

كما جرى تحديد العلاقة بين إنتاجية النظام البيئي وحجم السكان ونمو الاستهلاك من قِبل الآخرين. أحد هذه التحليلات الحديثة التي تحظى بأكبر قدر من الاهتمام هو تحليل البصمة البيئية Ecological Footprint.

• زيادة الاستهلاك وتقليل الموارد الطبيعية

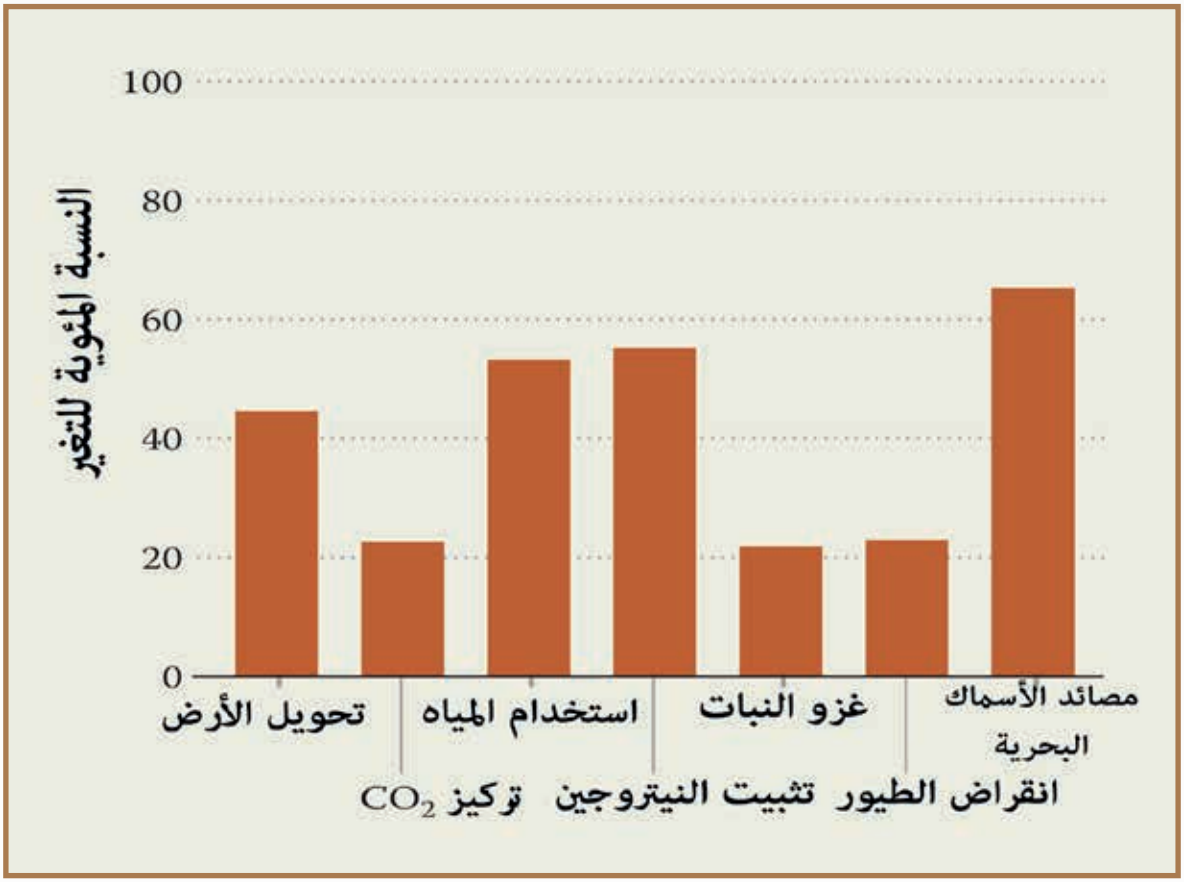
الفجوة المتزايدة بين نوعية وكمية قاعدة الموارد الطبيعية والسكان البشريين واستهلاكها واستخدام التكنولوجيا المدمرة بيئيّاً يقلل من القدرة الاستيعابية للأرض وبالتالي قدرتها على توفير الرفاهية والصحة للمكونات البشرية وغير البشرية الحالية والمستقبلية.

تبلغ المساحة الكلية الخالية من الجليد للأنظمة البيئية الأرضية نحو 13.1×10^9 هكتار. تشكل المناطق المنتجة بيئيّاً 8.9×10^9 هكتار فقط من سطح الأرض في العالم. إن الافتراض بأنه يجب ترك ما لا يقل عن 1.5×10^9 هكتار على حالها لحماية النظم البيئية الداعمة للحياة يترك مساحة أرض

منتجة متاحة بشكل غير واقعي تبلغ 7.4×10^9 هكتار فقط للاستخدامات البشرية. حيث يمثل التفاوت في الموارد المتاحة للفرد تناقضات واضحة.

مع ازدياد عدد الأشخاص لكل وحدة مساحة في الوقت الحالي (الكثافة السكانية)، يتقلص توافر الأراضي المحدود في العالم، وهي حقيقة اعترف بها لأول مرة الاقتصادي البريطاني، توماس مالتوس، في عام 1798. الزيادة بنسبة 300 % في حجم سكان العالم من 1.5 بليون في عام 1890 إلى 6 بلايين في عام 1999 قلل من عرض الأرض العالمي للفرد، والذي يجب أن يوفر جميع الوظائف الإنتاجية والوقائية اللازمة لبقاء الفرد ورفاهه، بنسبة 291 %، أي من 90×10^3 م^2 في عام 1890 إلى 23×10^3 م^2 في عام 1999.

لقد صار التغيير البشري لنظام الأرض محسوساً بشكل متزايد في جميع المكونات البيئية مثل الغلاف الجوي والغلاف المائي والمحيط الحيوي والغلاف الأرضي والغلاف الصخري. وزادت كميات الوقود الأحفوري المستخدمة بشكل جماعي بطريقة غير مسبوقة على المستوى العالمي.



العديد من المكونات الرئيسية لنظام الأرض التي غيّرها البشر وسيطروا عليها، يعبر عنها كنسبة مئوية (من اليسار إلى اليمين) من سطح الأرض المحول، وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي الحالي، والمياه العذبة السطحية التي يمكن الوصول إليها، وتثبيت النيتروجين الأرضي، وأنواع النباتات الغازية في كندا، وأنواع الطيور المنقرضة عالمياً في الألفي سنة الماضية، ومصائد الأسماك البحرية الرئيسية التي جرى استغلالها بالكامل، أو الإفراط في استغلالها أو نضوبها.

وقد أوجد هذا الأمر أيضاً تفاوتاً كبيراً بين البلدان المتقدمة والبلدان النامية. وبالتالي، فإن الآثار التراكمية والتآزرية (المتفاعلة) لهذه الاضطرابات المحلية والإقليمية التي يسببها البشر لم تؤد فقط إلى التلوث العابر للحدود للهواء والماء والتربة على المستوى الإقليمي ولكن أيضاً إلى تغير البيئة والمناخ على المستوى العالمي.

تخفي أرقام المتوسط العالمي لحجم السكان وتوافر وجودة الأرض والطاقة والموارد المائية اختلافات إقليمية ومحلية كبيرة في أنواع وشدة وحجم ومعدل الضغوط البشرية وتعرض النظم البيئية لها. مثلاً، قد يحجب هذا التحليل خطر الضغط السكاني في المناطق ذات المناخات شبه القاحلة أو القاحلة على إجمالي كمية المياه المتاحة في طبقات المياه الجوفية ومجاري المياه (ندرة المياه الديموغرافية) والاستغلال المفرط لموارد المياه العذبة (ندرة المياه).

إنّ جزءاً من موارد الأرض التي خصصها البشر (أي الاستيلاء البشري على صافي الإنتاج الأولي HANPP) هو من بين المؤشرات المستخدمة على نطاق واسع (للسيطرة البشرية على النظم البيئية للأرض)، حيث تستحوذ البشرية بالفعل على 40 % من صافي إنتاج الإنتاج الأولي للأرض، و 30 % من صافي الإنتاج الأولي الساحلي الغني.

على الصعيد العالمي، تناسب الأنشطة البشرية بالفعل 54 % من المياه العذبة المتجددة التي يسهل الوصول إليها (12500 كيلومتر مكعب). وقد أثَّر تدهور التربة الناجم عن النشاط البشري سلباً في 15 % (1966 مليون هكتار) من سطح الأرض. المدى العالمي لتدهور التربة هو 38 % للأراضي الزراعية، و21 % للمراعي الدائمة، و 18 % للغابات والأراضي الحراجية.

يتراوح معدل الخسارة العالمي للأراضي بسبب التحضر والنقل من 10 إلى 35 مليون هكتار في السنة (نحو 1 %)، ونصفها يأتي من أراضي المحاصيل. من عام 1970 إلى عام 1995، تجاوز معدل استخدام الطاقة بنسبة 2.5 % (وهو يتضاعف كل 30 عاماً) معدل النمو السكاني البالغ 1.7 % (الذي يتضاعف في نحو 40 عاماً).

يربط فيلم (مأساة العموم) لغاريت هاردين (1968) كيف يهدد تزايد عدد السكان واستهلاكهم سبل عيشهم، واستدامة نوعية وكمية خدمات النظام البيئي المملوكة ملكية عامة والتي يعتمد عليها المجتمع البشري العالمي (مثل الغلاف الجوي)، والدورات الهيدرولوجية والرسوبية، والتنوع البيولوجي، وطبقة الأوزون الواقية).

تشمل العواقب البيئية لتزايد عدد السكان والاستهلاك التي تتنافس على قاعدة موارد محدودة، النقص في إنتاج الأغذية البرية والبحرية، والطاقة، والمياه؛ وإزالة الغابات؛ خسائر التنوع البيولوجي والموائل المنتجة؛ تغير المناخ؛ واستنفاد طبقة الأوزون الواقية. تشمل العواقب الاجتماعية والاقتصادية الفقر، واللاجئين البيئيين، والمناطق الحضرية المكتظة، والمشكلات الصحية المتزايدة والجريمة، وصعوبات النقل المزدحمة، وتقويض الشعور بالمجتمع، والتضامن، والتعلق بالطبيعة.

• الوصول غير المتكافئ إلى رأس المال الطبيعي يهدد الأمن العالمي

عامل حيوي آخر لحل المشكلات البيئية في مواجهة الاستخدام غير المتكافئ وغير المستدام للموارد الطبيعية النادرة هو عدالة توزيع الثروة والسلطة. وتنمو الاستخدامات البشرية للموارد الطبيعية النادرة بشكل أسي في شكل زيادة التوسع (المدى المكاني لاستخدام الموارد الطبيعية في وقت معين) والتكثيف (كثافة استخدام الموارد الطبيعية في المكان والزمان).

على الصعيد العالمي، ترافق النمو السكاني السريع مع الاستهلاك المتزايد: زيادة الإنتاج الصناعي بمقدار 50 ضعفاً، وزيادة استهلاك الوقود الأحفوري بمقدار 30 ضعفاً، وزيادة الاقتصاد العالمي بمقدار 20 ضعفاً، وزيادة المياه بمقدار 10 أضعاف. وغالباً ما يشار إلى التأثير التراكمي للنمو في هذه المضاعفات للفرد على أنه النمو الديموري Demophoric growth.

مع زيادة الإنتاج الاقتصادي، لا يزال توزيع الدخل الاقتصادي العالمي مشوهاً لدرجة أن 80 % من سكان العالم يحصلون على دخل أقل من المتوسط. يبلغ متوسط الدخل لأعلى 20 % من سكان العالم نحو 50 ضعف متوسط الدخل لأدنى 20 % من سكان العالم. حصة الدخل العالمي مقسمة إلى خمس شرائح سكانية (20 % في كل منها) تشبه الإعصار، حيث يكون أفقر الأفراد في الأسفل والأغنى في الأعلى.

يحصل أغنى 20 % من السكان على ثلاثة أرباع إجمالي الدخل العالمي، في حين أن أفقر 20 % يحصلون على 1.5 % فقط. أفقر 40 % يكونون نحو من بليوني شخص يعيشون بمتوسط أقل من دولارين في اليوم.

يهدد الاستخدام غير المتكافئ وغير المستدام للموارد الطبيعية النادرة العدالة التوزيعية للثروة والسلطة، مما يضعف بدوره الأمن المشترك للمجتمع العالمي. تشير عدالة توزيع الثروة إلى درجة النمو الاقتصادي غير المتكافئ أو (الفجوة بين الفقر والاستهلاك المفرط)؛ في حين تشير عدالة توزيع السلطة إلى التفاوت المرتبط في وصول الفقراء مقابل الأغنياء إلى عمليات صنع القرار والسياسات.

مثلاً، تشير تقديرات متوسط استخدام الطاقة بين الدول إلى أن مواطناً أمريكيّاً واحداً يستخدم كمية الطاقة نفسها التي يستخدمها 531 إثيوبيّاً. يُعتقد أن نحو ثلاثة أرباع بليون شخص (شخص من كل ثمانية) يعانون الجوع المزمن بسبب الفقر، ليس فقط في البلدان النامية وإنما أيضاً في البلدان المتقدمة.

حتى إذا انخفض الجوع استجابة لزيادة توافر الغذاء والتجارة الدولية في الغذاء، فقد لا ينخفض سوء التغذية بسبب التوزيع الجائر في الصرف الصحي والمياه النظيفة والرعاية الصحية والتعليم.

• لاجئـــو البيئـــة

يؤدي النمو السكاني السريع إلى جانب التدهور البيئي والقدرة الطبيعية الحيوية المحدودة لرأس المال الطبيعي إلى تقويض الغذاء والطاقة والأراضي والأمن المالي، لا سِيَّما في البلدان النامية، مما يؤدي إلى تشرد السكان داخليّاً وخارجيّاً يُطلق عليهم اللاجئون البيئيون Environmental Refugees. صاغ هذا المصطلح عصام الحناوي في عام 1985، وهو يصف الأشخاص الذين أُجبروا على مغادرة موائلهم التقليدية بسبب الاضطرابات البيئية التي عرّضت وجودهم للخطر ونوعية حياتهم.

يمكن أن ينتج اللاجئون البيئيون أساساً عن عاملين مسببين: الاضطرابات الطبيعية (الزلازل، والانفجارات البركانية، والانهيارات الأرضية، والانهيارات الجليدية، والأعاصير، والعواصف، والفيضانات، والجفاف)، والاضطرابات التي يسببها الإنسان (تغير المناخ؛ فقدان المزارع الرئيسية؛ التصحر؛ إزالة الغابات؛ التملح ونضوب طبقات المياه الجوفية والأرصدة السمكية وتلوث الهواء والماء والتربة وإنشاء السدود والطرق والحوادث الصناعية والحروب).

• التقييـــم العـــام لزيادة الأعـــداد البشـــريـــة

مع أنّ العديد من المهنيين، أفراد وجماعات، قد أكدوا الانفصال بين الأعداد المتزايدة من الأشخاص والتكاليف البيئية، إلا أن الحلول المقترحة لم تحقق سوى نجاح محدود. نلخص مناقشتنا بالاستنتاج الملحوظ في تقرير المجموعة البرلمانية لجميع الأحزاب في المملكة المتحدة حول السكان والتنمية والصحة الإنجابية: عودة عامل النمو السكاني: تأثيره في الأهداف الإنمائية للألفية، الذي يعلن أنه من الصعب أو من المستحيل تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية مع المستويات الحالية للنمو السكاني في البلدان والمناطق الأقل نموًّا.

إن النمو السكاني ليس السبب الوحيد، أو حتى السبب الرئيسي، في نجاح أو فشل الأهداف الإنمائية للألفية، وإنما هو عامل حاسم. يرتبط النمو السكاني وارتفاع معدلات الخصوبة ارتباطاً وثيقاً. في الواقع، في العديد من المناطق، لا يمكن تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية ببساطة دون التركيز بشكل أكبر على إبطاء النمو السكاني، من خلال جعل تنظيم الأسرة الطوعي متاحاً للجميع.

لا يمكن عكس مسار فقدان الموارد البيئية في سياق النمو السكاني السريع أو حتى المعتدل. من الواضح أنه بدون معالجة قضية النمو السكاني وارتفاع معدلات الخصوبة في أفقر مناطق العالم، فإن فرص تحقيق هذه المناطق ضئيلة.

من المثير للدهشة أنه مع أنّ اتفاق جميع المهنيين مع أهمية تزايد عدد السكان، يبدو أن الغالبية تتخلى عن مواجهة الواقع.

• حلول مشكلة زيادة السكان

- ♦ الحد من الفقر في المقام الأول من خلال التنمية الاقتصادية والتعليم الابتدائي العالمي.
- ♦ رفع وضع المرأة.
- ♦ تشجيع الأسرة على التخطيط والرعاية الصحية الإنجابية.

مشـــكلة اســـتخدام الأراضـــي للزراعـــة

لتلبيـة حاجتهـا مـن الغـذاء والألياف، تعتمـد البشـرية علـى الإنتـاج الأولـي والثانـوي. تشـير الدلائـل الأثريـة إلـى أن الانتقـال مـن الجمـع والصيـد إلـى المجتمـع الزراعـي قـد تطـــــور بشـكل مسـتقل في مناطـق عـدة حـول العالـم منـذ نحـو 12000-10000 سـنة نتيجـة لتدجـين النبـات والحيـوان. وبالتالـي فهـو أقـدم نشـاط تحولـي لـلأرض. خـلال تاريخهـم، قـام البشـر بزراعـة أو جمـع 7000 نـوع مـن النباتـات مـن أجـل الغـــذاء، لكنهـم اليـوم يعتمـدون علـى 20 نوعـاً نباتيّـاً فقـط لتوفيـر أكثـر مـن 90 % مـن غـذاء العالـم؛ تسـهم ثلاثـة أنـواع فقـط: الـذرة، والقمـح، والأرز، بأكثـر مـن نصـف هـذا الغـذاء.

لقـد أدى اختيـار ونمـو عـدد قليـل فقـط مـن الأنـواع النباتيـة المرغوبـة إلـى وجـود أنظمـة متجانسـة مـع القليـل مـن التنـوع الجينـي الطبيعـي. وتطلـب انتشـار هـذه الأصنـاف المستأنسـة / المزروعـة أو (الأصنـاف) مـن مراكزهـا الأصليـة (والتكيـف) إلـى مناطـق ذات ظـروف نمـو مختلفـة تعديـلات متعـددة علـى البيئـة – الحـرث والـري والأسـمدة والمبيـدات الحيويـة ومواعيـد البـذر – والتلاعـب بالتركيـب الجينـي للأنـواع النباتيـة.

علـى الصعيـد العالمـي، علـى أسـاس المـادة الجافـة، يوجـد 16 محصـولاً فقـط تمثـل (92 %) مـن الغـذاء الـذي يسـتهلكه الإنسـان اليـوم؛ ويجـري تغذيـة نحـو 40 % مـن الحبـوب للحيوانـات الأليفـة.

• الزراعـــة التقليديـــة والزراعـــة الصناعيـــة

يوجـد نوعـان رئيسـيان مـن الزراعـة: التقليديـة والصناعيـة. النظـم الزراعيـة التقليديـة (التـي تمـارس في الغالـب في البلـدان الناميـة) هـي أكثـر كثافـة للأيـدي العاملـة والأراضـي وتتكـون مـن أربعـة أنـواع رئيسـية: الزراعـة متعـددة الأنـواع،

وزراعة الكفاف، والزراعة المتنقلة، والرعي البدوي.

في الزراعة متعددة الأنواع، يجري زراعة العديد من المحاصيل التي تتغذى بشكل متبادل (مثلاً نباتات تثبيت النيتروجين) أو تلك التي تظهر استخدامات متوافقة مع بعضها البعض (مثل أنظمة الجذر) في وقت واحد، في الغالب في النظم الزراعية التقليدية. تشير زراعة الكفاف إلى إنتاج ما يكفي من الغذاء لإطعام الأسر الزراعية بقليل من المتبقي لبيعه للحصول على دخل أو الاحتفاظ به في الاحتياطيات للأوقات الصعبة.

تعد الزراعة المتغيرة (وتسمى أيضاً زراعة القطع والحرق) شائعة في مناطق الغابات الاستوائية. وهي تنطوي على قطع الغابات وحرقها، وزراعة الأرض لبضع سنوات حتى تستنفد خصوبة التربة، ثم التخلي عن المنطقة والمضي قدمًا لإزالة رقعة حراجية أخرى للزراعة. الزراعة المتغيرة تجعل المناطق المطهرة والمهجورة عرضة لتآكل التربة الشديد، مما يؤدي في النهاية إلى فقدان قدرتها على التجدد بشكل دائم. هذه الممارسة تجعل الملايين من الناس (لاجئين بيئيين).

ويحدث الرعي البدوي حيث تكون ظروف الأرض غير مواتية لدعم المحاصيل لنمو الماشية، وبالتالي يجب على الرعاة البحث باستمرار عن العلف عن طريق نقل حيواناتهم.

أما الزراعة الصناعية فهي تعتمد على مدخلات عالية من طاقة الوقود الأحفوري والمياه والأسمدة ومبيدات الآفات لإنتاج غلات عالية من المحاصيل الفردية (الزراعة الأحادية) لكل وحدة مساحة من الأراضي الزراعية. تتراوح النظم الزراعية الصناعية من مزارع الهوايات إلى المزارع التجارية وتحدث في الغالب حيث يستطيع المزارعون الميسورون تحمل تكلفة طاقة الوقود الأحفوري والأسمدة والمبيدات الحشرية والبذور المطلوبة.

• مدخـــلات الطاقـــة في الزراعـــة

كيف تم تحقيق هذا النجاح؟ تكمن الإجابة في تطبيق استراتيجيات متعددة، لكل منها مزاياها وعيوبها كما نعلم حالياً. مكنت المكننة الزراعية من العمل على مساحات من الأرض أكبر مما كان ممكناً مع عمل البشر والخيول. وشملت هذه الحراثة، والبذر، واستخدام الأسمدة والمبيدات الحيوية، والري، والحصاد. جرى الاهتمام أيضاً بتجهيز الأغذية وتعبئتها ونقلها حتى لا تضيع بقية الحقول.

أُحضرت أصناف نباتية محسنة وعالية الإنتاجية إلى المزرعة بمجرد إنتاجها من قِبل الباحثين. ولكن مع وجود كل هذه الأمور في مكانها الصحيح، ارتفع دعم الطاقة وانخفضت مدخلات العمالة البشرية. تتراوح مدخلات الطاقة في الزراعة الأمريكية، من الحرث والبذر إلى المائدة، ما بين 18 و 20 % من إجمالي ميزانية الطاقة الوطنية. العديد من هذه العمليات كثيفة الاستهلاك للطاقة، كما يتضح من ميزانية طاقة إنتاج الذرة.

• الثـــورة الخضـــراء

يشار إلى تطوير وانتشار الأصناف عالية الغلة والمحتوى المغذي للمحاصيل خلال الستينيات (بالثورة الخضراء) برعاية مؤسستي روكفلر وفورد منذ عام 1943، المركز الدولي لتحسين الذرة والقمح في المكسيك، تحت قيادة العالم الزراعي نورمان بورلوغ الذي طوّر (سلالات معجزة)، مثل أصناف عالية الغلة من القمح والأرز مع محتوى بروتين أعلى والبطاطس والفاصولياء المقاومة للأمراض. حصل بورلوغ على جائزة نوبل عام 1970.

تبلغ نسبة السعرات الحرارية المستهلكة في جميع أنحاء العالم 23 % (أرز) و 17 % (قمح) و 9 % (ذرة). جرى تعديل الأرز عالي الإنتاجية وراثيّاً وظاهريّاً لتعزيز مصانع إنتاج الحبوب.

أنواع محسنة من الأرز توضح دور التعديل الوراثي في الثورة الخضراء. لاحظ الاختلافات في الجذور والسيقان والنورات من النوع التقليدي إلى النوع الجديد.

تستمر أبحاث تطوير الأرز في جوانب مثل:

- استجابة النيتروجين. أظهرت الأصناف التقليدية زيادة أولية في الإخصاب بالنيتروجين، تلاها انخفاض كبير. وجرى تربية الأصناف لإظهار زيادة الغلة مع زيادة تطبيقات النيتروجين.
- استجابة دورية ضوئية. تنضج الأصناف التقليدية (مثل بيتا) في نحو 180 يوماً. جرى تربية الأصناف لتنضج في 95 يوماً، مما يسمح بحصاد متعدد في السنة.

- مقاومـة الأمـراض. حيـث جـرى تربيـة الأصنـاف للتغلـب علـى: (1) فيـروس التقـزم العشـبي، (2) فيـروس تونغـرو Tungro (حوريـات النطـاط البنـي)، (3) اللفحـة البكتيريـة، و (4) حفـارات السـاق.
- التعديـلات المعدلـة وراثيّـاً. حيـث جـرى تربيـة الأصنـاف التـي تقـاوم حفَّار السـاق والجفـاف والغمـر والملوحة العاليـة للتربة.
- الأصنـاف المعدلـة وراثيّـاً (الهندسـة الوراثيـة). جـرى تطويرهـا للتغلـب علـى نقـص فيتامـين A البشـري عـن طريـق إدخـال بيتـا كاروتـين لتخليـق فيتامـين A في سـويداء الأرز (الأرز الذهبـي).
- إجراء تجارب على أصناف للتغلب على نقص الحديد البشري.
- البحث جار لتحويل الأرز من C3 الضوئي إلى وضع C4.

مـع أن الثـورة الخضـراء قـد عـززت إنتـاج الغـذاء لـكل هكتـار مـن الأراضـي الزراعيـة في الغالـب في آسـيا ودول أمريـكا اللاتينيـة، فقـد أدى تكثيـف الإنتـاج الزراعـي هنـاك إلـى زيـادة اسـتخدام الأسـمدة ومبيـدات الآفـات والآلات الآليـة والوقـود الأحفـوري والبـذور باهظـة الثمـن والزيـادة المصاحبـة في فقـدان التنـوع الجينـي وتنـوع الأنـواع، بالإضافـة إلـى زيـادة انبعاثـات غـازات الاحتبـاس الحـراري.

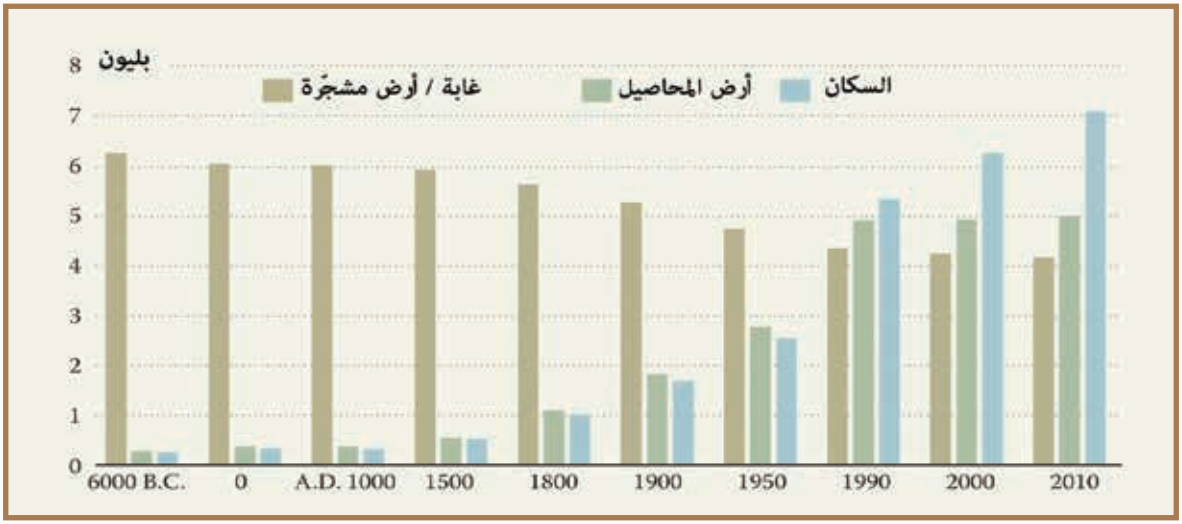
• تضـــارب اســـتخدام الأراضـــي

التوسـع والتنافـس في الاسـتخدامات البشـرية للأراضـي ومـوارد الميـاه (مثـل الأنشـطة الصناعيـة الحضريـة، والنقـل، والأراضـي الزراعيـة، والمراعـي، والغابـات، ومصائـد الأسـماك، والحفـاظ علـى الطبيعـة) يمكـن أن يؤثـر سـلباً في البنيـة (التنـوع البيولوجـي وتوزيـع الأنـواع والوفـرة) والوظيفـة (تبـادل الطاقـة والمـواد والميـاه والأنـواع) للنظـم البيئيـة المجـاورة؛ وهـذا مـا يسـمى بنزاعـات اسـتخدام الأراضـي.

يشير الغطاء الأرضي إلى المظهر الطبيعي الحيوي ونوع الغطاء النباتي الموجود على سطح الأرض، مثل الغابات والزراعة والأراضي العشبية والأراضي القاحلة.

يصف تغيير الغطاء الأرضي الاختلافات في المنطقة التي تشغلها أنواع الغطاء وكذلك تجزئة (التحولات في التباعد) لأنواع الغطاء النباتي عبر المناظر الطبيعية بمرور الوقت. يشير مستخدمو الأرض إلى تحويل الأرض من حالتها الأصلية إلى استخدام جديد (مثلاً إزالة الأشجار للأغراض الزراعية أو الرعي)، أو التحول إلى الأراضي الزراعية لاستخدامات أخرى (مثل مراكز التسوق). مثلاً يمكن استخدام مكان فيه غطاء حراجي للإسكان منخفض الكثافة أو قطع الأشجار أو الترفيه، مما قد يتسبب في حدوث صراع بين مجموعات المستخدمين البشرية المختلفة. يشمل مصطلح تغيير استخدام الأراضي الاختلافات في الاستخدامات البشرية للأرض بمرور الوقت.

تحدث التغييرات الكمية بين استخدامات الأراضي إما بشكل لا رجعة فيه كخسائر في النظم البيئية وإما بشكل عكسي كتحويلات من نوع نظام إيكولوجي إلى آخر. مثلاً تشير التقديرات إلى أن المساحة العالمية للأراضي الزراعية قد توسعت من نحو 320 مليون هكتار في عام 1850 إلى 1360 مليون هكتار في عام 1990. استجابة لحجم السكان المتزايد في العالم، بلغ التوسع في الأراضي المخصصة للزراعة 4.87 بليون هكتار في عام 1994، تتجاوز الحدود المادية للأراضي الصالحة للزراعة المناسبة بيئيّاً، التي تبلغ 3.3 بليون هكتار. أدى استمرار التوسع الزراعي خارج حدوده المادية إلى تحويل الغابات والأراضي العشبية والأراضي الرطبة ومناطق الحفاظ على الطبيعة إلى أراضي المحاصيل وتجزئة الموائل المتبقية.



التغيرات التاريخية والمتوقعة في استخدام الأراضي (بالهكتارات) والسكان؛ لم يُرسم التسلسل الزمني على نطاق واسع.

على مدى 140 عاماً منذ عام 1860، جرى إزالة نحو 730 مليون هكتار من الأراضي الزراعية والمراعي من الغابات (انخفاض بنسبة 17 %) والأراضي الحراجية، وجرى تحويل ما يقرب من 500 مليون هكتار من الأراضي العشبية وغيرها من النظم البيئية غير الحراجية إلى أراضي المحاصيل، مع خسارة معظمها تحدث في المناطق الاستوائية. كما بلغت مساحة الأراضي الزراعية في الولايات المتحدة ذروتها عند نحو 500 مليون فدان في الأربعينيات - بزيادة قدرها 400 % منذ عام 1850 - ثم انخفضت بعد ذلك إلى 400 مليون فدان بحلول عام 2000.

تشكل خسائر الأراضي الزراعية الرئيسية (المنتجة) بسبب التوسع في القطاعات السكنية والتجارية والصناعية وقطاعات النقل تهديدات مُهمَّة تزعزع التوازن بين الإمدادات الغذائية والطلبات البشرية على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

وعلى العكس من ذلك، فإن خسائر الأراضي الرطبة في الأراضي الزراعية والتحولات من الأراضي العشبية والغابات والمناطق الطبيعية تزيد من فقدان التنوع البيولوجي وانبعاث غازات الدفيئة المحتجزة في بِرك التربة والغطاء النباتي إلى الغلاف الجوي، فضلاً عن تعديل النظم الهيدرولوجية والمُناخ المحلي للمنطقة.

تحدث التغييرات النوعية عندما تكون استخدامات الأراضي المجاورة وممارسات الإدارة داخل استخدامات الأراضي غير متوافقة بيئيّاً، وبالتالي يكون لها تأثيرات سلبية خارج الموقع وفي الموقع على بنية ووظيفة النظم البيئية. مثلاً في العديد من المناطق شبه القاحلة والجافة من العالم (مثل غرب أمريكا الشمالية وأفريقيا والشرق الأوسط وأستراليا وآسيا الوسطى)، يمكن للصناعات كثيفة الاستخدام للمياه (مثل مصانع التعدين والنسيج) أن تستنفد المياه أو تلوث إمدادات منطقة زراعية. على العكس من ذلك، يمكن للأراضي الزراعية المروية أن تقلل من جودة وتوافر المياه اللازمة لدعم التنوع البيولوجي في مناطق الحياة البرية المحيطة.

• تزايد الزراعات الأحادية

يؤدي تبسيط وتجانس النظم الإيكولوجية الزراعية بجعلها زراعة أحادية إلى فقدان التنوع البيولوجي، وبالتالي ارتفاع معدلات الإصابة بالأمراض والآفات لأن الإنتاجية المستدامة واستقرار هذه النظم الإيكولوجية يعتمدان على التنوع البيولوجي والنظام البيئي.

ينص معهد المراقبة العالمية على حدوث معدل ينذر بالخطر من الانخفاض في عدد الأنواع المختلفة من المحاصيل المزروعة في جميع أنحاء العالم. مثلاً

انخفضت أصناف القمح المزروعة في الصين من 10000 في عام 1949 إلى 1000 بحلول السبعينيات؛ أكثر من 90 % من أصناف البازلاء والملفوف، و81 % من أصناف الطماطم المزروعة في الولايات المتحدة عام 1904 لم تعد مزروعة، ولم يجرِ تخزين أي بذور من هذه الأصناف لاستخدامها في المستقبل.

فقط 20 % من أصناف الذرة التي تزرع في المكسيك قبل 60 عاماً لا تزال قيد الزراعة. لا يقتصر الأمر على كون الزراعة الأحادية أكثر عرضة للأمراض والآفات، ولكن فقدان الأصناف يعني عدم توفر مجموعات فريدة من الجينات لتحسين السلالات المزروعة حالياً.

• اســـتدامة دعم الطاقـــة

صار التكثيف الزراعي منذ الثورة الخضراء في الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي وقوداً أحفورياً كثيفاً (طاقة) بسبب زيادة مدخلات الأسمدة الصناعية والمبيدات الحيوية (مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب ومبيدات الفطريات) ومياه الري التي تسهم في تغير المناخ العالمي. يمكن للحكومات في جميع أنحاء العالم إلغاء ما يقدر بنحو 700 بليون دولار من الإعانات السنوية التي تحفز على تدمير سلع وخدمات النظام البيئي. مثلاً، أنفقت إندونيسيا 150 مليون دولار سنوياً لدعم استخدام مبيدات الآفات في حقول الأرز في منتصف الثمانينيات، مما أدى إلى تسمم البشر والحياة البرية في شبكة الغذاء؛ وقد أنهت الدولة الدعم في عام 1986 دون أي آثار سيئة على إنتاج الأرز.

تبلغ الطاقة المشتقة من الوقود الأحفوري المستخدمة في ضخ مياه الري انبعاثات سنوية 81-305 غرام CO_2/ م^2 (22–83 غرام/ سم^2) ($C = 3.67\ CO_2$) للأراضي الزراعية المروية في الولايات المتحدة. علاوة على ذلك، ونظراً لارتفاع

نسبة الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون في المياه الجوفية في المناطق القاحلة (بقدر 1% من الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون مقابل 0.036 % في الغلاف الجوي)، فإن استخدام هذه المياه للري الزراعي في الأراضي القاحلة سيطلق 8.4–15 غرام سم^3/ سنة إلى الغلاف الجوي من تكوين كربونات التربة ($CaCO_3$).

في سلسلة التصنيع والنقل والاستهلاك بكاملها، تولد صناعة الأسمدة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي تبلغ 1.436 مول من ثاني أكسيد الكربون – الكربون لكل مول من النتروجين N المُنتج. تشمل الانبعاثات من صناعة الأسمدة ثاني أكسيد الكربون، والأمونيا NH3، أكاسيد النيتريك والنيتروز (NOx و N2O)، وكبريتيد الهيدروجين (H2S)، وثاني أكسيد الكبريت (SO2)، وثالث أكسيد الكبريت (SO3)، والفلور (SiF4 وHF)، والإشعاع (من جبس الفوسفات). إنها تسبب الاحتباس الحراري، ونضوب الأوزون، وتحمّض التربة، ونضوب الأكسجين في الماء (بسبب فرط المغذيات)، والسمية للكائنات (مثل الكادميوم)، والهباء الجوي.

يعتمد أكثر من 99 % من إنتاج الأسمدة العالمية النتروجينية على الأمونيا (NH3)، ويعتمد نحو 77 % من الطاقة الإنتاجية العالمية للأمونيا حالياً على عملية كيميائية تستخدم الغاز الطبيعي (الميثان) كمخزون تغذية. تنبعث هذه الطريقة من إنتاج NH3 1.15-1.3 طن من ثاني أكسيد الكربون و1.3 كغ من NO2 و0.01 كغ من SO2 لكل طن من NH3 المنتج.

يعتبر إنتاج الأسمدة مكلفاً من حيث الطاقة، حيث يستهلك الإنتاج العالمي الحالي 4.4 بليون غيغا جول في السنة (نحو 1.2 % من الطاقة العالمية)، منها 92.5 % تستخدم للأكسجين، 3 % لـ P2O5، و4.5 % لـ K2O)، باستثناء استهلاك الطاقة الناجم عن نقل الأسمدة واستخدامها.

• المبيـــدات الحيويـــة: الاســـتخدام والآثـــار الصحيـــة

المبيدات الحيوية هي مواد كيميائية لقتل الكائنات الحية من جميع الأنواع التي نعتبرها غير مرغوب فيها (آفات) بسبب تدخلنا في التنظيم الطبيعي والتحكم في السكان في النظم البيئية الزراعية والحضرية والصناعية.

تشمل المبيدات الحيوية مبيدات الفطريات (قاتلات الفطريات) ومبيدات الأعشاب (قاتلات النباتات) والمبيدات الحشرية (قاتلات الحشرات) ومبيدات القوارض (قاتلات الفئران والجرذان) وما إلى ذلك. تستخدم هذه المواد الكيميائية غير العضوية والعضوية في الغالب في الإنتاج الزراعي للتعويض عن الوظيفة الطبيعية والتنوع البيولوجي. يمكن أن تستمر في البيئة لعقود عديدة وتتضخم أضعافاً مضاعفة في التركيز على أساس علاقات شبكة الغذاء بين البشر والنباتات والحيوانات، وبالتالي الإضرار بصحة البشر والأنواع الأخرى.

حتى الأربعينيات من القرن الماضي، كانت العناصر والمركبات التي تحدث بشكل طبيعي تُستخدم لردع استهلاك المحاصيل وإتلافها بوساطة الآفات.

تضمنت هذه المركبات مركبات مثل الزرنيخ والرصاص والزئبق والمركبات ذات خصائص الإبادة للحشرات والتي جرى استخلاصها من نباتات أخرى (مثل الكوكايين من أوراق الكاكاو، ومستخلصات النيكوتين من أوراق التبغ، والبيريثروم من أزهار الأقحوان). يشار إلى هذه أيضاً باسم مبيدات الآفات من الجيل الأول. مع أنّ بعض المركبات تتحلل بمرور الوقت (قابلة للتحلل)، فإن البعض الآخر لا يتحلل (غير قابل للتحلل). والمبيدات التي لا تتحلل يتراكم من خلال السلسلة الغذائية (التركيز البيولوجي والتضخم الأحيائي).

بدأ الجيل الثاني من مبيدات الآفات عندما بدأ الكيميائي غايغي بأول مولر Geigy Paul Müller التجارب باستخدام مبيد حشري صناعي DDT (ثنائي

كلورو ثنائي الفينيل - ثلاثي كلورو الإيثان) لمكافحة خنفساء البطاطس في سويسرا. وجرى استخدام مادة الـ DDT في وقت لاحق للقضاء على سوسة القطن والحشرات الأخرى، ولهذا حصل بول مولر على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1948.

وهكذا بدأ عصر الجيل الثاني من مبيدات الآفات، الذي تميز باستخدام مادة الـ DDT وأقاربها، وهي مواد غير قابلة للتحلل الحيوي، لذلك تتراكم في البيئة. حالياً، تستخدم 3 ملايين طن من المبيدات الحيوية التي تحوي على نحو 1600 مادة كيميائية مختلفة سنويّاً في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك، فإن استخدام المبيدات الحيوية غير فعَّال جدّاً لأن 0.1 % فقط من مبيدات الآفات المطبقة في الواقع - كما تشير التقديرات- تصل إلى الآفات المستهدفة، مما يتسبب في تدمير 99.9 % المتبقية للبيئة.

تعتبر المبيدات الحيوية غير فعَّالة لأن ما يقرب من 40 % من الأغذية المزروعة في جميع أنحاء العالم تُفقد بسبب الآفات والأمراض. مع أنّ استخدام المبيدات الحشرية زاد بمقدار عشرة أضعاف في الولايات المتحدة من عام 1945 إلى عام 1989، فقد تضاعف إجمالي خسائر المحاصيل من أضرار الحشرات تقريباً من 7 إلى 13 %. تسبب نحو مليون حشرة معروفة نحو 90 % من الأضرار التي تلحق بالمحاصيل الغذائية (تشير بعض التقديرات إلى أن 10 كوينتيليون (10^{18}) حشرة تعيش على الأرض في أي وقت). وتقدر منظمة الصحة العالمية (WHO) أن مبيدات الآفات تسمم نحو مليون شخص كل عام، وتتسبب في وفاة ما يصل إلى 20000 شخص.

خلال العقد الماضي، شكّل استخدام مبيدات الآفات الزراعية 80-75 % من إجمالي الاستخدام في الولايات المتحدة؛ وجرى استخدام الباقي في مكافحة

الآفات الحضرية والطرق والمناظر الطبيعية والغابات. ويستخدم ربع المبيدات المستخدمة في الولايات المتحدة في ولاية كاليفورنيا، مع أنّ الأراضي المزروعة في كاليفورنيا لا تمثل سوى 2 - 3 % من إجمالي استخدام المبيدات في الولايات المتحدة. ووفقاً لشبكة Pesticide Action Network، فإن نحو ثلث إجمالي مبيدات الآفات المستخدمة في كاليفورنيا في أي سنة معينة سامة للإنسان كسموم فورية (حادَّة) و / أو سموم مزمنة، بما في ذلك المواد المسرطنة، والمواد السامة الإنجابية أو النمائية، والسموم العصبية، أو ملوثات المياه الجوفية.

زادت كثافة استخدام مبيدات الآفات المبلغ عنها (المكونات النشطة المطبقة لكل وحدة زمنية ومساحة) في كاليفورنيا بنسبة 60 % من 16.1 كغ / هكتار في عام 1991 إلى 25.7 كغ / هكتار في عام 1998، مع زيادة إجمالية قدرها 51 % في الكمية من 58.5×10^3 إلى 88.4×10^3 طن متري خلال الفترة نفسها.

تشمل أكثر مبيدات الآفات سمية المستخدمة في كاليفورنيا السموم الحادَّة (مثلاً، مواد التبخير وبروميد الميثيل والكلوروبكرين وفلوريد السلفوريل)، والمواد المسرطنة (مثلاً، مبخرات التربة، وصوديوم ميتام، وتيلون)، والمواد السامة الإنجابية أو التطورية (مثلاً، التربة ومواد التبخير وبروميد الميثيل وميتام الصوديوم) والسموم العصبية (مثل الفوسفات العضوي والكربامات) وملوثات المياه الجوفية (مثل مبيدات الأعشاب للديورون والنورفلورازون ومبيدات الألديكارب الحشرية).

أدت زيادة استخدام مبيدات الآفات المسببة للسرطان بنسبة 127 % إلى زيادة متزامنة في حالات الإصابة بالسرطان المصححة بالعمر في كاليفورنيا خلال فترة الثماني سنوات هذه (بما في ذلك سرطان الدم لدى الأطفال، وأورام الدماغ، وسرطان الغدد الليمفاوية اللاهودجكينية، وسرطان الخصية، وبعض أشكال السرطان مثل سرطان الثدي).

ارتفع إجمالي استخدام مبيدات الآفات الأكثر سمية بنسبة 44 % من 22.9 ألف طن عام 1991 إلى 32.9 ألف طن عام 1995، لكنه انخفض بنسبة 12 % إلى 29 ألف طن عام 1998 بسبب انخفاض استخدام مبيدات التربة وبروميد الميثيل وميتام الصوديوم والضغوط التنظيمية والعامة من المخاوف الصحية. تشمل مبيدات الآفات المتبقية المستخدمة في كاليفورنيا مبيدات الفطريات الكبريت (المسؤولة عن معظم حالات تسمم عمال المزارع)، وزيوت البترول كمبيدات حشرية، وملوثات الهواء الرئيسية، ومبيدات الآفات المسببة لاضطرابات الغدد الصماء.

إنّ المواد الكيميائية المسببة لاضطرابات الغدد الصماء (المعروفة أيضاً باسم المواد الكيميائية المسببة لاضطرابات الهرمونات) هي مجموعة من المواد الكيميائية القادرة على محاكاة أو تعديل عمل الهرمونات الطبيعية للكائنات الحية. وقد صار الناس قلقين بشكل متزايد بشأن الآثار الإنجابية والإنمائية الضارة المحتملة للمواد الكيميائية المخلّة بعمل الغدد الصماء على البشر والحياة البرية.

تشمل النتائج السلبية على الصحة الإنجابية والنمائية للإنسان التي جرى ربطها بهذه العوامل سرطانات الثدي والمبيض وسرطان بطانة الرحم، والعقم. واستغراق وقت طويل للحمل، وزيادة معدلات الإجهاض التلقائي، وانخفاض نسب المواليد من الذكور إلى الإناث، وزيادة سرطان الخصية عند الشباب، وزيادة سرطان البروستاتا. وانخفاض جودة السائل المنوي، وزيادة تواتر التهاب الخصية، والبلوغ المبكر. ويتضح تنوع استجابات الحياة البرية المنسوبة إلى المواد الكيميائية المعيقة لعمل الغدد الصماء في الأنواع التي تعيش في مناطق ملوثة على نطاق واسع بالمواد الكيميائية.

توجد حالياً معاهدة عالمية هي اتفاقية ستوكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة (POPs). تنص هذه الاتفاقية على أن (الملوثات العضوية الثابتة هي مواد كيميائية تبقى سليمة في البيئة لفترات طويلة، وتنتشر على نطاق واسع جغرافيّاً، وتتراكم في الأنسجة الدهنية للكائنات الحية وتكون سامة للإنسان والحياة البرية). تستهدف الاتفاقية (العشرة القذرة)، والتي تشمل:

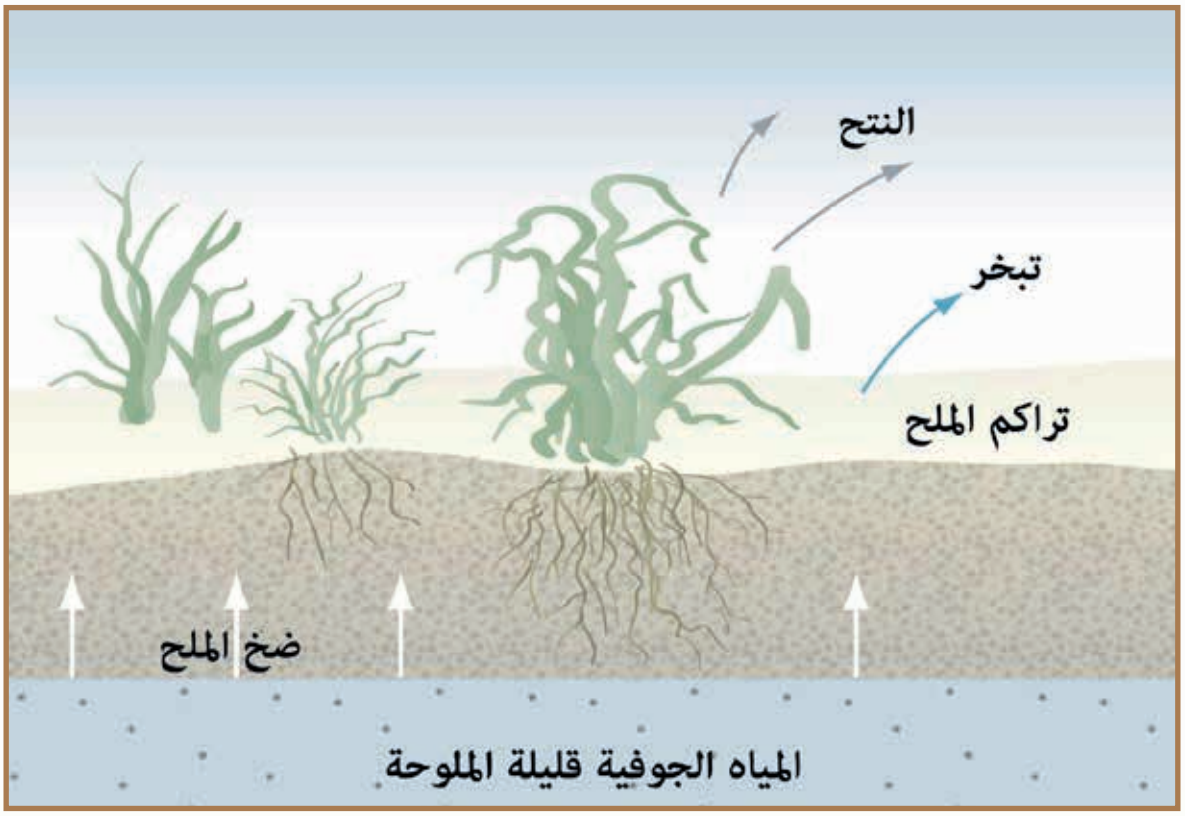
- بعض المبيدات الحشرية، مثل الـ DDT والكلوردان، التي كانت تستخدم في السابق بشكل شائع لمكافحة الآفات في الزراعة ومواد البناء، وكذلك لحماية الصحة العامة وتعتبر حالياً من الملوثات العضوية الثابتة.
- مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، التي استخدمت في مئات التطبيقات التجارية، مثل المعدات الكهربائية، ونقل الحرارة، والمعدات الهيدروليكية، وكمواد ملدنة في الدهانات، والبلاستيك، ومنتجات المطاط.
- بعض المنتجات الثانوية الكيميائية، مثل الديوكسينات والفيوران، التي يتم إنتاجها عن غير قصد من معظم أشكال الاحتراق، بما في ذلك محارق النفايات البلدية والطبية، وحرق القمامة في الهواء الطلق، والعمليات الصناعية.

جرى التصديق على هذه المعاهدة من قِبل الولايات المتحدة في 23 مايو 2001.

• تعطيل الدورات البيوجيوكيميائية

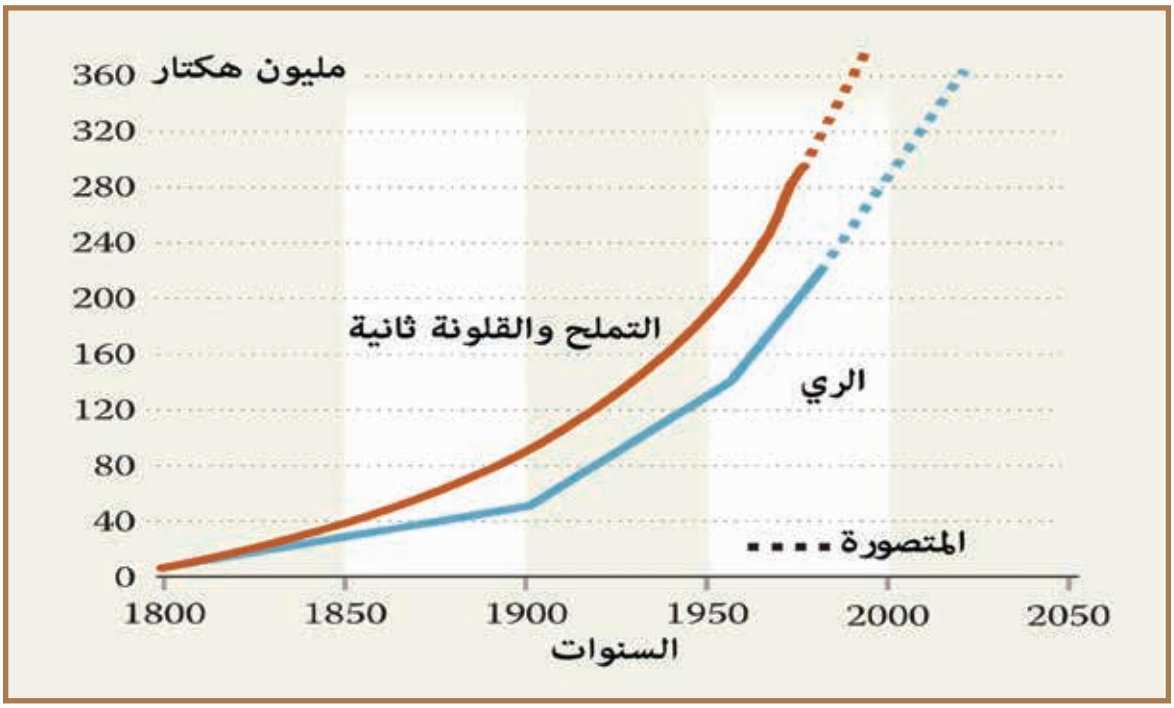
❖ التملح

يُعد التراكم البشري للأملاح الذائبة (القابلة للذوبان) في التربة (المعروفة بالملوحة الثانوية) مصدر قلق كبير، لا سيَّما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة من العالم، حيث يؤدي إلى إزالة الغطاء النباتي إلى جانب عدم كفاية الترشيح والتصريف وتخفيف أملاح النظام الهيدرولوجي. يؤدي المحتوى المرتفع من الأملاح الذائبة (مثل كلوريدات وكبريتات الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم) في مياه الري إلى جانب معدلات التبخر العالية إلى تملح / قلوية بمرور الوقت تصل في النهاية إلى مستويات ضارة بنمو النبات.



عملية التشبع بالمياه والتملح.

ينتـج عـن تراكـم الملـح بالقُـرْب مـن سـطح التربـة نوعـان رئيسـيان مـن التربـة المتأثـرة بالملـح، حيـث تـؤدي كربونـات الصوديـوم والبيكربونـات إلـى تربـة قلويـة (سـوديك)، بينمـا يـؤدي كلوريـد الصوديـوم وكبريتـات الصوديـوم إلـى تربـة مالحـة. مـع زيـادة الزراعـة المرويـة، يـزداد التملـح والقلويـة بفعـل الإنسـان، ممـا يؤثـر سـلباً في نحـو 20 % مـن الأراضـي المرويـة و77 مليـون هكتـار في جميـع أنحـاء العالـم، وينتشـر هـذا بمعـدل يصـل إلـى 2 مليـون هكتـار في السـنة.



التنمية العالمية للري والتملح الثانوي للتربة.

يمكـن أن يتسـبب الجريـان السـطحي والترشـيح مـن التربـة المالحـة في زيـادة مسـتويات التملـح في مـوارد الميـاه السـطحية والجوفيـة. في أراضـي المحاصيـل البعليـة، حيـث يكـون هطـول الأمطـار مرتفعًـا بمـا يكفـي لزراعـة المحاصيـل مـع القليـل مـن الـري الإضـافي أو بدونـه، يـؤدي عـدم وجـود أنظمـة صـرف مناسـبة إلـى

ارتفاع منسوب المياه الجوفية والتشبع بالمياه (المعروف أحيانًا باسم الصحاري الرطبة).

يتغذى بحر آرال، الذي كان في يوم من الأيام رابع أكبر مسطح مائي داخلي في العالم، من التدفقات السنوية نحو 50 كيلومترًا مكعبًا من نهري أمو داريا وسير داريا، إلا أنه يوضح العواقب البيئية للإفراط في الري والري غير الفعَّال. منذ عام 1960، أدى ري إنتاج القطن والأرز في كازاخستان وأوزبكستان إلى تقليل المساحة السطحية لبحر آرال بنحو 50 % وحجمه بنسبة 75 %، أي أكثر من ثلاثة أضعاف في 33 عاماً فقط. وقد أدى ذلك إلى التشبع بالمياه والتملح وخسائر في صناعة الصيد والأراضي المنتجة بسبب الأملاح المنبعثة من قاع البحر السابق.

❖ حت التربة

يمكن أن يحدث حت التربة Erosion إما بشكل طبيعي وإما بسبب بشري عن طريق العوامل الرئيسية للمياه والرياح. إنّ تآكل التربة الطبيعي (الجيولوجي) هو عملية طويلة الأمد تتسبب في اهتراء الجبال وتبني السهول والدلتا خلال ملايين السنين. تعمل الأنشطة البشرية، مثل إزالة الغطاء النباتي، والرعي الجائر، والبناء، والحراثة التقليدية، على تسريع معدل إزالة مكونات التربة، وبخاصة القمامة السطحية والتربة السطحية، من مواقعها الأصلية، ونقلها، وترسبها في نهاية المطاف في موقع جديد.

يوجد ثلاثة أنواع من التعرية المائية: تآكل الصفيحة، وتآكل الجدر، وتآكل الأخاديد. يُعرف فقدان طبقات موحدة نسبيّاً من التربة السطحية عن طريق التدفق الواسع للمياه السطحية أسفل منحدر أو عبر حقل باسم تآكل الصفيحة. ويحدث تآكل الجدر عندما تشكل المياه السطحية تيارات صغيرة سريعة التدفق تسبب قنوات ضحلة وضيقة في التربة. في حين أن تآكل الأخاديد هو الشكل

الأكثر شدة لتعرية الجدر حيث تحفر جداول ضخمة من المياه سريعة التدفق قنوات أعمق وأوسع في التربة حتى تصير خنادق وأخاديد.

تعد الممارسات الزراعية الحديثة مسؤولة عن 29 % من إجمالي تدهور التربة بفعل الإنسان (1965 مليون هكتار) وقد أدت إلى تدهور 38 % من إجمالي الأراضي الزراعية (1475 مليون هكتار) على النطاق العالمي. تشمل أنواع تدهور التربة التعرية بفعل المياه والرياح، والتدهور الكيميائي (مثلاً، فقدان المواد العضوية في التربة والمغذيات، والتملح، والتلوث، والتحمض)، والتدهور الفيزيائي (مثل الضغط والتشبع بالمياه).

يعتبر التآكل إلى حد بعيد أكثر أنواع تدهور التربة انتشاراً في جميع أنحاء العالم، مما يتسبب في متوسط معدل خسارة عالمي للتربة السطحية الخصبة يبلغ 30 طن لكل هكتار في سنة واحدة. في الغرب الأوسط الأعلى للولايات المتحدة، تُفقد التربة السطحية الثمينة بسبب تآكل الرياح في كل من الصيف والشتاء. عاصفة ثلجية واحدة في أواخر الشتاء وأوائل الربيع قد تنثر 30 مليون طن أو أكثر من التربة السطحية.

يبلغ معدل تجديد التربة السطحية نحو 2.5 سم لكل 500 عام في ظل الظروف الزراعية ونحو 1.5 سم لكل 3000 عام في ظل الظروف الطبيعية. على الصعيد العالمي، تتعرض أكثر من 10 ملايين هكتار من الأراضي الزراعية المنتجة للتدهور الشديد ويجري التخلي عنها سنوياً بسبب تآكل التربة الزائد عن تكوين التربة. تشمل العوامل المساهمة في تآكل التربة التعرية Erodibility، وشكل الأرض (المنحدر والجانب)، والغطاء الأرضي، وإدارة الأراضي.

في الزراعة التقليدية باستخدام محراث لوحة التشكيل ملحقاً بقرص، يُقلب 15 سم العلوي من التربة وتقسيمها مع بقايا المحاصيل السابقة ويُحرث أي

غطاء نباتي تحتها. تؤدي طريقة الحرث هذه إلى إزالة و / أو دفن بقايا المحاصيل في الحقل ولا تترك سطح التربة عرضة لتآكل التربة فحسب، بل تزيد أيضاً من تحلل وتمعدن المادة العضوية للتربة (SOM)، مما يسهم بدوره في فقدان التربة، وكذلك انبعاث غازات الاحتباس الحراري (مثل ثاني أكسيد الكربون CO2 وأكسيد النيتروز N2O والميثان CH4).

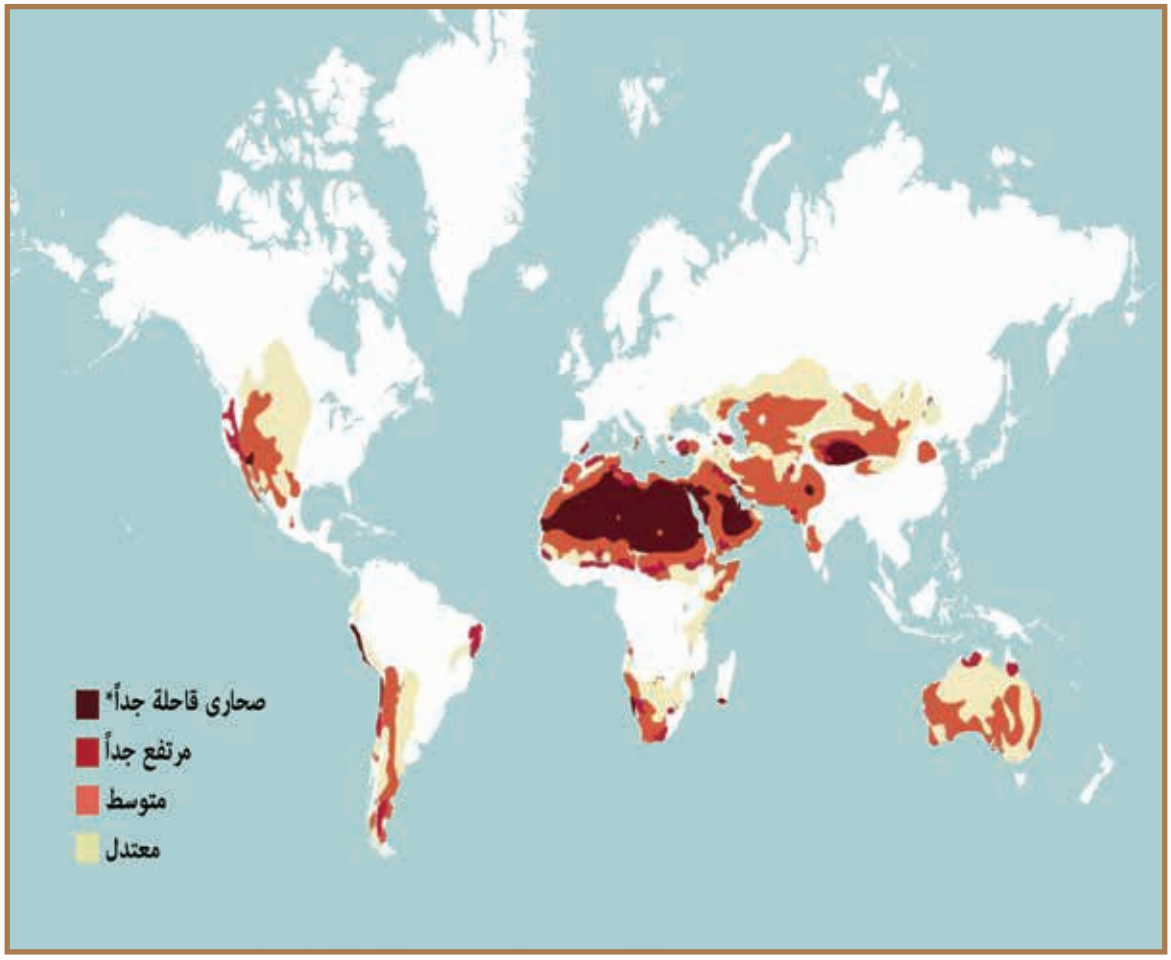
خلال الخمسين سنة الأولى من الحراثة، يُفقد ما متوسطه 40-50 % من المستوى الأصلي للقسم الأساسي. ويقلل فقدان التربة السطحية الغنية بـ SOM من تكوين مجاميع التربة، وقدرات الاحتفاظ بالمياه والمغذيات، ونتيجة لذلك، من خصوبة التربة. الرواسب الناتجة لها تأثيرات كبيرة في نوعية المياه وكميتها، وفقدان الأراضي الزراعية وانخفاض جودتها بسبب تآكل التربة يجعل التحدي المتمثل في تلبية احتياجات الغذاء والألياف للسكان الذين يتزايد عددهم بسرعة أكبر.

يتجاوز سوء إدارة النظم الإيكولوجية الزراعية والإفراط في استخدامها الحدود المادية التي صنعها الإنسان من خلال إفقار النظم البيئية المحيطة التي يتبادل معها استخدام الأراضي الزراعية الطاقة والمواد. الإنتاج الزراعي هو المصدر الرئيسي للدخل والعمالة والتخفيف من حدة الفقر، وبخاصة في البلدان النامية؛ وبالتالي، فإن تدهور الأراضي الزراعية المنتجة وفقدانها يقللان من الأمن الغذائي والاستقرار الاقتصادي.

❖ التصحر

يمكن وصف التصحر، بأنه عملية من صنع الإنسان تقلل بشكل دائم من الإنتاجية البيولوجية والتنوع وقدرة النظم البيئية على التجدد الذاتي، لا سِيَّما في المناطق الجافة وشبه الجافة والمناطق شبه الرطبة من الكرة الأرضية.

مع الإمداد المحدود بالمياه، فإن هذه المناطق (التي تغطي نحو 47.2 % من سطح الأرض الخالي من الجليد) أكثر عرضة للتصحر من المناطق الرطبة بسبب مقاومتها المنخفضة ومعدلات التعافي البطيئة من الاضطرابات. نحو 20 % (نحو 1035×10^6 هكتار) من الأراضي الجافة المعرضة للخطر في العالم وسُبل عيش أكثر من بليون شخص يعانون الفقرَ بشكل مباشر بسبب التصحر في هذه المنطقة.



التوزيع العالمي للأراضي المعرضة لخطر التصحر. الصحاري القاحلة جدّاً فيها غطاء نباتي ضئيل أو بلا غطاء نباتي أو تربة عضوية ونشاط بشري نادر؛ وبالتالي، في الواقع، لا يوجد خطر لمزيد من التصحر.

تشمل القُوى الدافعة الأساسية وراء التصحر: إزالة الغابات، والرعي الجائر، وسوء الإدارة الزراعية (الإفراط في الزراعة والتملح / القلوية)، والزحف العمراني، والتلوث الحضري الصناعي. ينتج عن التصحر عواصف ترابية قد تحمل كميات كبيرة من التربة السطحية المتآكلة لمسافات طويلة جدّاً. أظهرت العواصف الترابية في ثلاثينات القرن الماضي في المنطقة المعروفة باسم قصعة الغبار Dust Bowl في الولايات المتحدة عملية التصحر من خلال الرعي الجائر وتحويل الأراضي العشبية إلى أراضٍ زراعية، مما تسبب في الجفاف والتآكل بسبب الرياح، وبالتالي فقدان إنتاجية النظام البيئي.

❖ الزراعة الحيوانية

تعتبر الزراعة الحيوانية مكوناً كبيراً من الزراعة، أي الحيوانات مثل الأبقار والدجاج والديك الرومي والخراف والماعز وغيرها.

في جميع أنحاء العالم، يشير تقرير شامل حديث، تشكل الثروة الحيوانية 40 % من الناتج المحلي الإجمالي الزراعي وتوظف 1.3 بليون شخص. ومن المتوقع أن يتضاعف الإنتاج العالمي من اللحوم من 229 مليون طن متري في 1999 إلى 450 مليون طن متري في عام 2050 وأن ينمو إنتاج الحليب من 580 إلى 1043 مليون طن متري. ومع ذلك، وكما يؤكد تقرير منظمة الفاو أنّ (مساهمة الثروة الحيوانية في المشكلات البيئية على نطاق واسع).

يقترح التقرير أن الإنتاج الحيواني يجب أن يحظى باهتمام كبير من صانعي السياسات عندما (يتعاملون مع مشكلات تدهور الأراضي وتغير المناخ ونقص المياه وتلوث المياه وفقدان التنوع البيولوجي).

• تحديـــــات الأمـــن الغذائـــي

منذ عام 1970، تضاعف الإنتاج الغذائي العالمي، وتضاعف الإنتاج الحيواني ثلاث مرات. مع كل هذه الزيادة، ما زلنا نفشل في إطعام 800 مليون شخص من السكان الحاليين حتى مع نمو سكان العالم بمعدل 1.3 % سنويّاً. يشير الأمن الغذائي إلى أنّ إنتاج غذاء كافٍ ومغذٍ في متناول الجميع، ولا سيَّما الفقراء، من خلال تأمين قاعدة الموارد الطبيعية للإنتاجية الزراعية على المدى الطويل. ويكشف تقرير حالة الأمن الغذائي في العالم أن عدد الأشخاص الذين يعانون نقصَ التغذية يبلغ 800 مليون في البلدان النامية، و 8 ملايين في البلدان الصناعية، و26 مليون في البلدان التي تمر بمرحلة انتقالية.

ما ينتج عن ذلك من مجاعة ونقص التغذية ونقص المغذيات الدقيقة ومرض استنفاد المغذيات يشكل تهديداً خطيراً على صحة شخص واحد على الأقل من بين كل ستة أشخاص ونحو واحد من كل ثلاثة أطفال. أفريقيا جنوب الصحراء هي موطن لما يقرب من ربع الجياع في العالم النامي.

تختلف حدة المشكلة في جميع أنحاء القارة. مع أنّ غرب إفريقيا بها أكبر عدد من السكان في أي منطقة من المناطق الأفريقية، إلا أنها تعاني نقصَ التغذية بشكلٍ أقل. على النقيض من ذلك، فإن شرق إفريقيا، التي يبلغ عدد سكانها أقل قليلاً، بها أكثر من ضعف عدد الأشخاص الذين يعانون نقصَ التغذية. كما أن الأعداد في وسط وجنوب إفريقيا أكبر نسبيّاً، مع أنّ كليهما يضم عدداً أقل بكثير من السكان.

يعيش غالبية الأشخاص الذين يعانون نقصَ التغذية في البلدان النامية في آسيا والمحيط الهادئ. هذه المنطقة هي موطن لـ 70 % من إجمالي سكان العالم النامي، كما أنها تضم ما يقرب من ثلثي (526 مليون) من يعانون نقصَ

التغذية. الهند وحدها لديها عدد من الأشخاص الذين يعانون نقصَ التغذية (204 مليون) أكثر من كل أفريقيا في جنوب الصحراء الكبرى مجتمعة. مع إضافة جيران الهند، تمثل منطقة جنوب آسيا أكثر من ثلث إجمالي الذين يعانون نقصَ التغذية في العالم (284 مليون). 30 % (240 مليون شخص) يعيشون في جنوب شرق وشرق آسيا وأكثر من 164 مليون في الصين.

أدت الثورة الخضراء، مع إدخال أصناف جديدة من القمح والأرز، إلى زيادات كبيرة في إنتاج المحاصيل. لقد أعطت بلا شك أكثر من (مساحة للتنفس) في إنتاج الغذاء التي تصورها مؤيدوها. فقد جنبت المجاعة بالنسبة للكثيرين في جنوب آسيا وأمريكا اللاتينية، حيث جرى تبني الأصناف الجديدة والأساليب الجديدة بحماس.

كانت الثورة الخضراء علامة بارزة في التنمية الزراعية. وطالما أنه يمكن ضمان مياه الري والأسمدة والمبيدات، سيكون من الممكن ضمان حصاد وفير. صار حل المشكلة ناجحاً.

بعد أقل من عقدين من الزمن، أعرب المسؤولون عن مخاوفهم. فقد فشلت التنمية في إفريقيا، كما أن الثورة الخضراء فشلت في الهند.

وهو ما يعكس توضيح العامل للصلات البيئية الأساسية بين الغابات، والدورة الهيدرولوجية، وتوافر المياه، ونمو المحاصيل، والجفاف، وتملح التربة، وبالطبع القدرة المالية على تحمل التكاليف. وهنا تكمن بعض تحديات الزراعة في القرن الحادي والعشرين. بالنسبة لتقلص الأراضي الصالحة للزراعة في العالم وانخفاض إنتاجيتها، فإن أسعار مدخلات الطاقة ستلوح في الأفق بشكل كبير.

• معضلـــــة الوقـــــود الحيـــــوي

ظهـر تحويـل المحاصيـل إلـى وقـود حيـوي مؤخـراً كمشـكلة وطنيـة وعالميـة رئيسـية. فقـد جـرى التركيـز بشـكل خـاص علـى تحويـل الـذرة إلـى الإيثانـول. لقـي هـذا التحويـل زخمـاً هائـلاً عندمـا قـدم الكونغـرس الأمريكـي، الـذي فـرض إنتـاج 15 بليـون غالـون (أمريكـي) مـن الوقـود الحيـوي بحلـول عـام 2015، إعانـات مربحـة. لتحقيـق هـذا المسـتوى مـن إنتـاج الوقـود الحيـوي، تشـير التقديـرات إلـى أن هنـاك حاجـة إلـى 40 % مـن محصـول الـذرة في الولايـات المتحـدة. وقـد شـكك عـدد هائـل مـن التعليقـات والافتتاحيـات والأوراق العلميـة في الحكمـة مـن تحويـل محصـول كثيـف الطاقـة مثـل الـذرة إلـى وقـود حيـوي.

الشـاغل الثانـي هـو مـا يمكـن أن نطلـق عليـه (فـراغ الطعـام) الـذي سـيخلقه هـذا التحـول. وقـد أُعـرب عـن المخـاوف في جميـع أنحـاء العالـم. في الولايـات المتحـدة، مثـلاً، الـذرة ليسـت فقـط طعامـاً وعلفـاً، ولكـن مشـتقاتها هـي أيضـاً الدعامـة الأساسـية للعديـد مـن المنتجـات الأخـرى. وبالتالـي، فـإن الزيـادات في أسـعار الغـذاء أمـر لا مفـر منـه، وهـو مـا يحـدث بالفعـل.

كيـف نضمـن إنتاجيـة زراعيـة مسـتدامة وأمنـاً غذائيّـاً لجميـع الكائنـات الحيـة؟ إنّ أهميـة إنتـاج الغـذاء ليسـت قابلـة للنقـاش. لذلـك، مـا يجـب مناقشـته بجديـة هـو الانفصـال بـين النمـو السـكاني المتزايـد، والزراعـة الصناعيـة، ومدخـلات الطاقـة، والصراعـات في اسـتخدام الأراضـي.

إلـى جانـب الاعتبـارات السـابقة، سـوف يتفاقـم هـذا الاصطـدام إذا حـدث انخفـاض في إنتـاج المحاصيـل مـع تغيـر المنـاخ.

هناك حقيقتان أساسيتان ستشكلان مستقبل الزراعة:

- زيادة مطردة في استهلاك الغذاء والألياف التي تنتجها الزراعة.
- في الوقت نفسه يوجد انخفاض مطرد في جودة وإنتاجية التربة حول العالم.

الاتجاهان في مسار تصادمي. لن يتجنب هذا الاصطدام بحل واحد.

• حلـــول مشـــكلات استخدام الأراضي للزراعـــة

- فهم وتعريف المشكلة الزراعية، والتوصيف، وتبسيط الافتراضات، وتحليل المشكلة الأصلية، والحجم، والتأثيرات قصيرة وطويلة المدى (الهواء، والمياه السطحية، والمياه الجوفية، والمخاطر والمسؤوليات البيئية، وما إلى ذلك) للمشكلة.

- تحديد الخيارات الصديقة للبيئة: الهدف هو دراسة البدائل القائمة على الأداء والتي تكون سليمة علميّاً وتقنيّاً، وفعالة من حيث التكلفة، وعادلة، وشاملة، وأخلاقية، ومرنة، وفعَّالة في تحقيق الأهداف البيئية الزراعية. سيحتاج هذا إلى دراسة شاملة لمعظم الخيارات المتاحة الحالية والموثوقة (على سبيل المثال، مراجعة الأدبيات والممارسات والمنشورات المهنية وكتيبات التصميم) لمعالجة المشكلة؛ قد يتطلب ذلك تقييم التقنيات البيئية، وتغييرات في ممارسات الإدارة ودمج منع التلوث.

- القيام بإجراء مراجعة شاملة: بعد الانتهاء من التحليل الأولي للمشكلة الزراعية، وعمليات الوحدة وتوازن المواد (حفظ الكتلة)، والتفاعلات، والمفاعلات، واستهلاك الطاقة (استخدم الجاذبية كلما أمكن ذلك لأن الجاذبية تفوز دائماً).

- الاعتـراف بالـدور الحاسـم: القيـام بأوسـع نقـاش ممكـن مـع الإداريـين والمنظمـين وإشـراك أصحـاب المصلحـة والأطـراف المهتمة والجمهـور بنشـاط في تطويـر توافـق في الآراء.

- بعـد دمـج التعليقـات المتنوعـة، اقتـرح فحـص خطـة المعالجـة المحتملـة بشـكل منهجـي وواقعـي، ثـم اعمـل تقديـرات التكلفـة (رأس المـال، والتشـغيل، والصيانـة، والمراقبـة، والإصلاحـات، ومـا إلـى ذلك) وهندسـة القيمـة للخيـار المختـار قبـل الانتهـاء مـن التوصيـات.

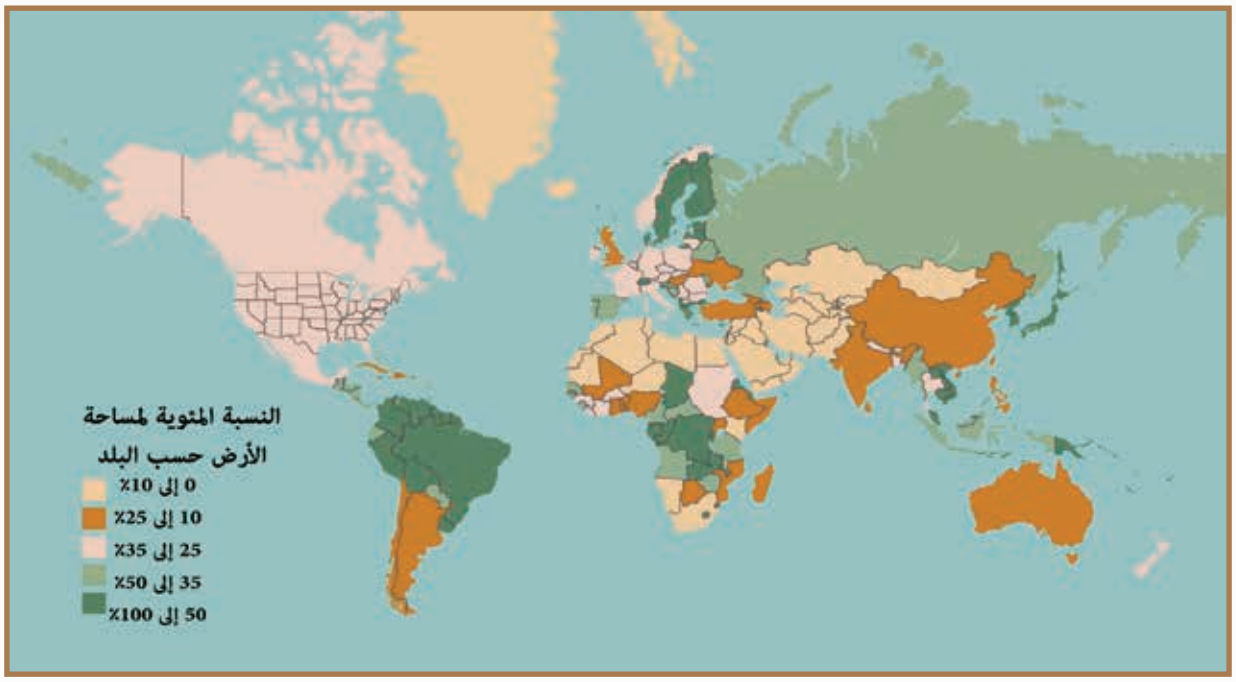
مشكلة استخدام الأراضي وموارد الغابات

كما وجدنا سابقاً، لا تمثل الغابات بعضاً من أكثر النظم البيئية روعة في العالم فحسب، بل تؤدي أيضاً دوراً هائلاً في أداء العديد من النظم البيئية الأخرى. تدعم أشكال الحياة الفريدة هذه، ذات العمر الطويل نسبيّاً والقدرة على إنتاج الخشب على مدى سنوات عديدة، فسيفساء كاملة من النظم البيئية الأصغر التي تعتمد على أجزاء عدة من الأشجار والنباتات الكامنة وراءها.

أوصافنا للعمليات البيئية للغابات النموذجية التي تؤدي إلى تطوير أنواع مختلفة من التربة، ودورها في الدورات البيوجيوكيميائية، وبنية مجتمعاتها، والتوزيع العالمي في العديد من المناطق الأحيائية، يجب أن توفر الخلفية اللازمة لتقييم مساهمة خدمات النظم الإيكولوجية للغابات للبشرية والكائنات الحية الأخرى. سندرس هنا مدى الموارد الحراجية العالمية والوطنية، والاستخدام التاريخي والمعاصر للغابات من قِبل البشر، والحالة الحالية لقاعدة موارد الغابات، ونصف التغييرات التي أحدثتها وما أحدثتها الآفات الطبيعية ومسببات الأمراض.

• النطاق العالمي والوطني للغابات

تشير الغابة إلى نظام إيكولوجي قائم بذاته (مثلاً، من 1 إلى 100 هكتار) أو إلى منطقة محلية (مثلاً، 1000-100 هكتار) أو منظر طبيعي إقليمي (1000-100000 هكتار أو أكثر)، وكلها تهيمن عليها الأشجار. تُعرّف (الأراضي الحراجية) بأنها مساحة 0.4 هكتار (= 1 فدان) و 10 % غطاء حراجي. تشغل الغابات ما يقرب من 3.5 بليون هكتار أو نحو 30 % من مساحة اليابسة في العالم. ما يقرب من ثلثي الغابات في 10 بلدان، في حين أن أقل من 10 % من المساحة غابات في 53 دولة.



توزيع الموارد الحراجية العالمية.

تعد الغابات في جميع أنحاء العالم مصدراً مباشراً لكسب العيش لأكثر من 350 مليون شخص، ويعتمد ما يقرب من ثلاثة أضعاف هذا العدد بشكل غير مباشر على الغابات. كما سنلاحظ لاحقاً، كان هناك خسارة تدريجية لمناطق الغابات بسبب استخدامات الرعي والزراعة وغيرها من الاستخدامات التنموية.

• أنـــــواع ووظائـــــف الغابـــــات

إن نوع وخصائص الغابة الموجودة في أي موقع معين هي نتيجة عوامل متعددة ومتفاعلة، وأهمها المناخ الكلي والصغير، والجيومورفولوجيا، والهيدرولوجيا، والتربة؛ النباتات والحيوانات المرتبطة بها؛ وأنظمة الاضطرابات التاريخية الطبيعية والإنسانية في المنطقة، مثل: الحرائق والفيضانات والظروف الجوية المتطرفة وقطع الأخشاب وإزالة الغابات.

اعتماداً على مجموعة العوامل هذه، تختلف الغابات في خصائص مثل المظهر، وتكوين الأنواع وتنوعها، والكثافة، وهيكل العمر والحجم، وعادات النمو في جميع أنحاء العالم.

بناءً على هيكلها وعمرها، تُصنف النظم الإيكولوجية للغابات عموماً على أنها نمو قديم أو نمو ثانٍ أو مزرعة. يشار إلى الغابات الناضجة التي وصلت إلى مراحلها المستقرة نسبيّاً من الوراثة الأولية والثانوية وتركت سليمة لعدة مئات من السنين على أنها غابات قديمة النمو، أو غابات متعاقبة متأخرة، أو غابات حدودية.

يعرّف معهد الموارد العالمية الغابات الحدودية بأنها (غابات طبيعية كبيرة، سليمة بيئيّاً ، وغير مضطربة نسبيّاً والتي من المحتمل أن تعيش إلى أجل غير مسمى دون مساعدة بشرية). كما أنّ هذه الغابات عادة ما تكون متعددة الطبقات (طبقية) وتحوي على أشجار كبيرة نسبيّاً (غالباً ما تكون متحللة) وطويلة العمر؛ وأعقاب كبيرة (أشجار ميتة واقفة)؛ سجلات كبيرة ساقطة كميات كبيرة من الحطام الخشبي الخشنة؛ وتنوع كبير نسبيّاً في الموائل.

تشمل غابات النمو الثاني المناطق التي نمت فيها الغابات مرة أخرى مؤخراً نسبيّاً من خلال التعاقب الثانوي بعد قطع الأخشاب أو الاضطرابات الطبيعية الرئيسية. المزارع عبارة عن غابات تتكون أساساً من الأشجار التي جرى إنشاؤها عن طريق الزراعة أو البذر الاصطناعي بعد اضطراب من صنع الإنسان أو طبيعي (إعادة تحريج) أو على الأرض حيث كان النظام البيئي السابق عبارة عن نظام بيئي آخر غير غابات (التشجير). عادة ما تُنشأ المزارع بهدف إنتاج مزيج محدد من المنتجات أو الفوائد أو وسائل الراحة، ويعكس هيكلها وتكوين الأنواع هذا الهدف.

الغابات هي موارد متجددة طالما أن معدل قطع الغابات وتدهورها لا يتجاوز معدل تجديد الغابات ونموها (يسمى أيضاً الحصاد المستدام). توفر النظم الإيكولوجية للغابات مجموعة واسعة من سلع وخدمات النظم الإيكولوجية غير المسوقة والمنتجات المسوقة. ومن الأمثلة على المنتجات التي يجري تسويقها الأخشاب المستخدمة في حطب الوقود والبناء والأخشاب الأخرى؛ ومنتجات اللب والورق؛ ومنتجات الخشب المهندسة (مثلاً، خشب الغلولام، الحزم المصفحة اللاصقة، والحبيبي، واللوح الرقائقي، والألواح الليفية)؛ ومنتجات المرافق (مثلاً، الأعمدة والدعامات)؛ والغذاء والألياف والأدوية.

تشمل أمثلة السلع والخدمات غير المسوقة إنتاج المأوى والغذاء للحياة البرية وفرص الترفيه؛ استيعاب المغذيات والنفايات وغازات الدفيئة والاحتفاظ بها؛ تنظيم الدورة الهيدرولوجية (مثلاً، السيطرة على الفيضانات والجفاف) والأحداث المناخية المتطرفة؛ استقرار التربة وحماية التنوع البيولوجي وبنوك البذور والمؤشرات الحيوية. تعتمد الأهمية النسبية التي توضع على منتجات وفوائد ووسائل راحة حراجية معينة في مكانٍ معينٍ من العالم، إلى حدٍ كبيرٍ، على التنمية الاقتصادية والاجتماعية والقيم الثقافية في ذلك المكان.

• منتجـــــات الغابـــــة

مع أنّ غابات العالم ككل تتناقص من حيث الحجم والجودة، إلا أن الطلب على المنتجات الحراجية آخذ في الازدياد، ومن المتوقع أن يستمر في الزيادة نتيجة للزيادات في عدد سكان العالم واستهلاك الفرد. في منتصف التسعينيات، كان إجمالي الاستهلاك العالمي من الأخشاب نحو 3.4 بليون متر مكعب، أي أعلى بنسبة 8 % من الاستهلاك المقدر 1985-1984.

استخدم نحو 54 % من الأخشاب المستهلكة في العالم في منتصف التسعينيات لحطب الوقود، و 26 % للمنتجات الخشبية المستديرة (جذوع الأشجار والأخشاب المنشورة للبناء)، و 11 % لصناعة الورق، و 9 % لمنتجات الأخشاب المصنعة (القشر، والألواح، والخشب الرقائقي). يكشف المخزون المتنامي وعمليات الإزالة عن وجود فائض صحي في صافي النمو. تختلف النسبة المئوية للمنتجات الحراجية المختلفة التي تُحصد في الولايات المتحدة اختلافاً كبيراً عن الأرقام العالمية السابقة. مثلاً، في عام 1991، كان 49 % من الخشب المقطوع عبارة عن قطع من الخشب أو قشرة خشبية، و 28 % من لب الخشب، و 18 % خشب وقود، و 5 % المتبقية كانت منتجات أخرى.

تشكل الأخشاب اللينة (عاريات البذور) القادمة بشكل أساسي من جنوب شرق وغرب الولايات المتحدة 67 % من الحجم المحصود؛ تشكل الأخشاب الصلبة (كاسيات البذور) القادمة بشكل أساسي من شرق الولايات المتحدة 33 %. تُستخدم نسبة كبيرة من الأخشاب اللينة المحصودة في خشب البناء واللب والورق، وتستخدم نسبة كبيرة من الأخشاب الصلبة المقطوعة للأثاث والخزائن والأرضيات والمنتجات المماثلة.

أسهم إنتاج المنتجات الخشبية بنحو 400 بليون دولار أمريكي سنويّاً في الاقتصاد العالمي (1.8 % من الاقتصاد العالمي و 4.1 % من اقتصادات البلدان النامية). بحلول عام 2010، كان من المتوقع أن يتراوح الاستهلاك العالمي للأخشاب بين 3.6 و 6.3 بليون متر مكعب.

في الولايات المتحدة، يُحصد أكثر من 400 مليون متر مكعب من الأخشاب سنويّاً وتستخدمها أكثر من 43000 شركة لمنتجات الغابات لإنتاج نحو 300 بليون دولار أمريكي من منتجات الغابات كل عام. إنّ صناعة منتجات الغابات

هـي رابـع أكبـر صناعـة في البـلاد وتستهلك 15 % مـن المـواد الخـام للدولـة (المعـادن والوقـود والأخشـاب)، وتوظـف 5 % مـن القـوة العاملـة وتنتـج 5 % مـن النـاتج القومـي الإجمالـي.

نظـراً لأن بعـض أراضـي الغابـات قـد جـرى سـحبها مـن إنتـاج الأخشـاب (مثـلاً، لولايـة أو حديقـة وطنيـة)، مـن نحـو 298 مليـون هكتـار مـن أراضـي الغابـات في الولايـات المتحـدة، فـإن 66 % تعتبـر منتجـة تجاريـاً (تنتـج 1.4 متـر مكعـب مـن الخشـب هكتـار في السـنة). وإنّ غالبيـة أراضـي الغابـات المنتجـة تجاريّـاً (58-60 %) مملوكـة لأفـراد غيـر صناعيـين؛ 14 % فقـط مـن الأراضـي المنتجـة تجاريّـاً مملوكـة لشـركات منتجـات الغابـات.

إن إنتـاج واسـتخدام العديـد مـن السـلع والخدمـات غيـر المسـوقة ضروريـان أيضـاً لرفـاه وصحـة البشـر واقتصاداتهـم. وفقـاً لأحـد التقديـرات، تبلـغ القيمـة العالميـة لسـلع وخدمـات النظـم الإيكولوجيـة غيـر المسـوقة التـي تقدمهـا الغابـات 90 بليـون دولار أمريكـي سـنويّاً.

في شـمال غـرب المحيـط الهـادئ لأمريكـا الشـمالية، مثـلاً، تعمـل الغابـات قديمـة النمـو علـى حمايـة الموائـل لنحـو 112 مخزونـاً سـمكيّاً، وتبلـغ قيمـة صناعـة السـلمون وحدهـا بليـون دولار أمريكـي سـنويّاً. في مثـل هـذه الحـالات، قـد تكـون قيمـة الأخشـاب وإمكانـات إنتـاج الغابـة أقـل أهميـة بكثيـر في تحديـد إدارة الأراضـي مـن احتياجـات المـوارد الأخـرى المُهمَّـة اقتصاديّـاً.

• إزالـــــة الغـــابـــــات

تاريخيّـاً، حـدث قطـع للأخشـاب مـن الغابـات الحدوديـة والغابـات غيـر الحدوديـة في جميـع أنحـاء العالـم. في كثيـر مـن الغابـات، يكـون الحصـاد جـزءاً مـن خطـة إدارة شـاملة توفـر التجديـد الاصطناعـي أو الطبيعـي للغابـة بعـد القطـع. ومـع ذلـك،

في السنوات الأخيرة، كان تحويل الأراضي من الغابات إلى استخدامات أخرى للأراضي (مثل تنمية المحاصيل والمراعي أو سكن الإنسان) غير مسبوق. وحتى اليوم، تستمر إزالة الغابات بمعدل ينذر بالخطر وهو 13 مليون هكتار سنوياً.

وبسبب أنه كان للبشر تأثير كبير في كمية وطبيعة النظم البيئية للغابات في العالم عبر التاريخ، كان البشر الأوائل يجمعون الثمار في المقام الأول وكان لهم تأثير ضئيل في؛ الغابة حيث حصلوا على احتياجات الكفاف مثل الخشب للوقود والأخشاب للبناء والأغذية والأدوية، وفي كثير من الأحيان القيم الروحية من الغابة.

ومع ازدياد حجم سكان العالم واستهلاكهم، فإن مساحات شاسعة من الغابات قد أزيلت ومازالت في الوقت الحاضر يتم تطهيرها من خلال حصاد الأخشاب التجاري الاستغلالي وتطهيرها من أجل الزراعة وتربية المواشي، والتنمية الحضرية -الصناعية (الإسكان، والتعدين، وشبكات النقل، والسدود)، واستخدامات الأراضي غير الحراجية الدائمة الأخرى.

يشير مفهوم إزالة الغابات إلى وضع الأرض لاستخدامات الأرض الأخرى. اليوم، تشغل الغابات والأراضي الحراجية في العالم ما يقرب من 30 % من مساحة الأرض مقارنة بنحو 47 % في الفترة التي سبقت الزراعة. خُمس الغابات المتبقية فقط هي أنظمة إيكولوجية لغابات قديمة النمو في حالة غير مُدارة.

انخفض نصيب الفرد من مساحة الغابات بأكثر من 50 % من المتوسط العالمي البالغ 1.2 هكتار في عام 1960 إلى 0.6 هكتار في عام 1995. وفي الولايات المتحدة، انخفضت مساحة الغابات بنسبة 30 % تقريباً، من نحو 421 مليون هكتار عام 1600 إلى 298 مليون هكتار في عام 1992، مع أنّه ينبغي الإشارة إلى أن الولايات المتحدة قد زادت مساحة الغابات من مستوى منخفض بلغ نحو 235 مليون هكتار في عام 1920.

يعتمد نحو بليوني شخص، بخاصة في إفريقيا وأجزاء من أمريكا الجنوبية في الأنديز وجزر الكاريبي ومعظم شبه القارة الهندية، على الخشب كوقود للدفء والطهي. في عام 1990، جرى استخدام أكثر من نصف الأخشاب المستخرجة من غابات العالم في حطب الوقود. أدى الحصاد الجائر لمناطق الغابات في هذه المناطق إلى ندرة حادَّة في حطب الوقود. يجري إزالة أكثر من 10 ملايين هكتار من الغابات في جميع أنحاء العالم سنويّاً للإنتاج الزراعي لدعم الزيادة في حجم سكان العالم.

تناقصت مساحة الغابات في العالم (بما في ذلك المزارع) بمعدل سنوي قدره 11.3 مليون هكتار، من 1980 إلى 1995. وقد تسببت إزالة الغابات الإقليمية بين عامي 1980 و 1995 في خسارة صافية لموارد الغابات قدرها 200 مليون هكتار في البلدان النامية، ولكن كانت هناك زيادة صافية قدرها 20 مليون هكتار في البلدان المتقدمة. كانت معدلات إزالة الغابات العالمية 12 و 15 و 13 مليون هكتار في العام في السبعينيات والثمانينيات والتسعينيات على التوالي.

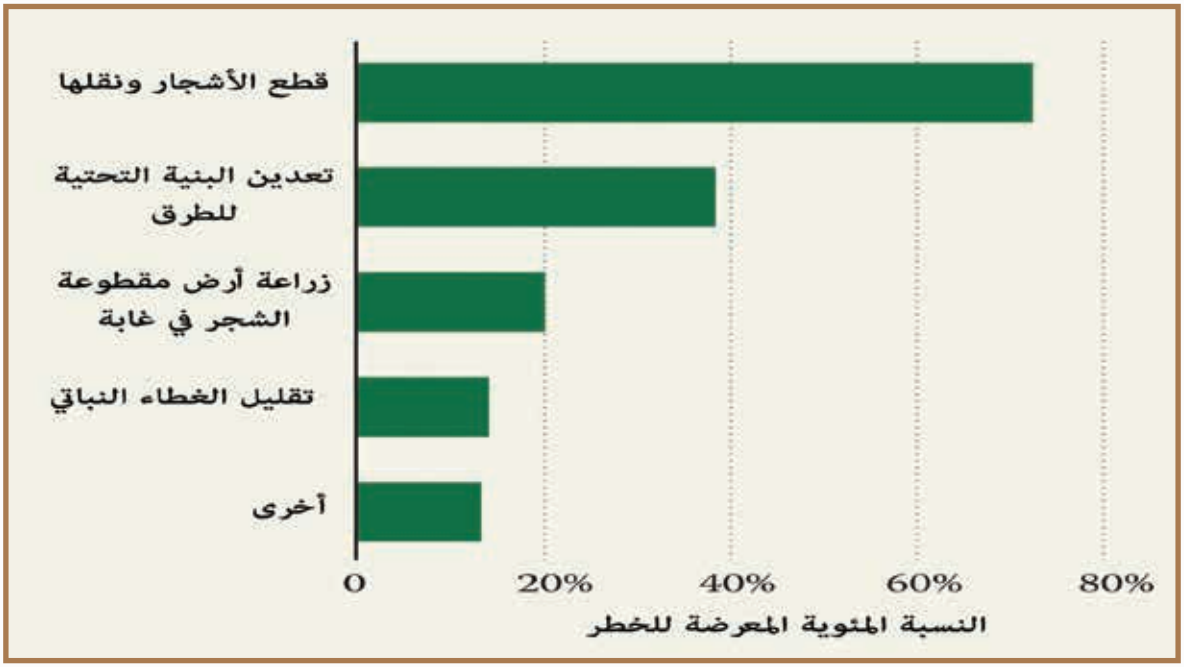
لقد فقدت الغابات الطبيعية بمعدل سنوي قدره 14.6 مليون هكتار بين عامي 1990 و 2000؛ حيث جرى تحويل 1.5 مليون من أصل 14.6 مليون هكتار إلى مزارع حراجية. بشكل عام، نمت المزارع الحراجية بنحو 3.1 مليون هكتار سنويّاً. هناك حاجة إلى بعض الحذر في تسجيل هذه الأرقام لأن زراعة منطقة بأنواع أشجار الغابات لا تؤدي على الفور إلى إنشاء نظام وظيفي بيئي أو مزرعة قابلة للحياة تجارياً. حتى في ظل أفضل الظروف المناخية والتربة، يستغرق الأمر عقودًا عدة لإعادة الغابة إلى تجمّع مربح وقابل للحياة.

حدثت عمليات إزالة الغابات في المنطقة الاستوائية بأسرع ما يمكن وتسببت في خسارة صافية قدرها 450 مليون هكتار (تعادل نصف مساحة الولايات

المتحدة) بين عامي 1960 و 1990؛ نحو ثلثي هذا المقدار كان بسبب زراعة القطع والحرق.

صارت الغابات المعتدلة حالياً في حالة مستقرة إلى حد ما بعد أن فقدت نصف مناطقها الأصلية على مدى قرون. كما يجري أيضاً إزالة الغابات على نطاق واسع، التي تشكل أكبر منطقة حيوية أرضية على الأرض بمساحة 13 مليون كيلومتر مربع، وذلك بشكل أساسي عن طريق قطع الأشجار الاستغلالي الواضح. تدمر الحرائق وقطع الأشجار الاستغلالي 40000 كيلومتر مربع من غابات سيبيريا الشمالية سنوياً، كما جرى حرق ما يصل إلى 70000 كيلومتر مربع من غابات كندا الشمالية سنوياً في التسعينيات.

لقد كان الحصاد الجائر للأخشاب، والرعي الجائر، والتنمية الحضرية والصناعية، والنقل، وتجزئة الغابات لأغراض الزراعة، من الأسباب الرئيسية لإزالة الغابات وتدهور النظام الإيكولوجي للغابات في جميع أنحاء العالم. تقف وراء هذه الإجراءات المباشرة مجموعة من القُوى أو الأسباب الاجتماعية والاقتصادية الأساسية التي يجب الاعتراف بها لفهم النطاق الكامل لمشكلة إزالة الغابات، بما في ذلك النمو السكاني والاستهلاكي والفقر ونقص الأراضي وسوء توزيع الأراضي الزراعية وإخفاقات السوق والسياسات مثل تعظيم الربح على المدى القريب، والجشع، والافتقار إلى تقييم سلع وخدمات النظام البيئي غير السوقي (العوامل الخارجية).



أنواع التهديدات التي تتعرض لها الغابات القديمة (الحدودية) ونسبتها المئوية المعرضة للخطر.

كما تشجع الحوافز في غير محلها على الإفراط في الحصاد، كما هو الحال بالنسبة للنمو الاقتصادي غير المتكافئ ومحدودية وصول الفقراء إلى عمليات صنع السياسات والقرارات (وتسمى أيضاً الظلم التوزيعي) والافتقار إلى الأنظمة المؤسسية لتعزيز الاستدامة على المدى الطويل.

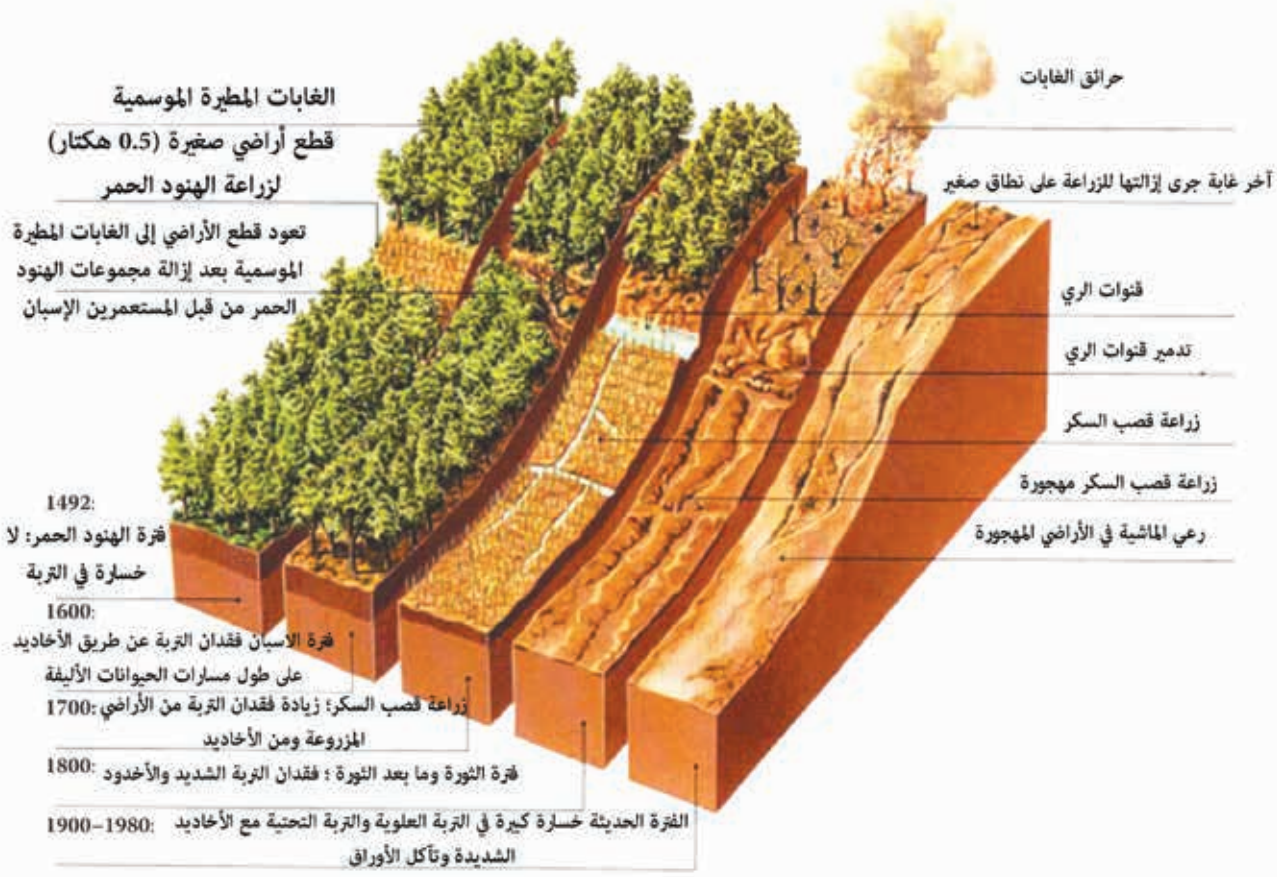
أدت إزالة الغابات وتدهورها إلى الحد بشكل كبير من قدرة غابات العالم على توفير المنتجات التجارية اللازمة والسلع والخدمات غير المسوقة لعدد متزايد من السكان مع استهلاك متزايد باستمرار. لذلك ينبغي أن تركز استراتيجيات إدارة الغابات الحالية والجديدة على زيادة إنتاج السلع والخدمات السوقية وغير السوقية.

• التأثيرات على الدورة الهيدرولوجية

تؤدي الغابات دوراً حيويّاً في تنظيم الدورة الهيدرولوجية أو (دورة الماء) من خلال التخفيف من معدل تساقط المياه عند تصريف الأمطار عبر التربة إلى المياه الجوفية والسطحية، عن طريق منع التربة من الجفاف عن طريق التبخر، وعن طريق إعادة المياه عن طريق النتح من المياه الجوفية والسطحية إلى الغلاف الجوي من ثم ستعود في النهاية كهطول.

عندما ينخفض الغطاء الحراجي بشكل كبير بسبب إزالة الغابات، فإن هطول الأمطار الذي توفره تلك الغابات يتناقص بشكل كبير، مما يؤدي إلى ندرة المياه المحلية والإقليمية للشرب والاستخدامات المنزلية الأخرى والري والثروة الحيوانية والصناعة والحياة البرية. يوضح المنظور التاريخي لتحويل الغابات المطيرة الموسمية إلى إنتاج زراعي تدهور مستجمعات المياه بمرور الوقت.

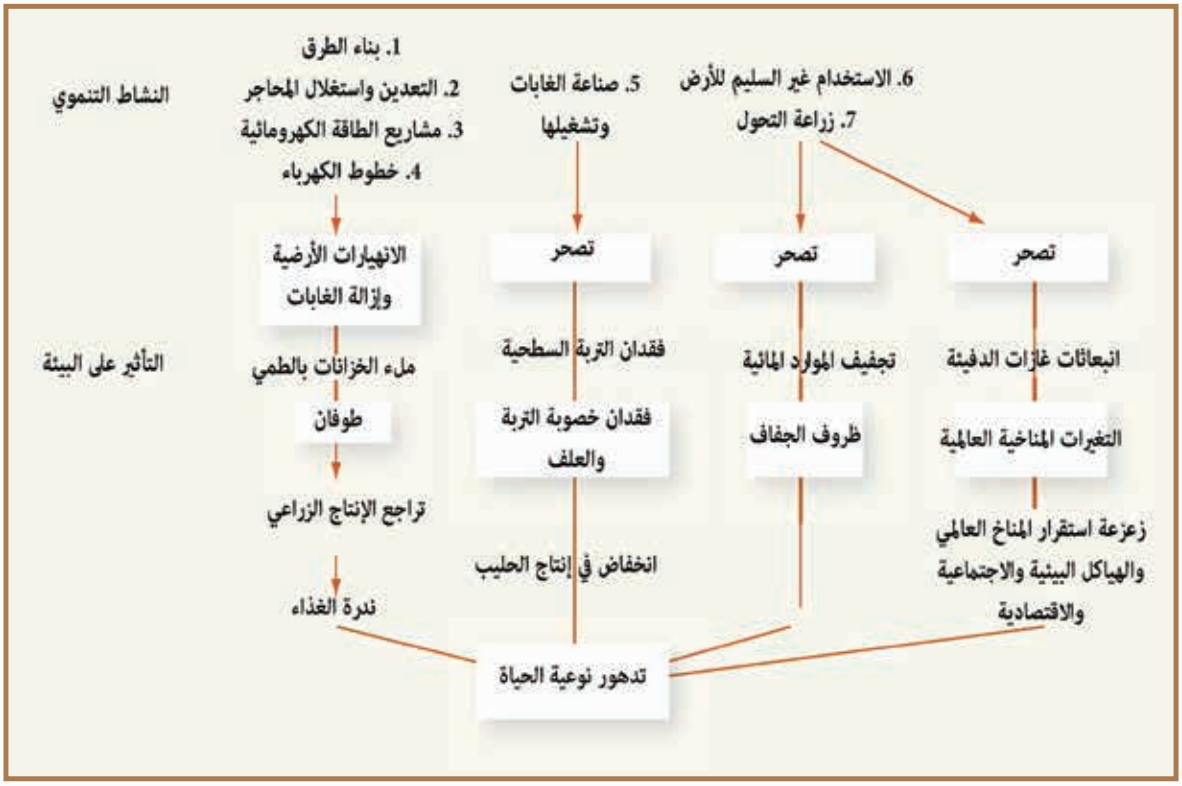
يؤثر فقدان الغطاء الحراجي أيضاً بشكل سلبي على كمية وتوزيع الإشعاع الشمسي الممتص (تأثير العاكسية) ويمكن أن يسرع تآكل التربة بفعل الرياح والمياه والجريان السطحي وترشيح المغذيات في التربة. وهذه بدورها تؤدي إلى حالات جفاف؛ وفيضانات، وانهيارات أرضية، وفقدان خصوبة التربة وإنتاجية النظام البيئي؛ وترسب الطمي في الأنهار والموانئ وأنظمة الري والخزانات؛ وتدهور مستجمعات المياه. كل ذلك يؤدي إلى تدهور الموارد ونوعية الحياة.



تدهور تدريجي تاريخي في صحة جزء من مستجمعات المياه في غابة مطيرة موسمية.

إزالة الغابات والآثار المصاحبة لها على الدورة الهيدرولوجية لها عواقب اجتماعية واقتصادية مُهمَّة على نوعية حياة الإنسان وفي بعض الحالات على الحياة نفسها. مثلاً، أدى قطع الأشجار على منحدرات التدرج في خليج باكويت في الفلبين إلى زيادة تآكل التربة بمقدار 235 مرة؛ ودمّرت الرواسب الناتجة الشعاب المرجانية للخليج ومصائد الأسماك فيه، مما تسبب في خسارة نصف الإيرادات التجارية في منتصف الثمانينيات.

تؤدي إزالة الغابات، لا سيَّما في أمريكا اللاتينية والصين، إلى تفاقم الفيضانات، مما أدى إلى خسائر في الأرواح وجعل ملايين من الأشخاص بلا مأوى ولاجئين بيئيين. في فنزويلا، تسببت الأضرار الناجمة عن الفيضانات والانهيارات الطينية في ديسمبر 1999 في مقتل 50000 شخص.



العواقب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية لإزالة الغابات على نوعية الحياة

• التأثيـــرات على الـــدورات الغازيـة والرسوبيـــة

تشكل النظم البيئية للغابات نحو 60 % من 2000 بليون طن من الكربون (C) المحتجز في جميع النباتات الأرضية والتربة. يجري تخزين نحو نصف إجمالي الكربون في النظم الإيكولوجية للغابات في الغابات الشمالية، والثلث في الغابات الاستوائية، ونحو السُبع في الغابات المعتدلة، مع وجود أكثر من ثلثي إجمالي الكربون في تربة الغابات ورواسب الخث.

تحوي غابات الشمال وحدها على كمية من الكربون أكثر من جميع احتياطيات الوقود الأحفوري المؤكدة على الأرض (النفط، والفحم، والغاز الطبيعي). لذلك، تؤدي النظم الإيكولوجية للغابات المحلية والإقليمية دوراً رئيسيّاً بشكل تراكمي في تثبيت التبادل الدوري للغازات (CO_2، N ، O_2 ، H_2O) والرواسب، مثل (الفوسفور، والحديد) بين الغلاف الجوي والغلاف الحيوي والغلاف الصخري والغلاف المائي على المقياس العالمي.

تتسبب إزالة الغابات في المزيد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مقارنةً بأي اضطراب في أي نظام بيئي آخر. مثلاً، كمية الكربون المحتبس في نباتات الغابات والتربة تزيد بشكل عام على 20 - 50 مرة لكل وحدة مساحة عن الأراضي الزراعية. يؤدي تدمير الغابات المحلية والإقليمية وتدهورها إلى تعطيل دورات الغاز والرواسب، وإطلاق الغازات في الغلاف الجوي التي تغير الدوران والتركيب الكيميائي والتوازن الحراري للمناخات المحلية والإقليمية والعالمية.

زاد متوسط معدلات إزالة الغابات السنوية في المناطق المدارية بشكل ملحوظ، وهو ما يمثل 1.9 ± 0.6 بيكوغرام في السنة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. التغييرات الناتجة على النطاق العالمي تسمى تغير المناخ العالمي، والغازات المنبعثة التي تعطل التوازن الحراري للأرض تسمى (غازات الدفيئة).

ويسهم كل من إزالة الغابات وتجزئة الغابات في ضياع التنوع البيولوجي. يُقصد بالتجزئة تقسيم الغابات إلى بقع أصغر من خلال الأنشطة البشرية، مثلاً: (ممرات النقل أو المرافق، والتوسع الحضري، والقطع الواضحة الكبيرة)، وبالتالي تقليل المساحة، والسلامة، والاتصال، وأحجام الموائل وتغيير كل أو جزء من مناخها المحلي.

إن البقع الصغيرة المعزولة الناتجة من الغابات لا تقلل فقط من المساحة المتاحة لبقاء الأنواع النباتية والحيوانية (الحد الأدنى من المساحة الصالحة للحياة) ولكن أيضاً تعيق انتشارها وإعادة استعمارها من موقع لآخر. كلما كان حجم الغابات واتصالها أصغر، زاد خطر فقدان الأنواع التي تتطلب مساحات شاسعة من الغابات، مثل (العديد من الطيور المهاجرة الاستوائية الجديدة).

بالإضافة إلى العزلة وتقليل حجم السكان، تتسبب التجزئة في زيادة المناطق الحدودية بين الغابات والنظم البيئية غير الحراجية التي تظهر تأثيرات حافة مميزة جدّاً في حواف الغابات هذه، وتوجد ظروف مناخية أكثر قسوة، مثلاً (زيادة التشمس والتبخر وسرعة الرياح)، وغالباً ما تسود الأنواع الغازية وغير المحلية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يكون للحواف آثار ضارة على الغابات الداخلية والأنواع المتوطنة، وتغيير بنية الغابات (تنوع الأنواع، وتوزيعها، ووفرتها) وتغيير الدورات الكيميائية الجيولوجية واستقرار النظام البيئي.

وفقاً لدراسة استمرت 20 عاماً في وسط الأمازون بالبرازيل في نظام بيئي للغابات المطيرة يحوي على أكثر من 64000 شجرة تتكون من نحو 1300 نوع، تسبب التجزئة في معدلات موت للأشجار بنسبة 1.5 % في السنة في غُضون 300 متر من حواف الغابات و0.43 % في السنة في التصميمات الداخلية للغابات. بالإضافة إلى ذلك، أدى تجزئة الغابات إلى تأثير شديد بشكل غير متناسب

في الأشجار الكبيرة (أقطار الساق أكبر من 60 سم)، مما أدى إلى قتلها بمعدل أسرع بثلاث مرات في حواف الغابات مقارنةً بالغابات الداخلية لأن الأشجار الكبيرة في المناطق الداخلية للغابات تعرضت لاضطراب رياح متزايد، وجفاف، وشدة. يسبب ضوء الشمس والتبخر والطفيليات التفتت عند الاقتراب من حواف الغابة. نظراً لأن مجموعة كبيرة من الحيوانات والكائنات الحية الدقيقة تعتمد على الأشجار في مناخها المحلي المطلوب، والمأوى، والغذاء، لذلك فإنّ تدمير الأشجار الكبيرة له آثار ضارة على التكوين والوفرة والتوزيع في النظم البيئية للغابات.

تعد الغابات الاستوائية غنية بشكل فريد بتنوع الأنواع، حيث تغطي 6 % من سطح الأرض وتحوي على ثلثي جميع أنواع النباتات على الأرض (نحو 170000) وما لا يقل عن 50 % من أنواع النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة الموجودة على كوكب الأرض. يوجد، مثلاً، 425 نوعًا من الأشجار والشجيرات في أقل من هكتار واحد من غابات الأطلسي في البرازيل. وبالتالي، فإن إزالة الغابات الاستوائية يسهم بشكل كبير في فقدان الأنواع النباتية والحيوانية.

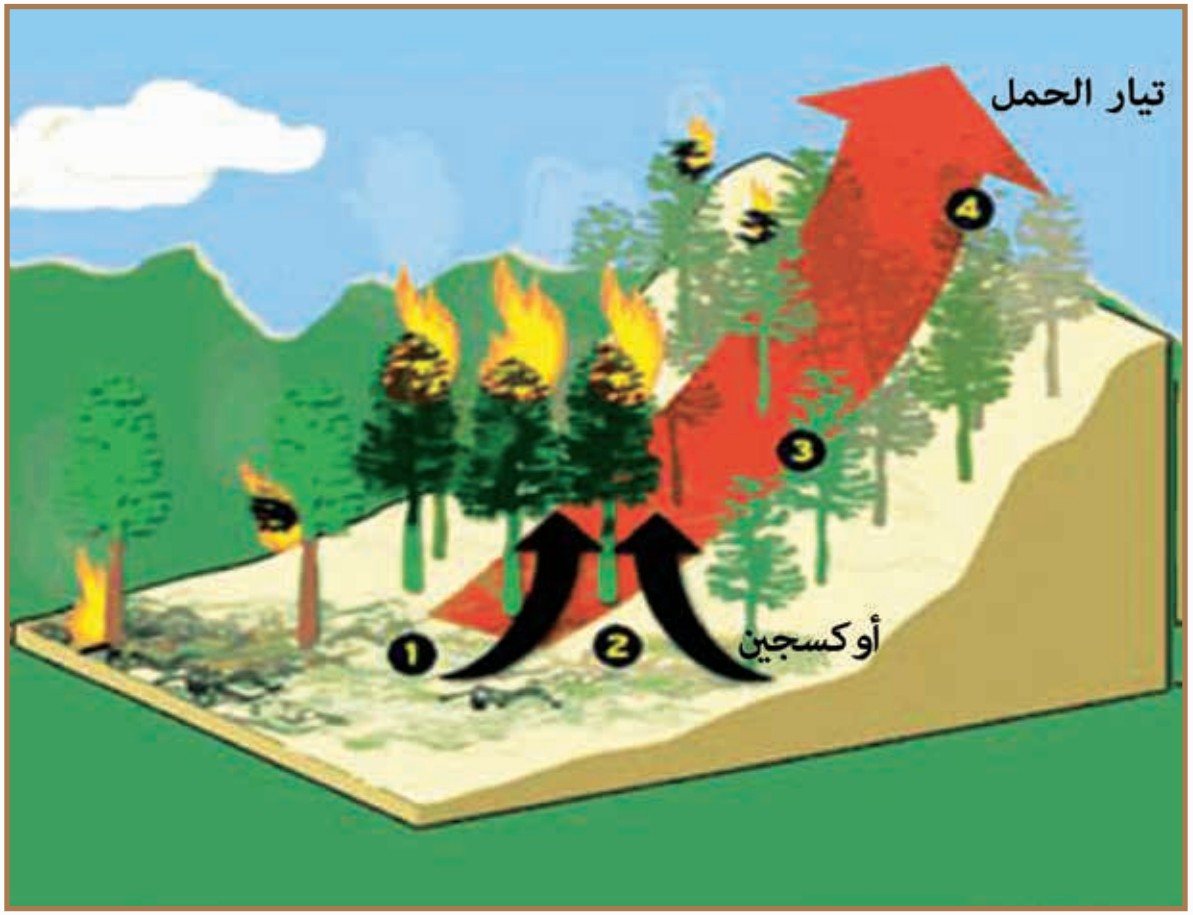
لا يمثل فقدان الأنواع خسائر بيئية واقتصادية مُهمَّة فحسب، بل يمثل أيضاً تكاليفَ اجتماعيةً هائلةً، نظراً لفقدان الأنواع ذات القيمة الصيدلانية التي يمكن أن تنقذ الأرواح أو تحسن نوعية حياة عدد لا يحصى من الناس. الأدوية الموجودة المشتقة من الغابات الاستوائية بلغت قيمتها التجارية 43 بليون دولار أمريكي سنويّاً في عام 1985، وقد قُدّرت قيمة الأدوية المحتملة التي سيجري اكتشافها في الغابات الاستوائية بمبلغ 147 بليون دولار أمريكي.

• حـرائـــق الغابـــات

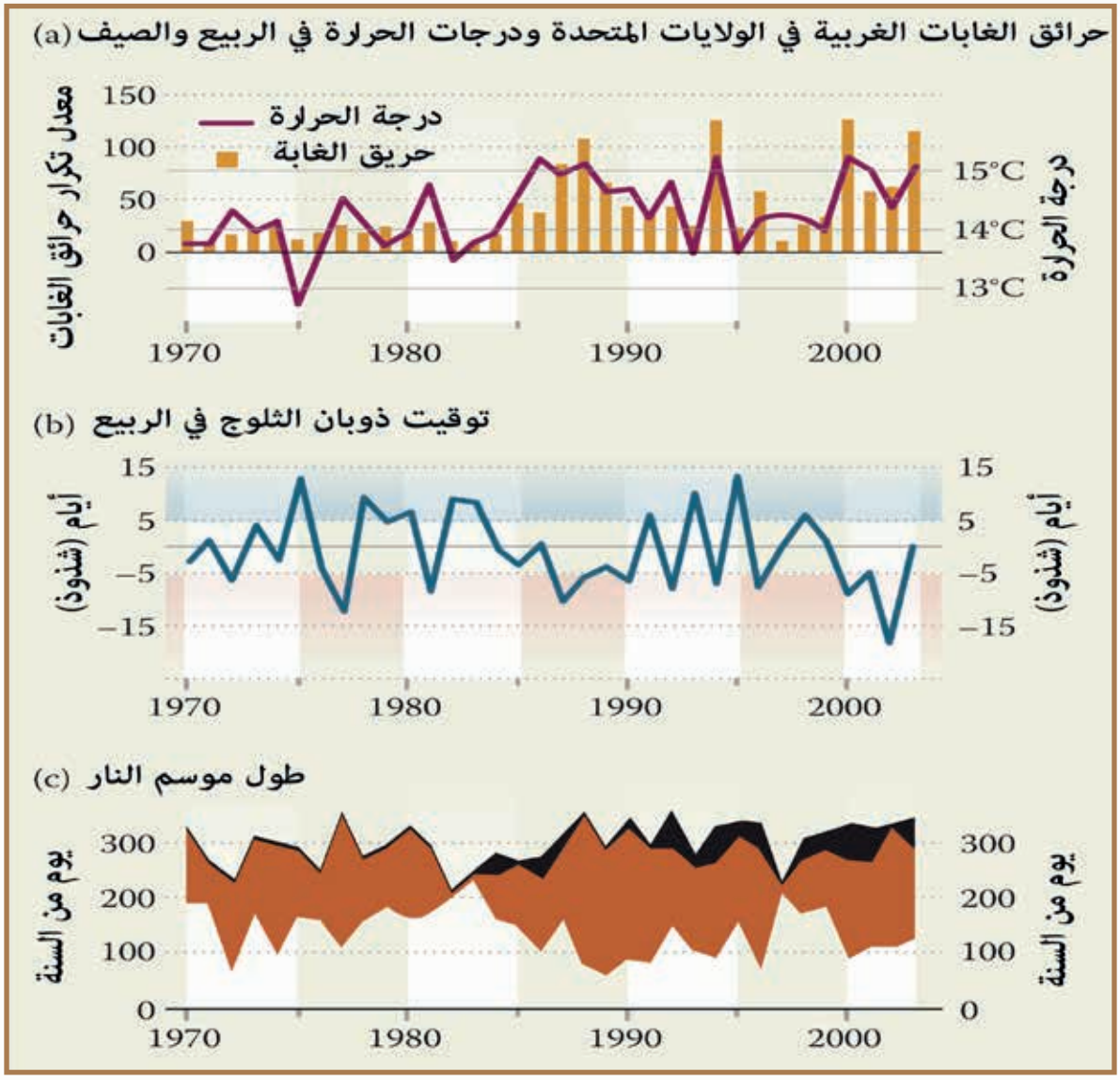
تعتبر حرائق الغابات والمراعي الدورية، عاملاً بيئيّاً مُهمّاً في أجزاء كثيرة من العالم وبخاصة في غرب الولايات المتحدة. كانت النار عاملاً منتشراً لدرجة أن علماء البيئة صاغوا مصطلح (ذروة النار) Fire Climax، في إشارة إلى تلك المجتمعات التي تحافظ عليها النيران.

تعتبر التربة العضوية مصدراً أساسيّاً لانبعاثات الكربون لإثناء حرائق الغابات الشمالية الكندية. وتكوّن التربة التي تتفادى الاحتراق ما يُسمى بـ (مخزن الكربون القديم)، الذي يُساعد على جعل هذه الغابات مصارف للكربون النقي. ويمكن لزيادة حجم ومعدلات حدوث الحرائق وشدتها أن تحوّل الغابات اليافعة إلى مصدر نقي لكربون الغلاف الجوي، وبالتالي ستعبث بتوازن الكربون في الغابات الشمالية الكندية.

بالنسبة للعديد من أنواع الأشجار الشمالية، تعتبر النار مُهمَّة للتجديد، وخدش البذور، وتقليل تدهور القمامة على المدى الطويل، وإتاحة عناصر الرماد، وفتح الستائر للسماح بدخول الضوء. وبالتالي، كان الحريق في مثل هذه الحالات جزءاً لا يتجزأ من مجمع بيئي.



تشريح حريق هائل: (1) يمكن أن تتسلق النار في أوراق الشجر على أرضية الغابة إلى أغصان الأشجار السفلية. وهذا ما يسمى حريق السلم. (2) تنتشر النار في تاج الشجرة، فتغذي نفسها بالأكسجين المسحوب من الأسفل (مثل المدخنة). (3) يمكن للجمر العائم، الناتج عن تيارات الحمل الحراري، أن يشعل الوقود الجاف بعيداً عن النار. (4) الغازات الساخنة المتصاعدة في عمود من أوراق الشجر الجهنمية أعلاه للاشتعال.



(a) التكرار السنوي لحرائق الغابات الكبيرة (> 400 هكتار) في غرب الولايات المتحدة (القضبان) ومتوسط درجة الحرارة من مارس إلى أغسطس في غرب الولايات المتحدة (الخط). **(b)** المكون الرئيسي الأول للتوقيت المركزي لتدفق التيار في التيارات التي يغلب عليها ذوبان الجليد. تشير القيم المنخفضة (التظليل الوردي) والمتوسط (بدون تظليل) والعالية (التظليل الأزرق الفاتح) إلى التوقيت المبكر والمتوسط والمتأخر للذوبان الثلجي، على التوالي. **(c)** الوقت السنوي بين أول وآخر اشتعال كبير للنيران وآخر سيطرة على الحرائق الكبيرة.

ما تغير في السنوات الأخيرة هو أن الحرائق صارت أكثر تواتراً، واستمرت لفترة أطول، وأدت إلى حرق الأشجار التي كانت تعتبر شديدة النيران، وتسببت في تدمير الممتلكات وموت البشر والحياة البرية، واشتدت حدة الحرائق. كانت حرائق الغابات الأخيرة أقل من حيث العدد ولكنها كانت أكبر بكثير من حيث المساحة. تسببت حرائق الغابات في احتراق أكثر من 5 ملايين فدان في ألاسكا خلال شهري يوليو وأغسطس من عام 2004. واحترق أكثر من 190 ألف فدان في ولاية تكساس خلال فترة 24 ساعة في الفترة من 6 إلى 7 مارس عام 2006.

في عام 2007، احترق أكثر من 500000 فدان في أكتوبر في جنوب كاليفورنيا. كانت الخسائر هائلة، حيث بلغت بليونات الدولارات من الموارد الخشبية، والممتلكات المبنية المفقودة، والوفيات البشرية والتهجير. كانت المخاطر الصحية من الآثار المرتبطة بالتلوث حادَّة، مما تسبب في الربو والتهاب الشعب الهوائية وتهيج الجلد والعين.

يتضح كيف صارت حرائق الغابات مصدر قلق كبير من خلال الاهتمام الذي تلقته القضية من العلماء وواضعي السياسات ووسائل الإعلام. لدرجة أن قناة سي بي إس خصصت برنامج 60 دقيقة لـ (عصر الحرائق الضخمة).

قُدّمت العديد من التفسيرات لكل من كثافة وحجم الحرائق، بخاصة في الولايات المتحدة. أحدها هو اقتراح أن السياسات الحراجية في الماضي عملت على تثبيط حرائق الغابات، مما أدى إلى تراكم القمامة على أرضية الغابة وسمح بزيادة كثافة الغابات، وبالتالي توفير الوقود اللازم للنار. أيضاً، اقترب سكن الإنسان بشكل خطير من حدود الغابات، التي تقلصت وصنعت قفزة لإشعال حريق غابة لسكان البشر بسهولة. كلا الاقتراحين لهما ميزة.

تهدد ظروف الحرائق المتكررة وجود مجتمعات الغابات كما نعرفها. لذلك

من دواعي السرور أن صانعي السياسات قد أدركوا إلحاح حرائق الغابات في الظروف البيئية المتغيرة.

حرائق هائلة في الغابات الشمالية الكندية تأكل أعداداً كبيرة من أشجار التنوب الأسود.

• تحديات إدارة الغابات

إذا أردنا الاحتفاظ بالمنافع العالمية والمحلية للنظم الإيكولوجية للغابات، فلا بد من وقف إزالة الغابات. حيث إنّ إزالة الغابات هي النتيجة المباشرة لإجراءات مثل الاستغلال التجاري لحصاد الأخشاب وتطهيرها للزراعة وتربية المواشي، والتنمية الحضرية الصناعية (الإسكان، والتعدين، وشبكات النقل، والسدود)، واستخدامات الأراضي غير الحراجية الدائمة الأخرى.

ومـع ذلـك، فـإن هـذه الإجـراءات المباشـرة لا تكمـن فقـط في مشـكلات إدارة الغابـات الفنيـة، وإنمـا أيضـاً في التحديـات الاجتماعيـة والاقتصاديـة المذهلـة الوطنيـة والدوليـة التـي يجـب معالجتهـا مـن خـلال السياسـات والإجـراءات الوطنيـة والدوليـة. إذن، سـتوفر النظـم الإيكولوجيـة للغابـات في العالـم الزيـادة المتوقعـة في الطلـب علـى منتجـات الغابـات بينمـا تلبـي في الوقـت نفسـه الطلـب المتزايـد علـى المنتجـات غيـر الخشـبية، والمرافـق، والفوائـد؟ مـن المؤكـد أن غابـات النمـو القديمـة والثانيـة الموجـودة في العالـم سـتكون مـن المسـاهمين المهمـين.

اعتمـاداً علـى مسـاحة الغابـات المحـددة، سـيتراوح اسـتخدامها للمنتجـات الخشـبية بـلا شـك مـن لا شـيء (باسـتثناء، ربمـا، جمـع حطـب الوقـود) إلـى تلـك المـدارة بشـكل مكثـف إلـى حـد مـا لإنتـاج مـوارد متعـددة، بمـا في ذلـك الأخشـاب.

مـن الأسـئلة الإداريـة الواضحـة جـدّاً بالنسـبة للغابـات ذات النمـو القـديم والنمـو الثانـي هـو مـن سـيتخذ القـرارات المتعلقـة بكيفيـة إدارة كل منطقـة مـن مناطـق الغابـات، ومـا هـي المـوارد التـي سـتدار بهـا، ومـا هـي المعاييـر التـي سـتتخذها تلـك القـرارات؟

مـن المرجـح أن تـؤدي المـزارع دوراً متزايـداً في توفيـر منتجـات الأخشـاب؛ لأنهـا سـتدار بشـكل أساسـي لإنتـاج منتجـات الأخشـاب مـع توفيـر مزايـا ووسـائل راحـة أخـرى، وبالتالـي تقليـل الطلـب علـى هـذه المنتجـات مـن غابـات النمـو القـديم والثانـي. يمكـن إدارة المـزارع التـي جـرى إنشـاؤها خصيصـاً لإنتـاج منتجـات الأخشـاب بأطـوال دورات أقصـر وأكثـر اقتصـاداً باسـتخدام تقنيـات زراعـة الغابـات الأكثـر كثافـة مثـل إعـداد الموقـع والتخصيـب والإدارة المتكاملـة للآفـات والقطـع الوسـيط وتقنيـات الحصـاد والتجديـد التـي سـتكون أقـل ملاءمـة للغابـات الطبيعيـة المُـدارة لمزيـج أوسـع مـن المنتجـات والمزايـا غيـر المسـوقة ووسـائل الراحـة.

حاليـاً، تشـغل المـزارع في جميـع أنحـاء العالـم مسـاحة تعـادل 3.4 % مـن إجمالـي مسـاحة الغابـات ولكنهـا تنتـج مـا يقـرب مـن 25 % مـن إجمالـي إمـدادات الأخشـاب

الصناعية. وقد قُدّر أنّ الطلب العالمي الحالي على الأخشاب الصناعية المستديرة يمكن تلبيته من 0.15 بليون هكتار من الغابات المزروعة (ما يعادل 4 % من الغابات العالمية الحالية) تنمو بمعدل 10 أمتار مكعبة في السنة الواحدة. مع أنّ هذا قد لا يتحقق على المدى القصير، إلا أنه يضع في الاعتبار المساهمة المحتملة التي يمكن أن تقدمها المزارع.

يمكن أن يسهم الاستخدام الأفضل للأشجار المقطوعة والمنتجات الثانوية لتصنيع الأخشاب في تلبية الطلب المستقبلي على الأخشاب بشكل فعَّال من خلال الاستفادة من بقايا الحصاد المتبقية حالياً في الغابة كأغصان وفروع منخفضة الجودة (تقدر بما يصل إلى 38 % من الحجم في بعض الحالات) أيضاً كمخلفات التصنيع التي هي منتج ثانوي لنشر وطحن المنتجات الاستهلاكية من الخشب، مثل (نشارة الخشب، وفضلات الخشب).

يمكن استخدام الكثير من هذه المخلفات لإنتاج منتجات خشبية هندسية، وزيادة العائد الإجمالي من الغابة وتوفير بديل مناسب للخشب الصلب للعديد من التطبيقات. كما سيؤدي التوسع في إعادة التدوير واستبدال المنتجات إلى تقليل الطلب المستقبلي على الألياف الخام ومنتجات الأخشاب. لكن علينا أن نجعل التحولات سلسة. كانت التطورات الأخيرة في أبحاث الغابات مشجعة جدّاً من نواح عدة. يدرك مجال الحراجة الزراعية التفاعل بين الأراضي الزراعية والغابات وبالتالي فإنّ الحراجة الزراعية هو اسم جماعي لأنظمة استخدام الأراضي حيث تُدمج النباتات الخشبية المعمرة عمداً مع المحاصيل و / أو الحيوانات في وحدة إدارة الأراضي نفسها. يمكن أن يكون التكامل إما في خليط مكاني وإما في تسلسل زمني. عادةً ما تكون هناك تفاعلات بيئية واقتصادية بين المكونات الخشبية وغير الخشبية في الحراجة الزراعية.

وبالمثل، أُطلقت مبادرة في مجال الحراجة الاجتماعية تعترف بالصلة الوثيقة بين سكان الريف وحطب الوقود والأخشاب والنباتات الطبية والأعلاف. حيث إنّ هذه الخدمات تأتي من الغابات الأصلية معروفة جيداً لجميع السكان الأصليين. لقد اكتسب مجال الحراجة الاجتماعية والحراجة المجتمعية اعترافاً وفائدةً على نطاق واسع في بعض المناطق، مثلاً الهند.

جرى مؤخراً استكشاف أهمية مستجمعات المياه في الغابات في وجود أسماك المياه العذبة ومدى حياتها وبقائها بطريقة أنيقة. حيث لاحظ الباحثون أن مثل هذه الأسماك تشمل أكثر من 10000 نوع من أنواع المياه العذبة. وبالتالي، فإن الترابط بين مستجمعات المياه في الغابات والجداول والأنهار ومصبات الأنهار والأسماك والبشر مُهمَّة.

• حلـــول مشكلة اســتخدام الأراضي ومـــوارد الغابـات

- أفضل حل لإزالة الغابات هو الحد من قطع الأشجار من خلال فرض سلسلة من القواعد والقوانين التي تحكم ذلك. ربما تقلصت إزالة الغابات في السيناريو الحالي؛ ومع ذلك، سيكون من السابق لأوانه الافتراض أن ذلك ممكن فعلاً. قد تكون طبيعة الموارد الحرجية المقلقة للمال مغرية بما يكفي لاستمرار إزالة الغابات.
- تجنب أن تجعل من الغابات مكب للنفايات أو القمامة بأنواعها كافة.
- تجنب إشعال الحرائق أو النيران بشكل لا يمكن السيطرة عليه عندما تكون في رحلة إليها.

- إعادة التحريج والتشجير. يجب حث الأراضي المزروعة بغلافها الشجري للمستوطنات الحضرية على زراعة الأشجار في المنطقة المجاورة واستبدال الأشجار المقطوعة. كما يجب الاستعاضة عن التقطيع بزراعة الأشجار الصغيرة لتحل محل الأشجار القديمة التي تم قطعها. تُزرع الأشجار في إطار العديد من المبادرات كل عام، لكنها لا تزال غير مطابقة للأرقام التي فقدناها بالفعل.

- القيام بأعمال خضراء مثل إعادة الاستخدام وإعادة التدوير. يمكن للطرق الخضراء للإنتاج واستخدام الموارد أن تقلل بشكل لا يقاس من إزالة الغابات. على وجه الخصوص، يتم التركيز على إعادة استخدام العناصر، وتقليل استخدام العناصر الاصطناعية، وإعادة تدوير المزيد من العناصر. يرتبط الورق والبلاستيك والخشب بتدمير الغابات والموارد الطبيعية الأخرى.

- حظر قطع الغابات بشكل واضح. وهذا سيؤدي إلى الحد من النضوب الكلي للغطاء الحرجي. لذلك فإنه حل عملي بل عملي جدّاً.

- تقليل استهلاك الورق. يشمل استهلاكك اليومي للورق طباعة الورق، والمفكرات، والمناديل، وورق التواليت، وما إلى ذلك. حاول تقليل الاستهلاك، وتقليل هدر الورق، واختر أيضاً المنتجات الورقية المعاد تدويرها. اجعل الحياة بسيطة مثل الطباعة / الكتابة على كلا وجهي الورقة، واستخدام ورق تواليت أقل، وتجنب الألواح الورقية، والمناديل وحيثما كان ذلك ممكناً، ولا تستخدم الورق.

- علّم الآخرين. قم بتثقيف أصدقائك وعائلتك ومجتمعك من خلال مشاركة حقائق إزالة الغابات وأسبابها وآثارها. يمكنك إحداث تأثير.

- قلل من تناول اللحوم. أصبحت تربية الماشية أحد الأسباب الرئيسية لإزالة الغابات. حاول أن تأكل كميات أقل من اللحوم. قد يكون من الصعب على بعض الناس المحاولة. ومع ذلك، فإن تناول كميات أقل من اللحوم، حتى لوجبة واحدة فقط في اليوم، سيكون له تأثير كبير في البيئة.

- الشراء من الشركات المستدامة والصديقة للغابات. حاول الشراء من الشركات الملتزمة بالحد من إزالة الغابات.

- الحد من استهلاك المنتجات المعرضة لإزالة الغابات. زيت النخيل عنصر شائع في كل شيء نراه من حولنا. اجعل إلقاء نظرة سريعة على المكونات عادة بسيطة. فول الصويا هو نقطة ساخنة أخرى لإزالة الغابات.

مشكلة استخدام الأراضي للتنقيب عن الموارد المعدنية والفحم

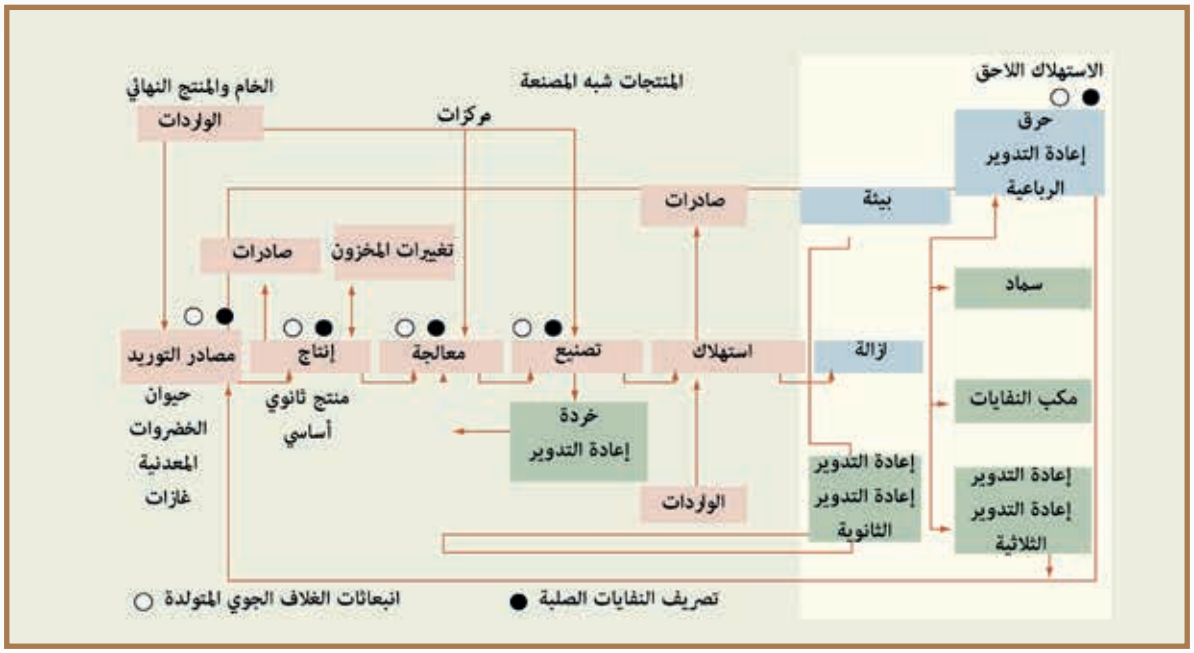
لقد كان البشر يستخرجون المعادن والخامات من الأرض منذ آلاف السنين. حيث جرى إنتاج سبائك نحاسية بنقاوة 99.5 % في منطقة صحراء النقب منذ أكثر من 13000 عام، ويرجع تاريخ فن صناعة الزجاج ونفخ الزجاج إلى 4000 قبل الميلاد.

ومع ذلك، فإن ما تغير في هذا القرن هو الحجم الهائل والتنوع الهائل لآلاتنا الحديثة، من الطائرات النفاثة الجامبو والرافعات التي تتحرك على الأرض، والتي يبلغ طولها طوابق عدة إلى رقائق السيليكون الأصغر من عشرة سنتات. تحوي هذه، مثل جميع الآلات الأخرى، على كميات متفاوتة من المعادن والخامات المُعالجة.

مثلاً، تأتي السيارات بأشكال وأحجام وألوان تعد ولا تحصى، ويحوي كل منها على مئات الكيلوجرامات من المعادن والبلاستيك. وبالمثل، كانت الأجهزة مثل الغسالات والثلاجات بيضاء اللون حتى الستينيات، ثم مع تغير أزياء اليوم، صارت هذه الأجهزة بلون الأفوكادو أو الذهب في السبعينيات، واليقطين المحروق في أوائل الثمانينيات، والفولاذ المقاوم للصدأ أو النحاس في التسعينيات.

لا نعرف لماذا تتغير ألوان الأجهزة كل بضع سنوات أو من يضبط تغيير اللون في الحركة. النقطة المُهمَّة هي أن كل هذه الآلات، كبيرة كانت أم صغيرة، تستلزم استخدام مواد مصنعة بوساطة عمليات معقدة.

يجب استخراج كل هذه المواد من الأرض، ومعالجتها بعدة طرائق، وإعادة تشكيلها وإعادة صياغتها إلى منتج مرغوب، ثم التخلص منها أو إعادة تدويرها بعد الاستخدام. تستلزم كل خطوة تحويل سطح الأرض، واستخدام الطاقة، والعديد من التأثيرات المحلية والإقليمية على الهواء والماء والكائنات الحية.



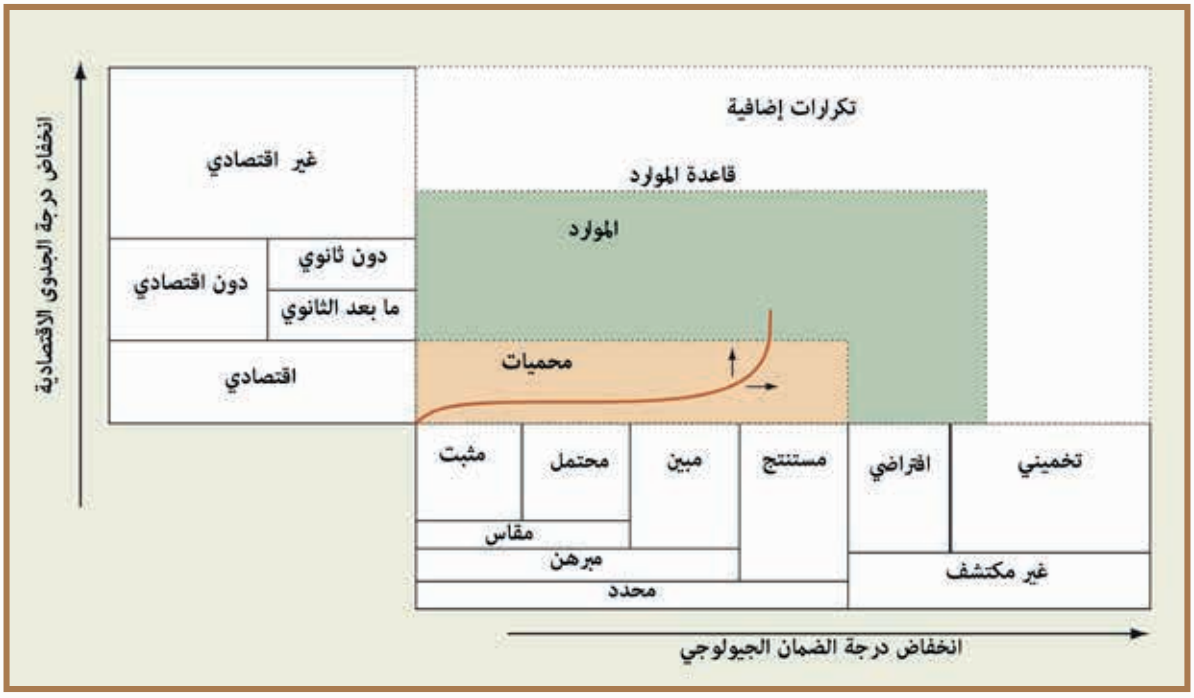
دورة حياة المعادن من الاستخراج والاستيراد إلى المعالجة حتى الاستخدام النهائي والتخلص منها.

• أنـــــواع المعـــــادن

المعـادن هـي في الغالـب مـوارد طبيعيـة غيـر متجـددة؛ أي أن توافـر مخزونهـا الإجمالـي للبشـر يعتبـر ثابتـاً علـى نطاقـات زمنيـة طويلـة. المعـادن هـي مـواد غيـر عضويـة تحـدث بشـكل طبيعـي (عناصـر ومركبـات ومجموعـة مـن العناصـر والمركبـات) بترتيـب ذري منظـم؛ قـد يكـون عضـوي وغيـر عضـوي في الأصـل.

تشـمل المـوارد المعدنيـة المـواد والمعـادن والوقـود الأحفـوري والنـووي والمغذيـات الضروريـة للعمليـات الصناعيـة والزراعيـة والتكنولوجيـة وإنتاج السـلع الاسـتهلاكية. إذاً المـورد المعدنـي هـو تركيـز مـادة صلبـة أو سـائلة أو غازيـة تتشـكل بشـكل طبيعـي، ضمـن أو فـوق قشـرة الأرض، بالشـكل والمقـدار الـذي يكـون فيـه الاسـتخراج الاقتصـادي لسـلعة مـن التركيـز ممكنًـا حاليـاً أو محتمـلاً.

لكي يُعتبر المورد احتياطيّاً معدنيّاً، يجب أن يكون قابلاً للاستخراج اقتصاديّاً وبيئيّاً وقانونيّاً. إنّ الاحتياطيات المعدنية المؤكدة هي تقدير لتلك التي يمكن استخراجها بشكل مربح للاستخدام البشري باستخدام التكنولوجيا المتاحة حالياً، في حين أن الاحتياطيات القابلة للاسترداد هي تقديرات للموارد المعدنية التي من المحتمل أن تكون متاحة للاستخدام البشري في المستقبل.



صندوق ماكلفي والعلاقة بين الكمية والتكلفة لاستعادة موارد الهيدروكربون.

تسمى بعض الموارد بالمعادن الاقتصادية عندما تكون مركزية في اقتصاد الأمة؛ ويسمى البعض الآخر بالمعادن الاستراتيجية عندما تكون ذات أهمية غير عادية للدفاع العسكري لدولة ما. يمكن تصنيف المعادن بشكل أساسي إلى مجموعتين: المعادن الوفيرة بكثرة جيوكيميائيّاً وتلك النادرة جيوكيميائيّاً.

المعـادن الوفيـرة جيوكيميائيّـاً تشـكل بصـورة فرديـة 0.1 % أو أكثـر مـن قشـرة الأرض مـن حيـث الـوزن، وتشـمل: الحديـد، والألومنيـوم ، والسـيليكون، والمنغنيـز، والمغنيسـيوم، والتيتانيـوم. وتشـكل المعـادن النـادرة جيوكيميائيّـاً بشـكل فـردي أقـل مـن 0.1 % مـن قشـرة الأرض مـن حيـث الـوزن، وتشـمل: (النحـاس، والرصـاص، والزنـك، والموليبدنيـوم، والزئبـق، والفضـة، والذهـب).

الوقـود الأحفـوري والنـووي هـو مـوارد معدنيـة أو عضويـة غيـر متجـددة وتشـمل البتـرول والفحـم والغـاز الطبيعـي كوقـود أحفـوري واليورانيـوم والثوريـوم كوقـود نـووي. تشـمل المـوارد المعدنيـة المتبقيـة جميـع تلك المـواد، مثلاً: (الغرانيـت، والبازلت، والرمـل) والمغذيـات، مثـلاً: K ، P ، (N ، و Ca) التـي تسـتخدم لأغـراض أخـرى غيـر المعـادن وخواصهـا المحتويـة علـى الطاقـة. تُعـرف الرواسـب المعدنيـة باسـم الخـام عندمـا تكـون كميـة الصخـور الحاملـة للمعـادن لـكل حجـم معـين (درجـة) عاليـة بمـا يكفـي لجعـل التعديـن مجديـاً اقتصاديّـاً.

• التنقـــيب عن المعـــــادن

يجب العثور على خامات بكميات كبيرة بما يكفي لجعلها مربحةً اقتصاديّاً للتعدين والمعالجة، لذلك يبدأ إنشاء التعدين بالتنقيب عن المعادن. حيث يقوم المحترفون المدربون والمنقبون الهُواة المطلعون على التكوينات الصخرية التي ترتبط بها خامات معدنية محددة بالخطوة الأولى لتحديد الخامات.

قد يأتي أحد الأدلة من الغطاء النباتي. حيث تنمو بعض النباتات في موائل ذات تركيزات عالية من العناصر، مثل: (النيكل أو النحاس أو السيلينيوم)، والبعض الآخر يُظهر امتصاصاً تفضيلياً بفضل المسارات البيوكيميائية المتخصصة التي تطورت عبر التاريخ. يشار إلى هذه أيضاً باسم نباتات المؤشر لأن حدوثها ووفرتها قد يشير إلى كمية ونوعية وهوية الخامات المعدنية.

يتبع الاستكشاف الأولي تحليلات ميدانية جيولوجية وجيوفيزيائية وجيوكيميائية مفصلة وتحليلات معملية تركز على الرواسب الأكثر تركيزاً في منطقة ما. المرحلة الأخيرة هي التحقق من الأبعاد الاقتصادية، أي ربحية تعدين الخام. وقد أشير إلى هذه العملية المكونة من ثلاث خطوات للتحديد والجدوى والتطوير على أنها مبدأ التقريب المتتالي.

بعد استكشاف الجدوى الاقتصادية للمعدن أو الخام، فإن الخطوة الآتية هي استخراج الخام من الأرض. توفر رواسب الفحم الموجودة في العديد من الولايات في الولايات المتحدة أمثلة ممتازة على الاستخراج. حتى وقت قريب، كانت الرواسب القريبة من السطح تُستخرج عادة بطرق التعدين السطحي، لكن الرواسب الموجودة في أعماق الأرض جرى استخراجها عن طريق التعدين تحت الأرض. حيث تتضمن العملية الأخيرة حفر العديد من الثقوب وإنشاء ممرات تحت الأرض؛ للحماية من انهيار الأعمدة، ويجري بناء شبكة من الأعمدة لتوفير

الدعم. إنّ التعدين تحت الأرض مكلف، ولا يسمح باستخراج أكثر من 60-40 % من الخام، وهو بطبيعته خطر على عمال المناجم بسبب احتمال الانهيار. ففي حالة الفحم، تسبب التعدين تحت الأرض في خسائر فادحة في صحة عمال المناجم، سواء من مرض الرئة السوداء الناجم عن استنشاق غبار الفحم وموت عمال المناجم بسبب انهيارات المناجم والانفجارات.

تعمل تقنيات التعدين الحديثة ذات الجدران الطويلة على إزالة جميع أعمدة الدعم بشكل أساسي وتسمح بانهيار المواد العلوية مع تقدم عملية التعدين؛ لذلك يشكل الهبوط الهائل لسطح الأرض مصدر قلق بيئي خطير.

في السنوات الأخيرة، انتشر التعدين السطحي في جميع أنحاء العالم لأسباب عدة. إنها أقل تكلفة من التعدين تحت الأرض، واستعادة المواد المرغوبة أفضل بـ 90 %، وهي أقل تهديداً لصحة وحياة عمال المناجم. يستلزم التعدين السطحي إزالة الأثقال، أي المواد التي تغمر الرواسب المعدنية أو الفحم. تتكون عمليات التعدين السطحي بشكل عام من التعدين المكشوف (كميات كبيرة ومعدلات عالية من استخراج المعادن) والتعدين الشريطي (استخراج طبقات مسطحة من المعادن تحت السطح مباشرة). وتمثل العمليتان معاً ثلثي إنتاج المعادن الصلبة في العالم، مثل: (الرمل والحصى والحجر والفوسفات والفحم والنحاس والحديد والألومنيوم)، و95 % من الاستخراج في الولايات المتحدة.

تجري إزالة الغطاء الفوقي (الصخري أو الترابي) من خلال ثلاث طرائق رئيسية: استخدام خطوط السحب Draglines، وحفّارات الدلو Bucketwheel Excavators، ومجارف الطاقة Power Shovels. إن خط السحب عبارة عن آلة ضخمة ذاتية الدفع وذات ذراع يعمل على تشغيل دلو ضخم يزيل الغطاء الفوقي. يُسمى أكبر خط سحب في العالم باسم بيغ موسكي Big Muskie ووزنها 27000

طن، مع ذراع بطول 94 متراً ودلو 168 متراً مكعباً.

يمكن أن تزيل الجرافة 325 طنّاً من المواد الترابية، بما في ذلك الصخور، في غَرفةٍ واحدة. يمكن أن يتأرجح ذراع الرافعة من 90 إلى 180 درجة ويضع المواد المحفورة في سلسلة من التلال والأخاديد، مما يخلق خنادق موازية لبعضها بعضاً، يشار إليها باسم (الأحواض الفاسدة). وحتى تدخل الضوابط التشريعية الأخيرة حيز التنفيذ، دُفنت الطبقات العُليا من الأرض العميقة، وشكلت الطبقات العميقة السطح الجديد. هذا المطلب جعل بيغ موسكي من تراث الماضي.

أما مجارف الطاقة فهي تعمل في حفر المنجم وتحفر المواد من وجه الرواسب باستخدام مجارف التجريد. تحوي هذه المجارف على دلاء أصغر، لا يتجاوز حجمها عادةً 30 متراً مكعباً. تسمح هذه الطريقة بفصل المواد، بينما لا يمكن لخط السحب القيام بذلك. حفَّارات الدلو عبارة عن آلات مثبتة على زاحف تعمل باستمرار على الحفر، والنقل، وترسيب الرواسب الزائدة.

لديها عجلة وعدة دلاء لحفر الغطاء الفوقي وإسقاطه على حزام ناقل مستمر ينقل المواد إلى حوض التالف. من المتفق عليه عموماً أن خطوط السحب هي التي تسبب معظم الاضطرابات في الأرض. تتطلب القوانين الجديدة في العديد من البلدان حالياً فصل مواد التربة السطحية لاستبدالها لاحقاً، مع أنّ إنفاذها غالباً ما يكون متساهلاً.

مع أنّ أساليب التعدين السطحي لم تتغير إلا في مداها وحجمها في هذا القرن، فقد أضفنا الآن بُعْدًا جديدًا - إزالة قمم الجبال. في الولايات المتحدة، ازداد نطاق ممارسة قطع رؤوس الجبال فعليّاً لكشف طبقات الفحم بشكل كبير. لا تُستبدل المواد المزالة أبداً من حيث نشأت، بل يجري دفعها إلى الوديان المجاورة.

توسع تعدين الفحم في غرب الولايات المتحدة بشكل كبير منذ أزمة الطاقة عام 1973. وقد أسهم عدد من الأسباب في كل من جدوى وربحية هذا التوسع:

أولاً: يبلغ سمك طبقات الفحم في الغرب 10-30 متراً.

ثانياً: تكون المادة الترابية الموجودة أعلى طبقات الفحم ضحلة نسبيّاً (30-50 م).

ثالثاً: مناجم التعدين السطحي 95 % أو أكثر من الفحم الذي سيجري حفره من الأرض.

رابعاً: الكثافة السكانية في شرق الولايات المتحدة أقل بكثير من المناطق الحاملة للفحم في الغرب. أثارت هذه النقطة استياء السكان الأصليين والمتجنس في الغرب. وهكذا، في العديد من المقالات، وصف الغرب بأنه مستعمرة الشرق. ومع ذلك، خفت هذه المشاعر إلى حد كبير لسببين:

- ولدت التنمية الاقتصادية ضرائب للحكومة وأرباحاً للأفراد.
- قدمت القوانين المنقحة والجديدة التأكيد على أن الأراضي المعدنة ستعود إلى الإنتاجية البيولوجية، ولن يتم التخلي عنها، كما كان الحال حتى أوائل السبعينيات. في الواقع، أنشأ القانون الفيدرالي برنامج أراضي المناجم المهجورة (AML) لاستصلاح هذه الأراضي واستعادتها لبعض الاستخدامات.

شكل آخر من أشكال التعدين، هو المحاجر الذي يشير إلى منجم مفتوح يُستخرج منه الخام أو الفحم أو الحجر أو الحصى. يمكن أن تترك هذه الطريقة فجوة هائلة في الأرض وأكواماً ضخمة من النفايات الصخرية (المخلفات). تشمل طرائق الاستخراج الأخرى إزالة المواد غير المجمعة من الأنهار والجداول والبحيرات والبحار (تسمى التجريف)، واستخراج الموارد المعدنية السائلة والغازية (الحفر)، والتعدين الهيدروليكي والمحاليل.

مع أنّ أنشطة التعدين لا تزعج مساحة كبيرة في حد ذاتها على أساس الاستخدام العام للأراضي، إلا أنّ التأثيرات على البيئة – الأرض والمياه والهواء – هائلة. إن نشاط تحريك الأرض كبير جدّاً لدرجة أنه أكسب البشر صفة (العامل الجيولوجي العظيم). وقد صار المثال الكلاسيكي الحالي هو قصة منجم بينغهام كانيون بالقُرب من سولت ليك سيتي، يوتا. إذْ منذ اكتشاف الذهب هناك عام 1848، كان المنجم في إنتاج مستمر للذهب والفضة والنحاس. يبلغ إنتاجها السنوي الحالي من المعادن أكثر من 282 ألف طن من النحاس و98 ألف كيلوغرام من الفضة و98 ألف كيلوغرام من الذهب. انتقل المنجم من جبل إلى حفرة بعمق 0.8 كيلومتر في الأرض (أي ما يعادل خمسة أضعاف ارتفاع برج إيفل)، بعرض 4 كيلومترات ويمكن رؤيته من الفضاء.

خلال تاريخه، جرى إزالة 5 بلايين طن من الصخور للحصول على الخام – 10 أضعاف كمية المواد التي تمت إزالتها في بناء قناة بنما. ينتج كل طن من الخام 5.4 كغ من النحاس؛ لكشف كل طن من الخام، يجب إزالة 10 أطنان من الأحجار الصخرية.

في السنوات العشرين الماضية أو نحو ذلك، كان النفط الخام المستخرج من رمال القطران يسير بخُطى متسارعة في مقاطعة ألبرتا في كندا. وقد عُثر على رواسب ضخمة من رمال القطران هذه في منطقة أثاباسكا في ألبرتا. كما عُثر على هذه الرمال على عمق أكثر من 400 متر تحت الأرض. الغطاء النباتي فوق الأرض مصحوب بالعناصر المميزة للنباتات والحيوانات في هذه المنطقة الأحيائية. ويجب تمزيق هذه الغابات والمواد المثقلة وحفرها عن طريق التعدين السطحي. ثم يُفصل النفط الخام من هذه الرمال بوسائل ميكانيكية وباستخدام البخار والمذيبات. إنها عملية كثيفة الاستخدام للمياه، حيث تستخدم ثلاثة براميل من الماء لإنتاج برميل واحد من النفط الخام. وبالتالي، فإنها تولد كميات هائلة من

الحمأة الرطبة ومياه الصرف السامة، والتي تتميز بأنها انسكاب نفطي بطيء الحركة وعملاق وكارثة بيئية هائلة للسكان الأصليين في كندا.

كما أن تعدين ومعالجة رمال القطران من شأنه أن يزيد بشكل كبير من المخاطر العالمية لتغير المناخ الخطير. تحوي الكميات الهائلة الناتجة من مخلفات المناجم على بعض القار، وحتى الوقت الحالي كان إعادة الغطاء النباتي لهذه المواد المتبقية بعيد المنال.

• معالجـــــة المعـــــادن

مع أنّ إزالة الحمولات تتشابه مع الفحم وغيره من مناجم المعادن والخامات، إلا أنه هناك اختلافات في المناولة والمعالجة. في حالة الفحم، يتم تحميل المادة على شاحنات أو عربات سكك حديدية ونقلها إلى الموقع حيث يجري حرقها لإنتاج الكهرباء. عندما يكون المحتوى المائي للفحم مرتفعاً، كما في حالة الليغنيت، الذي قد يصل محتواه المائي إلى 35 %، فمن غير الاقتصادي نقل المياه لمسافات طويلة.

في مثل هذه الحالات، تقع محطات توليد الكهرباء بالقُرْب من المناجم، ويشار إليها بعمليات تفريغ المناجم. ومع ذلك، فإن جميع الخامات الحاملة للمعادن ومعظم المواد تتطلب معالجة بعد استخلاصها لأنها ليست في أشكال مركزة ونقية ومتشابكة مع معادن غير مرغوب فيها مثل الكربونات أو السيليكات، والمعروفة باسم الشوائب المعدنية أو شوائب الركاز Gangue.

تتضمـــن المعالجة تكســـير الخام لتحـــرير جزيئات المعدن الخام (الفتيت Comminution)، وفصل المعادن الخام والشوائب (الفائدة Beneficiation)، واستخدام الحرارة لاستعادة المعدن (الصهر Smelting)، واستعادة المعدن النقي من الشوائب باستخدام المواد الكيميائية (ترشيح الكومة Heap Leaching، والتعدين المائي Hydrometallurgy). تصير معادن الشوائب المعدنية بعد

المعالجة، التي تشكل نحو 80 % أو أكثر من الخامات المنجمية، نفايات تسمى (مخلفات التعدين Tailings). تنظم القوانين التعامل مع المخلفات في عمليات المناجم؛ يمكن أن يكون للانسكاب عواقب وخيمة، كما كان الحال في انسكاب مخلفات السيانيد في رومانيا.

تسبب منجم الذهب هذا في بلاك هيلز بولاية ساوث داكوتا الأمريكية في إزعاج مساحة كبيرة من الأرض. يحتوي هذا الموقع أيضًا على أكوام لترشيح السيانيد وبِرك الترسيب شديدة السمية للحياة البرية في المنطقة المجاورة.

• أنماط الاستهلاك والتأثيرات البيئية

توفر المعادن فوائد لا غنى عنها للمجتمع البشري في العديد من الأشكال، بدءاً من المبادلات الحرارية، إلى المحفزات للتفاعلات الكيميائية، وأسلاك الكهرباء، وقضبان القطارات، وهيكل السيارات. وقد ارتفع الاستخدام العالمي للمواد المعدنية بمقدار 2.4 مرة إلى 9.8 بليون طن في عام 1995، مقارنة بأوائل

الستينيات. وزاد استخدام الموارد في الولايات المتحدة من 2 بليون إلى 2.8 بليون طن بين عامي 1970 و 1995 و 18 ضعفاً منذ عام 1900.

مع 5 % من سكان العالم، استهلكت الولايات المتحدة ما يقرب من 30 % من الموارد المعدنية العالمية. لكل من حجم وتكوين استخدام الموارد آثار مُهمَّة على تدهور البيئة ونضوبها. مثلاً، زاد الاقتصاد الأمريكي استخدامه للموارد غير المتجددة من 59 % في عام 1900 إلى 92 % في عام 1995.

ما يقرب من 7 % من النحاس بالكامل، و 13 % من النيكل بالكامل، و 14 % من إجمالي الفولاذ، و 19 % من الألومنيوم بالكامل، و 23 % من إجمالي الزنك، و 35 % من إجمالي الحديد، و 41 % من إجمالي البلاتين، و 50 % من إجمالي الرصاص المستخدم من الولايات المتحدة في عام 1992 ذهب إلى صناعة السيارات.

يتطلب النمو السكاني والاقتصاديات المزيدَ من السلع والخدمات والأراضي والبنية التحتية المادية من الموارد الطبيعية المحدودة المخزون والمحدودة. بين عامي 1950 و1990، كان معدل الزيادة في الاستهلاك البشري لستة معادن أساسية رئيسية (الألومنيوم ، والنحاس، والرصاص، والنيكل، والقصدير، والزنك) أكثر من ثمانية أضعاف، بينما تضاعف عدد سكان العالم مرة واحدة فقط.

إن الكميات الإجمالية للنفايات الناتجة عن استخراج المعادن والخامات هائلة في شكل صخور منخفضة الدرجة تحمل معادن تصير نفايات ويجري إزالة الأثقال للوصول إليها في المنجم. نمت كمية المواد المستهلكة في الولايات المتحدة من 2 طن للفرد سنويّاً في عام 1900 إلى 10 أطنان للفرد سنويّاً في عام 1995.

لا يمكن أن يؤدي الاعتماد الشديد على الابتكار التكنولوجي والإحلال إلى الحفاظ على الاستخدام الفردي الحالي وكثافة استخدام المعادن غير المتجددة

(الحجم بالنسبة للناتج القومي الإجمالي). ينبغي أن تنعكس التكاليف الاجتماعية لاستنفاد وتدهور الموارد الطبيعية على أسعار السوق للسلع والخدمات.

يصاحب استخراج المعادن ومعالجتها ونقلها والتخلص منها تأثيرات بيئية متعددة، مثل تلوث الهواء والماء والتربة؛ خسائر الأراضي الزراعية المنتجة وخصوبة التربة والتنوع البيولوجي وتجزئة الموائل. على وجه الخصوص، فإن استخدام الفحم كمصدر مهيمن للطاقة له آثار ضارة مُهمَّة على جودة البيئة والصحة العامة. ويصاحب استخراج المعادن ومعالجتها ونقلها والتخلص منها تأثيرات بيئية متعددة، مثل تلوث الهواء والماء والتربة؛ وخسائر الأراضي الزراعية المنتجة وخصوبة التربة والتنوع البيولوجي؛ وتجزئة الموائل. على وجه الخصوص، فإن استخدام الفحم كمصدر مهيمن للطاقة له آثار ضارة مُهمَّة على جودة البيئة والصحة العامة.

بعض المشكلات المصاحبة لتطوير الفحم كاستجابة لنقص الطاقة.

نظـراً لأننـا نسـتنفد الاحتياطيـات المعدنيـة التـي يمكـن الوصـول إليهـا، فـإن الطلب الاستهلاكي المتزايد سيجعل من الضروري، بلا شك، استغلال الرواسب الأقل سهولة والأقل درجة. وهذا يعني زيادة معدل التدهور البيئي وزيادة الاحتياجات، كذلك، للتخلص من النفايات.

تتسبب أراضي المناجم، من خلال نشاط استخدام الأراضي قصير المدى نسبيّاً، في آثار ضارة طويلة المدى على جودة الهواء وكمية ونوعية التربة والمياه والغطاء النباتي، ما لم تُوضع خطط إعادة التأهيل لجعلها منتجة بعد هجرها.

يمكن أن تكون أنشطة التعدين سبباً للنزاعات على استخدام الأراضي إذا عُثر على الموارد المعدنية في مناطق طبيعية محمية حسَّاسة بيئيّاً ومُهمَّة، مثل: المتنزهات الوطنية، وملاجئ الحياة البرية. يعد تدمير الأشكال الأرضية والغطاء النباتي وما يترتب عليه من تعديل للمناخ المحلي من أوضح تأثيرات التعدين على بنية النظم الإيكولوجية الأرضية والمائية على المستويين المحلي والإقليمي.

تسمى هذه المناطق بالأراضي المهجورة. من ناحية أخرى، على المستوى العالمي، تسهم أنشطة التعدين في زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، وما يترتب على ذلك من تغييرات في الدورات الكيميائية الجيوكيميائية والخصائص الحرارية للغلاف الجوي بسبب زيادة استهلاك الوقود الأحفوري، واضطراب الغطاء النباتي والتربة.

• علـــم البيئة الصناعيـــة

إدراكاً لأهمية الحاجة إلى المعادن الاقتصادية والاستراتيجية وتأثير استخراجها واستخدامها على البيئة، جرى الدخول في مجال جديد من الإيكولوجيا الصناعية.

إنه يتضمن تصميم البنية التحتية الصناعية كما لو كانت سلسلة من النظم البيئية المتشابكة من صنع الإنسان التي تتفاعل مع النظام البيئي العالمي الطبيعي. إنها تأخذ نمط البيئة الطبيعية كنموذج لحل المشكلات البيئية.

من الواضح حالياً أنه من أجل البيئة الصناعية السليمة، فإن الحلول التكنولوجية وحدها لن تكون كافية بسبب ما يأتي:

1. أثناء إنتاج السلع المصنعة، تولد الصناعة الأمريكية 300 مليون طن أو أكثر من النفايات الخطرة التي يجب معالجتها أو تخزينها أو التخلص منها.
2. أثناء الإنتاج، تنتج الصناعة الأمريكية أكثر من 600 مليون طن من النفايات غير الخطرة التي يجب التخلص منها.
3. للوفاء باللوائح الحالية، ينفق التصنيع في الولايات المتحدة أكثر من 40 بليون دولار سنوياً من أجل مكافحة التلوث.
4. التخلص من النفايات المتولدة هو اقتراح مكلف، وهذه التكاليف ترتفع بشكل أسرع من معدل الإنتاج الصناعي. لذلك فإن هذا يثير شبح تكاليف التخلص من أن تصير التكلفة السائدة للإنتاج.

يجب أن تتمثل جهودنا في إكمال النماذج بحيث تعكس جميع التأثيرات البيئية والتكاليف المصاحبة لعمليات التصنيع، من استغلال الموارد إلى التخلص النهائي من المنتج واستعادة النظام البيئي.

• حلـــول مشـكلة التنقيب عن المـــــوارد المعدنيـــة

- الاستخدام المستدام للمعادن غير المتجددة.
- لا تضيعوا الموارد المعدنية.
- إعادة تدوير وإعادة استخدام 60-80 % من الموارد المعدنية.
- تضمين التكاليف البيئية الضارة للتعدين ومعالجة المعادن بأسعار الأصناف.
- تقليل دعم التعدين.
- زيادة الدعم لإعادة التدوير وإعادة الاستخدام وإيجاد البدائل.
- إعادة تصميم عمليات التصنيع لاستخدام موارد معدنية أقل وتقليل التلوث والنفايات (الإنتاج الأنظف).
- استخدام نفايات الموارد المعدنية لعملية تصنيع واحدة كمواد خام لعمليات أخرى.
- نمو سكاني بطيء.

مشكلة استخدام الأراضي للتحضر والنقل

يوجد ترابط بين بنية ووظيفة النظام الإيكولوجي. والروابط بين تغير استخدام الأراضي واستجابة النظام البيئي: تغيرات الأراضي المرتبطة بالتوسع الحضري تؤدي إلى تغير المناخ والتلوث، مما يغير خصائص النظم البيئية على المستويات المحلية والإقليمية والقارية. إن التحضر يغير اتصال النظم البيئية والطاقة والمعلومات بين النظم الاجتماعية والفيزيائية والبيولوجية.

بوصفها مراكز للتجارة؛ والحكم السياسي؛ والاستهلاك والإنتاج وتوزيع السلع والخدمات الاقتصادية، والإثراء الثقافي السياسي، والابتكار التكنولوجي، تؤدي النظم البيئية الحضرية الصناعية وظيفة حيوية في تقدم الحضارة الإنسانية.

لا يمكن الحفاظ على مثل هذه المراكز السكانية الكثيفة ضمن حدودها الجغرافية الخاصة. وإنما يعتمد دعم ورفاهية النظم البيئية الحضرية على السلع والخدمات البيئية المقدمة من النظم البيئية الإقليمية الداعمة للحياة، مثل: الزراعة والأراضي العشبية والغابات والأراضي الرطبة وما يمكن استيراده من مناطق بعيدة.

لقد كان إدراك أن سكان الحضر يمتلكون حصة كبيرة من موارد الأرض هو الذي أدى إلى تطوير مفهوم البصمة البيئية. يوضح هذا المفهوم أن مساحة الأرض اللازمة لدعم مدينة أكبر بمرات عدة من مساحة المدينة نفسها.

يُشار إلى التحول من نظام (ريفي - زراعي) إلى نظام (حضري - صناعي) يزداد فيه عدد سكان المدينة جنباً إلى جنبٍ مع التغييرات الاقتصادية والاجتماعية والسياسية ذات الصلة باسم التحضر، وكذلك السكان بمرور الوقت وصافي الهجرة من الريف.

تبلغ المعدلات الحالية للنمو السكاني الحضري حالياً أكثر من مليون شخص أسبوعيّاً على مستوى العالم. تنتج الهجرة إلى المُدن من تفاعل عوامل الدفع (الظروف التي يرى الناس أنها ضارة برفاههم وتحفزهم على الهجرة) وعوامل الجذب (الظروف المتصورة التي تجذب الناس للانتقال إلى موقع جديد).

كما تشمل الأمثلة على عوامل الدفع بشكل عام التدهور البيئي، وعدم كفاية الأراضي الزراعية، وسوء توزيع الأراضي الزراعية، وانعدام الأمن الاقتصادي. تتضمن أمثلة عوامل الجذب عموماً فرصاً أفضل للوظائف ونوعية حياة أعلى، مع إمكانية الوصول إلى الخدمات الاجتماعية، مثل: الرعاية الصحية، والتعليم.

• اتجاهـــات التحضـــر

يؤدي النمو السكاني السريع في المناطق الحضرية إلى جانب النمو غير المنضبط في كثير من الأحيان للأراضي الحضرية إلى التوسع في استخدامات الأراضي السكنية والتجارية والصناعية ووسائل النقل إلى ما كان في السابق أنظمة إيكولوجية داعمة للحياة مثل الأراضي الزراعية المنتجة والغابات والأراضي الرطبة ومناطق الحفاظ على الطبيعة؛ هذه العملية تسمى (الزحف العمراني Urban Sprawl).

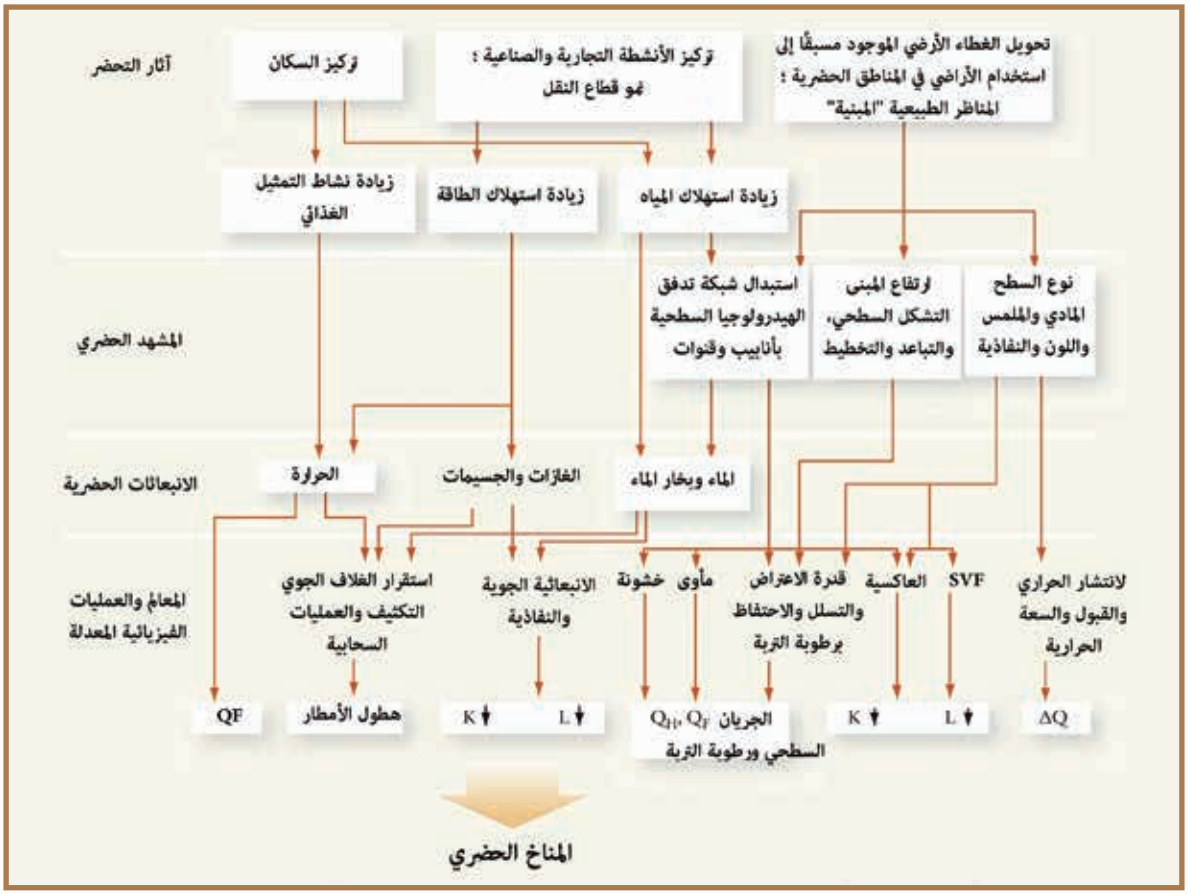
هذه الاستخدامات الحضرية الصناعية للأراضي لديها القدرة على التأثير على الصحة العامة ونوعية البيئة بشكل كبير من خلال زيادة الطلب على الطاقة والمواد والأراضي والمياه المحدودة وكذلك الحاجة إلى التعامل مع النفايات المتولدة والملوثات الناتجة التي يجري إطلاقها في الهواء والماء والتربة.

لقد أوقفت المباني تدفق الهواء إلى التربة، مما أدى إلى إنتاج مظلة مغلقة ودافئة وملوثة من الهواء فوقها. تتسبب النفايات البشرية والأسمدة التي يجري تصريفها في النهر في زيادة المغذيات، بينما تسحب الآبار المياه الجوفية بشكل

أسرع مما تم تجديده، مما يؤدي إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية تحت المدينة.

في مكسيكو سيتي، المكسيك، تسبب سحب المياه الجوفية بالفعل في غرق الأرض 10 أمتار في القرن الماضي. في المقابل، فإن ري الحقول الزراعية خارج المدينة يرفع منسوب المياه الجوفية هناك بشكل مصطنع. تميل المدينة أيضاً إلى تدهور النظم البيئية القريبة، مما يؤدي إلى انخفاض في التنوع البيولوجي.

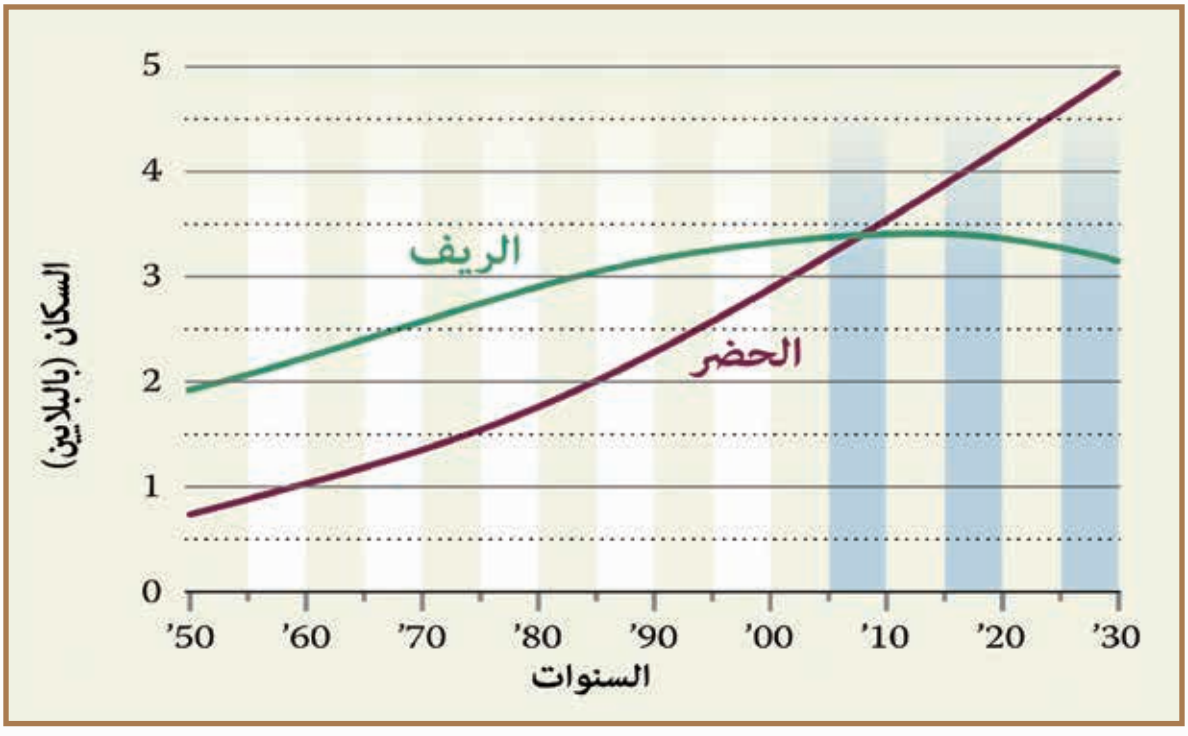
إن زيادة معدلات التحضر لها أيضا آثار عالمية مُهمَّة لتغيير الأنماط المناخية المحلية.



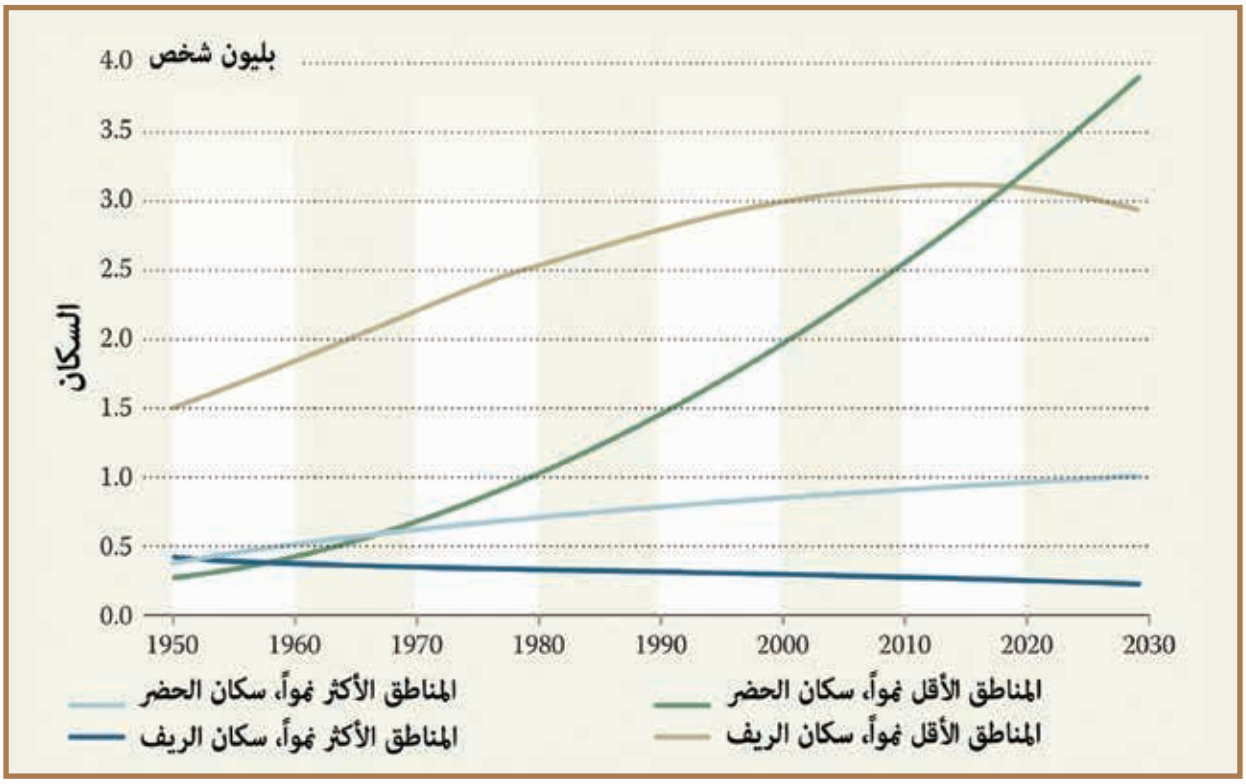
آثار التحضر على الإشعاع وتوازن الطاقة والمناخ المحلي.

• تزايـــد عـدد سـكان الحضر في العالـــم

كان عدد سكان الحضر في العالم 750 مليوناً في عام 1950، و 2.6 بليوناً في عام 1995، ومن المتوقع أن يرتفع إلى ما يقرب من 5 بلايين (60 % من سكان العالم) بحلول عام 2030. ستحدث كل هذه الزيادة تقريباً (< 80 %) في البلدان النامية. حيث زاد عدد سكان الحضر في العالم من 37 % من سكان العالم في عام 1975 إلى 47 % من سكان العالم في عام 2000. ومن المتوقع أن ترتفع الحصة الحضرية إلى 57 % في البلدان النامية بحلـــول عام 2025. ويتزايد عدد سكان الحضر في البلدان النامية في المتوسط في 3.5 % سنويّاً، مقارنةً بأقل من 1 % في الدول المتقدمة.



سكان الحضر والريف في العالم 1950-2030.



سكان المناطق الحضرية والريفية في المناطق الأكثر نموّاً والأقل نموّاً 1950-2030.

يعيش 60-80 % من الناس في البلدان المتقدمة بالفعل في المُدن. ويستهلك سكان المُدن الأثرياء (20 % من سكان العالم) أكثر من 70 % من الطاقة الأولية في العالم (النفط، والفحم، والغاز الطبيعي) وما يقرب من 80 % من المواد الخام.

يمكن أن يتجاوز النمو السكاني المدفوع بالهجرة توافر الوظائف؛ وتوريد المساكن قدرة البنية التحتية المادية مثل مرافق التخلص من النفايات والصرف الصحي وأنظمة توزيع المياه والكهرباء والطرائق؛ والخدمات الاجتماعية، مثل: الصحة والتعليم والضمان الاجتماعي. يؤدي عدم التوازن بين العرض والطلب إلى زيادة الفقر والتشرد والجريمة والتدهور البيئي وتدهور البنية التحتية وظروف الصحة العامة وندرة مياه الشرب والكهرباء.

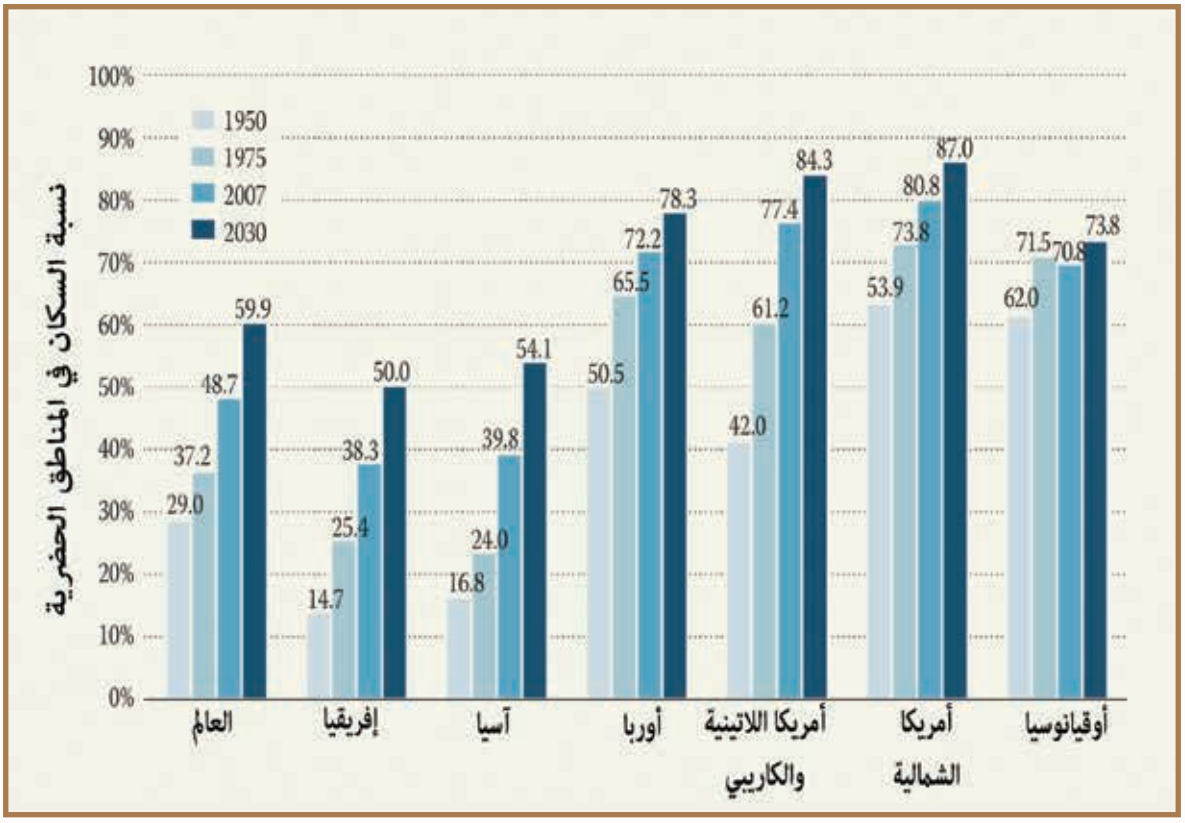
• توســـــيع المُـــــدن

سيستمر التوسع في المُدن، في الهيمنة في البلدان النامية. تراوح النمو السكاني بين عامي 1975 و2005 بين 2 و6 % تقريباً في البلدان النامية، بينما كان 1 % أو أقل في البلدان المتقدمة. تقع معظم المُدن ذات معدلات النمو الحضري المرتفعة في آسيا.

في فترة الأربعين عاماً بين 1975 و2015، كان من المتوقع أن تنمو لاغوس ودكا ثماني مرات؛ وسيزيد عدد سكان دلهي أكثر من أربعة أضعاف، وسوف يتضاعف ثلاث مرات في مومبيا وجاكرتا ويتضاعف في عدد من المُدن. ستحتاج المُدن الكبرى، كما يطلق عليها حالياً، إلى موارد بأعداد وكميات غير مسبوقة.

من المتوقع أن يصل عدد فقـــراء الحضر إلى بليون شخص على مـــدار الـ 25 عاماً القادمة، أي أكثر من ضعف القيمة الحالية. بين عامي 1950 و1990، توسع عدد سكان الحضـــر في البلدان النامية بأكثر من بليون نسمة وازداد بمقدار 2 بليون نسمة بحلول عام 2015، متجاوزاً عدد سكان الحضر في البلدان المتقدمة.

نحو 30-70 % من البليون شخص الذين هاجروا من القُرى إلى المناطق الحضرية في البلدان النامية يعيشون في ملاجئ بنوها بشكل غير قانوني (على أرض لا يملكونها) تسمى (مدن الصفيح Shanty Towns).



النسبة المئوية للسكان المقيمين في المناطق الحضرية حسب المنطقة الرئيسية، 1950 و1975 و2007 و2030.

حالياً، يفتقر 220 مليون من سكان الحضر في البلدان النامية إلى الوصول إلى مياه الشرب الصالحة للشرب، ولا يتمتع 350 مليوناً بإمكانية الوصول إلى الصرف الصحي الأساسي، ولا يمتلك بليون شخص خدمة جمع النفايات الصلبة. وفي أمريكا اللاتينية، حيث 70 % من السكان حضريون بالكامل، فإن 30 % من الأسر تفتقر إلى أنابيب المياه والصرف الصحي؛ في مُدن آسيا، حيث يفتقر 50 % إلى هذه المرافق، وفي إفريقيا، حيث المُدن أصغر ولكنها الأسرع نموًّا، يفتقر إليها 70 %.

• اســـــتخدام الأراضـــــي

هـذه الأنشـطة المحليـة والإقليميـة لهـا عواقـب عالميـة علـى رفاهيـة البشـر وبيئتهـم، مثـل فقـدان النظـم البيئيـة المنتجـة وانبعاثـات غـازات الاحتبـاس الحـراري Greenhouse Gas (GHG) التـي سـنتحدث عنهـا في جـزءٍ منفصـل مـن هـذه السلسـلة. لكـن النمـو السـكاني البشـري ليـس العامـل الأساسـي الوحيـد الـذي يحفـز الزحـف العمرانـي. مثـلاً، يتعـدى النمـو الحضـري في الولايـات المتحـدة علـى الأراضـي المحيطـة حيـث يهجـر السـكان المُـدن الداخليـة بسـبب تدهـور جودتهـم البيئيـة والانتقـال إلـى الضواحـي. بـين عامـي 1960 و 1990، زاد الزحـف العمرانـي في ولايـة أوهايـو بسـرعة أكبـر مـن النمـو السـكاني.

إجمـالاً، نمـت المسـاحة الحضريـة الإجماليـة في العالـم مـن 21 مليـون هكتـار في عـام 1982 إلـى 26 مليـون هكتـار في عـام 1992. وقـد أدى ذلـك إلـى تحويـل أكثـر بقليـل مـن 2 مليـون هكتـار مـن الأراضـي الحراجيـة، و1.5 مليـون هكتـار مـن الأراضـي الزراعيـة، و943500 هكتـار مـن المراعـي، و774000 هكتار من اسـتخدامات الأراضـي مـن المراعـي إلـى المناطـق الحضريـة في عقـد واحـد. في البلـدان الناميـة، يتحـول 476000 هكتـار مـن الأراضـي الصالحـة للزراعـة سـنويّاً إلـى اسـتخدامات (حضريـة – صناعيـة)، ممـا يهـدد أمنهـا الغذائـي.

بشـكل عـام، يـؤدي فقـدان الأراضـي الزراعيـة المنتجـة إلـى تكثيـف الإنتـاج الزراعـي علـى الأراضـي الصالحـة للزراعـة المتبقيـة مـع مدخـلات أعلـى مـن طاقـة الوقـود الأحفـوري والأسـمدة والمبيـدات ومياه الـري والمكننـة الزراعيـة.

بالإضافـة إلـى ذلـك، للتعويـض عـن فقـدان الأراضـي الزراعيـة، يجـري تحويـل النظـم الإيكولوجيـة الهامشـية (الأقـل ملاءمـة مـن الناحيـة الزراعيـة) ولكـن ذات

الأهمية البيئية الضعيفة بشكل متزايد لإنتاج الغذاء، مما يؤدي بدوره إلى تملح وتآكل التربة وفقدان التنوع البيولوجي ونضوب طبقات المياه الجوفية.

تعتبر النظم البيئية الساحلية، مثل: الأراضي الرطبة، ومسطحات المد والجزر، ومستنقعات المياه المالحة، ومستنقعات المنغروف، والشواطئ، والبحيرات، والكثبان الرملية، من أنواع النظم الإيكولوجية الهشَّة والمُهمَّة بيئيّاً التي يعيش فيها بالفعل سكان حضريون يبلغ عددهم بليون نسمة في جميع أنحاء العالم. مثلاً، في المائة وخمسين عاماً الماضية، أدى ملء المساحات المتعلقة بالتنمية الحضرية على طول خليج سان فرانسيسكو، وهو المصب الأكثر تحضراً في الولايات المتحدة، إلى تقليل الامتداد المكاني للخليج بمقدار الثلث وتسبب في خسارة 80 % من 81000 هكتار من المستنقعات الساحلية. وبالمثل، جرى ملء 4000 هكتار من البحيرات والمستنقعات في الهند لتوفير السكن لـ 100000 أسرة من الطبقة المتوسطة، مما تسبب في مشكلات الفيضانات المحلية وخسارة سنوية قدرها 25000 طن من إنتاج الأسماك.

يعد تجفيف الأراضي الرطبة؛ وبناء المنازل والمنتجعات والطرق؛ والتعبئة على طول الخط الساحلي هي الأنشطة الحضرية الرئيسية التي تهدد ما يقرب من نصف سواحل العالم. كما تعاني المناطق الساحلية من تأثيرات بشرية جسيمة بسبب الملوثات في الطرق والجريان السطحي في المناطق الحضرية. مع أنّ تركيبة هذه الملوثات ومصيرها ونقلها وسميتها تتغير مؤقتاً ومكانيّاً، فإن الجريان السطحي الملوث يؤدي إلى انخفاض جودة المسطحات المائية المستقبلة بالإضافة إلى زيادة إمكانية التراكم الأحيائي في السلسلة الغذائية.

• الاحتياجـــات الحضريـــة

في الوقت الحالي، تستخدم النظم البيئية (الصناعية - الحضرية) نحو 75 % من الموارد الطبيعية في العالم وتنتج نفايات ذات حجم مماثل، مع أنّها مقيدة مكانيّاً بنحو 2 % من سطح الأرض.

مثلاً، يستخدم برج سيرز في شيكاغو طاقة في يوم واحد أكثر من مدينة أمريكية متوسطة يبلغ عدد سكانها 150 ألف نسمة أو مدينة هندية يزيد عدد سكانها على مليون نسمة. يقترن الاستهلاك المتزايد للطاقة والمواد في المناطق (الحضرية-الصناعية) بزيادة استخراج ومعالجة موارد الطاقة والمعادن مع ما يصاحب ذلك من آثار ضارة على البيئة.

• النقـــل الحضـــري وآثـــاره

ترتبط أعداد متزايدة من الطرق والمركبات في حلقة ردود فعل إيجابية، تشمل العوامل التي تتحكم في عدد المركبات والطرق وتزايد عدد سكان الحضر، والثراء (زيادة مستويات الدخل)، والنظر في صناعة السيارات كمولد مُهمٍّ للنمو الاقتصادي، ونقص وسائل النقل العام، وتشتت أشكال المُدن.

تشكل البطالة الهيكلية العالية (غير الطوعية) والعمالة الوفيرة والرخيصة حوافز رئيسية لصناعات السيارات المحلية وعبر الوطنية لتكثيف تصنيع السيارات في البلدان النامية. والزيادة في أعداد المركبات المتوقعة فقط خلال العقدين المقبلين هي زيادة هائلة.

يمكن للسياسات الاقتصادية التي تنظر إلى زيادة نصيب الفرد من ملكية السيارات كوسيلة للنمو الاقتصادي الوطني أن تثبط أيضاً تصميم وانتشار

أنظمة النقل الحضري التي تسهل المشي وركوب الدراجات والبنية التحتية للنقل العام، مثل: الحافلات الصغيرة أو الكبيرة والسكك الحديدية ومترو الأنفاق.

يعزز الامتداد العمراني أيضاً الاعتماد على استهلاك السيارات والبنزين، ليحل محل الرحلات التي كانت تُجرى سابقاً سيراً على الأقدام أو ركوب الدراجات أو وسائل النقل العام. ينتج الشكل المشتت للمدن عن مجموعة من العوامل، بما في ذلك أنماط الإنتاج الاقتصادي المتغيرة، وانخفاض تكاليف النقل، والموارد الوفيرة، وقضايا تخطيط وسياسة الأراضي، وأسواق الأراضي.

أمريكا الشمالية هي أفضل مثال على الأنماط المتفرقة لاستخدامات الأراضي الحضرية: الأرض وفيرة، وتكاليف الوقود منخفضة حتى وقت قريب، وتوافر المساكن منخفضة السعر في الأطراف الحضرية (الضواحي) في الواقع يدعم استخدام السيارات، وقطاعات الخدمة تهيمن على الاقتصاد.

أدى الانتقال من الإنتاج الصناعي للتصنيع بالجملة إلى القطاعات القائمة على الخدمات والتكنولوجيا العالية استجابة للمنافسة الشديدة عالميّاً بين الدول إلى تقليل الاعتماد على أماكن العمل المركزية وخطط النقل.

وقد أدى هذا بدوره إلى تحويل فرص العمل إلى الضواحي، حيث انتقلت قطاعات الخدمات (العاصمة)، مما عزز اللامركزية في الحياة الحضرية وترك مراكز المُدن (وسط المدينة) على أنها (مدن أشباح)، وأعقب ذلك المحاولات الأخيرة لتنشيطها.

إنّ الاتجاهات الحالية كثيفة الاستخدام للطاقة وغير المتوافقة بيئيّاً للنمو الحضري ونمو النقل ليست مستدامة على المدى الطويل. ففي جميع أنحاء العالم، يُخصص ما لا يقل عن ثلث الأراضي الحضرية للطرق ومواقف السيارات واستخدامات الأراضي الأخرى المتعلقة بالسيارات.

في الولايات المتحدة، تُخصص مساحة أكبر من الأراضي للمواصلات وليس للإسكان. يُستخدم نحو 20 % من إجمالي الطاقة المنتجة عالميّاً للنقل من عام 1971 إلى عام 1992، وقد نما استخدام الطاقة في جميع أنحاء العالم في قطاع النقل وحده بمعدل 2.7 % سنويّاً.

زيادة استخدام السيارات هو السبب الرئيسي للاعتماد المتزايد على النفط الأجنبي من قِبل البلدان ذات إمدادات الطاقة الشحيحة. ويرتبط هذا بمسافات التنقل باستخدام السيارات وتوافر النقل الجماعي.

يستمر الطلب الحضري على الوقود، مثل: (البنزين، والديزل، والكهرباء، والغاز الطبيعي) في النمو مع تناقص الإمدادات. سيؤدي ارتفاع الأسعار وانقطاع الإمداد والتأثيرات البيئية المحلية والتراكمية للوقود الأحفوري في النهاية إلى تغيير عاداتنا في التنقل والاعتماد على مجموعة أكثر تنوعاً من حلول النقل من المركبات عالية الكفاءة إلى استخدام الوقود البديل، بما في ذلك الموارد المتجددة. ويعد تحسين كفاءة السيارة وعادات القيادة لدينا من أكثر الوسائل فعالية للحد من الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية المرتبطة بالبترول.

يرتبط الامتداد العمراني ارتباطاً وثيقاً بتطوير ممرات النقل والبنية التحتية المادية التي تتيح تبادل الأشخاص والسلع والخدمات الاقتصادية. مع زيادة التوسع المكاني للمناطق الحضرية، تزداد الحاجة إلى النقل والمساحة لاستيعابها.

تؤثر المناطق الحضرية المتنامية والمركبات الآلية بشكل سلبي في جودة وكمية الموارد الطبيعية من خلال ثلاث طرائق رئيسية:

- زيادة فقدان وتدهور الغابات والأراضي الزراعية الرئيسية والنظم الإيكولوجية الساحلية.

- زيادة استنفاد الوقود الأحفوري غير المتجدد والموارد المعدنية الأخرى.
- زيادة النفايات والانبعاثات المنبعثة في الهواء والماء والتربة.

يمكن تصور تأثير النقل في سياق أوسع للترابط بين النمو الاقتصادي وخدمات النقل والتأثيرات البيئية، الروابط التي تم وصفها بشكل مناسب بأنها (حلقة نمو مفرغة). نشير إلى أنّ هذه الدورة تميز المُدن في العالم النامي حيث يحدث النمو دون أي خطط (سريعاً وفوضويّاً). لا يمكن لبناء الطرق ومواقف السيارات المنظمة مواكبة هذا التحضر السريع. ومع إضافة مركبات جديدة كل يوم، يستمر استخدام المركبات القديمة التي تنتج الكثير من الغازات، والتي تسهم في التلوث.

حلقة نمو مفرغة

في البلدان المتقدمة، المشكلات مختلفة. حتى عندما يبدو نظام الطريق مناسباً، غالباً ما يغمره العدد الهائل من المركبات. مثلاً، في الولايات المتحـــدة، يُستخدم 6.2 مليون كيلومتر من الطرق العامة بوساطة 200 مليون مركبة، و 10 % من الطرق العامة تقع في الغابات الوطنية، ولها تأثيرات بيئية مباشرة في 15-20 % من مساحة الولايات المتحدة.

كما أن لها تأثيرات في مساحة الأرض مثل تجزئة الموائل؛ فقدان التنوع البيولوجي؛ اضطراب الدورة الهيدرولوجية؛ تلوث الهواء والتربة والماء؛ وتآكل التربة والترسيب. مع زيادة عدد السيارات المملوكة للقطاع الخاص، ينخفض توفير وتسهيل الوصول إلى الأشخاص والسلع والخدمات بسبب الطرق الحضرية المسدودة وأماكن وقوف السيارات المحدودة، والتي تسمى أيضاً الازدحام المروري. مثلاً، إذا استمرت الاتجاهات الحالية، فسوف ينفق سائقو السيارات الأمريكيون ما معدله سنتان من حياتهم يجلسون في ازدحام مروري.

النفايات (الحضرية-الصناعية) والدورات البيوجيوكيميائية

تؤدي زيادة مستويات استهلاك الوقود الأحفوري والمواد من قِبل سكان الحضر بشكل طبيعي إلى زيادة مستويات توليد النفايات في شكل غازات ومواد صلبة وسوائل. بالإضافة إلى ذلك، فإن التخلص غير المناسب من النفايات في المسطحات المائية، والمكبات المفتوحة، ومكبات النفايات ذات التصميم السيئ هو سبب رئيسي آخر لاضطراب الدورات الكيميائية الجيولوجية.

متوسط استهلاك السلع وتوليد النفايات في النظام البيئي الحضري.

تشكل دورات الغازات والرواسب والمياه وتدفقات الطاقة رابطاً ليس فقط بين الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف الصخري والمحيط الحيوي وإنما أيضاً بين المستويات المحلية والإقليمية والعالمية. لذلك، فإن إنتاج شكل واحد من أشكال النفايات لا يؤثر سلباً في المكون البيئي المعين الذي يسود فيه شكله فحسب، بل يؤثر أيضاً في المكونات البيئية الأخرى. إن توليد النفايات الذي يتجاوز القدرات الاستيعابية على المستويين المحلي والإقليمي قادر على تغيير الدورات البيوجيوكيميائية وميزانيات الطاقة على المستوى العالمي.

يُعـرف الإنتـاج الجماعـي لجميـع النفايـات الصلبـة والسـائلة والغازيـة باسـم (تدفق النفايات Waste Stream)، وهـو يشـمل النفايـات الزراعيـة والنفايات المعدنية والنفايـات الصناعيـة والعسـكرية، مثـلاً: (المـواد المشـعة والخطرة أو السـامة والرماد والسـخام والغبـار)، والنفايـات البلديـة بمـا في ذلـك المنتجـات الورقيـة ونفايـات الفنـاء، مثـل: (قصاصـات العشـب والأوراق والفرشـاة والفـروع) ومخلفـات الطعـام والبلاسـتيك والمعـادن والزجـاج والمنسـوجات والمطـاط. يمكـن تصنيـف تدفقـات النفايـات علـى أسـاس سـمية المـواد وثباتهـا وإمكانيـة التراكـم الأحيائـي والتضخـم الأحيائـي علـى أنهـا نفايـات غيـر خطـرة وخطيـرة ومشـعة.

تسـمى المـواد الكيميائيـة ذات الثبـات العالـي (التـي تتحلـل أحيائيّـاً ببـطء أو غيـر قابلـة للتحلـل)، والإمكانيـات العاليـة للتراكـم الأحيائـي والتضخـم الأحيائـي في السلسـلة الغذائيـة، والسـمية العاليـة بالملوثـات العضويـة وغيـر العضويـة الثابتـة وتشـمل مجموعـة متنوعـة مـن المركبـات العضويـة والمعـادن.

تشتمل النفايات الخطرة على النفايات التي تظهر إحدى السمات الآتية: القابلية للاشتعال (قابلة للاحتراق تلقائيّاً)، والتآكل، والتفاعلية (القابلية للانفجار والسمية عند مزجها بالماء)، والسمية (ضارة أو قاتلة عند تناولها أو امتصاصها). في الولايات المتحدة، يجري توليد أكثر من 13 بليون طن من تدفقات النفايات بشكل جماعي كل عام استجابة لزيادة عدد السكان والاستهلاك واستخدام المواد غير القابلة لإعادة التدوير، و 2 % (273 مليون طن) من الإجمالي تعتبر خطرة قانونيّاً.

تشـمل النفايـات غيـر الخطـرة النفايـات (الحضريـة- الصناعيـة) والنفايـات الزراعيـة التـي لا تتوافـق مـع تعريفـات الأنـواع الأخـرى مـن النفايـات. إن زيـادة الوعـي حـول طـرق إدارة النفايـات الخطـرة وغيـر الخطـرة بشـكل فعَّـال مـن حيـث التكلفـة، مـع الحـد الأدنـى مـن المخاطـر علـى صحـة الإنسـان والبيئـة، مـن شـأنه أن يسـاعد في الاسـتفادة مـن الإمكانـات الهائلـة للمراكـز الحضريـة العالميـة لتقليـل وإعـادة اسـتخدام وإعـادة تدويـر كميـة الطاقـة والمـواد المسـتهلكة.

• المخلفات السائلة

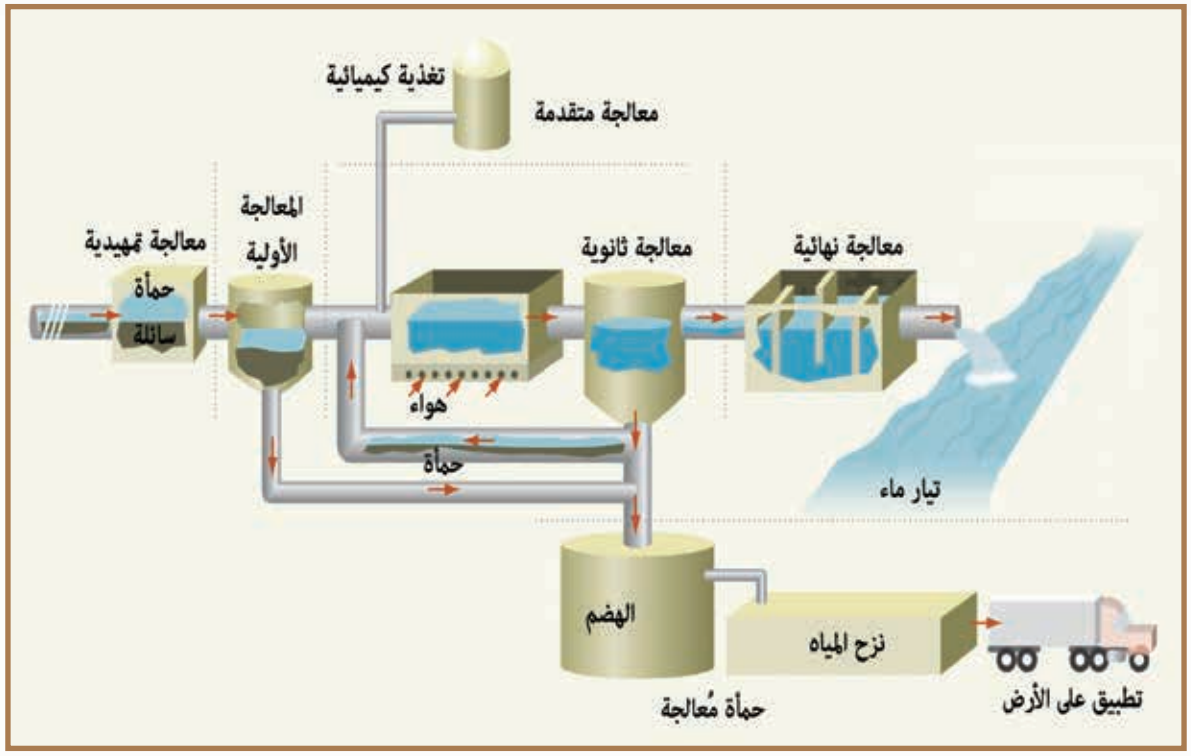
تتولد ثلاثة أنواع رئيسية من النفايات السائلة من خلال الأنشطة (الصناعية-الحضرية): مياه الصرف الصحي البلدية ومياه الصرف المنزلية ومياه الصرف الصناعية الناتجة. تتكون مياه الصرف الصحي البلدية من 98 % من المياه ومجموعة متنوعة من المركبات العضوية والسامة وعادة ما يجري تصريفها، سواء أكانت مُعالجة أم غير مُعالجة، في المسطحات المائية بالقُرْب من النظم البيئية الصناعية الحضرية بافتراض أن حل التلوث هو التخفيف.

مثلاً، تقوم مدينة ومقاطعة لوس أنجلوس بولاية كاليفورنيا بتصريف 2.6 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي يوميّاً في مصبات الأنهار والمياه الساحلية. ومع ذلك، فإن افتراض التخفيف لم يعد يعمل مع زيادة حجم النفايات التي يجري تصريفها بسبب القدرات الاستيعابية المحدودة للمياه المستقبلة واختلاطها غير الكامل بالمياه الساحلية.

الكائنات الحية الدقيقة المائية التي تتغذى على الملوثات العضوية التي يتم تصريفها في المسطحات المائية تستخدم الأكسجين في الماء، مما يؤدي إلى انخفاض مستويات الأكسجين في الماء، وغالباً ما يؤدي النيتروجين والفوسفور في مياه الصرف الصحي إلى تشكيل ما يُسمى بفرط المغذيات Eutrophication، حيث يؤدي نمو الطحالب على نطاق واسع إلى زيادة الطلب البيولوجي على الأكسجين.

تُستخدم المعالجات الميكانيكية والكيميائية والبيولوجية المناسبة لتنظيف مياه الصرف الصحي لإنتاج المياه الخارجة (النفايات السائلة) التي لن تضر بالبيئة، ويمكن أن تكون ذات جودة عالية (حتى صالحة للشرب).

مع اختلاف تصميمات محطات معالجة مياه الصرف الصحي، إلا أن النوع المحلي الأكثر شيوعاً يوفر معالجة ثانوية.



مخطط لمحطة معالجة ثانوية لمياه الصرف الصحي. حيث تدخل مياه الصرف الصحي إلى اليسار من خلال سلسلة من المصافي، تليها معالجة أولية حيث يُزال الزيت والشحوم من الأعلى وترسب المواد الصلبة.

يشمل العلاج الثانوي في هذا التصميم البكتيريا المعلقة المزودة بالأكسجين المحقون من الأسفل. يسمح المُرشّح للبكتيريا والجزيئات بالاستقرار على شكل حمأة، يُعاد تدوير جزء منها إلى الهاضم للحفاظ على لقاح كبير من البكتيريا هناك. يُهضم الباقي ويجفف من المياه قبل التخلص منه على الأرض كسماد.

تجري معالجة النفايات السائلة الموضحة (عادةً بالكلور) لقتل بكتيريا الأمراض والفيروسات التي يمكن أن تسبب أمراضاً خطيرة، مثل: التيفود والدوسنتاريا والإسهال والكوليرا قبل تصريفها في المياه السطحية. في بعض الأحيان، تجري معالجة إضافية (ثلاثية) لإزالة مركبات معينة، وبخاصة المغذيات الفوسفور والنيتروجين، قبل الكلورة والتفريغ.

من السهل نسبيّاً تحديد أو اكتشاف معظم الملوثات البلدية والصناعية أو (النفايات)، وعادةً ما يجري تفريغها من الأنبوب، ومن ثم تسمى مصادر التلوث النقطية؛ الملوثات من الزراعة، ومياه الصرف الصحي غير المجمعة، ومياه العواصف الحضرية هي مصادر غير محددة للتلوث.

• النفايات الصلبة

النفايات الصلبة، وتسمى أيضاً (القمامة) هي أي خليط من المواد الصلبة يجري التخلص منها، وينتج أكثر من 5 بلايين طن من النفايات الصلبة كل عام في الولايات المتحدة.

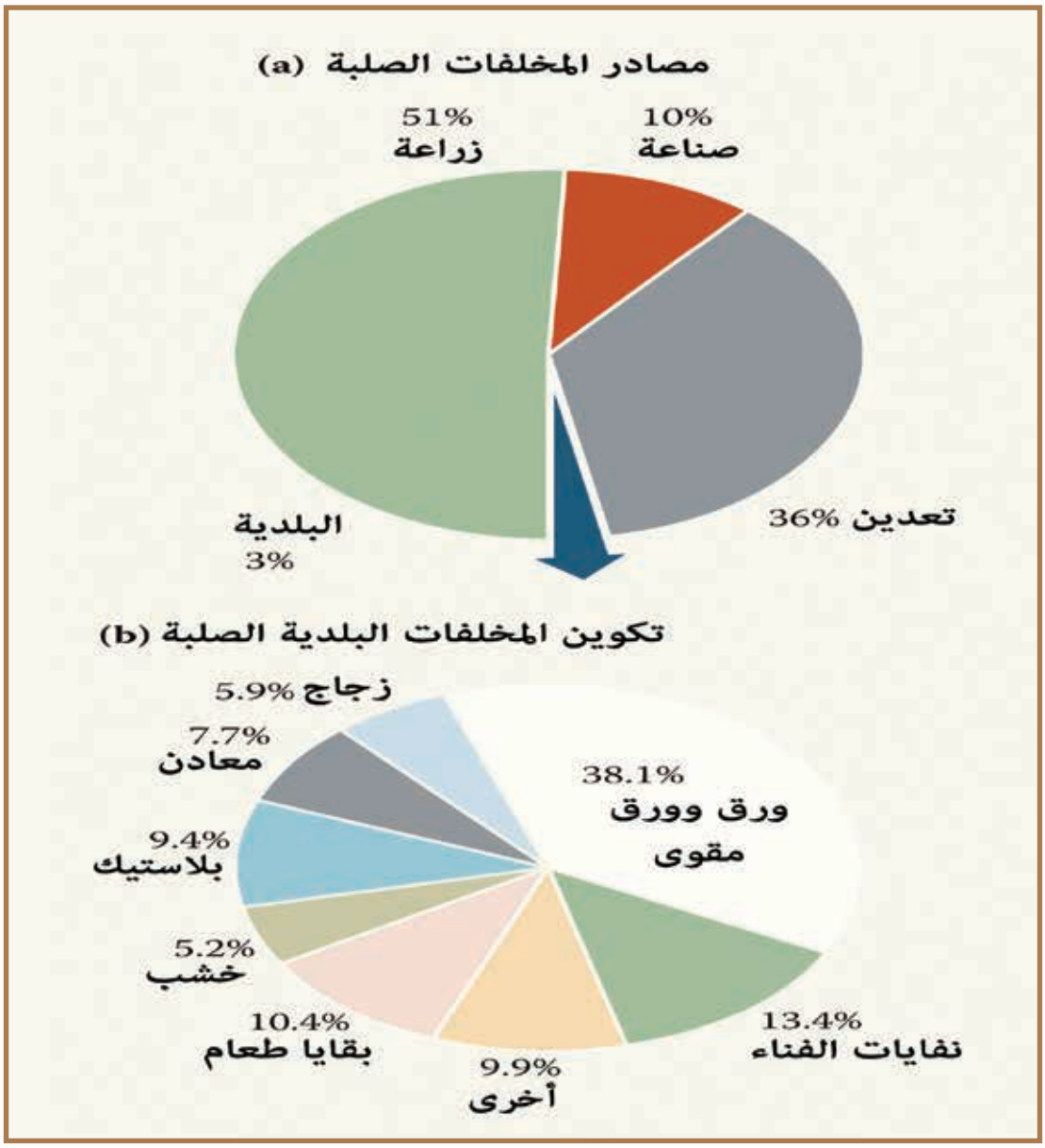
تُصنف مصادر توليد النفايات الصلبة بشكل عام ضمن مجموعتين عريضتين: النفايات غير البلدية (النفايات الزراعية، نفايات التعدين، والنفايات الصناعية) والنفايات البلدية.

في الولايات المتحدة، تشكل النفايات غير البلدية نحو 97 % من جميع النفايات الصلبة المتولدة؛ 51 % من الزراعة، و36 % من التعدين، و10 % من الصناعة، والباقي (3 %) يتكون من النفايات الصلبة البلدية.

تشير النفايات الصلبة البلدية (MSW) إلى المواد الصلبة التي يجري التخلص منها بوساطة القطاعات السكنية والتجارية والمؤسساتية، وقد زادت من 88 مليون طن في عام 1960 إلى 222 مليون طن في عام 2000 في الولايات المتحدة.

كتدبير مخفف، يجري التخلص من النفايات الصلبة في العالم من خلال ست طرق أساسية: الطمر، والدفن، والحرق، والتصدير، وإزالة السموم، والسماد. التخلص من النفايات عن طريق الطمر المكشوف في النظم البيئية المائية والبرية هو أكثر الوسائل بدائية وغير صحية للبشرية؛ كان هذا يمثل أكثر من نصف

النفايـات المتولـدة في الولايـات المتحـدة والعالـم. بـدت الأرض والمحيـط شاسـعين جدّاً لدرجة أنـه لـم يجـري التفكيـر كثيـراً في الآثـار البيئيـة للطمـر المكشـوف.



(a) مصادر النفايات الصلبة، وتكوين النفايات الصلبة البلدية (b) في الولايات المتحدة.

تستلزم كل طريقة للتخلص من النفايات اختيار موقع دفن نفايات مناسب كيميائيّاً حيويّاً للتخزين التكنولوجي للنفايات، ومن خلال تحليل بيئي للمواد اللاأحيائية، مثلاً: (الرياح السائدة؛ الاستقرار الجيولوجي وعدم النفاذية؛ والقُرْب من منسوب المياه الجوفية والمياه السطحية والكائنات الحية؛ والضعف البيئي) والعوامل الحيوية، مثل: (حماية صحة الإنسان والتنوع البيولوجي وسلسلة الغذاء) للموقع. ومع ذلك، فإن المواقع المناسبة محدودة لمدافن النفايات؛ القدرة الاستيعابية المحدودة لمدافن النفايات؛ الجريان السطحي والانبعاثات من مدافن النفايات؛ ومعارضة الناس لموقع مدافن النفايات القريبة تثبت أن التخفيف من مشكلات النفايات عن طريق التخلص من النفايات هو علاج قصير المدى.

إحدى القضايا المرتبطة بإنشاء مدافن النفايات هي إنتاج غاز الميثان داخلها. ينطلق غاز الميثان من التحلل اللاهوائي للمواد العضوية مع تراكم النفايات الصلبة، وما لم تُنشأ فتحات مناسبة لإطلاق الغاز في الغلاف الجوي، فقد ينتج عن ذلك انفجارات وحرائق وروائح كريهة.

تتكاثر الحيوانات والحشرات الناقلة للأمراض، مثل: (الجرذان، والذباب) في هذه المكبات المفتوحة، مما يسهل انتشار الأمراض بين البشر والحيوانات. الراشح (السائل الذي يتسرب من خلال النفايات الصلبة) ينتهي به المطاف في التربة والمياه الجوفية عن طريق الترشيح وفي المياه السطحية عن طريق الجريان السطحي.

تُدفن النفايات الصلبة الخطرة وغير الخطرة في مدافن نفايات آمنة ومدافن صحية، على التوالي، مبطنة بطبقات غير منفذة من الطين والبلاستيك لتقليل تلوث المياه السطحية والجوفية. حالياً، يجري التخلص من نحو 60 % من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة في مدافن قمامة صحية.

يبلغ متوسط عمر مدافن النفايات الصحية 10 سنوات لأن ظروف الحرمان من الأكسجين التي تنشأ في هذه المكبات تمنع تحلل المواد العضوية، وبالتالي تملأ سعتها الحجمية المحدودة بسرعة كبير. يؤدي تضخيم الأرباح، والفساد، والافتقار إلى القدرة واللوائح الكافية لمدافن النفايات إلى حدوث صادرات قانونية وغير قانونية للنفايات من المناطق. في مثال على الصادرات القانونية، تتلقى كندا والمكسيك ما يقرب من 98 % من صادرات الولايات المتحدة من النفايات الخطرة.

يمكن أيضاً أن يتخذ التخلص من النفايات السائلة الخطرة من الأرض شكل التخلص من الآبار العميقة (الحقن في تكوينات جيولوجية جافة مسامية معزولة عن المياه الجوفية العلوية)، والتي تمثل 90 % من التخلص، أو حجز التربة (حُفر أو بِرَك)، والتي، جنباً إلى جنبٍ مع مدافن النفايات الآمنة، تمثل 9% من التخلص في الولايات المتحدة.

زاد حرق النفايات الصلبة البلدية (تسمى الحرق) كوسيلة لتقليل احتياجات مدافن النفايات وكتلة النفايات بنسبة تصل إلى 90 % من حيث الحجم و 75 % من حيث الوزن، مما يترك الكثير من النفايات الصلبة على شكل رماد قاع متبقي. في الوقت نفسه، يتسبب الحرق في تلوث الهواء المكثف عن طريق إطلاق الغازات السامة وغازات الدفيئة والرماد المتطاير والجسيمات الدقيقة (الهباء الجوي) التي تركز العديد من المواد السامة والمعادن النزرة من النفايات.

تتطلب مداخن الدخان أجهزة للتحكم في تلوث الهواء، مثلاً: (أجهزة غسل الحجر الجيري لإزالة ثاني أكسيد الكبريت والمرسبات الكهروستاتيكية لإزالة الرماد المتطاير) والمساهمة في تقليل الرؤية (الضباب) والصحة العامة في المناطق الحضرية. يشتمل الحرق على 17 % من جميع عمليات التخلص من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة.

يمكن تحويل النفايات الصلبة القابلة للتحلل الحيوي، مثل: (النفايات الزراعية ونفايات الفناء الخلفي للمنازل) عن طريق العمل الميكروبي إلى دبال

التربة، والمعروف باسم (التسميد Composting)؛ يمكن أن يخدم هذا أغراض تعزيز إنتاجية التربة إذا جرى التغلب على مشكلات المواد السامة والرائحة. يسمى تحويل النفايات إلى مواد أقل خطورة أو غير خطرة بوسائل التكنولوجيا الحيوية (إزالة السموم Detoxification).

ومع ذلك، ما لم يتوخّ الحذر، فإن هذه الأساليب تشكل تهديدات كبيرة للحيوان والنبات وصحة الإنسان إذا سمح لها بإدخال السموم أو المنتجات الثانوية السامة في السلسلة الغذائية من خلال التراكم والتضخم الأحيائي.

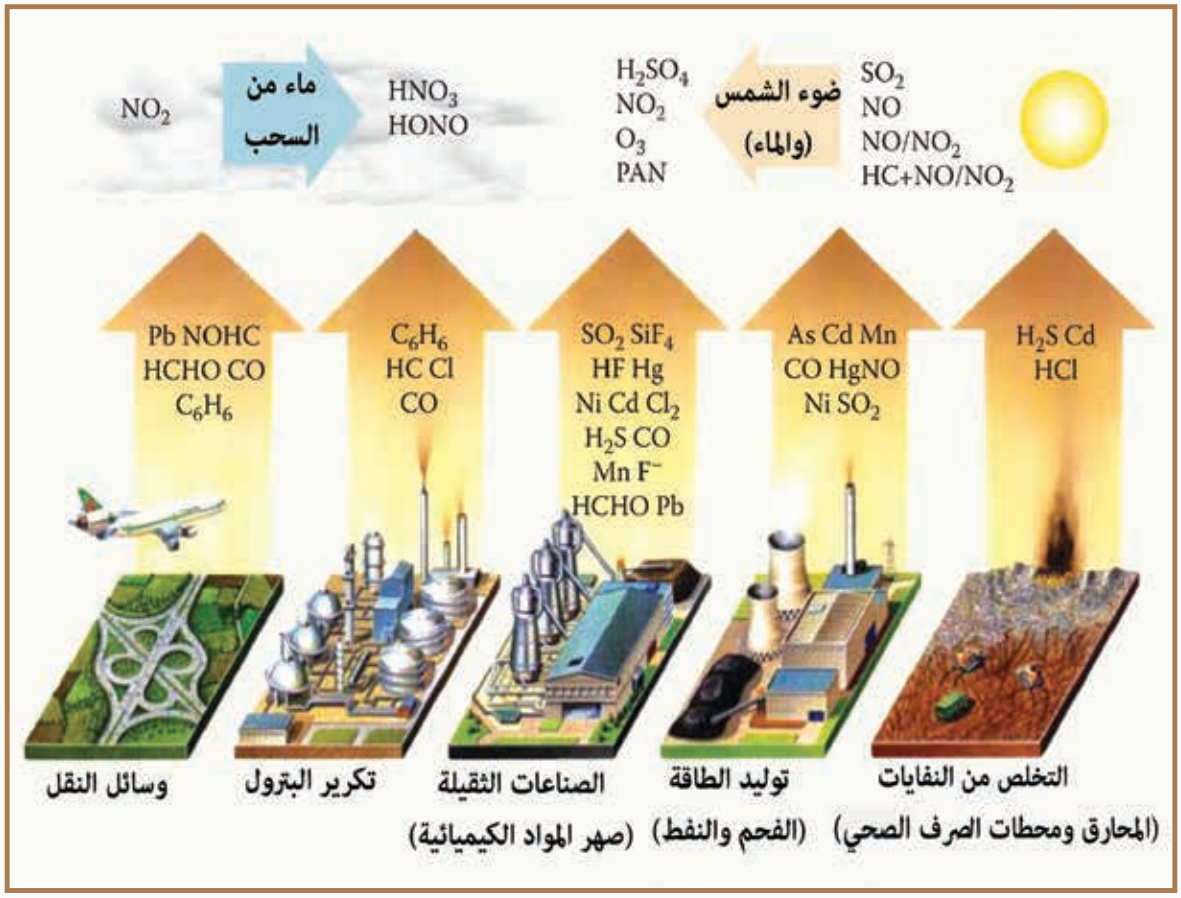
يتسبب التخلص من النفايات في صراعات مجتمعية ومظالم بيئية عندما لا يرغب الناس في مواقع التخلص بالقُرْب من المكان الذي يعيشون فيه – والمعروفة باسم ليست في ساحتي الخلفية (NIMBY) واستجابات أو متلازمات استخدامات الأراضي غير المرغوب فيها محليّاً (LULUs) – بسبب مخاوف صحية في الوقت الحاضر وأجيال المستقبل وتراجع قيم الممتلكات.

لهذه الأسباب، انخفض عدد مدافن النفايات العاملة في الولايات المتحدة من 20000 في عام 1973 إلى 2400 في عام 1996، لكن سعتها بقيت كما هي بسبب الحجم الكبير لمدافن النفايات الحالية. حملت ملوثات الهواء من قطاع النقل المُدن الأمريكية الأكثر انتشاراً والآسيوية الأقل انبعاثات.

• المنـــــاخ الحضـــري وملوثـــــات الهـــواء

النقـل والأنشـطة الصناعيـة والتخلـص مـن النفايـات وتوليـد الطاقـة كلهـا مصـادر رئيسـية لتلـوث الهـواء، وتنتـج مـواد، مثـل: (أكاسـيد الكربـون والنيتروجـين والكبريـت وثانـي أكسـيد الكربـون والميثـان). تعتبـر مدافـن النفايـات أكبـر مصـدر (36 %) للميثـــــان (CH4)، وأحـد أهـم غـازات الدفيئـة، وتنجـــم غالبيـة انبعاثـات الميثـان (90-95 %) مـن مدافـن النفايـات الصلبـة البلديـة (MSW)، مـع مـا تبقـى مـن التخلـص مـن النفايـات الصناعيـة في الولايـات المتحـدة.

تشـمل ملوثـات الهـواء الأوليـة الأكثـر شـيوعاً في المناطـق الحضريـة أكاسـيد الكبريـت (SO2 و SO3) وأكاسـيد النيتروجـين (NO و NO2 و N2O) وأكاسـيد الكربـون (CO2 و CO) والهبـاء الجـوي (الجسـيمات) والهيدروكربونـات (CH4 و C6H6). علـى المسـتوى المحلـي، تسـهم انبعاثـات الشـاحنات بنسـبة 12 % مـن انبعاثـات غـازات الدفيئـة بشـرية المنشـأ عالميّـاً.



الأسباب الرئيسية الخمسة لملوثات الهواء الكيميائية في المناطق الحضرية.

قطاع النقل، في الوقت الحاضر، مسؤول عن نحو 20 و 40 % من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين العالمية، على التوالي، أثناء إنشاء الطرق واستخدامها وصيانتها.

في مراكز المُدن، تمثل حركة المرور على الطرق 90-95 % من أول أكسيد الكربون (CO) والرصاص (Pb)، و 60-70 % من أكاسيد النيتروجين (NOx) والهيدروكربونات (HCs) وحصة كبيرة من الجسيمات.

يتأثـر السـكان البشـريون، وبخاصـة الأطفـال وكبـار السـن، الذيـن يتعرضـون لتركيـزات عاليـة مـن الهبـاء الجـوي بشـكل سـلبي نتيجـة لتفاقـم أمـراض الجهـاز التنفسـي والقلـب والأوعيـة الدمويـة الموجـودة، والتغيـرات في جهاز المناعة في الجسـم ضـد المـواد الغريبـة، وتلـف أنسـجة الرئـة والتسـرطن والمـوت المبكـر.

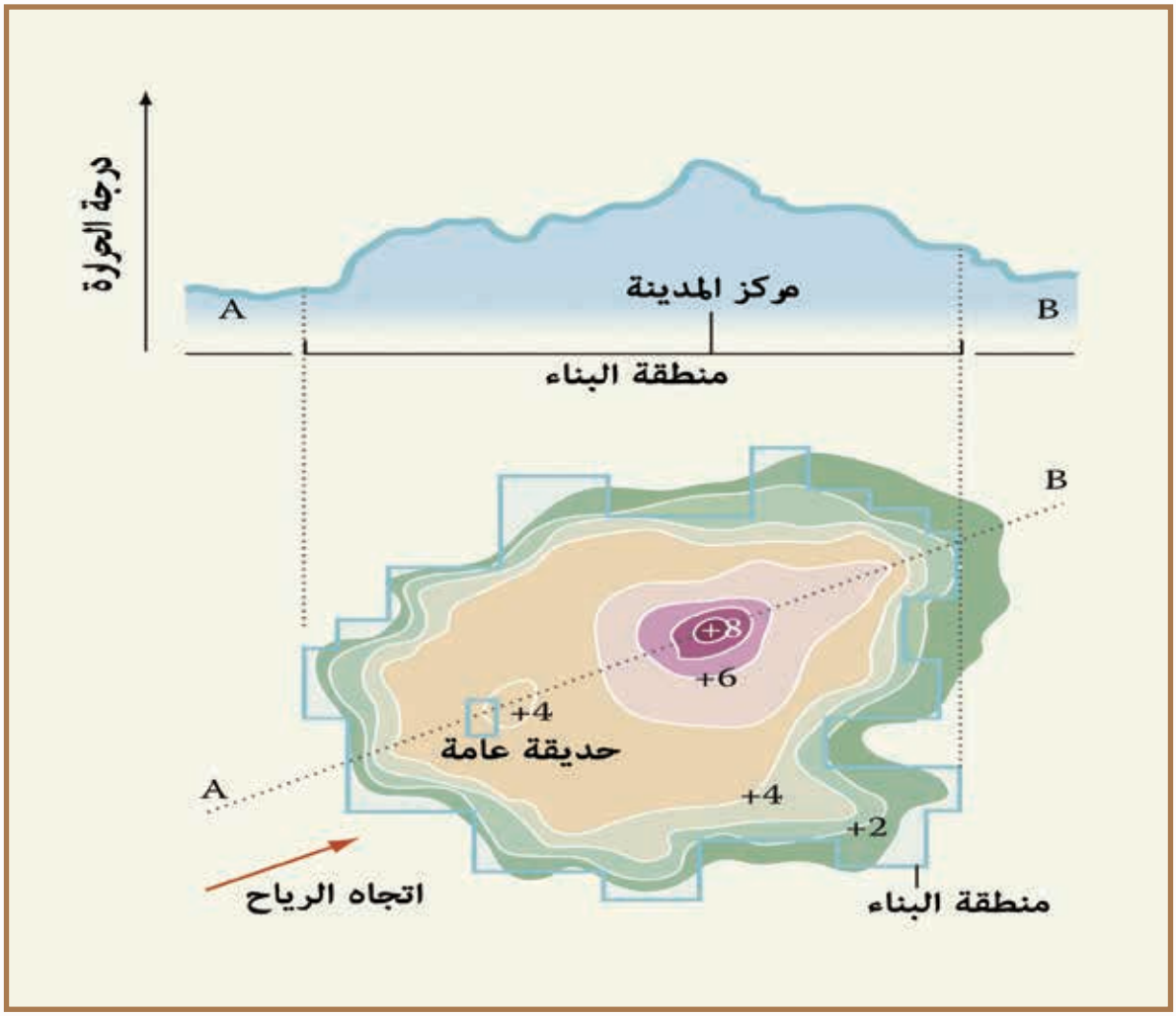
تختلف النظم البيئية (الحضرية –الصناعية) بشكل مميز عن تلك الموجودة في النظم البيئية الزراعية وشبه الطبيعية / الطبيعية المحيطة. يتميز المناخ الحضري بارتفاع متوسط درجات حرارة الهواء ومستويات تلوث الهواء، والجريان السريع لهطول الأمطار بسبب الأسطح غير النفاذة، والتبخر العالي في المناطق المبنية.

يعد تلوّث الهواء وتقليل الغطاء النباتي وزيادة انبعاثات الحرارة من العوامل الرئيسية التي تسبب الانحرافات الحرارية في المناخات الحضرية مثل تأثيرات الجزر الحرارية الحضرية والانعكاسات الحرارية.

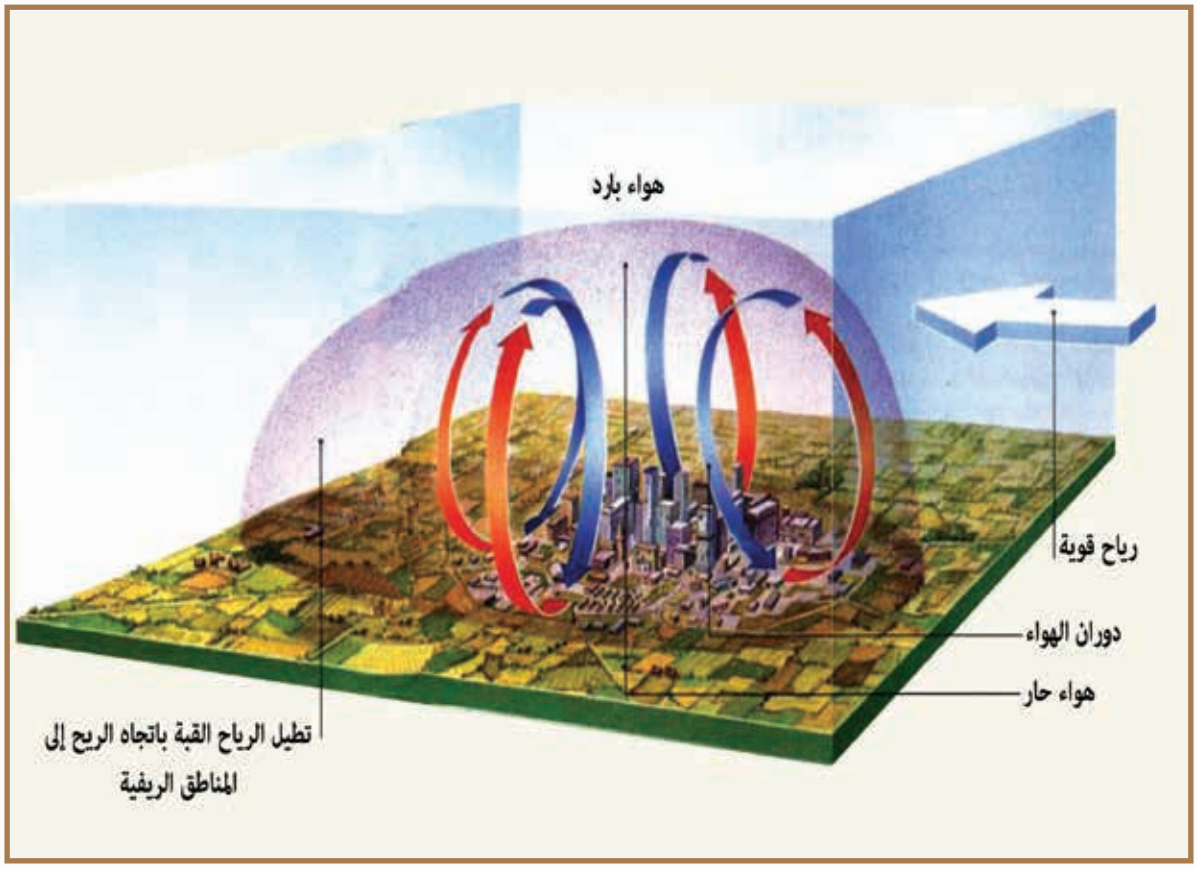
يشير مصطلح (جزر الحرارة الحضرية Urban heat islands)، الذي لاحظه لوك هوارد لأول مرة في عام 1833، إلى درجات حرارة الهواء المرتفعة في المُدن بالنسبة إلى المناطق الريفية المحيطة. تحبس قبة الحرارة فوق المُدن الملوثات العالقة والغازية، مما يزيد من تلوث الهواء الحضري بما يصل إلى 1000 مرة.

يمكن للرياح أن تمد القبة في اتجاه الريح إلى المناطق الريفية، وبالتالي تخلق جزيرة حرارية إقليمية. تحدث الانقلابات الحرارية عندما يحبس الهواء البارد تحت طبقة من الهواء الدافئ وبالتالي يمنع الهواء الملوث من الارتفاع على عكس الوضع الطبيعي الذي يرتفع فيه الهواء الساخن إلى الغلاف الجوي حاملاً الملوثات معه.

الميـزات الطبوغرافيـة التـي تمنـع دوران الهـواء الطبيعـي، مثـل: (الوديـان والسـواحل وجوانـب الجبـال المواجهـة للريـح) وجـزر الحـرارة الحضريـة تزيـد مـن احتماليـة حـدوث الانقلابـات الحراريـة في المناطـق الحضريـة.



بنية درجة حرارة الهواء في جزيرة حرارة حضرية.



تشكيل جزيرة حرارة إقليمية.

• الغطـــــاء النباتي الحضـــــري

تـؤدي المتنزهـات الحضريـة والمسـاحات المفتوحـة مثـل السـاحات الخلفيـة وواجهـات الأنهـار والمتنزهـات المجـاورة دوراً مُهمّـاً ليـس فقـط في تحسـين الظـروف البيئيـة الحضريـة ولكـن أيضـاً في جعـل سـكان المناطـق الحضريـة الذيـن يتزايـد عددهـم بسـرعة يشـعرون بأنهـم مرتبطـون بالبيئـة.

توجد الأشجار والشجيرات والأعشاب التي تنمو بشكل طبيعي وتزرع في المساحات المفتوحة في المناطق الحضرية وتشكل نباتات حضرية تتراوح من بقايا الموائل الطبيعية ومناطق الاستجمام البلدية والأحزمة الخضراء والممرات الخضراء والحدائق إلى المقابر والأراضي الخالية المهجورة.

بشكل عام، يمكن تصنيف الغطاء النباتي الحضري، بناءً على أنواع استخدام الأراضي الحضرية، كمناطق سكنية ومؤسساتية وتجارية ومواقع صناعية وأراض شاغرة داخل المدينة؛ والمناطق الترفيهية؛ والمقابر، وممرات المرور، مثل: (الطرقً، والسكك الحديدية، والممرات المائية)؛ ومناطق التخلص من النفايات؛ وأجسام مائية؛ والغابات والحقول والبساتين. للنباتات الحضرية العديد من الوظائف البيئية والنفسية التي تعمل داخل المُدن وتتجاوز أيضاً حدودها السياسية.

تشمل الخدمات البيئية للنباتات الحضرية إنتاج الأكسجين والمأوى والغذاء للحيوانات، والتنوع البيولوجي، والترابط بين المناطق الحضرية والريفية عن طريق الهجرة والممرات المنتشرة، والمناطق العازلة والسيطرة على الامتداد الحضري، وامتصاص ملوثات الهواء والضوضاء، واستيعاب المياه وملوثات التربة، عزل غازات الاحتباس الحراري، واعتدال الظروف المناخية المتطرفة، والتحكم في مياه الأمطار، وتثبيت التربة، والاحتفاظ بالمياه، والمؤشرات البيولوجية لعلامات التغير البيئي.

تشمل الوظائف النفسية منع اغتراب الناس عن الطبيعة، والتنمية المعرفية وتعليم الناس بخاصة (الأطفال) عن الطبيعة، والفرص الترفيهية لجميع الفئات العمرية، والتمثيل الرمزي للمُدن، والمتعة الجمالية، والإثراء الروحي. ينتج تدهور وفقدان الغطاء النباتي الحضري عموماً عن عدم وجود مناهج تكاملية بيئية وتنفيذها في التخطيط الحضري والإقليمي.

من ناحية أخرى، يتطلب إدخال الأنواع الغريبة غير المناسبة للظروف المناخية

في المناطق الحضرية مدخلات أعلى من الأسمدة والمبيدات الحشرية والمياه. ممارسات سوء الإدارة هذه لا تزيد من تلوث الهواء والماء والتربة فحسب، بل تزيد أيضاً من تكاليف الحفاظ على الغطاء النباتي الحضري.

يركز عدد قليل من المُدن في العالم حالياً على المحاسبة الكمية على استخدام الموارد والبصمة البيئية. وقد أحرزت مدينة لندن تقدماً كبيراً في هذا الصدد.

• حلول مشكلة استخدام الأراضي للتحضر والنقل

- التخفيف من استهلاك المواد التي تطرح نفايات كثيرة.
- الوقاية طويلة الأجل من الناحية البيئية وتوفير الحلول الأكثر فعالية من الناحية الاقتصادية للمشكلات البيئية.
- اتبع العناصر الثلاثة لاستخدام الموارد: التقليل، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير.
- اسأل نفسك ما إذا كنت حقّاً بحاجة إلى عنصر معين، ورفض التغليف حيثما أمكن ذلك.
- قم باستئجار أو استعارة أو مقايضة السلع والخدمات عندما يكون ذلك ممكناً، وشراء السلع المستعملة، والتبرع بالعناصر غير المستخدمة أو بيعها.
- قم بشراء الأشياء التي يمكن إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها أو تحويلها إلى سماد، وتأكد من إعادة استخدامها وإعادة تدويرها وتحويلها إلى سماد.
- تجنب استخدام المستهلكات ولا تستخدم الورق المهمل والأطباق البلاستيكية والأكواب وأدوات الأكل والأشياء الأخرى، التي يمكن

التخلص منها عند توفر إصدارات قابلة لإعادة الاستخدام أو قابلة لإعادة التعبئة.

- استخدم البريد الإلكتروني أو الرسائل النصية بدلاً من البريد الورقي التقليدي.
- اقرأ الصحف والمجلات على الإنترنت واقرأ الكتب الإلكترونية.
- شراء المنتجات بكميات كبيرة أو مركزة كلما أمكن ذلك.
- اشترِ المشروبات في عبوات زجاجية قابلة لإعادة التعبئة بدلاً من العلب أو الزجاجات القابلة للتخلص.
- استخدم علب طعام بلاستيكية أو معدنية قابلة لإعادة الاستخدام.
- احمل السندويشات وقم بتخزين الطعام المبرد في عبوات قابلة لإعادة الاستخدام بدلاً من تغليفها بورق الألومنيوم أو غلاف بلاستيكي.
- استخدم البطاريات القابلة لإعادة الشحن وأعد تدويرها عند انتهاء عمرها الإنتاجي.
- عند تناول الطعام بالخارج، أحضر أدواتك الفضية والمناديل القابلة لإعادة الاستخدام.
- أحضر حاويتك القابلة لإعادة الاستخدام لأطعمة تناول الطعام في الخارج أو بقايا وجبات المطاعم.
- احمل البقالة والأشياء الأخرى في سلة قابلة لإعادة الاستخدام أو كيس من القماش.
- قم بشراء الأثاث المستعمل وأجهزة الكمبيوتر والسيارات والأشياء الأخرى بدلاً من شراء جديدة.
- التخلي عن العناصر التي لم تعد تستخدمها أو بيعها.

مشـــكلة المـــــوارد المائيـــــة

إن محتوى الماء الكلي في جسم الإنسان 65 %، ويشكل 83 % من دم وكلى الإنسان و 75 % من الدماغ. تفقد كل من النباتات والحيوانات الماء، الأول من خلال النتح والأخير من خلال التعرّق ووظائف التمثيل الغذائي الأخرى. لكن يجب تجديد هذه الخسائر باستمرار.

بالنسبة للبشر الذين يعيشون في المناخات المعتدلة حيث المياه العذبة وفيرة على ما يبدو - أي يزيد التبخر على هطول الأمطار- كانت جودة المياه مصدر القلق المباشر. هذه سمة من سمات المناطق الواقعة شرق خط الطول 100 (الحدود الطولية التي تحدد الحدود الغربية لأوكلاهوما)، والتي تقترب من الانتقال من شرق الولايات المتحدة الرطب إلى غربها الجاف. وبالتالي، فقد جرى توجيه التشريع الأمريكي نحو تحديد المعايير ثم تحسينها لتحقيق إمدادات مياه نظيفة بما يكفي للاستهلاك البشري والاستجمام (ما يسمى بالهدف (القابل للسباحة) لقانون المياه النظيفة).

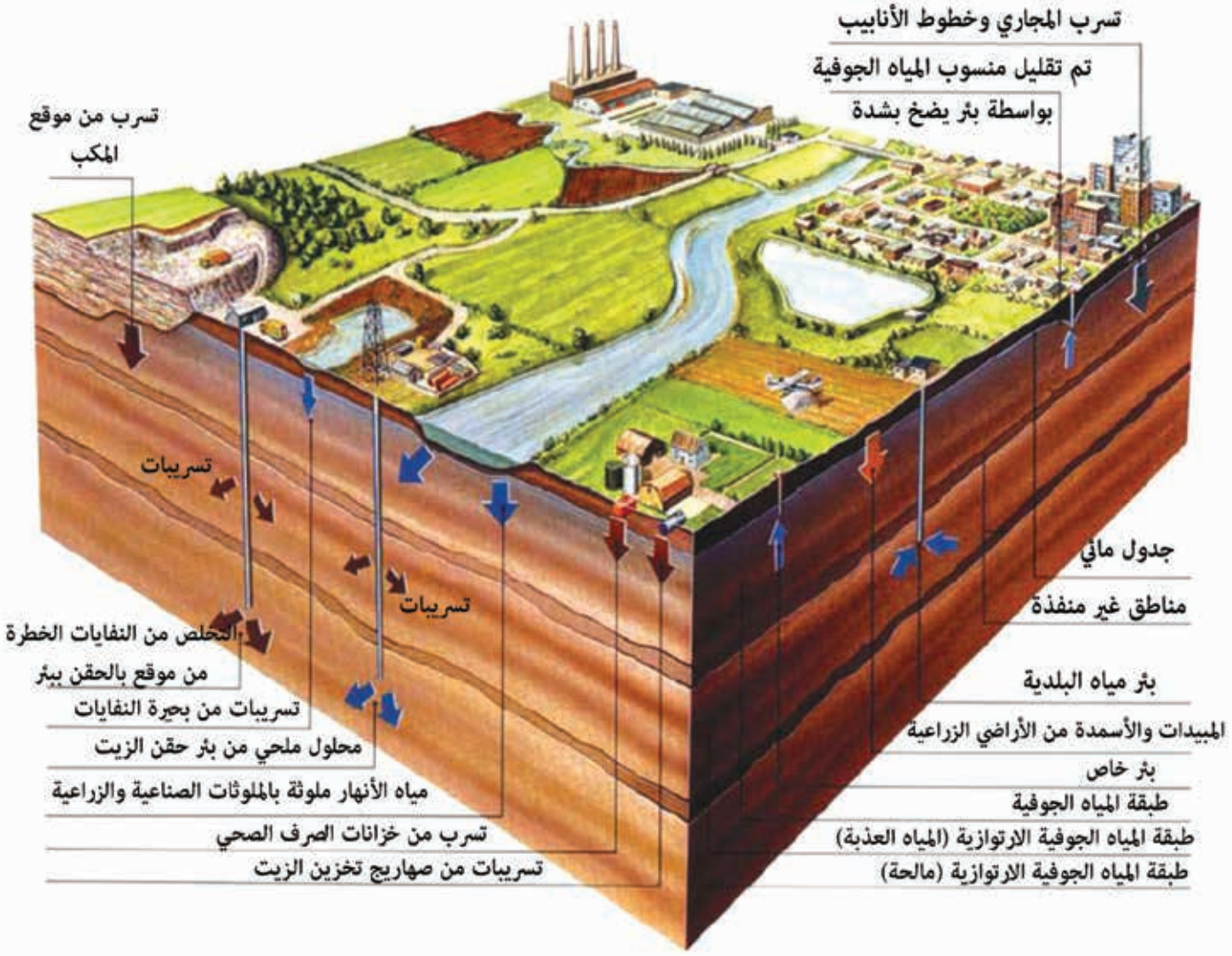
ومع ذلك، فإن الغالبية العظمى من البشر في العالم والماشية التي تدعمها، مثل: (منطقة الولايات المتحدة، غرب خط الطول 100) يجب أن تتعامل ليس فقط مع جودة المياه ولكن أيضاً مع توفرها؛ ليس هناك ما يكفي منها. بالنسبة لمنطقة واحدة من العالم، غنية ماليّاً في الوقت الحاضر، فقد صار العالم -في السنوات القليلة الماضية- مدركاً بشكل مؤلم للصراع على موارد النفط في الشرق الأوسط. لقد أدى الصراع إلى حجب المشكلة الأقدم والأكثر حدة في المنطقة المتمثلة في ندرة الموارد. يكمن وراء الرغبة الشديدة في الحصول على النفط العطش المتزايد للماء. السائلان لا يمتزجان، وبما أن النفط أخف من الاثنين وأكثر قيمة ظاهريّاً، فإنه يميل إلى أن يطفو على قمة انتباه الجمهور.

ولكن مع أنّ بعض دول الشرق الأوسط غنية بالنفط، إلا أن جميعها تقريباً فقيرة بالمياه، وتزداد فقراً.

لن يضمن أي تشريع أو (رقابة تنظيمية)، مع أساس بيئي قوي، إمدادات المياه في المناطق التي تعاني ندرتها الشديدة. كلا الجانبين - الجودة والكمية - مهمان جدّاً.

• استخدام المياه الجوفية

يؤدي السحب أو الضخ الزائد عن معدل إعادة تغذية الخزان الجوفي إلى انخفاض تدريجي في منسوب المياه الجوفية (يسمى تعدين المياه Water Mining)، مما يؤدي إلى إنشاء منطقة خالية من المياه تُعرف باسم (مخروط الانخفاض Cone of Depression) على المدى القصير واستنزاف طبقات المياه الجوفية على المدى الطويل.



طرائق استخراج المياه الجوفية وتلوثها.

يهدد نضوب طبقة المياه الجوفية أهم مناطق إنتاج الغذاء في العالم، بما في ذلك السهل الشمالي للصين، والبنجاب في الهند، ومناطق واسعة من شمال إفريقيا والشرق الأوسط وجنوب شرق آسيا وغرب الولايات المتحدة، مما يؤدي إلى تفاقم انعدام الأمن الغذائي العالمي.

يؤدي الاستخراج المفرط للمياه العذبة في المناطق الساحلية إلى انتقال المياه المالحة إلى طبقات المياه الجوفية، وهي عملية تسمى (تسرب المياه المالحة Saltwater Intrusion). بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي استنفاد الخزان الجوفي من الصخور المسامية إلى غرق مستوى السطح بمرور الوقت، وهو ما يسمى (الهبوط Subsidence). مثلاً، أدى نضوب طبقة المياه الجوفية في وادي سان خواكين بكاليفورنيا إلى هبوط يبلغ 10 أمتار في بعض المناطق في الخمسين عاماً الماضية.

لقد انخفضت مستويات المياه في المسطحات المائية الداخلية مثل بحيرة تشاد بشكل كبير بسبب الاستخدام المكثف لمياهها للري الزراعي. المعلومات التي جرى جمعها عن البحر الميت (فلسطين والأردن) مفيدة بشكل خاصٍّ. كما نعلم أنه لا يوجد منفذ للبحر الميت، لذا فإن المياه التي تدخله (بشكل أساسي من نهر الأردن تدخل في نهايته الشمالية) تتبخر، تاركة المياه المالحة، بخاصة في الحوض الجنوبي الضحل. في الواقع، جرى استخدام برك التبخير الضحلة التي حُفرت هناك في الثلاثينيات لإنتاج الملح. أدى تحويل مياه نهر الأردن للري الزراعي إلى تقليل التدفق إلى البحر الميت، لذلك انخفض منسوبه 20 متراً منذ عام 1930. وتصل المياه حالياً إلى أحواض التبخير فقط؛ لأنها تُضخ من الحوض الشمالي الأعمق.

من الواضح أن الحرمان من مياه الأنهار يؤدي إلى انخفاض منسوب المياه في الأنهار وانخفاض مناسيب المياه الجوفية، وزيادة الملوحة، وتجفيف الأراضي الرطبة، وتحويل المياه من الحياة البرية، وتدهور وفقدان الحياة المائية.

• الصـــــراع على الميـــــاه

تماماً مثل الهواء، يعد الماء (بخاصة في الأنهار) مورداً طبيعيّاً عابراً للحدود تشترك فيه مناطق المنبع والمصب. التنسيق والتعاون بين المناطق والدول التي تستخدم هذه الموارد ضروريان للحفاظ على الموارد وحمايتها، لا سِيَّما في البلدان والمناطق ذات المياه المحدودة. من الأمثلة على النزاعات الدولية على الموارد المائية في ثلاثة أحواض أنهار مشتركة في الشرق الأوسط: نهر الأردن، الذي يتدفق بين الأردن وسوريا وفلسطين المحتلة. ونهر دجلة والفرات، الذي يتدفق من تركيا عبر سوريا إلى العراق؛ والنيل الذي تشترك فيه مصر والسودان وإثيوبيا. في جنوب آسيا، تشتعل الصراعات الدولية في حوض نهر السند بين الهند وباكستان وحوض الغانج بين الهند وبنغلاديش. من بين تلك المشروعات، حظي مشروع جنوب شرق الأناضول في تركيا (المسمى GAP) على اسم (Guneydogu Anadolu Projesi) باهتمام كبير. وعند اكتمال المشروع، الذي تبلغ تكلفته 20 بليون دولار، سيكون فيه 88 سداً ومياه كافية لري 2 مليون هكتار.

بالإضافة إلى النزاعات الدولية في جميع أنحاء العالم، تعتبر ندرة المياه مصدراً للنزاعات على استخدام الأراضي والمنافسة بسبب عدم كفاية الفهم والتقييم للعواقب الاجتماعية والبيئية والاقتصادية، فضلاً عن دوافع تعظيم الأرباح التي تؤدي في النهاية إلى التدهور. الموارد المائية على المستويات المحلية والإقليمية.

في عام 1995، كان نحو 40 % من 613 مدينة في العالم تضم كل منها أكثر من 500000 نسمة تقع في المناطق الساحلية، و75 % من المُدن الضخمة (تلك التي تضم أكثر من 10 ملايين نسمة) كانت ساحلية. عندما يقترن ذلك بنقص البُنى

التحتية المادية وسوء الإدارة، فإن الضغوط المتزايدة من الأنشطة الصناعية الحضرية الساحلية، مثل: (الإسكان والسياحة والنقل البحري والتخلص من النفايات) تؤدي إلى خسائر في النظم البيئية الساحلية الصحية (الأراضي الرطبة وأشجار المنغروف والشعاب المرجانية) والنظام البيئي الإنتاجية والتنوع البيولوجي والاستقرار والقيم الجمالية.

في عام 1997، كان نصف سكان الولايات المتحدة البالغ عددهم 269 مليون نسمة تقريبًا يعيشون في مقاطعات ساحلية بمتوسط كثافة سكانية يبلغ 132 شخصًا لكل كيلومتر مربع، أي أكثر من أربعة أضعاف مثيله في المقاطعات غير الساحلية. كانت إحدى النتائج أن الامتداد التقديري للأراضي الرطبة في الولايات المتحدة انخفض من 894355 كيلومتر مربع في القرن الثامن عشر إلى 408328 كيلومتراً مربعاً في عام 1995، 95 % منها كانت أراضٍ رطبة داخلية بالمياه العذبة و5 % كانت أراضٍ رطبة ساحلية أو عند مصبات الأنهار. ومن الأمثلة الموثقة على المياه التي تم تحويلها للاستهلاك الحضري والزراعي في فلوريدا من نهر إيفرجليدز، الذي تقلص من 11700 إلى 5960 كيلومتر مربع، مما يعرض 68 من الأنواع المحلية لخطر الانقراض، بما في ذلك خروف البحر ونمر فلوريدا.

• السباق على المياه

قد يؤدي استخدام المياه إلى جعل الفئات المستهدفة تقابل بعضها بعضاً، مثلاً: (المناطق الطبيعية مقابل استخدامات الأرض البشرية أو الزراعة مقابل المُدن)، وهذا يمكن أن يؤدي إلى التوترات السطحية التي تتزايد لبعض الوقت. في كاليفورنيا -مثلاً- قيل بشكل مقنع مع أنّ الصناعة الزراعية تمثل 85 %

من عمليات سحب المياه في الولاية، فإن الزراعة لا تمثل سوى جزء صغير من إجمالي الناتج المحلي (14 بليون دولار من 550 بليون دولار في عام 1988).

المراعي المروية وحدها تستهلك كمية المياه اللازمة لجميع سكان الولاية. وبالتالي، فإن الإعانات المقدمة لمستخدمي المياه في الزراعة قد تعرضت لتحديات خطيرة بسبب ندرة المياه هناك. وبالمثل، في نيو مكسيكو، تمثل الزراعة 18 % فقط من دخل الولاية ولكنها تستخدم 92 % من المياه. في جميع أنحاء العالم، ستنتشر مثل هذه المخاوف على نطاق واسع لأن معدل تناقص المياه العذبة يتزايد بنسبة 6 % سنويّاً.

بالإضافة إلى ندرة المياه التي تهدد رفاهية المجتمع والنظم البيئية، فإن الكثير من المياه يمكن أن يعرّض المناطق المتاخمة للأنهار والجداول (تسمى السهول الفيضية) لخطر الفيضانات. تحدث الفيضانات (انتشار المياه على السهول الفيضية ومناطق الأرض فيما وراءها) عندما يزيد الجريان السطحي خلال أوقات هطول الأمطار المرتفعة يتجاوز قدرة تصريف قنوات التيار.

تعد إزالة الغطاء النباتي الممتص للماء بسبب استخدامات الأرض مثل القطع والتحضر والزراعة أحد أهم العوامل البشرية التي تسبب الفيضانات عن طريق تقليل معدل التبخر وزيادة معدل الجريان السطحي.

إدارة التدفق لها تأثير أيضاً؛ حيث تتعمق التدفقات وتقويمها لزيادة معدل تدفق المياه من منطقة ما بحيث لا ترتفع إلى مستويات الفيضان، وهو إجراء يُعرف باسم (التوجيه). ومع ذلك، في الولايات المتحدة، صارت الآثار المعاكسة للتوجيه معروفة جيداً منذ سن قانون السياسة البيئية الوطنية لعام 1970. ونتيجة لذلك، يجري القليل من التوجيه حالياً في الأمة.

• جـــودة الميـــاه العذبـــة والنظـم البيئية البحريـــة

تـؤدي الاسـتخدامات البشـرية للأراضـي والميـاه وممارسـات الإدارة التـي تعـد ولا تحصـى إلـى إطـلاق مـواد، تتـراوح مـن النفايـات الصلبـة إلـى المركبـات السـامة، في مـوارد الميـاه. بشـكل جماعـي، يشـار إلـى المـواد التـي تغيـر التركيـب البيولوجـي والكيميائـي للميـاه وتضـر بصحـة أو بقـاء أو أنشـطة الحيـاة المائيـة والسـكان البشـريين علـى أنهـا ملوثـات الميـاه.

من السـهل نسـبيّاً تحديد المصادر النقطية لتلوث المياه؛ وهـي تشـمل التصريفات مـن محطـات معالجـة ميـاه الصـرف الصحـي البلديـة ومعظـم المصانـع الصناعيـة، ويجـب أن تنظمهـا قوانـين الدولـة المصممـة للتحكـم في كميـة الملوثـات التـي تدخـل مجـرى معـين، علـى وجـه التحديـد، قوانـين النظـام الوطنـي للقضـاء علـى التصريـف مـن التلـوث (NPDES).

تعـد الأنشـطة الزراعيـة (وبعـض طـرق التعديـن) والطرقـات وخزانـات الصـرف الصحـي ومياه العواصـف الحضريـة مصـادر غيـر محـددة للتلـوث تسـمى أيضـاً (المصـادر المنتشـرة) التـي لا تلـوث الميـاه السـطحية فحسـب، بـل تلـوث الميـاه الجوفيـة أيضـاً مـن خـلال التسـرب.

قـد يأتـي تدهـور الميـاه العذبـة والبحريـة من الضغـوط البشـرية من أنـواع مختلفـة. وتشـمل ملوثـات الميـاه الجسـيمات، والمـواد الكيميائيـة العضويـة وغيـر العضويـة، والكائنـات الحيـة، مجمعـة علـى التوالـي كملوثـات فيزيائيـة وكيميائيـة وحيويـة. فقـد تتحـرك الجسـيمات في اتجـاه مجـرى النهـر و / أو تتراكـم في القـاع. كلمـا زاد سـوء إدارة ممارسـات اسـتخدام الأراضـي (إزالـة الغابـات، والمراعـي المفرطـة في الرعـي، والأراضـي الزراعيـة المزروعـة، والمناجـم الشـريطية، والتحضـر، والأحـواض التـي أزيلـت منهـا الغابـات)، كانـت معـدلات التعريـة والترسـيب أكثـر تسـارعاً.

أشكال الضغوط البشرية على موارد المياه.

تحمل المياه المحملة بالرواسب الجسيمات العالقة؛ زيادة العكارة التي تمنع الاختراق العميق للضوء، وبالتالي فإن تقليل الإنتاجية الأولية؛ وارتفاع مستويات المغذيات غير العضوية، وبالتالي زيادة معدل فرط المغذيات؛ ومنعطفات مجرى وقيعان الأنهار، يؤدي إلى خنق كائنات التيار بشكل فعَّال؛ ويمكن أن تحمل كميات كبيرة من المواد السامة. كل من تلك يؤثر سلباً في الحياة المائية. بالإضافة إلى ذلك، يسد الترسيب المجاري المائية والخزانات والبحيرات وخنادق الري. تأتي جميع المواد المعلقة تقريباً من مصادر غير محددة، في الغالب الزراعة وأنشطة البناء.

تشمل ملوثات المياه الكيميائية مجموعة متنوعة من العناصر والمركبات غير العضوية والعضوية. تشمل الملوثات غير العضوية عناصر، مثل: الفوسفور والنتروجين (ومركباتها)؛ والمواد الكيميائية القابلة للذوبان في الماء مثل الأملاح؛ مجموعة كبيرة ومتنوعة من المعادن، مثل: (المنغنيز، والزنك، والرصاص، والكروم،

والزرنيخ، والنحاس، والنيكل، والكادميوم، والزئبق، والسيلينيوم)، في بعض المناطق، حتى النويدات المشعة القابلة للذوبان في الماء مثل الراديوم والثوريوم؛ ومنتجات اضمحلال اليورانيوم. يأتي ما يقرب من 82 % من النيتروجين و 84 % من الفوسفور من مصادر غير محددة، ومرة أخرى بشكل أساسي من الأنشطة الزراعية.

الجريان السطحي للأسمدة من المناطق الزراعية والحضرية، والنفايات السائلة الغنية بالمغذيات من محطات معالجة مياه الصرف الصحي، والتآكل المتسارع للتربة السطحية الغنية بالمغذيات هي المصادر الرئيسية لإثراء المغذيات، وهي عملية تؤدي إلى النمو المفرط للطحالب والنباتات المائية. يؤدي التحلل الجرثومي لهذه النباتات إلى استنفاد الأكسجين المطلوب بيولوجيّاً الذائب في المسطحات المائية ويمكن أن يسبب نقص الأكسجة Hypoxia.

في البيئة البحرية، يمكن إعادة تدوير المياه غير المؤكسدة التي تحوي على كائنات مائية نافقة إلى الشاطئ مع الرياح البحرية. مثلاً، تسبب جريان الأسمدة في نهر المسيسيبي من أيوا وأوهايو وإلينوي في إغناء منطقة بمساحة 17500 كيلومتر مربع في خليج المكسيك، مما أدى إلى تدمير مصايد الأسماك التجارية. تُعرف هذه المنطقة الآن باسم (المنطقة الميتة).

أظهر أحدث مخزون من المواد السامة لوكالة حماية البيئة الأمريكية أن الشركات الأمريكية أبلغت عن إطلاق 544300 طن من المواد الكيميائية في الهواء والماء، منها 33500 طن أُطلقت في المياه السطحية. من هذه المواد الكيميائية، 53 % معروفة أو مشتبه بها سموم عصبية أو نمائية. ويشير التقرير كذلك إلى أنه نظراً لأن الشركات الكيماوية أبلغت عن ما يقدر بنسبة 5 % فقط من جميع الإطلاقات الكيميائية، فإن إجمالي الإطلاق المقدر قد يصل إلى 10.8 مليون طن.

هناك أيضاً تنوع كبير في الملوثات العضوية. وتشمل هذه المواد البنزين والبلاستيك والمنظفات والزيوت والدهون والبروتينات والكربوهيدرات من المنشآت

الصناعية؛ مبيدات زراعية؛ المواد الكيميائية العضوية؛ والمعادن العضوية. وتشير التقديرات إلى أن أكثر من 150000 جهة صناعية وتجارية تقوم بتصريف هذه الملوثات في المسطحات المائية.

قد يكون بعضها خطيراً جدّاً على صحة الكائنات الحية ويصنف على أنه نفايات سامة. إن التصريفات الصناعية للمركبات العضوية في المياه السطحية وترشيح المبيدات الحشرية والأسمدة في المياه الجوفية لا تهدد صحة الإنسان فقط عندما يستخدم الناس المياه السطحية والجوفية الملوثة، وإنما أيضاً الحيوانات الأليفة والحياة البرية والحياة المائية بسبب سميتها.

• تسـرب النفـط في النظـم البحريـة

تستوعب النظم البيئية البحرية والساحلية أنشطة ومرافق النقل التجاري والخاص مثل الشحن والموانئ وكذلك استخدام الموارد المعدنية والاحتياطيات، مثل: (النفط، والغاز، والذهب، والكوبالت، والفوسفوريت، والرمل، والحصى) التي يجري نقلها عبر المياه السطحية. تمثل مصادر الطاقة البحرية 11.8 و 25 % من إنتاج النفط والغاز الطبيعي في جميع أنحاء العالم و 18.6 و 26 % من إنتاج النفط والغاز الطبيعي في الولايات المتحدة، على التوالي. هذه الأنشطة البشرية هي أيضاً مصادر لانسكاب النفط في النظم البيئية البحرية من خلال تفجيرات حفر النفط وحوادث ناقلات النفط. حدثت مثل هذه الانسكابات في جميع أنحاء العالم بمعدل ثلاثة إلى خمسة في السنة منذ عام 1967.

كان هناك 30 بقعة نفطية أكبر من 100000 برميل في جميع أنحاء العالم. مع أنّ التسرب النفطي لشركة إيكسون فالديز Exxon Valdez الذي بلغ 240500 برميل قد حظي باهتمام كبير، إلا أنه يمثل 18.8 % فقط من إجمالي 1278843 برميلاً مسكوبًا في عام 1989. كان أكبر تسرب نفطي في التاريخ خلال حرب

الخليج العربي (1990-1991)، عند تقديره. سُكب 6 ملايين برميل من النفط، أي 23 ضعف الكمية من تسرب إيكسون فالديز النفطي Exxon Valdez.

يمكن أن يكون للتلوث النفطي آثار ضارة طويلة المدى وقصيرة المدى على الحياة البحرية، اعتماداً على أنواع وحجم المنتجات النفطية المنسكبة، والعوامل المناخية، والعوامل الجغرافية، وهشاشة الكائنات البحرية في منطقة معينة.

يمنع انتشار بقعة زيت ثقيلة غير شفافة (طبقة ناعمة وزلقة على سطح الماء) التمثيل الضوئي للطحالب البحرية تحت الانسكابات النفطية، مما يؤدي إلى تدمير مصادر الغذاء التي تدعم نمو وتكاثر جميع الكائنات الحية التي تعتمد على الحياة البحرية، والطحالب من أهمها.

يمكن أن تتسبب بقع الزيت أيضاً في الموت المباشر أو السلوك غير الطبيعي للحيوانات البحرية والطيور التي تتلامس جسديّاً مع الزيت المنسكب. المنتجات النفطية عبارة عن مخاليط معقدة من مواد أساسها الهيدروكربونات في الغالب (تتكون من عنصري الهيدروجين والكربون) وتختلف بشكل كبير في سميتها في السلسلة الغذائية.

منتجات النفط الأخف مثل الكيروسين والبنزين لها تأثيرات سامة أكبر، لكنها تتبخر بسرعة أكبر من منتجات النفط الثقيلة. تتبخر منتجات النفط في الغلاف الجوي في نهاية المطاف وتصير على شكل هطول، وبالتالي تلوث الأرض والمسطحات المائية عندما تنزل.

يمكن أن تغرق مكونات النفط الأثقل التي يتركها التبخر في قاع المسطحات المائية من خلال التجوية والتشتت (انهيار بقعة إلى قطرات بفعل الموجة). يزيد اندماجها في الرواسب من وقت مكوثها في البيئة. يمكن أن تسبب مخاليط قطرات النفط والماء مستحلبات (موس الشوكولاتة) (نوع من الكريما) التي تبقى في البيئة لسنوات.

حلول مشكلة الموارد المائية

- إعادة تصميم عمليات التصنيع لاستخدام كميات أقل من المياه.
- إعادة تدوير المياه في الصناعة.
- إنشاء ساحات ذات مناظر طبيعية بها نباتات تتطلب القليل من الماء.
- استخدم الري بالتنقيط.
- إصلاح تسربات المياه.
- استخدم عدادات المياه.
- رفع أسعار المياه.
- الحفاظ على المياه في المُدن التي تعاني نقصَ المياه.
- استخدم المراحيض ورؤوس الدش وغسالات الملابس الموفرة للمياه.
- جمع المياه المنزلية وإعادة استخدامها لري المروج والنباتات غير الصالحة للأكل.
- تنقية المياه وإعادة استخدامها للمنازل والشقق والمباني المكتبية.
- منع تلوث المياه الجوفية.
- تقليل الجريان السطحي غير النقطي.
- إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للشرب والري.
- ابحث عن بدائل للملوثات السامة.
- العمل مع الطبيعة لمعالجة مياه الصرف الصحي.
- تدرب على العناصر الثلاثة لاستخدام الموارد (تقليل الاستهلاك، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير).
- تقليل تلوث الهواء.
- الحد من الفقر.
- نمو سكاني بطيء.

الفصل الخامس

حالــة تاريخيـــة

جهود المملكة العربية السعودية في استدامة البيئة وحمايتها

مستقبل المناخ في المملكة	جهود المملكة في التخفيف والتكيف
مبادرة السعودية الخضراء	مكافحة التلوث البيئي
توطين تقنيات البيئة	تميز المملكة في المؤشرات البيئية

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

جهود المملكة العربية السعودية في استدامة البيئة وحمايتها

مُقَدِّمَة

اعتمدت المملكة العديد من الإستراتيجيات والخطط الوطنية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر، حتى برزت في مؤشرات التنمية المستدامة الدولية، كأحد البلدان التي لديها آليات لتعزيز اتساق سياسات التنمية المستدامة، والتي تبلورت في الإستراتيجية الوطنية للبيئة، وإستراتيجية المحافظة على التنوع الإحيائي، وإعادة الغطاء النباتي بمنطقة الرياض، والخطة الوطنية لمواجهة الكوارث الطبيعية، ومواجهة الكوارث البحرية، والخطة الوطنية للحوادث الكيميائية. تتبنى المملكة رؤية شمولية للنظم البيئية من خلال الزراعة المستدامة وحماية البيئة الطبيعية والحفاظ على التنوع البيولوجي، ويشمل ذلك إنشاء محميات للحياة الفطرية ومبادرات السياحة المستدامة التي تحمي الأنواع المهددة بالانقراض وتحافظ على المناظر الطبيعية للمملكة، حيث تسهم رؤية المملكة 2030 في تطوير المدن والارتقاء بجودة الحياة من خلال مستقبل أخضر مستدام يعزز الحياة الحضرية، ويوفر مساحات خضراء شاسعة وفرصًا للتواصل مع الطبيعة.

تعد الاستدامة ركيزة أساسية في الرؤية وتسعى المملكة جاهدة نحو مستقبل يضمن الحياد الصفري للكربون بحلول عام 2060، ومع الالتزام بالطاقة النظيفة والاستدامة تتجه المملكة بخطوات واثقة نحو مواجهة تحديات الطاقة وتغيرات المناخ، من خلال حلول مبتكرة تشمل الاقتصاد الدائري للكربون، وتنويع مصادر الطاقة، حيث تطمح لأن تمثل الطاقة المتجددة 50 % من استخداماتها بحلول عام 2030.

ولتنمية بيئية وزراعية مستدامة، وتحقيقًا للأمن المائي والغذائي الشامل للمملكة، تضمنت الإستراتيجية الوطنية للبيئة 64 مبادرة، من خلال إطلاق خمسة مراكز بيئية متخصصة وهي: المركز الوطني للالتزام البيئي، والمركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي ومكافحة التصحر، والمركز الوطني لإدارة النفايات والمركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية، والمركز الوطني للأرصاد، لتعزيز الالتزام البيئي وخفض تكلفة التدهور البيئي وخلق فرص وظيفية للمواطنين وتعزيز مشاركة القطاع الخاص، إضافة إلى إنشاء صندوق البيئة لدعم استدامة قطاع البيئة والعمل مع وزارة الداخلية لتأسيس القوات الخاصة للأمن البيئي، كما اعتُمد نظام بيئي جديد متوافق مع أفضل الممارسات والمعايير العالمية وإعداد نظام جديد لإدارة النفايات ونظام للأرصاد. ومن ضمن اهتمام الرؤية بالبيئة والتنمية المستدامة الاستثمار الأمثل للثروات المائية عبر الترشيد واستخدام المياه المعالجة والمتجددة، والعمل على حماية الشواطئ والمحميّات، بالشكل الأمثل وتم إنشاء «مجلس للمحميات الملكية» تشمل 6 مواقع بالمملكة، بهدف الحفاظ على الغطاء النباتي وزيادته، وتنظيم الحركة في داخل المحميات بما لا يضر بالقرى والهجر وأملاك المواطنين داخل نطاقها. وخلال رئاسة المملكة لمجموعة العشرين عام 2020م أطلقت مبادرتين عالميتين للبيئة؛ وهما مبادرة للحدِّ من تدهور الأراضي والموائل الفطرية البرية في الغابات والمراعي وغيرها من النطاقات البيئية البرية، ومبادرة تأسيس المنصة العالمية لتسريع البحث والتطوير للحفاظ على الشعب المرجانية، بهدف دعم البحوث والدراسات وتبادل المعلومات لتعزيز حماية الشعب المرجانية والمحافظة عليها. وتوجت هذه المبادرات في 23 أكتوبر من العام 2021، عندما أطلق سمو ولي العهد الأمير محمد بن سلمان مبادرتي السعودية الخضراء والشرق الأوسط الأخضر في نسختها الأولى، وفي 7 نوفمبر من العام 2022

تم إطلاق نسختها الثانية في مؤتمر المناخ العالمي المنعقد في شرم الشيخ. وأخيرا نجحت المملكة في تحويل التزاماتها العالمية إلى إجراءات ملموسة، وتواصل المضي بخطىً ثابتة نحو تحقيق هدفها للوصول إلى الحياد الصفري بحلول عام 2060. وبصفتها إحدى أهم الدول المنتجة للطاقة، تلتزم المملكة العربية السعودية بدعم الجهود العالمية للتصدي لتغير المناخ، وقد أحرزت منذ إطلاق رؤية 2030 تقدماً هائلاً في مواجهة التحديات الصعبة في مجال حماية البيئة، لكن من الواضح أنه لا يزال أمامها الكثير من العمل لمعالجة القضايا المناخية الملحة التي تواجه العالم.

وعموما فإن المملكة عملت ومازالت تعمل جاهدة على حماية البيئة واستدامتها على المستويين المحلي والدولي، وتتمثل جهودها في:

- إنشاء صندوق أبحاث للبيئة والطاقة
- زيادة وعي الجمهور في مجال حماية البيئة
- الحد من نسبة التلوث البيئي وانبعاثات الكربون والمساهمة في حل مشكلة المناخ العالمي
- المملكة صاحبة أكبر مشروع إعادة إعمار بيئي في التاريخ، والمتعلق بإصلاحات بعد حرب الخليج.
- إنشاء مركز الزراعة الصحراوية، والذي يعمل على تطوير الأنظمة المستدامة التي تستخدم مياه الري بطرق فنية حديثة وعالية الجودة.
- أطلقت المملكة المبادرة الخضراء السعودية والشرق الأوسط الأخضر للحفاظ على البيئة وإيجاد حلول نوعية تساهم في حل أزمة المناخ العالمي
- الحفاظ على المناطق المحمية للحياة البرية والنباتية وتنظيم عمليات الصيد.

مستقبل المناخ في المملكة العربية السعودية

تشهد المملكة العربية السعودية تغيرًا مناخيًا بوتيرة متسارعة مقارنة بالمناطق الأخرى. ومن المحتمل أن يرتفع متوسط درجة الحرارة العالمية بنحو 3 درجات مئوية بحلول نهاية هذا القرن (مقارنة بفترة ما قبل الثورة الصناعية من 1850 إلى 1900). ومع ذلك، فإن منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا يمكن أن تشهد هذا التغير في وقت أقرب بكثير.

ويعتمد ذلك على عدد من الاحتمالات والسيناريوات الاجتماعية والاقتصادية المحددة، بالإضافة لمعدل الانبعاثات مع التركيز في الوقت ذاته على الارتباط الوثيقة بين الخيارات التي تحكمها السياسات، والنمو الاجتماعي والاقتصادي، وتغير المناخ.

دلت الدراسات والتقارير الحديثة انه لا يزال من الممكن تجنب العديد من العواقب السلبية لتغير المناخ، حيث شهدت السنوات الأخيرة تغيرات تحويلية في المملكة العربية السعودية مدعومة برغبتها الأكيدة على حماية بيئاتها ومواردها الطبيعية واستعادته. خصوصًا أنها تتمتع بمكانة فريدة لتصبح رائدة عالميًا في جهود التخفيف من تغير المناخ والتكيف معه نظرًا لإمكاناتها الهائلة في مجال تقنية الطاقة الشمسية، وأهمية المملكة الاستراتيجية في سوق الطاقة العالمية، والتزامها الكبير بالتنويع الاقتصادي في إطار رؤية السعودية 2030 وأهدافها الطموحة. كما بينت الدراسات أن تغير المناخ في المملكة قد يؤدي إلى:

❖ توسع البيئات الصحراوية

من المتوقع أن تؤدي زيادة درجات الحرارة إلى توسع البيئات الصحراوية في المملكة العربية السعودية، مما سيؤدي إلى فقدان التنوع البيولوجي وانخفاض

إنتاجية المحاصيل. ويشير التقرير إلى أن تغير المناخ قد يؤدي إلى زيادة مساحة الصحراء في المملكة العربية السعودية بنسبة تصل إلى 30% بحلول نهاية هذا القرن. هذا سيؤدي إلى فقدان التنوع البيولوجي في هذه المناطق، بما في ذلك النباتات والحيوانات التي تكيفت مع المناخ الجاف.

❖ انخفاض إنتاجية المحاصيل

من المتوقع أن يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل في المملكة العربية السعودية، مما قد يؤدي إلى نقص الغذاء، وهذا سيحدث بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وقلة الأمطار، وزيادة شدة الأحداث المناخية المتطرفة.

❖ ارتفاع مستوى سطح البحر

من المتوقع أن يؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر إلى إغراق المناطق الساحلية في المملكة العربية السعودية، مما سيؤدي إلى فقدان الممتلكات والبنية التحتية. ويشير التقرير إلى أن مستوى سطح البحر قد يرتفع بمقدار يصل إلى 1.2 متر بحلول نهاية هذا القرن. هذا سيؤدي إلى إغراق المناطق الساحلية في المملكة العربية السعودية، بما في ذلك المدن والموانئ والسدود.

❖ انتشار الأمراض المنقولة

من المتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى انتشار الأمراض المنقولة بالماء والجو في المملكة العربية السعودية، مثل الملاريا وحمى الضنك. ويشير التقرير إلى أن تغير المناخ قد يؤدي إلى زيادة انتشار الأمراض المنقولة بالماء والجو في المملكة العربية السعودية بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة هطول الأمطار، وتغير أنماط الأمطار.

وتوصي العديد من الدراسات بضرورة اتخاذ إجراءات فورية للتخفيف من تغير المناخ والتكيف معه في المملكة. تشمل إجراءات التخفيف من تغير المناخ:

- **خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري:** يمكن أن يتم ذلك من خلال الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة الطاقة.
- **التوسع في زراعة الأشجار:** يمكن أن تساعد الأشجار في امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

وتشمل إجراءات التكيف مع تغير المناخ

- **تطوير تقنيات مقاومة للتغير المناخي:** يمكن أن تساعد هذه التقنيات في حماية البنية التحتية والممتلكات من الآثار السلبية لتغير المناخ.
- **إعادة تخطيط المدن:** يمكن أن تساعد إعادة تخطيط المدن في جعلها أكثر مقاومة لتغير المناخ.
- **حماية النظم البيئية:** يمكن أن تساعد حماية النظم البيئية في تعزيز قدرتها على التكيف مع تغير المناخ.

المملكة رائدة في جهود التخفيف والتكيف

لقد شهدت السنوات الأخيرة تغيرات تحويلية في المملكة مدعومة برغبتها الأكيدة على حماية بيئاتها ومواردها الطبيعية واستعادته، خصوصًا أنها تتمتع بمكانة فريدة لتصبح رائدة عالميًا في جهود التخفيف من تغير المناخ والتكيف معه نظرًا لإمكاناتها الهائلة في مجال تقنية الطاقة الشمسية، وأهمية المملكة الاستراتيجية في سوق الطاقة العالمية، والتزامها الكبير بالتنويع الاقتصادي وأهدافها الطموحة.

وتدرك المملكة العربية السعودية أهمية تغير المناخ، وقد اتخذت بالفعل خطوات للتخفيف والتكيف معه. في عام 2020، أعلنت المملكة العربية السعودية أنها ستستثمر 160 مليار دولار في مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. وفي هذا الإطار كشف فريق دولي من الباحثين في دراسة علمية جديدة (نشرت عام 2024) عن إستراتيجية رائدة يمكن أن تُخفّض درجات الحرارة الحارقة في المدن الكبرى الواقعة في مناخ صحراوي حار مع تقليل تكاليف الطاقة. أظهرت نتائج الدراسة التي أجريت في مدينة الرياض أنه يمكن خفض درجات الحرارة فيها بما يصل إلى 4.5 درجات عبر الجمع بين نوع جديد من الطلاءات العاكسة للضوء والمساحات الخضراء المرويّة.

ويتضمن سيناريو التبريد الموصى به لخفض درجات الحرارة في مدينة الرياض؛ زيادة عدد الأشجار المرويّة إلى أكثر من ضعف عددها اليوم لتحسين التبريد الناتج عن تبخر المياه من هذه النباتات (النتح). كما يتضمن أيضًا استخدام مواد فائقة التبريد تُطبقها على أسطح المباني، وهذه المواد هي نوع من الطلاءات المشعة ظهرت في السنوات القليلة الماضية وتحتوي على مواد مثل الكروم ومواد عاكسة للضوء. وإضافة إلى ذلك، أظهرت عملية محاكاة تأثير سيناريو التبريد المقترح على استخدام الطاقة في جميع المباني التي شملتها الدراسة، أن تحسين عمليات العزل في النوافذ والأسقف يمكن أن يقلل الطلب على استهلاك الطاقة المخصصة للتبريد بنسبة تصل إلى 35%، وسيساهم هذا الانخفاض الكبير في احتياجات الطاقة في تقليل التكاليف المرتبطة بالتبريد بمدينة الرياض مع تحسين نوعية الحياة لسكانها.

مبادرتا السعودية الخضراء والشرق الأوسط الأخضر

Saudi Green Initiative

مبادرة السعودية الخضراء

مبادرة السعودية الخضراء تمثل مبادرة وطنية طَموحة تهدف الى مكافحة تغير المناخ ورفع مستوى جودة الحياة وحماية كوكب الأرض للأجيال القادمة ,حيث يُعد التشجير حجر الأساس في مبادرة السعودية الخضراء، باعتباره يؤدي إلى تحسين جودة الهواء ويحد من العواصف الغبارية والرملية ويحد من التصحر وجرف التربة، كما يُسهم في تخفيض درجة الحرارة وتلطيف الجو معظم أيام السنة. تسعى مبادرة السعودية الخضراء إلى حشد جهود كافة الجهات الفاعلة في المجتمع لتحقيق ثلاثة أهداف رئيسية، هي خفض الانبعاثات، والتشجير، وحماية الأرض والطبيعة. وهناك حالياً أكثر من 60 مبادرة يجري تنفيذها للمساهمة في تحقيق أهداف مبادرة السعودية الخضراء، حيث تمثل جميعها استثمارات ضخمة في مجالات الاقتصاد الأخضر.

جاءت المبادرتان اللتان أطلقهما سمو ولي العهد بهدف زراعة (10) مليارات شجرة في أنحاء المملكة خلال العقود القادمة، ما يعادل إعادة تأهيل حوالي 40 مليون هكتار من الأراضي المتدهورة، الأمر الذي سيؤدي إلى زيادة في المساحة المغطاة بالأشجار الحالية إلى 12 ضعفًا، وتمثل إسهام المملكة بأكثر من 4 % في تحقيق مستهدفات المبادرة العالمية للحد من تدهور الأراضي والموائل الفطرية، و1 % من المستهدف العالمي لزراعة ترليون شجرة كما ستعمل على رفع نسبة المناطق المحمية إلى أكثر من 30% من مساحة أراضيها التي تقدر بـ (600) ألف كيلومتر مربع، لتتجاوز المستهدف العالمي الحالي بحماية 17 % من أراضي كل دولة، إضافة إلى عدد من المبادرات لحماية البيئة البحرية والساحلية.

ستعمل «مبادرة السعودية الخضراء» كذلك على تقليل الانبعاثات الكربونية بأكثر من 4 % من الإسهامات العالمية، بمقدار (278) مليون طن سنويًا بحلول عام 2030م وذلك من خلال مشاريع الطاقة المتجددة التي ستوفر 50 % من إنتاج الكهرباء داخل المملكة بحلول عام 2030م، ومشاريع في مجال التقنيات الهيدروكربونية النظيفة التي ستمحو أكثر من 130 مليون طن من الانبعاثات الكربونية، إضافة إلى رفع نسبة تحويل النفايات عن المرادم إلى 94 %. هذه المستهدفات الوطنية تسهم في تحقيق المستهدفات الإقليمية التي دعت إليها المملكة في قمة مبادرة الشرق الأوسط الأخضر، والمتمثلة في تقليل الانبعاثات الكربونية في المنطقة بأكثر من (10 %) من الإسهامات العالمية، وزراعة (50) مليار شجرة في المنطقة وفق برنامج يعد أكبر البرامج لزراعة الأشجار في العالم.

وستبدأ العمل على مبادرة الشرق الأوسط الأخضر مع الدول الشقيقة في مجلس التعاون لدول الخليج العربية والشرق الأوسط، وتسعى بالشراكة مع الأشقاء في دول الشرق الأوسط لزراعة 40 مليار شجرة إضافية في الشرق الأوسط، وفق المستهدف العام لزراعة (50 مليار) شجرة وهو أكبر برنامج إعادة تشجير في العالم

شجرة الغضا ضمن مبادرة السعودية الخضراء

على مدى قرون، وفرت الملايين من هذه الأشجار، المعروفة باسمها العربي «الغضا»، الحطب والأعلاف الحيوانية، والظلال والراحة أيضًا من حرارة الصحراء .

تعتبر أشجار الغضا من الأشجار الصحراوية الشهيرة التي توجد في المناطق الجافة، وينتشر منها ثلاثة أنواع رئيسة، الأخضر والأبيض والأسود، وقد تطورت هذه الأنواع وأصبحت تستطيع تحمل الجفاف والرياح.

يبلغ طول شجرة الغضا في العادة من 2 إلى 4 متر تقريبًا، وتكون جذوعها وفروعها ثقيلة وخشنة إلى حد كبير، كما أنها تكون ملتوية ومعقدة للغاية. تحتوي الشجرة أيضًا على لحاء سميك يشبه الإسفنج ومتشبع بالمياه، ويحتوي النبات الناضج على جذر عصاري يمتد على نطاق واسع للحصول على المياه في وضع جانبي عميق. كما أنه ينتج مجموعة من الأزهار الصفراء القليلة، ذات الأوراق الصغيرة لدرجة أنها تكون غير ظاهرة بوضوح.

تتكيف الشجرة مع المناخ الصحراوي ودرجة الحرارة المرتفعة بشكل كبير، وتتحمل الظروف المناخية والبيئية القاسية مثل الرمال المتحركة والثابتة والتلال الصخرية، كما أنها تتكيف أيضًا مع المناخ الرطب، والمنحدرات الجبلية والأراضي الرديئة والصخور الطينية والأخاديد الجافة والغابات، وغيرها من الأماكن الأخرى التي لا تستطيع الكثير من النباتات الأخرى العيش فيها. كما أن للشجرة استخدامات وفوائد أخرى عديدة، حيث تستخرج من خشبها صبغة خضراء يستخدمها النساجون في تلوين خيوط الصوف التي يدمجونها في أنواع السجاد المميزة. وتعتمد عليها بعض الشعوب البدوية في صحاري آسيا الوسطى كمصدر للماء، حيث إن اللحاء الإسفنجي للشجرة تستخرج منه المياه الصالحة للشرب بمجرد الضغط عليه. يوجد في جذور الغضا نبات طفيلي آخر يستخدمه المعالجون بالأعشاب في صناعة دواء لعلاج مختلف الأمراض مثل العقم والكسل وضعف الرؤية وفقدان الذاكرة والصلع واضطرابات التوازن وسرعة خفقان القلب وغيرها من الأمراض الأخرى.

ونظرًا لميزات هذه الشجرة فإن زراعتها في المملكة العربية السعودية بات جزءًا من مبادرة خضراء أطلقتها الحكومة الوطنية بهدف الحد من انبعاثات الكربون والتلوث وتدهور الأراضي، وجزء من خطتها الوطنية للوصول إلى صافي صفر كربون بحلول 2060. ووفق الدراسات الحديثة، يمكن لشجرة واحدة أن

تمتص طنًا من الكربون سنويًا، ما يجعل زراعة الأشجار أحد أبرز وأهم الحلول التي من شأنها تقليل الانبعاثات الكربونية والاحتباس الحراري، وكبح التغير الهائل الحاصل في المناخ الذي تشهده الكرة الأرضية.

في هذا الاتجاه، تعد أشجار المانغروف، أحد الأنظمة البيئية المهمة في السعودية التي يمكن اعتبارها مستودعات للكربون، إضافة إلى دورها في الحدّ من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ويرى العلماء أن مستنقعات المانغروف التي تشكل نظاماً بيئياً غاية في التفرد والتنوع في منطقة المدّ والجزر، تحتاج إلى التجديد، حيث دُمرت مساحات شاسعة منها لإفساح المجال أمام الناس للعيش والعمل على الساحل. وفي غياب غابات أشجار المانغروف، تُنتج التجمعات الميكروبية في المناطق الساحلية كمياتٍ هائلة من أكسيدَي النيتروجين والميثان، وهما من أسوأ الانبعاثات الغازية المسببة للاحتباس الحراري». لقد أثبتت الدراسات أن لدى أشجار المانغروف القدرة الهائلة في التخلّص من ثاني أكسيد الكربون و منع الميكروبات من إطلاق غاز الميثان في الجو من الأساس.

جهود المملكة في مكافحة التغير المناخي

تشاطر المملكة دول العالم فيما تواجهه من تحديات بيئية متنامية نتيجة للتزايد السكاني، فسعت جاهدة للحد من مسببات التغير المناخي، والوفاء بالتزامها بالمعايير والاتفاقيات الدولية في إطار البرامج الدولية المنبثقة عن المنظمات المتخصصة، وباعتبار أن المملكة أكبر منتج للنفط في العالم، فإنها تقوم بدورٍ مهم في جهود مكافحة تغير المناخ، وفي هذا السياق تعهدت السعودية بخفض انبعاثاتها بنسبة (27 %) بحلول عام 2030 مقارنة بمستويات عام 2016، ويأتي هذا التعهد بعد أن تعهدت السعودية بتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060.

الإجراءات التي اتخذتها السعودية لخفض انبعاثاتها تشمل ما يأتي:

- **الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة:** تستهدف المملكة إنتاج 50 % من احتياجاتها من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2030. وقد حققت المملكة تقدمًا كبيرًا في هذا المجال حيث بلغت نسبة توليد الكهرباء من مصادر متجددة 38 % في عام 2023.

- **تحسين كفاءة الطاقة:** تستهدف المملكة خفض استهلاك الطاقة بنسبة 30 % بحلول عام 2030. وقد أطلقت المملكة العديد من المبادرات لتحسين كفاءة الطاقة، بما في ذلك برنامج كفاءة الطاقة في الأجهزة المنزلية وبرنامج كفاءة الطاقة في السيارات.

في عام 2012 تم أطلق البرنامج الوطني لكفاءة الطاقة، لتقليل الانبعاثات ضمن مبدأ الاقتصاد الدائري للكربون. وكذلك العديد من المبادرات المعنية بالتقاط الكربون وتحويله إلى مواد خام ذات قيمة. ويشمل ذلك المنشأة

الأضخم في العالم لتنقية ثاني أكسيد الكربون التي أنشأتها الشركة السعودية للصناعات الأساسية «سابك» بمقدار 500 ألف طن في السنة وكذلك خطة أرامكو السعودية للاستخراج المحسّن للنفط بمقدار 800 ألف طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في السنة. وعلى غرار ذلك، تعمل على تطوير أضخم منشأة للهيدروجين الأخضر في منطقة نيوم. ومن المتوقع أن يبدأ مصنع شركة نيوم للهيدروجين الأخضر في إنتاج الهيدروجين الأخضر من مصادر الطاقة المتجددة بنسبة 100 % في عام 2026، بإنتاج يصل إلى 1.2 مليون طن من الأمونيا الخضراء سنويًا، بما يعادل 600 طن من الهيدروجين الأخضر يوميًا، كما ستُصدر الأمونيا الخضراء إلى الأسواق العالمية، مما يدعم إزالة الكربون من قطاع النقل الثقيل الذي يهدف إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لقد رسمت المملكة خارطة طريق تتواءم مع أهدافها الرامية للتنوع الاقتصادي؛ فقد سعت لتوفير الطاقة النظيفة، كما أعلنت انضمامها إلى «التعهد العالمي في شأن الميثان» الهادفة إلى خفض انبعاثات الميثان العالمية بنسبة 30 %. إضافة إلى إطلاق مبادرات في مجال الطاقة من شأنها تخفيض الانبعاثات الكربونية بمقدار 278 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030، علاوة على تحويل مدينة الرياض إلى واحدة من أكثر المدن العالمية استدامة، والانضمام إلى الاتحاد العالمي للمحيطات.

- **حماية الغابات:** تستهدف المملكة الحفاظ على 90 % من غاباتها بحلول عام 2030، وقد أطلقت المملكة العديد من المبادرات لحماية الغابات، بما في ذلك برنامج حماية الغابات الكثيفة وبرنامج حماية الغابات الساحلية.

صناعة نفطية نظيفة

نفذت شركة أرامكو السعودية أحد أكبر المشاريع التجريبية لاستخلاص غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على مستوى منطقة الشرق الأوسط لتصبح واحدة من أنظف الصناعات النفطية على مستوى العالم، حيث عملت على حقن 800 ألف طن من غاز ثاني أكسيد الكربون خلال عام، تُنقل عبر خط أنابيب، على مدى 85 كيلومترًا، إلى مرافق إنتاج البترول في معمل العثمانية لتُستخدم في تعزيز الإنتاج، ضمن خطتها لاستخلاص ثاني أكسيد الكربون الذي ينبعث من المرافق الصناعية الكبرى مثل محطات الطاقة الكهربائية، وتخزينه واحتجازه تحت الأرض بدلًا من انبعاثه إلى الغلاف الجوي.

يأتي تعهد المملكة بخفض انبعاثاتها خطوة مهمة في إطار الجهود الدولية لمكافحة تغير المناخ، ويعد هذا التعهد إشارة قوية من السعودية على عزمها على التحول إلى الاقتصاد الأخضر. لكن المملكة تواجه بعض التحديات في تحقيق تعهدها بخفض انبعاثاتها، ومنها:

- **اعتماد المملكة على النفط كمصدر رئيسي للدخل:** تعتمد المملكة العربية السعودية بشكل كبير على النفط كمصدر رئيسي للدخل، حيث يمثل النفط حوالي 80 % من عائدات التصدير. ولذلك، فإن أي تحول نحو الطاقة المتجددة سيتطلب استثمارات كبيرة من المملكة.
- **الطلب المتزايد على الطاقة:** يشهد الطلب على الطاقة في المملكة العربية السعودية نمواً سريعاً، وذلك بسبب النمو السكاني والاقتصادي.

الطاقة الشمسية

يعد مشروع محطة سكاكا للطاقة الشمسية، وتوقيع اتفاقيات شراء سبعة مشروعات أخرى للطاقة المتجددة في مختلف مناطق المملكة، تطبيقًا عملياً على أرض الواقع، لرؤية «المملكة 2030»، والإسهام في الوصول إلى مزيج الطاقة الأمثل، وتحوّل المملكة من استهلاك الوقود السائل إلى الغاز والطاقة المتجددة.

يعتبر مشروع محطة سكاكا للطاقة الشمسية الكهروضوئية داخل منطقة الجوف، من أهم مشروعات الطاقة المتجددة وتقوم المحطة على استعمال الطاقة الشمسية عن طريق التكنولوجيا الكهروضوئية (PV) لتوليد الكهرباء. تتكون المحطة من 1.2 مليون لوح شمسي، مقامة على مساحة 6 كلم^2 وسيولد طاقة كهربائية بطاقة إنتاجية بمقدار بـ300 ميغاوات، بما يكفي لتكفية حاجة 45 ألف وحدة سكنية.

التلوث البيئي

استدركت قمة العشرين بالرياض مجمل التحديات البيئية العالمية ومن ضمنها التغير المناخي، وحماية البيئة البحرية والبرية وإطلاق منصة تسريع أبحاث للمحافظة على الشعاب المرجانية وحماية الموائل البرية، إضافة إلى التشارك في خفض تدهور الأراضي بصورة طوعية بنسبة 50 % بحلول عام 2040. وجددت دول المجموعة تأكيد التزامها بخفض التلوث الإضافي الناتج عن المخلفات البلاستيكية البحرية ، ووقف صيد الأسماك الجائر غير القانوني وغير المبلّغ عنه، وأهمية تعجيل حصول الجميع على طاقة ميسورة التكلفة وموثوقة بالاعتماد على الابتكار .

البيئة البحرية

أولت المملكة البيئةَ البحرية والمائية اهتمامًا بالغًا، فالمملكة تمتلك ما يقرب من 1300 جزيرة في البحر الأحمر والخليج العربي؛ منها 1150 جزيرة في البحر الأحمر، وجزر ما بين مدينتي أملج والوجه، تمتاز بشواطئها الرملية البيضاء والشعب المرجانية بديعة المنظر والخلق، وأقامت مشاريع سياحية ومنتجات بحرية تغري السائح. فحافظت على مياه البحر الأحمر لما تحتضنه من تنوع أحيائي ومناخي فريد، ومن أبرز جهود المملكة الدولية في حماية البيئة : إنشاء صندوق أبحاث للطاقة والبيئة ومنظومة المناطق المحمية والاستراتيجية الوطنية للمحافظة على التنوع الأحيائي في المملكة؛ ليثمر عن ذلك مشروع البحر الأحمر، وغيرها من المبادرات للحفاظ على الهواء والنبات والثروة السمكية والحيوانية وتدوير النفايات والتخلص منها.

مشروع البحر الأحمر

توطين تقنيات البيئة في المملكة

تعمل مؤسسات المملكة البيئية على التواصل المعرفي مع نظيرتها الدولية لتعزيز حماية البيئة، ويعمل المركز الوطني لتقنية البيئة على عقد شراكات استراتيجية تهدف إلى توطين تقنيات البيئة المتقدمة وتطويرها من خلال العمل على تقنيات رصد جودة الهواء ومتابعته، وتقنيات الحد من غازات الاحتباس الحراري، وتقنيات معالجة المياه وإعادة استخدامها، وتقنيات إزالة الملوثات من المياه الجوفية، وتقنيات الحد من التصحر.

إحدى الغابات التي تتميز بتنوع الحياة الفطرية. (واس)

تنوع الحماية البيئية في المملكة

شمل اهتمام المملكة بحماية البيئة الأنواع النادرة والمهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات والطيور البرية والبحرية، وأدَّى توسع المملكة في حماية البيئة إلى الإعلان عن 15 منطقة محمية تمثل معظم النظم البيئية في المملكة، وتغطي نحو نصف المساحة المزمع حمايتها وفقًا للمعايير الدولية والمنظومة الوطنية للمناطق المحمية المقترحة

وتكاملت جهود الأجهزة الحكومية مع الشركات والمؤسسات الكبرى في المملكة في مجال حماية البيئة عبر عدد من المبادرات، ومنها مبادرة أرامكو السعودية بوضع أول خطة بيئية للحماية من التلوث تركزت في السيطرة على تلوث المياه الساحلية ومراقبة مياه الشرب والصرف الصحي، ومبادرة «سابك» باختيار أحدث التقنيات الملائمة والمناسبة للتقليل والحد من الآثار السلبية على البيئة في عملياتها، وبرنامج المراقبة البيئية الذي تنفذه الهيئة الملكية للجبيل وينبع، بهدف مراقبة جودة الهواء والمياه والتخلص من النفايات الصناعية.

تكثيف زراعة الأشجار إحدى طرق حماية البيئة في المملكة.

أطلقت شركة نيوم مبادرتها الخاصة لتنمية الغطاء النباتي بالتعاون مع المركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي، ومكافحة التصحر، وذلك بزراعة 100 مليون شجرة محلية متنوعة، وإعادة تأهيل 1.5 هكتار من الأراضي والمحميات الطبيعية وإصلاح موائل الحياة البرية في نيوم، وإيجاد حلول وابتكار تقنيات رائدة لتعزيز كفاءة التشجير والحد من استهلاك المياه وضمان الحلول الزراعية طويلة الأجل، من أجل تسريع وتيرة جهودها الرامية لمواجهة التحديات البيئية العالمية وحماية الطبيعة.

تميز المملكة في المؤشرات البيئية

تميـزت المملكـة في حمايـة البيئـة محليًـا ودوليًـا، إذ حققـت في عـام 2021م المرتبـة الأولـى في مؤشـرين مـن مؤشـرات الأداء البيئـي، همـا مؤشـر «عـدم فقـدان الغطـاء الشـجري» ومؤشـر «الأرض الرطبـة»، متفوقـة علـى 180 دولـة، إضافـةً إلـى تصدرهـا 172 دولـة في المحافظـة علـى البيئـات الطبيعيـة وحمايتهـا ومنـع انقـراض الأنـواع النـادرة مـن الحيوانـات، محتلـة المرتبـة الثامنـة علـى مسـتوى العالـم في «مؤشـر مواطـن الأجنـاس.

وعلـى الصعيـد الإقليمـي، حصـدت المملكـة المرتبـة الأولـى علـى مسـتوى الشـرق الأوسـط وشـمال أفريقيـا، كمـا تفوقـت علـى 133 دولـة بحصولهـا علـى المرتبـة الـ34 عالميًـا في «مؤشـر الغابـات والأرض والتربـة» الـذي يقيّـم جـودة الأراضـي والغابـات وموارد التربـة ومـدى تأثيرهـا علـى جـودة حيـاة المواطنـين، إضافـة إلـى مؤشـري «عـدم حـدوث الفيضانـات» و«إدارة النيتروجـين المسـتدامة» كمؤشـرات فرعيـة مـن مؤشـر «الغابـات والأرض والتربـة» التـي نالـت المملكـة فيهـا المرتبتـين الـ17 و19 عالميًـا علـى التوالـي. كمـا حصـدت المملكـة مرتبـة متقدمـة في مؤشـر «الرضـا عـن الجهـود المبذولـة للحفـاظ علـى البيئـة»، محتلـة المرتبـة الـ13 عالميًـا مـن بـين 167 دولـة مـن خـلال اسـتبانات مبنيـة علـى اسـتطلاعات جالـوب لقيـاس الجهـود المبذولـة للحفـاظ علـى اسـتدامة البيئـة.

الفصل السادس

خصائص الميـــــاه

أسماء الماء في القرآن	أصل وطبيعة الميـــاه
ظـــواهر مائيـــة	الدورة المائية (الهيدرولوجية)
أنـــواع الميـــاه	مصادر تلوث الميـــاه
أهميـة وأثـر الميـاه	عولمة الميـاه (المياه الافتراضية)

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

خصائص المياه

مُقَدِّمَة

لقد من الله علينا بالماء وجعل منه كل شيء حي وقد وفر الله ﷻ الماء في كل بقاع الارض حتى لا يتسنى لاحد التحكم فيه ويتحكم به في البشر، وهذا من فضل الله ﷻ. لقد وردت لفظة الماء في القرآن الكريم في نحو ثلاث وستين آية، وبمفاهيم مختلفة، وتحمل هذه المفاهيم في كل مرة معنى مختلفًا لا يشابه مثيله في المفهوم الآخر. وقد ذكر الله تعالى الماء في القرآن الكريم منكرًا (ماء) في (33) مرة. وذكره معرفًا في (16) مرة. وذكره تعالى منكرًا أكثر من التعريف به وذلك ليدل على أن عموم جنس الماء نزل من السماء.

يعد الماء أهون موجود وأعز مفقود جعله الله سبحانه نعمة تهب الحياة وتديمها وتطهر البشر والأرض، بقوله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ﴾ فعند وجود الماء لا نشعر بقيمته ولكن إذا فقدناه هلك كل شيء. إنه فعلا اعز مفقود لان هناك قرى في مختلف مناطق العالم ممن لا تعاني من ندره المياه، ومن طبع الانسان ان لا يعرف بقيمة الشيء حتى يفقده. يغطي الماء سبعون في المئة من الكرة الارضية الا ان نسبة واحد في المئة فقط من المياه الصالحة للشرب، لذا يجب احسان استرشاد هذه الثروة الثمينة.

الماء مركب غير عضوي له الصيغة الكيميائية H_2O. إنها مادة كيميائية شفافة، لا طعم لها، عديمة الرائحة، وعديمة اللون تقريبًا، وهي المكون الرئيسي للغلاف المائي للأرض وسوائل جميع الكائنات الحية المعروفة (حيث تعمل كمذيب).

وهو حيوي لجميع أشكال الحياة المعروفة، على الرغم من عدم توفير الطاقة الغذائية أو المغذيات الدقيقة العضوية. تشير صيغته الكيميائية H_2O إلى أن كل جزيء من جزيئاته يحتوي على ذرتين من الأكسجين وذرتين من الهيدروجين، ترتبطان بروابط تساهمية. ترتبط ذرات الهيدروجين بذرة الأكسجين بزاوية قدرها 104.45 درجة. الماء هو أيضًا اسم الحالة السائلة لـ H_2O عند درجة الحرارة والضغط القياسيين.

ونظرًا لأن بيئة الأرض قريبة نسبيًا من النقطة الثلاثية للمياه، فإن الماء موجود على الأرض في صورة صلبة وسائلة وغازية. ويتشكل هطول الأمطار على شكل أمطار والهباء الجوي على شكل ضباب. تتكون السحب من قطرات معلقة من الماء والجليد، وهي حالتها الصلبة. عندما ينقسم الجليد البلوري بشكل ناعم، قد يترسب على شكل ثلج. الحالة الغازية للمياه هي بخار أو بخار الماء.

يغطي الماء نحو 71 % من سطح الأرض، وتشكل البحار والمحيطات معظم حجم الماء (نحو 96.5 %). توجد أجزاء صغيرة من الماء كمياه جوفية (1.7 %)، وفي الأنهار الجليدية والقمم الجليدية في القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند (1.7 %)، وفي الهواء على شكل بخار، وسحب (تتكون من الجليد والماء السائل المعلق في الهواء)، وهطول الأمطار (0.001 %). يتحرك الماء باستمرار خلال دورة الماء من التبخر، والنتح (التبخر)، والتكثيف، والأمطار، والجريان السطحي، وعادة ما يصل إلى البحر.

تلعب المياه دورًا مهمًا في الاقتصاد العالمي. يذهب ما يقرب من 70 % من المياه العذبة التي يستخدمها الإنسان إلى الزراعة. لقد كان الصيد في المسطحات المائية المالحة والعذبة، ولا يزال، مصدرًا رئيسيًا للغذاء في أجزاء كثيرة من العالم، حيث يوفر 6.5 % من البروتين العالمي.

يتم نقل الكثير من تجارة السلع الأساسية لمسافات طويلة (مثل النفط والغاز الطبيعي والمنتجات المصنعة) عن طريق القوارب عبر البحار والأنهار والبحيرات والقنوات. تُستخدم كميات كبيرة من الماء والثلج والبخار للتبريد والتدفئة في الصناعة والمنازل.

يعتبر الماء مذيبًا ممتازًا لمجموعة واسعة من المواد، المعدنية والعضوية؛ على هذا النحو، فهو يستخدم على نطاق واسع في العمليات الصناعية وفي الطبخ والغسيل. يعد الماء والجليد والثلج أيضًا من العناصر الأساسية للعديد من الرياضات وأشكال الترفيه الأخرى، مثل السباحة وركوب القوارب وسباق القوارب وركوب الأمواج ورياضة صيد الأسماك والغوص والتزلج على الجليد والتزلج على الجليد.

سنتناول في هذا الفصل النظريات التي اقترحها العلماء حول منشأ الماء على كوكب الأرض، وخصائص المياه على الأرض ودورة المياه وأهميتها. سنتعرف أيضاً على كل أنواع المياه الموجودة على الأرض، وأثر وجود المياه على الحياة كوكب الأرض ومدى انتشارها ومصادر تلوثها ودور المياه الافتراضية، والبصمة المائية في تحسين الأمن المائي، وقياس استهلاك المياه.

أسماء الماء في القرآن

ذكر القرآن الكريم 23 نوعاً من المياه لكل منها طبيعتها الخاصة وهي:

1. **الماء المغيض :** وهو الذي نزل في الأرض وغاب فيها وغاض الماء: قل ونقص

قال تعالى: ﴿وَغِيضَ ٱلْمَآءُ وَقُضِىَ ٱلْأَمْرُ﴾ هود (44).

2. **الماء الصديد :** وهو شراب أهل جهنم

قال تعالى: ﴿مِّن وَرَآئِهِۦ جَهَنَّمُ وَيُسْقَىٰ مِن مَّآءٍ صَدِيدٍ﴾ إبراهيم (16).

3. **ماء المهل:** القطران ومذاب من معادن أو زيت مغلي

قال تعالى: ﴿وَإِن يَسْتَغِيثُوا۟ يُغَاثُوا۟ بِمَآءٍ كَٱلْمُهْلِ يَشْوِى ٱلْوُجُوهَ﴾ الكهف (29).

4. **ماء الأرض:** الذي خلق مع خلق الأرض ويظل في دوره ثابتة حتى قيام الساعة.

قال تعالى: ﴿وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءًۢ بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّٰهُ فِى ٱلْأَرْضِ﴾ المؤمنون (18).

5. **الماء الطهور :** وهو العذب الطيب

قال تعالى: ﴿وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً طَهُورًا﴾ الفرقان (48).

6. **ماء الشرب :**

قال تعالى: ﴿هُوَ ٱلَّذِىٓ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً لَّكُم مِّنْهُ شَرَابٌ﴾ النحل (10).

7. **الماء الأجاج :** شديد الملوحة وهو غير مستساغ للشراب

قال تعالى: ﴿مَرَجَ ٱلْبَحْرَيْنِ هَٰذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَٰذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ﴾ الفرقان (53).

قال تعالى: ﴿هَٰذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ سَآئِغٌ شَرَابُهُۥ وَهَٰذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ﴾ فاطر (12).

قال تعالى: ﴿لَوْ نَشَآءُ جَعَلْنَٰهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ﴾ الواقعة (70).

8. **الماء المهين :** هو الضعيف والحقير ويقصد به مني الرجل لضعف تحمل مكوناته للعوامل الخارجية

قال تعالى: ﴿ ثُمَّ جَعَلَ نَسْلَهُۥ مِن سُلَٰلَةٍ مِّن مَّآءٍ مَّهِينٍ ﴾ السجدة (8).

قال تعالى: ﴿أَلَمْ نَخْلُقكُّم مِّن مَّآءٍ مَّهِينٍ﴾ المرسلات (20).

9 . **المـــاء غيـر الآسـن :** وهـو المـاء الجـاري المتجـدد الخـالـي مـن الملوثـات. معنـى الآسـن: غيـر متغيـر الرائحـة ، والآسـن مـن المـاء مثـل الآجـن، وقـد أسـن المـاء يأسـن أسـناً وأسـوناً إذا تغيـرت رائحتـه.

قال تعالى واصفاً أنهار الجنة: ﴿فِيهَآ أَنْهَٰرٌ مِّن مَّآءٍ غَيْرِ ءَاسِنٍ﴾ محمد (15).

10 . **المـــاء الحميم :** حم الماء: أي سخن والماء الحميم : شديد السخونة والغليان

قال تعالى: ﴿وَسُقُوا۟ مَآءً حَمِيمًا فَقَطَّعَ أَمْعَآءَهُمْ﴾ محمد (15).

11 . **المـــاء المبـارك :** الذى يحي الأرض وينبت الزرع وينشر الخيـر

قال تعالى: ﴿وَنَزَّلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً مُّبَٰرَكًا فَأَنۢبَتْنَا بِهِۦ جَنَّٰتٍ وَحَبَّ ٱلْحَصِيدِ﴾ ق (9)

12 . **المـــاء المنهمر:** المتدفق بغزارة ولفترات طويلة من السماء فيهلك الزرع والحرث

قال تعالى: ﴿ فَفَتَحْنَآ أَبْوَٰبَ ٱلسَّمَآءِ بِمَآءٍ مُّنْهَمِرٍ﴾ القمر (11).

13 . **المـــاء المسكوب :** الملطف للأرض ويعطي الإحساس بالراحة للعين

قال تعالى: ﴿ وَظِلٍّ مَّمْدُودٍ ﴿٣٠﴾ وَمَآءٍ مَّسْكُوبٍ ﴾ الواقعة (30 : 31).

14 . **المـــاء الغور :** الذي يذهب في الأرض ويغيب فيها فلا ينتفع منه

قال تعالى: ﴿ أَوْ يُصْبِحَ مَآؤُهَا غَوْرًا فَلَن تَسْتَطِيعَ لَهُۥ طَلَبًا ﴾ الكهف (41).

15 . **المـــاء المعين :** الذي يسيل ويسهل الحصول عليه والانتفاع به

قال تعالى: ﴿فَمَن يَأْتِيكُم بِمَآءٍ مَّعِينٍ﴾ الملك (30).

16 . **المـــاء الغدق :** الماء الوفير

قال تعالى: ﴿وَأَلَّوِ ٱسْتَقَٰمُوا۟ عَلَى ٱلطَّرِيقَةِ لَأَسْقَيْنَٰهُم مَّآءً غَدَقًا﴾ الجن (16).

17 . **المـــاء الفرات :** الشديد العذوبة

قال تعالى: ﴿وَأَسْقَيْنَٰكُم مَّآءً فُرَاتًا﴾ المرسلات (27).

18 . **المـــاء الثجاج :** وهو السيل

قال تعالى: ﴿وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلْمُعْصِرَٰتِ مَآءً ثَجَّاجًا﴾ النبأ (14).

19 . **المـــاء الدافق :** وهو مني الرجل يخرج في دفقات

قال تعالى: ﴿خلق من ماءٍ دافق﴾ الطارق (6).

20 . **مـــاء مـــدين**

قال تعالى: ﴿وَلَمَّا وَرَدَ مَآءَ مَدْيَنَ﴾ القصص (23).

21 . **المـــاء السراب:** ما تراه العين نصف النهار كأنه ماء

قال تعالى: ﴿وَٱلَّذِينَ كَفَرُوٓا۟ أَعْمَٰلُهُمْ كَسَرَابٍۭ بِقِيعَةٍ يَحْسَبُهُ ٱلظَّمْـَٔانُ مَآءً﴾ النور (39).

22 . **الأنهار والينابيع :** الذي يسقط من السحاب فيجري في مسالك معروفة

قال تعالى: ﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَسَلَكَهُۥ يَنَٰبِيعَ فِى ٱلْأَرْضِ﴾ الزمر (21).

23 . **الماء السلسبيل:** وهو ماء في غاية من السلاسة وسهولة المرور في الحلق من شدة العذوبة وينبع في الجنة من عين تسمى سلسبيلا لأن ماءها على هذه الصفة

قال تعالى: ﴿عَيْنًا فِيهَا تُسَمَّىٰ سَلْسَبِيلًا﴾ الإنسان (18).

أصـــل وطبيعـــة الميـــاه

أحد العوامل في تقدير وقت ظهور الماء على الأرض هو أن الماء يفقد باستمرار في الفضاء. يتم تفتيت جزيئات الماء الموجودة في الغلاف الجوي عن طريق التحلل الضوئي، ويمكن لذرات الهيدروجين الحرة الناتجة أحيانًا أن تفلت من جاذبية الأرض.

عندما كانت الأرض أصغر عمرًا وأقل كتلة، كان من الممكن فقدان الماء في الفضاء بسهولة أكبر. من المتوقع أن تتسرب العناصر الأخف مثل الهيدروجين والهيليوم من الغلاف الجوي باستمرار، لكن النسب النظائرية للغازات النبيلة الأثقل في الغلاف الجوي الحديث تشير إلى أنه حتى العناصر الأثقل الموجودة في الغلاف الجوي المبكر كانت عرضة لخسائر كبيرة.

على وجه الخصوص، يعتبر الزينون مفيدًا لحسابات فقدان الماء مع مرور الوقت. إنه ليس غازًا نبيلًا فحسب (وبالتالي لا يتم إزالته من الغلاف الجوي من خلال تفاعلات كيميائية مع عناصر أخرى)، ولكن المقارنات بين وفرة نظائره التسعة المستقرة في الغلاف الجوي الحديث تكشف أن الأرض فقدت محيطًا واحدًا على الأقل من الماء في وقت مبكر في تاريخها، بين العصرين الهادياني والأركي.

كان من الممكن أن تتعطل أي مياه على الأرض خلال الجزء الأخير من تراكمها بسبب تأثير تكوين القمر (منذ نحو 4.5 بليون سنة)، والذي من المحتمل أن يؤدي إلى تبخير جزء كبير من قشرة الأرض والوشاح العلوي وخلق جوًا من بخار الصخور حول الكوكب الفتي.

من المفترض أن يكون البخار الصخري قد تكثف خلال ألفي عام، تاركًا وراءه مواد متطايرة ساخنة مما أدى على الأرجح إلى تكوين غلاف جوي غالبيته من

ثاني أكسيد الكربون مع الهيدروجين وبخار الماء. وبعد ذلك، ربما تكون محيطات المياه السائلة موجودة على الرغم من درجة حرارة السطح البالغة 230 درجة مئوية بسبب زيادة الضغط الجوي لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ومع استمرار التبريد، تمت إزالة معظم ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي عن طريق الاندساس والذوبان في مياه المحيط، لكن المستويات تأرجحت بشكل كبير مع ظهور دورات سطحية ووشاح جديدة.

تساعد الأدلة الجيولوجية أيضًا في تحديد الإطار الزمني للمياه السائلة الموجودة على الأرض. تم انتشال عينة من وسادة البازلت (نوع من الصخور التي تشكلت أثناء ثوران بركاني تحت الماء) من حزام إيسوا جرينستون Greenstone Belt وتقدم دليلاً على وجود الماء على الأرض قبل 3.8 بليون سنة. في حزام جرينستون الجديد Nuvvaagittuq Greenstone، كيبيك، كندا، تظهر الصخور التي يرجع تاريخها إلى 3.8 بليون سنة من خلال إحدى الدراسات و 4.28 بليون سنة من خلال دراسة أخرى دليلاً على وجود الماء في هذه العصور.

إذا كانت المحيطات موجودة قبل ذلك، فلن يتم اكتشاف أي دليل جيولوجي بعد (والذي قد يكون بسبب تدمير مثل هذه الأدلة المحتملة من خلال العمليات الجيولوجية مثل إعادة تدوير القشرة الأرضية). وفي الآونة الأخيرة، في أغسطس 2020، أفاد الباحثون أن كمية كافية من المياه لملء المحيطات ربما كانت موجودة دائمًا على الأرض منذ بداية تكوين الكوكب.

وعلى عكس الصخور، فإن المعادن التي تسمى الزركون تتمتع بمقاومة عالية للعوامل الجوية والعمليات الجيولوجية، ولذلك فهي تُستخدم لفهم الظروف التي كانت موجودة على الأرض في وقت مبكر جدًا. أظهرت الأدلة المعدنية من الزركون أن الماء السائل والغلاف الجوي يجب أن يكونا موجودين منذ 4.404 ± 0.008 بليون سنة، بعد وقت قصير جدًا من تكوين الأرض.

يمثل هذا نوعًا من التناقض، حيث تشير فرضية برودة الأرض المبكرة إلى أن درجات الحرارة كانت باردة بما يكفي لتجميد الماء منذ نحو 4.4 بليون إلى 4.0 بليون سنة. تشير دراسات أخرى عن الزركون الموجود في صخور الهاديان الأسترالية إلى وجود الصفائح التكتونية منذ 4 بلايين سنة مضت.

إذا كان هذا صحيحًا، فهذا يعني ضمنًا أنه بدلاً من السطح الساخن المنصهر والغلاف الجوي المليء بثاني أكسيد الكربون، كان سطح الأرض المبكر كما هو اليوم (من حيث العزل الحراري). يحبس عمل الصفائح التكتونية كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي يقلل من تأثيرات الاحتباس الحراري، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة السطح بشكل كبير وتكوين الصخور الصلبة والمياه السائلة.

• طبيعة وخصائص الماء

الثبات : لعل من أهم ما يميز الماء عن غيره من المواد هو ثباته كمركب كيميائي، وربما يكون الماء أثبت مركب كيميائي معروف، فالكميات الموجودة منه على ظهر الأرض هي نفسها التي كانت منذ ملايين السنين. يسخن الماء ويبرد ويتجمد ويتبخر ويستخدم كمذيب لمواد أخرى ويتعرض لكافة التغيرات الكيميائية والفيزيائية، ولكنه يرجع مرة أخرى كما كان ماءً سائلا.

الإذابة : يمكن للماء أن يذيب مواد صلبة وسائلة وغازية، وينتج عن ذلك محاليل قد تحتوي على المذاب في حالة تأين مثل كلوريد الصوديوم أو غير متأين كالأكسجين الذي يذوب في حالته الجزيئية، وقدرة الماء الفائقة على الإذابة التي تسبب ازدياد ملوحته وبالتالي تزيد من الحاجة إلى إزالة هذه الملوحة.

ومن الخواص الفريدة للماء :

- ارتفاع درجة التجمد
- ارتفاع درجة الغليان.
- كبر الفرق بين درجة التجمد ودرجة الغليان
- ارتفاع الحرارة الكامنة اللازمة للتبخير.
- ارتفاع التوتر السطحي
- انخفاض كثافة الماء فنظريا كان يجب أن تكون كثافة الماء 1.84 جم / سم^3 ولكنها في المتوسط 1 جم / سم^3.

وهناك درجتا حرارة عند كل منهما يظهر للماء خصائص فريدة: فعند 4 درجة مئوية تصل كثافة الماء إلى أعلى قيمة لها. وعند درجة 35 درجة مئوية تصل حرارته النوعية إلى أقل قيمة لها وعند درجات حرارة أعلى من 35 درجة مئوية لا تتأثر اللزوجة بارتفاع الضغط .

جميع خواص الماء من درجة تجمد ودرجة غليان وحرارة نوعية وحرارة كامنة أعلى بكثير مما يمكن التنبؤ به من وزنه الجزيئي إذا ما قورن بمركبات الهيدروجين الأخرى المشابهة. الماء ليس كله H_2O^{16} بل أنه خليط من مركبات تجمع بين الهيدروجين (H^1) والديوتيريوم (D^2) والتريتيوم (Tr^3) مع أي نظائر الأكسجين الثابتة O^{16}, O^{17}, O^{18}.

أن وضع ذرتي الهيدروجين بالنسبة لكل ذرة أكسجين هو أن الخطين الممثلين لقوة الجذب بين نواة الأكسجين ونواتي ذرتي الهيدروجين ليسا على امتداد واحد ولكنهما يكونان زاوية قدرها 104.5 درجة وهذا يعطى جزئ الماء خاصيته

القطبية الثنائية Dipole Nature والتي يترتب عليها أن الجزيء يصبح وكأنه مغناطيس ذو قطبين أحدهما موجب ناحية ذرة الهيدروجين والآخر سالب ناحية ذرة الأكسجين ومن ثم يتقارب القطب الموجب لأحد الجزيئات بالقطب السالب لجزيء آخر ويتكون عن ذلك رابطة بين الجزيئين تسمى رابطة هيدروجينية (Hydrogen Bond).

• مواصفات الماء من الطبيعة

♦ مياه الأمطار والأنهار

مياه المطر أو الثلوج المتساقطة من أنقى أنواع المياه، فمصدرها بخار الماء النقي، ولكن القدرة الفائقة للماء على الإذابة تمكن مياه المطر من إذابة ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو حتى قبل أن تصل هذه المياه إلى سطح الأرض، كما أنها قد تذيب بعض الغازات الأخرى الموجودة في الجو. وما أن تصل المياه إلى سطح الأرض وتلامس موادا قابلة للذوبان حتى تبدأ في إذابتها. وكلما طال مسار المياه على سطح الأرض أو خلالها كلما زاد هذا المحتوى.

♦ مياه البحار

إن ماء البحر وغيره من أصناف المياه المالحة التي منها يستخلص الإنسان مياهه العذبة ماهي إلا محاليل مائية للأملاح، ويختلف التركيز الكلي للأملاح في مياه البحر من مكان إلى آخر. في البحر الأحمر ومياه الخليج العربي يعادل تقريبا ستة أضعاف قيمته في بحر البلطيق.

البحار	تركيز الأملاح (جزء في المليون)
بحر البلطيق	7000
البحر الأسود	13000
البحر الأدرياتيكي	25000
المحيط الهادي	23600
المحيط الهندي	33800
البحر الأبيض المتوسط	39400
الخليج العربي (الكويت)	42100
البحر الأحمر (جدة)	41200
البحر الأحمر (ينبع)	43300

♦ المياه متوسطة الملوحة Brackish Water

ليست البحار والمحيطات هي المصدر الوحيد للمياه المالحة، فهي قد تأتي أيضا من جوف الأرض أو من الآبار والينابيع، غير أن هذه المياه تختلف عن مياه البحر ليس فقط في كون التركيز الكلى للأملاح فيها أقل بكثير من مياه البحر، ولكنها تختلف في نسب أملاحها عن مياه البحر ، كما تختلف أيضا فيما بينها من حيث التكوين الكيميائي وهذا يرجع إلى اختلاف الطبقات الجيولوجية التي تمر خلالها هذه المياه، والتي تختلف في محتواها من المواد، ويطلق على المياه التي يكون التركيز الكلى للأملاح فيها أقل من مياه البحر، ولكنه أعلى مما يسمح باستخدام الكائنات الحية له اسم المياه متوسطة الملوحة ما يطلق عليها أيضا اسم الماء الزعاق أو الماء الأخضر أو المياه الصليبية.

ومن الممكن تقسيم المياه حسب درجة ملوحتها إلى الأقسام التالية:

نـــــوع المـــــاء	درجة الملوحة (جزء في المليون أملاح ذائبة TDS)
مـــاء عـذب	1500 – 50
مـــاء متوسط الملوحـة	25000 – 1500
مـــاء بحـــر	50000 – 25000
محاليل ملحيـــة (Brine)	أكثر من 50000

• توزيـــع المـيـــاه

دراسة توزيع المياه هي الهيدروغرافيا. دراسة توزيع وحركة المياه الجوفية هي الجيولوجيا المائية، والأنهار الجليدية هي علم الجليد، والمياه الداخلية هي علم الليمون، وتوزيع المحيطات هو علم المحيطات. العمليات البيئية مع الهيدرولوجيا هي محور الهيدرولوجيا البيئية. تسمى الكتلة الكلية للمياه الموجودة على سطح الكوكب وتحته وفوقه بالغلاف المائي. يبلغ حجم المياه التقريبي للأرض (إجمالي إمدادات المياه في العالم) 1.386 بليون كيلومتر مكعب.

يوجد الماء السائل في المسطحات المائية، مثل المحيط أو البحر أو البحيرة أو النهر أو الجدول أو القناة أو البركة أو البركة. غالبية الماء على الأرض هو ماء البحر. يوجد الماء أيضًا في الغلاف الجوي في حالات صلبة وسائلة وبخارية. كما أنها موجودة كمياه جوفية في طبقات المياه الجوفية. الماء مهم في العديد من العمليات الجيولوجية. توجد المياه الجوفية في معظم الصخور، ويؤثر ضغط

هذه المياه الجوفية على أنماط التصدع. الماء الموجود في الوشاح هو المسؤول عن الذوبان الذي ينتج البراكين في مناطق الاندساس.

على سطح الأرض، يلعب الماء دورًا مهمًا في عمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية. الماء، وإلى حد أقل ولكن لا يزال هامًا، الجليد، مسؤولان أيضًا عن كمية كبيرة من نقل الرواسب التي تحدث على سطح الأرض. يشكل ترسب الرواسب المنقولة أنواعًا عديدة من الصخور الرسوبية، والتي تشكل السجل الجيولوجي لتاريخ الأرض.

ظواهـــر مائيـــة

هناك العديد من الظواهر المائية نشاهدها باستمرار على سطح الأرض وتم ذكرها في القران الكريم. ومن أهمها: **مرج البحرين وظاهرة السراب وظاهرة الطوفان.**

• ظاهـرة مـرج البحريـن

تُقسم المياه إلى مياه الأنهار العذبة، ومياه البحار شديدة الملوحة، بالإضافة إلى منطقة المصب وهي مزيج من النوعين مالحة وعذبة، حيث تفصل بين النهر، والبحر. يحيط بمنطقة المصب حاجز مائي؛ يُساهم في الحفاظ على خصائصها المميزة. يفصل الحاجز المائي بين مياه البحر والنهر، ويحول دون امتزاجهما مباشرة، على الرغم من وجود مسببات قوية للمزج؛ كالمد والجزر، والأعاصير والفيضانات. تستطيع معظم الكائنات العيش في بيئة واحدة فقط، من البيئات المائية الثلاث سواء المالحة أو العذبة أو في المصب، وتموت في غيرها؛ نظراً لاختلاف الضغط، إلا أنّ بعضها يُمكنه العيش في جميع البيئات، مثل السلمون، وثعابين البحر.

تُصنّف ظاهرة مرج البحرين على أنّها إحدى الظواهر الكونيّة البحريّة العجيبة، والتي تتشكّل بين الماء العذب وماء البحر المالح، أو بين البحار المالحة نفسها، هذه الظاهرة هي وجود حاجز أو فاصل بين المياه المالحة والمياه العذبة عند التقائهما في مكان ما، هذا الحاجز يحول دون حركة كل من المائيين باتجاه بعضهما البعض، فلا يمتزجان مع أن مستوى الماء العذب أعلى من مستوى الماء المالح. **يعود سبب حدوث ظاهرة مرج البحرين حسب تفسير العلماء إلى اختلاف كثافة المياه، وحرارتها، والتباين في ملوحة المياه وخصائصها الأخرى. يُعتبر وجود**

طبقتين مُختلفتين في الكثافة من المياه فوق بعضهما البعض أمراً طبيعياً، حيث تكون الطبقة العليا أقل كثافةً من الطبقة السفلى، بينما وجود طبقتين مُختلفتين في الكثافة بجانب بعضهما أمراً غير طبيعي كما في هذه الظاهرة.

ذكر الدكتور **منصور أبو شريعة** أن أول من لاحظ وجود حاجز مائي بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحار المالحة العالم الهولندي **غيبن** (Baden-Ghyben) في عام 1888م، والعالم الألماني **هيرزبيرغ** (Herzberg) في عام 1901م. لقد تمكن العالمان من اشتقاق علاقة تحدد عمق الحاجز عن سطح البحر، وسميت علاقة **غيبن-هيرزبيرغ**. تعتمد العلاقة في اشتقاقها على حقيقة أن كثافة الماء المالح تزيد عن كثافة الماء العذب حيث تبلغ كثافة الماء المالح 1.025 غرام لكل سنتيمتر مكعب، بينما تبلغ كثافة الماء العذب غرام واحد لكل سنتيمتر مكعب، وبناء على هذه الحقيقة وجد العالمان أن عمق الحاجز الموجود بين المائيين تحت سطح البحر يبلغ أربعين ضعف ارتفاع مستوى الماء العذب فوق سطح البحر. وهذا يعني أن مثل هذا الحاجز لن ينشأ إذا تساوى مستوى الماء العذب مع مستوى الماء المالح.

تحدث القرآن الكريم عن وجود هذه الظاهرة العجيبة في ثلاث آيات قرآنية:

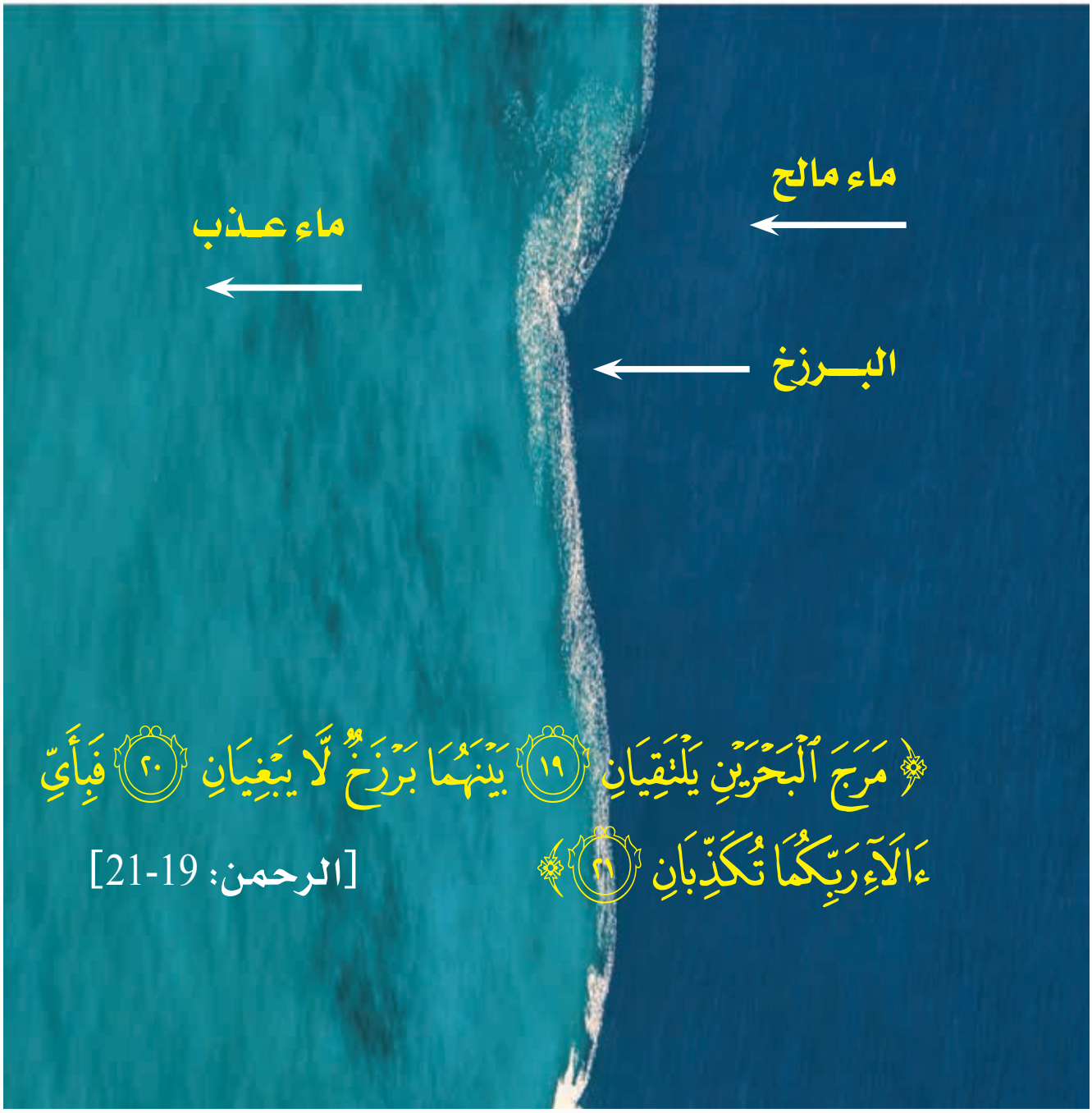
في قوله تعالى: ﴿وَهُوَ ٱلَّذِى مَرَجَ ٱلْبَحْرَيْنِ هَٰذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَٰذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا﴾ [الفرقان: 53] **وقوله عز وجل:** ﴿أَمَّن جَعَلَ ٱلْأَرْضَ قَرَارًا وَجَعَلَ خِلَٰلَهَآ أَنْهَٰرًا وَجَعَلَ لَهَا رَوَٰسِىَ وَجَعَلَ بَيْنَ ٱلْبَحْرَيْنِ حَاجِزًا ۗ أَءِلَٰهٌ مَّعَ ٱللَّهِ ۚ بَلْ أَكْثَرُهُمْ لَا يَعْلَمُونَ﴾ [النمل: 61] **وقوله سبحانه:** ﴿مَرَجَ ٱلْبَحْرَيْنِ يَلْتَقِيَانِ ﴿١٩﴾ بَيْنَهُمَا بَرْزَخٌ لَّا يَبْغِيَانِ ﴿٢٠﴾ فَبِأَىِّ ءَالَآءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ ﴿٢١﴾﴾ [الرحمن: 19-21].

جاءت الكلمات القرآنية التي تصف هذا الحاجز المائي في غاية الدقة، فقد وصفته بأنه برزخ (Interface) والبرزخ كما هو معروف هو مرحلة أو حالة انتقالية

(Transition State) تقع بين مرحلتين أو حالتين مختلفتين. وأما كلمتي ﴿وَحِجْرًا مَّحْجُورًا﴾ فتصف هذا الحاجز بأنه كالحجر بكسر الحاء والذي يحجر أو يمنع دخول الأشياء إليه، وهذا ما يقوم به هذا الحاجز أو البرزخ المائي؛ حيث يمنع دخول الماء المالح إليه من جهة البحر المالح، وكذلك الحال مع الماء العذب. إن حركة الماء في داخل البرزخ محدودة جدا، بعكس حركة الماء المالح والماء العذب المحيطة به؛ ولذا فإنه يعتبر ماء راكدا وتتعرض المواد العضوية في داخله للتعفن وتنبعث منه رائحة كريهة ولذا سمي بالماء الآسن أو الكريه (Brackish Water).

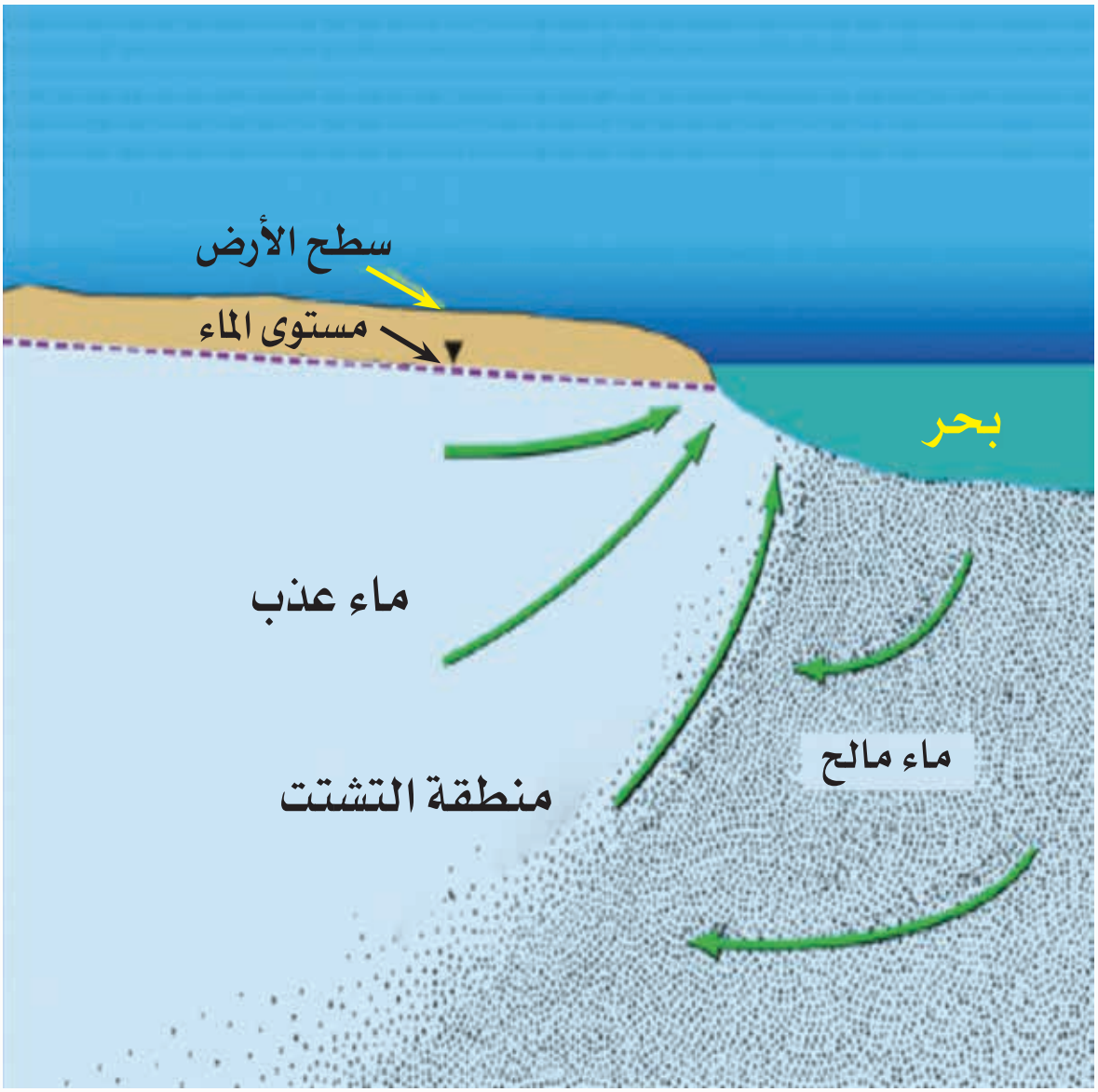
أما قوله تعالى ﴿بَيْنَهُمَا بَرْزَخٌ لَّا يَبْغِيَانِ﴾ فالآية تعبر عن الوظيفة الرئيسية لهذا البرزخ المائي، وهي منع تدفق واختلاط الماء المالح من البحر المالح مع الماء العذب في البحر العذب وكذلك العكس. وكذلك أكدت إحدى الآيات التي تتحدث عن البرزخ المائي أن هذه الظاهرة تحدث بشكل رئيسي عند التقاء البحار المالحة والبحار العذبة.

يُوجد مرج البحرين في مياه البحار والمحيطات، ويُشكّل حاجزاً يفصل بين أي مسطحين مائيين أو بحرين مختلفين في صفاتهما الطبيعية، كما هو الحال في المنطقة الحدودية بين مياه البحر الأبيض المتوسط الساخنة والمالحة مع مياه المحيط الأطلسي الباردة والأقل ملوحة. وكذلك المنطقة الحدود المائية بين مياه البحر الأحمر ومياه خليج عدن وكذلك نقطة التقاء خليج عُمان والخليج العربي.



﴿ مَرَجَ ٱلۡبَحۡرَيۡنِ يَلۡتَقِيَانِ ١٩ بَيۡنَهُمَا بَرۡزَخٞ لَّا يَبۡغِيَانِ ٢٠ فَبِأَيِّ ءَالَآءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ ٢١ ﴾

[الرحمن: 19-21]



ظاهرة مرج البحرين إحدى الظواهر الكونيّة البحريّة العجيبة، والتي تتشكّل بين الماء العذب وماء البحر المالح، أو بين البحار المالحة نفسها وبينهما حاجزاً (برزخا) يفصل بينهما لاختلاف خاصيتي الكثافة والحرارة وغيرها

• ظاهـــرة الســـراب

سـمي السـراب بهـذا الاسـم لأنـه يشـبه تسـرب الماء وجريه وتعـرف ظاهـرة السـراب Mirage Phenomenon بأنهـا ظاهـرة بصريـة أو خـداع بصـري يحـدث عندمـا تنحنـي أو تنكسـر أشـعة الضـوء مـن الأجسـام البعيـدة؛ في أثنـاء مرورهـا عبـر طبقـات الهـواء التـي تكـون ذات درجـات حـرارة مختلفـة، ممـا يسـبب وهمًـا للراصـد بـأن الضـوء يأتـي مـن الأرض، فغالبًـا مـا يجعـل السـراب الأشـياء تبـدو أقـرب، أو أطـول. يعـود سـبب هـذه الظاهـرة إلـى كثافـة الهـواء البـارد التـي تزيـد عـن كثافـة الهـواء السـاخن، ممـا يؤدي إلـى زيـادة معامـل الانكسـار. وبالتالـي، تبـدو هنـاك أشـياء أخـرى تطفـو في الجـو مثـل الجبـل أو سـفينة عملاقـة.

كمـا نلاحـظ ظاهـرة السـراب علـى الطـرق الإسـفلتية التـي تكـون دائمـا سـاخنة بسـبب أشـعة الشـمس المباشـرة عليهـا، ونظـرا للـون الأسـود للأسـفلت، يبـدو سـطح الطريـق للشـخص الـذي يـراه مـن بعيـد وكأنـه مغطـى ببركـة مـاء، ولكـن يكتشـف المشـاهد عندمـا يقتـرب منهـا أن هـذه الظاهـرة هـي فقـط خدعـة بصريـة، حيـث يتبعدهـا المشـاهد كلمـا حـاول الاقتـراب منهـا، وتبقـى المسـافة بـين المشـاهد والبركـة ثابتـة.

قـال اللّه سـبحانه وتعالـى: ﴿وَٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَعۡمَٰلُهُمۡ كَسَرَابِۭ بِقِيعَةٖ يَحۡسَبُهُ ٱلظَّمۡـَٔانُ مَآءً حَتَّىٰٓ إِذَا جَآءَهُۥ لَمۡ يَجِدۡهُ شَيۡـٔٗا وَوَجَدَ ٱللَّهَ عِندَهُۥ فَوَفَّىٰهُ حِسَابَهُۥۗ وَٱللَّهُ سَرِيعُ ٱلۡحِسَابِ﴾. [سـورة النـور 39].

شـبه السـراب بالمـاء وليـس بالمـرآة، لأن ظاهـرة السـراب لا تحـدث إلا بوجـود الهـواء المتحـرك (تيـارات الحمـل) فتظهـر طبقـات الهـواء متموجـة مثـل المـاء، وكلمـا اقتربنـا مـن السـراب ابتعـد عنـا وبالتالـي فـإن المسـافة بـين عـين النـاظر والسـراب ثابتـة.

تتشكل ظاهرة السراب في الصحراء عندما تكون كثافة الهواء الساخن القريب من سطح الأرض أقل من كثافة الهواء في الطبقات العليا، وهذا يجعل الضوء المنعكس عن هذه المنطقة ينكسر وينحني، وبالتالي يعود الضوء إلى الأعلى مما يجعله يبدو وكأنه سطح الماء الهادئ الذي يعكس صفحة الماء. ونظرا لارتفاع درجة الحرارة، تبدو الصورة كأنها لا نهاية لها. وكلما اقترب المشاهد من الصورة، ابتعدت عنه.

• ظاهـــرة الطوفـــان

جاءت كلمة طوفان من المصدر طاف، والطوفان يعني فيضان عظيم، أو سَيْل مُغْرِق، أو ماء غالب يغشى كلّ شيء، أو ما كان كثيراً أَو عظيماً من الأَشياء أَو الحوادث بحيث يطغَى على غيره. ذكرت كلمة «طوفان» في القرآن الكريم مرتين.

- ويعرف الطوفان علميا بأنه زيادة المياه بصورة مفاجئة وبكميات أكبر بكثير من الطاقة الاستيعابية للمسطح المائي مما يؤدي الى الدمار والهلاك. ومن الصور الإعجازية التي ورد ذكرها في القران ما كان من قوم فرعون الذين كذبوا نبي الله موسى فأرسل عليهم مياه (فيضان) نهر النيل بصورة (طوفان) دمر الحرث والنسل.

في سورة الاعراف، الآية 133، ﴿ فَأَرْسَلْنَا عَلَيْهِمُ ٱلطُّوفَانَ وَٱلْجَرَادَ وَٱلْقُمَّلَ وَٱلضَّفَادِعَ وَٱلدَّمَ ءَايَٰتٍ مُّفَصَّلَٰتٍ فَٱسْتَكْبَرُوا۟ وَكَانُوا۟ قَوْمًا مُّجْرِمِينَ ﴾

- وأما الطوفان على قوم نوح فقد كان تأثيره على البشرية جمعاء. في سورة العنكبوت، الآية 14، ﴿وَلَقَدْ أَرْسَلْنَا نُوحًا إِلَىٰ قَوْمِهِۦ فَلَبِثَ فِيهِمْ أَلْفَ سَنَةٍ إِلَّا خَمْسِينَ عَامًا فَأَخَذَهُمُ ٱلطُّوفَانُ وَهُمْ ظَٰلِمُونَ﴾

وفي عام 2023 م تعرضت مدينة درنة الليبية لإعصار قوي (طوفان) أطلق عليها العاصفة «دانيال» شبه الاستوائية نادرة الحدوث، وهي ظاهرة استثنائية تحدث عند التقاء كتلة هوائية باردة على ارتفاع وأخرى أكثر دفئاً قادمة من البحر الأبيض المتوسط. لقد أدى انهيارات سد درنة (10–11 سبتمبر 2023)

على مدار ليلتين في أعقاب العاصفة دانيال إلى إطلاق ما يقدر بنحو 30 مليون متر مكعب من المياه، مما تسبب في حدوث فيضانات في اتجاه مجرى النهر حيث فاض وادي درنة على ضفافه. تم تقدير منسوب مياه الأمطار التي هطلت على ليبيا متراً؛ إذ إن كمية الأمطار التي غمرت منطقة البحر المتوسط كانت أكبر من أي وقت مضى منذ منتصف القرن التاسع عشر.

فيضان (طوفان) مدينة درنة الليبية 2023 م

تسبب إعصار دانيال 2023 بكوارث هائلة في البلاد التي ضربها. فقد بدأ في مطلع سبتمبر وضرب كلا من تركيا وبلغاريا واليونان ، بالإضافة إلى فيضانات كبيرة وسجل أشد عاصفة ممطرة شهدتها اليونان منذ عام 1930. وحين وصل الإعصار إلى السواحل الليبية زادت سرعته وأدى إلى إلحاق أضرار كبيرة في المدن التي ضربها.

وكانت درنة الأكثر تضررا من الإعصار. إذ تقع المدينة على سفح جبل يفصلها وادٍ، يعد هذا الوادي المكان الوحيد الذي تجتمع فيه المياه المنحدرة من وديان الجبل الأخضر في شرق ليبيا، كما أنه مصب السيول القادمة من جنوب المدينة.

حين بدأ إعصار دانيال امتلأ الوادي بمياه الأمطار القادمة مع الإعصار وارتفع مستواها على نحو غير مسبوق، مما شكّل طوفانا وضغطا هائلا على السدين اللذين يحجزان المياه في الوادي، أدى ذلك إلى انهيارهما وضرب الطوفان المدينة وأدى إلى غرق أحياء كاملة جرفتها السيول وألقتها في البحر.

الـــدورة المائيـــة (الهيدرولوجية)

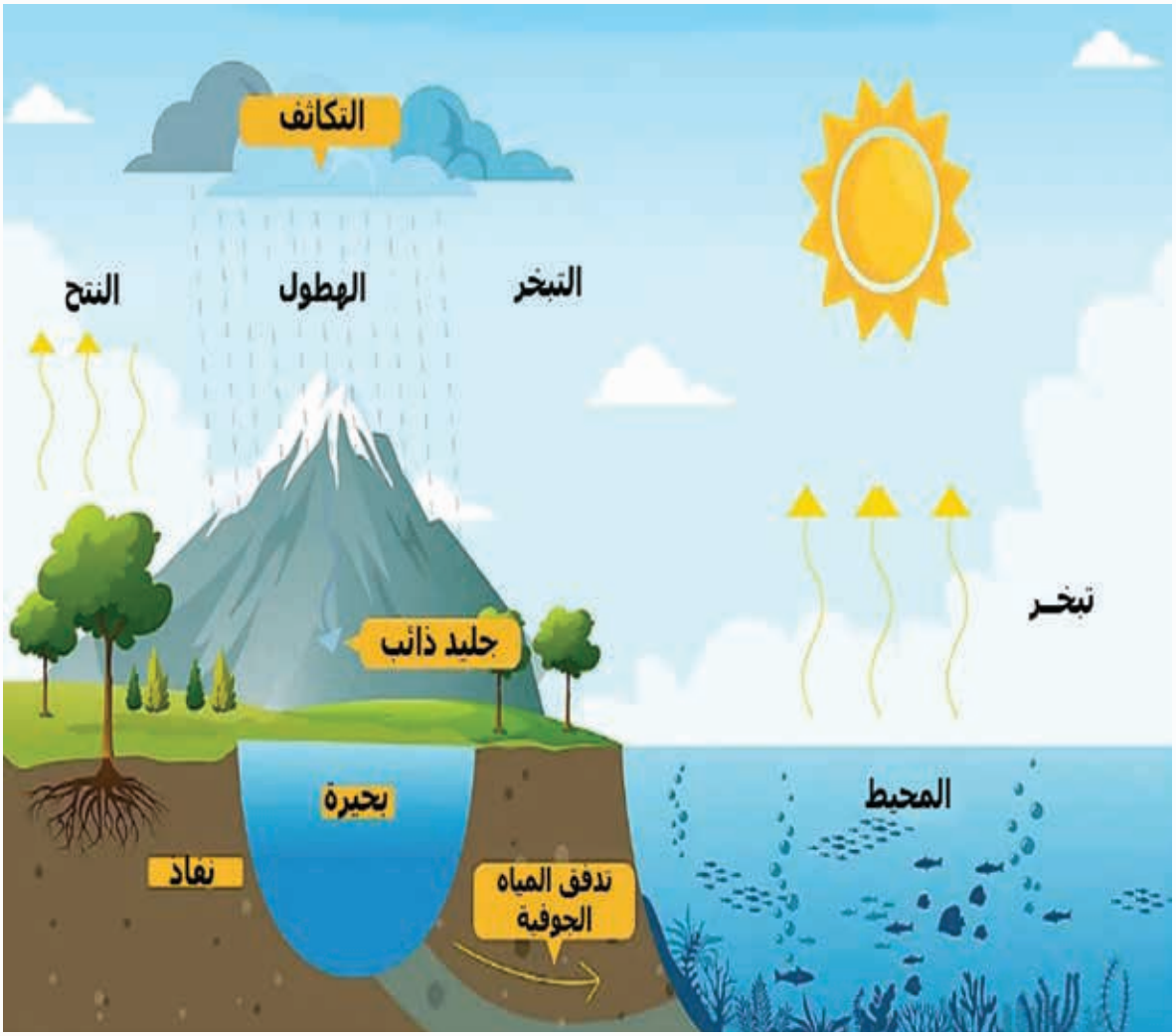
الدورة المائية (المعروفة علميا بالدورة الهيدرولوجية) هي التبادل المستمر للمياه داخل الغلاف المائي، بين الغلاف الجوي ومياه التربة والمياه السطحية والمياه الجوفية والنباتات. يتحرك الماء بشكل دائم عبر كل منطقة من هذه المناطق.

بالرغم من أن البحار والمحيطات التي تحتوي على أكثر من ٩٧٪ مما على الأرض من ماء لا تسمح ملوحة مائها باستخدام النباتات والحيوانات لها، إلا أنها تبقى المصدر الرئيسي للمياه العذبة. ويتم ذلك عن طريق ما يعرف بالدورة الهيدرولوجية للماء. سميت بهذا الاسم لأن المياه تكمل دورة كاملة خلال حركتها في الأرض، تليها مرحلة التبخر، ثم العودة في النهاية إلى نفس المصدر. خلال هذه الدورة تتغير طبيعة الماء، ويمر بكافة حالاته الثلاث من بخار (غاز)، إلى سائل (ماء)، إلى صلب (جليد وثلوج).

تتضمن الدورة الهيدرولوجية أربع عمليات رئيسية: **التبخر** ، **والتكثيف** ، **والهطول** ، **والجريان السطحي**. يحدث **التبخر** عندما تسخن الشمس المياه في المحيطات أو البحيرات أو الأنهار أو المسطحات المائية الأخرى وتتحول إلى بخار ماء. يرتفع بخار الماء إلى الغلاف الجوي حيث يبرد ويتكثف في السحب من خلال عملية تسمى **التكثيف**. عندما تصبح الغيوم مشبعة بالرطوبة ، فإنها تطلق الأمطار على شكل مطر أو ثلج.

يمكن أن يتسرب الترسيب إلى الأرض أو يصب في الأنهار والجداول. يحدث التسرب عندما تتسرب الأمطار إلى التربة وتتحول إلى مياه جوفية. يحدث **الجريان السطحي** عندما يتدفق هطول الأمطار على أسطح الأرض نحو الأنهار والجداول.

والجـزء مـن هـذا المـاء الـذي يتسـاقط علـى اليابسـة هـو الـذي يعـوض مـا يستهلكه الإنسـان من مياه الأنهار والبحيرات والآبار والينابيع. وبعد أن يستخدم الإنسـان الماء يأخذ الجزء الأكبر منه طريقه إلى البحار كمياه صرف فتكتمل بذلك الدورة الهيدرولوجية .



الدورة المائية الهيدرولوجية في الطبيعة

أنـــواع الميـــاه

الماء مورد طبيعي أساسي للحياة. فهو يقع في صميم التنمية المستدامة وهو أمر بالغ الأهمية للتنمية الاجتماعية والاقتصادية، وإنتاج الطاقة والغذاء، والنظم الإيكولوجية الصحية، وبقاء الإنسان، هناك أنواع مختلفة من المياه بناءً على خصائصها الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية. ومن الأنواع الرئيسية للمياه هي:

• الميـــاه الصالحـــة للشـــرب

المياه الصالحة للشرب Potable Water أو مياه الشرب هي المياه الصالحة للاستهلاك البشري والتي خضعت للمعالجة المناسبة ويمكن استهلاكها دون أي مخاطر.

يجب أن تكون مياه الشرب نظيفة، بلا طعم، بلا رائحة، بلا لون، وخالية من أية ملوثات، وإن كانت تحتوي على مواد ذائبة مفيدة لنا.

وفي الوقت الحالي، لا يحصل 3 من كل 10 أشخاص على مياه الشرب، ولا يتمكن 6 من كل 10 أشخاص من الوصول إلى مرافق الصرف الصحي الآمنة. إن العيش دون الحصول على مياه الشرب يعرض الصحة والتعليم والإنتاجية الاقتصادية للخطر، ويزيد من خطر الإصابة بالأمراض في جميع أنحاء العالم.

• الميـــاه العذبـــة

توجد المياه العذبة Fresh Water بشكل طبيعي على سطح الأرض على شكل جليد، وكمياه في الأراضي الرطبة والبرك والبحيرات والأنهار والجداول، وكمياه جوفية في طبقات المياه الجوفية. وعادة ما يحتوي على تركيز منخفض من الأملاح الذائبة والمواد الصلبة.

في الصور الملتقطة من الفضاء، يمكننا أن نرى أن كوكبنا يحتوي على مياه أكثر من اليابسة. ومن غير المتوقع وغير المتصور إلى حد ما أن أقل من ثلاثة بالمائة من مياه الأرض هي مياه عذبة. ووفقاً لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية، لا يمكن الوصول إلى معظم هذه النسبة البالغة ثلاثة بالمائة.

يوجد أكثر من 68 % من المياه العذبة على الأرض في القمم الجليدية والأنهار الجليدية، ويوجد ما يزيد قليلاً عن 30 % في المياه الجوفية. يوجد نحو 0.3 بالمائة فقط من المياه العذبة لدينا في المياه السطحية للبحيرات والأنهار والمستنقعات.

من بين جميع المياه الموجودة على الأرض، فإن أكثر من 99 % من مياه الأرض غير صالحة للاستخدام من قبل البشر والعديد من الكائنات الحية الأخرى. يبدو من غير العادي أن المياه التي تدعم جميع أشكال الحياة الأرضية، وكذلك المائية، على كوكبنا هي في الواقع نادرة جدًا.

ومع هذا الإدراك المذهل يأتي إدراك أنه يتعين علينا استخدام هذا المورد بحكمة شديدة. الخطوة الأولى المهمة هي تثقيف أنفسنا والأجيال القادمة من المواطنين.

• الماء المالح

الماء المالح Salt Water ويسمى أيضًا ماء البحر، ويوجد في محيطات وبحار الأرض. ويبلغ تركيز الأملاح الذائبة فيه نحو 3.5 %. وهذا يعني أن كل كيلوغرام (نحو لتر واحد من حيث الحجم) من مياه البحر يحتوي على نحو 35 غراما (1.2 أونصة) من الأملاح الذائبة (في الغالب أيونات الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-)). متوسط الكثافة على السطح 1.025 كجم/لتر. مياه البحر أكثر كثافة من المياه العذبة والمياه النقية (كثافة 1.0 كجم/لتر عند 4 درجات مئوية) لأن

الأملاح الذائبة تزيد الكتلة بنسبة أكبر من الحجم. تنخفض درجة تجمد مياه البحر مع زيادة تركيز الملح. في الملوحة النموذجية، يتجمد عند درجة حرارة 2- درجة مئوية تقريبًا.

وقد عثر على أبرد مياه بحر لا تزال في حالة سائلة تم تسجيلها على الإطلاق في عام 2010، في تيار تحت نهر جليدي في القطب الجنوبي: كانت درجة الحرارة المقاسة 2.6- درجة مئوية.

عادة ما يقتصر الرقم الهيدروجيني لمياه البحر على نطاق يتراوح بين 7.5 و8.4. ومع ذلك، لا يوجد مقياس مرجعي مقبول عالميًا للأس الهيدروجيني لمياه البحر، وقد يصل الفرق بين القياسات المستندة إلى مقاييس مرجعية مختلفة إلى 0.14 وحدة.

• المياه المالحة

تقع ملوحة المياه قليلة الملوحة في مكان ما بين ملوحة المياه العذبة ومياه البحر. لم يتم تحديد ملوحة المياه قليلة الملوحة بدقة؛ ويمكن أن تتراوح بين 0.5 إلى 30 غرامًا من الملح لكل لتر.

إنه الماء الموجود في بيئة طبيعية أكثر ملوحة من المياه العذبة، ولكن ليس بقدر مياه البحر. وقد ينجم عن خلط مياه البحر (المياه المالحة) والمياه العذبة معًا، كما هو الحال في مصبات الأنهار، أو قد يحدث في طبقات المياه الجوفية الأحفورية المالحة.

بعض الأنشطة البشرية يمكن أن تنتج المياه قليلة الملوحة، خاصة مشاريع الهندسة المدنية مثل السدود وغمر المستنقعات الساحلية لإنتاج برك المياه قليلة الملوحة لاستزراع جمبري المياه العذبة.

كما أن المياه قليلة الملوحة هي أيضًا المنتج الرئيسي للنفايات الناتجة عن عملية توليد الطاقة بتدرج الملوحة. ونظرًا لأن المياه قليلة الملوحة تعتبر معادية لنمو معظم أنواع النباتات البرية، فإنها بدون إدارة مناسبة تلحق الضرر بالبيئة (انظر المقال الخاص بمزارع الجمبري).

من الناحية الفنية، تحتوي المياه قليلة الملوحة على ما بين 0.5 و30 غراما من الملح لكل لتر – وغالبًا ما يتم التعبير عنها بـ 0.5 إلى 30 جزءًا في الألف (‰)، وهو وزن نوعي يتراوح بين 1.0004 و1.0226. وبالتالي، يغطي الملوحة مجموعة من أنظمة الملوحة ولا يعتبر حالة محددة بدقة.

ومن سمات العديد من المياه السطحية قليلة الملوحة أن ملوحتها يمكن أن تختلف بشكل كبير عبر المكان أو الزمان. يعتبر الماء الذي يحتوي على تركيز ملح أكبر من 30 ‰ مالحًا.

• الماء العسر

يحتوي الماء العسر Hard Water على نسبة عالية من المعادن، وخاصة أملاح المغنيسيوم والكالسيوم. ومن المعروف أيضا باسم المياه الجيرية.

يتشكل الماء العسر عندما يترشح الماء من خلال رواسب الحجر الجيري أو الطباشير أو الجبس، والتي تتكون إلى حد كبير من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والبيكربونات والكبريتات.

قد يكون لمياه الشرب العسرة فوائد صحية معتدلة. يمكن أن يشكل مشاكل حرجة في البيئات الصناعية، حيث يتم مراقبة صلابة المياه لتجنب الأعطال المكلفة في الغلايات وأبراج التبريد وغيرها من المعدات التي تتعامل مع المياه.

في البيئات المنزلية، غالبًا ما يُشار إلى الماء العسر من خلال نقص تكوين الرغوة عند تقليب الصابون في الماء، ومن خلال تكوين الترسبات الكلسية في

الغلايات وسخانات المياه. عندما تكون عسر الماء أمرًا مثيرًا للقلق، يتم استخدام تخفيف الماء بشكل شائع لتقليل الآثار الضارة للماء العسر.

• المـــاء الطـــري

يحتوي الماء الطري Soft Water على كميات صغيرة جدًا من الأملاح الذائبة. ويمكن تعريفه بأنه الماء الذي يحتوي على أقل من 50 ملجم لكل لتر من كربونات الكالسيوم.

تأتي المياه الطرية في الغالب من مصادر الخث أو الصخور النارية، مثل الجرانيت، ولكنها قد تأتي أيضًا من مصادر الحجر الرملي.

ومن خصائص الماء العذب ما يلي:

- تركيز منخفض جدًا من كلوريد الصوديوم.
- كمية منخفضة نسبياً من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

• المـــاء المقطـــر

يتكون الماء المقطر Distilled Water من جزيئات H_2O، بعد أن تم تنقيته أو تنظيفه من خلال التقطير، نحصل على الماء المقطر من خلال غلي الماء العادي وتحويله إلى بخار ثم تكثيفه مرة أخرى إلى سائل في وعاء منفصل. الشوائب الموجودة في الماء الأصلي والتي لا تغلي تحت أو بالقرب من نقطة غليان الماء تبقى في الوعاء الأصلي. وبالتالي فإن الماء المقطر هو نوع من الماء النقي.

يزيل التقطير جميع المعادن من الماء. وينتج عن ذلك مياه منزوعة المعادن، والتي لم يثبت أنها أكثر صحة من مياه الشرب. قامت منظمة الصحة العالمية بالتحقيق في الآثار الصحية للمياه منزوعة المعادن في عام 1982، ووجدت تجاربها على البشر أن المياه منزوعة المعادن تزيد من إدرار البول والتخلص من الشوارد، مع انخفاض تركيز البوتاسيوم في الدم.

يمكن أن يساعد المغنيسيوم والكالسيوم والمواد المغذية الأخرى الموجودة في الماء على الحماية من نقص التغذية. تم وضع التوصيات الخاصة بالمغنيسيوم بحد أدنى 10 ملجم / لتر مع 20–30 ملجم / لتر على النحو الأمثل؛ بالنسبة للكالسيوم، الحد الأدنى 20 مجم / لتر والحد الأمثل 40–80 مجم / لتر، وعسر الماء الإجمالي (إضافة المغنيسيوم والكالسيوم) 2–4 مليمول / لتر.

عند عسر الماء فوق 5 مليمول/لتر، لوحظ ارتفاع معدل الإصابة بحصوات المرارة، وحصوات الكلى، وحصوات المسالك البولية، والتهاب المفاصل، واعتلالات المفاصل. بالنسبة للفلورايد، فإن التركيز الموصى به لصحة الأسنان هو 0.5–1.0 ملغم / لتر، مع قيمة توجيهية قصوى تبلغ 1.5 ملغم / لتر لتجنب تسمم الأسنان بالفلور.

أصبحت أجهزة تنقية وتقطير المياه شائعة بشكل متزايد في المنازل. غالبًا ما تحتوي إمدادات المياه البلدية على معادن مضافة أو تحتوي على شوائب ضئيلة بمستويات يتم تنظيمها لتكون آمنة للاستهلاك. لا تتم إزالة الكثير من هذه الشوائب الإضافية، مثل المركبات العضوية المتطايرة، والفلورايد، وما يقدر بنحو 75000 مركب كيميائي آخر من خلال الترشيح التقليدي؛ ومع ذلك، فإن التقطير والتناضح العكسي يزيلان كل هذه الشوائب تقريبًا.

• مياه الصرف الصحي

مياه الصرف الصحي Waste Water هي أي نوع من المياه التي تأثرت جودتها سلبًا بسبب النشاط البشري. ووفقا لمنظمة الأغذية والزراعة، فإن المياه ليس لها قيمة فورية للغرض الذي تم استخدامها أو إنتاجها بسبب جودتها أو كميتها أو لحظة توفرها.

تعريف آخر لمياه الصرف الصحي هو «المياه المستخدمة من أي مجموعة من الأنشطة المنزلية أو الصناعية أو التجارية أو الزراعية، ومياه الجريان السطحي

/ مياه الأمطار، وأي تدفق للصرف الصحي أو تسرب للمجاري». في الاستخدام اليومي، عادة ما تكون مياه الصرف الصحي مرادفة لمياه الصرف الصحي (وتسمى أيضًا مياه الصرف الصحي المنزلية أو مياه الصرف الصحي البلدية)، وهي مياه الصرف الصحي التي ينتجها مجتمع من الناس.

في الاستخدام اليومي، عادة ما تكون مياه الصرف الصحي مرادفة لمياه الصرف الصحي (وتسمى أيضًا مياه الصرف الصحي المنزلية أو مياه الصرف الصحي البلدية)، وهي مياه الصرف الصحي التي ينتجها مجتمع من الناس.

كمصطلح عام، قد تصف مياه الصرف الصحي أيضًا المياه التي تحتوي على ملوثات متراكمة في أماكن أخرى، مثل:

- مياه الصرف الصناعي: النفايات المنقولة بالمياه الناتجة عن مجموعة متنوعة من العمليات الصناعية، مثل عمليات التصنيع أو استخراج المعادن أو توليد الطاقة أو معالجة المياه ومياه الصرف الصحي.
- يتم إطلاق مياه التبريد مع التلوث الحراري المحتمل بعد استخدامها لتكثيف البخار أو تقليل درجات حرارة الآلات عن طريق التوصيل أو التبخر.
- المادة المرتشحة: الترسيب الذي يحتوي على ملوثات مذابة أثناء ترشيحه عبر الخامات أو المواد الخام أو المنتجات أو النفايات الصلبة.
- التدفق الراجع: تدفق المياه الحاملة للتربة العالقة أو بقايا المبيدات أو المعادن والمغذيات الذائبة من الأراضي الزراعية المروية.
- الجريان السطحي: تدفق المياه الذي يحدث على سطح الأرض عندما لا تتمكن مياه الأمطار الزائدة أو مياه الأمطار أو المياه الذائبة أو غيرها من المصادر من التسرب بسرعة كافية إلى التربة.

- الجريان السطحي في المناطق الحضرية، بما في ذلك المياه المستخدمة في نشاط التنظيف الخارجي وري المناظر الطبيعية في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية الناتجة عن التحضر.
- مياه الصرف الزراعي: مياه الصرف الصحي الناتجة عن تربية الحيوانات الناتجة عن العمليات الحيوانية المحصورة.

• المـــاء الأســـود

ومن بين أنواع المياه المستعملة، المياه السوداء Black Water هي تلك التي تكون ملوثة بالبراز أو البول، أو هي مياه الصرف الصحي الناتجة عن الحمامات والمراحيض والتي تحتوي على البراز والبول. تعتبر المياه الصادرة من المطابخ وغسالات الأطباق أيضًا مياهًا سوداء بسبب تلوثها بمسببات الأمراض والشحوم. ويشار إليها أيضًا باسم مياه الصرف الصحي أو المياه البنية ويمكن أن تحمل الأمراض والبكتيريا، وكلاهما يمكن أن يكون ضارًا.

لا شك أن الأولوية الأولى في المجتمع هي توفير المياه، بنوعية كافية وكمية كافية. وبمجرد تحقيق هذا الهدف، ينشأ هدف آخر لا يقل أهمية: «التخلص السليم من المياه المستخدمة بالفعل والتي تصبح وسائل محتملة للعديد من الأمراض».

وقد أصبحت المسطحات المائية (الأنهار، والجداول الجوفية، والبحيرات، والبحار، وغيرها) غير قادرة بنفسها على امتصاص وتحييد هذا الحمل الملوث، ولهذا السبب فقدت هذه المسطحات المائية ظروفها الطبيعية من مظهر جسدي، وقدرتها على الحفاظ على الحياة المائية الكافية، والتي تستجيب للتوازن البيئي المتوقع منها للحفاظ على مسطحاتنا المائية. ونتيجة لذلك، فإنها تفقد الحد الأدنى من الشروط اللازمة لاستخدامها الرشيد والكافي كمصادر لإمدادات المياه، أو طرق النقل أو مصادر الطاقة.

المياه العادمة التي يتم التخلص منها في تيار سطحي (بحيرات، أنهار، بحار) دون أي معالجة، تسبب إزعاجات خطيرة، تترسب المواد الصلبة لتشكل رواسب غير مرغوب فيها، تطفو الشحوم والصابون والأوراق وتشكل كريماً يؤثر بشكل كبير على خصائص التيارات المائية، مما يؤثر على النباتات والحيوانات.

ويجب أن تتلقى هذه المياه العادمة، قبل تصريفها إلى الكتل المتلقية، معالجة مناسبة قادرة على تعديل ظروفها الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، لمنع تسبب التخلص منها في التسبب في المشاكل المذكورة أعلاه.

يجب أن تستجيب درجة المعالجة المطلوبة في كل حالة لمياه الصرف الصحي للظروف التي يعيشها المتلقون والتي من المقرر أن يتم تصريفها فيها.

وفقًا لاتحاد مكافحة تلوث المياه (WPCF)، يجب تصميم وبناء وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي بهدف تحويل مياه الصرف الصحي السائلة من استخدام مياه الإمداد إلى مياه الصرف الصحي النهائية المقبولة؛ والتخلص بشكل صحيح من المواد الصلبة الهجومية التي يتم فصلها بالضرورة أثناء العملية.

وهذا يتطلب الالتزام بقواعد أو قواعد معينة قادرة على ضمان الحفاظ على مياه الجهات المستقبلة، إلى الحد الذي لا يستبعد استخدامه لاحقا، نتيجة للتلوث غير المنضبط والتلوث، بحجم أكبر مما يمكن أن يكون. يتم امتصاصه من خلال قوة التنقية الذاتية الطبيعية.

• المياه الرمادية

المياه الرمادية Grey Water هي مياه الصرف الصحي المنزلية أو مباني المكاتب من الجداول دون تلوث برازي، أي جميع الجداول باستثناء مياه الصرف الصحي من المراحيض. وهي تحتوي على كمية أقل من النيتروجين والفوسفور مقارنة بالمياه السوداء، ويحتوي على مواد عضوية وغير عضوية وكائنات دقيقة. ترجع

تسمية المياه الرمادية إلى مظهرها الغامض ولأنها تقع في مكان ما بين المياه العذبة الصالحة للشرب ومياه الصرف الصحي.

تشمل مصادر المياه الرمادية الأحواض أو الحمامات أو الغسالات أو غسالات الأطباق. نظرًا لأن المياه الرمادية تحتوي على مسببات أمراض أقل من المياه السوداء، فهي أكثر أمانًا بشكل عام في التعامل معها وأسهل في معالجتها وإعادة استخدامها في الموقع لغسل المراحيض وري المناظر الطبيعية أو المحاصيل وغيرها من الاستخدامات غير الصالحة للشرب. قد لا تزال المياه الرمادية تحتوي على بعض مسببات الأمراض نتيجة لغسل الملابس المتسخة أو تنظيف منطقة الشرج في الحمام أو المرحاض.

يوفر تطبيق إعادة استخدام المياه الرمادية في أنظمة المياه الحضرية فوائد كبيرة لكل من النظام الفرعي لإمدادات المياه، من خلال تقليل الطلب على المياه النظيفة العذبة، والأنظمة الفرعية لمياه الصرف الصحي عن طريق تقليل كمية مياه الصرف الصحي المنقولة والمعالجة. للمياه الرمادية المعالجة العديد من الاستخدامات، مثل تنظيف المراحيض أو الري.

على اليسار: عينة من المياه الرمادية من مبنى إداري. **على اليمين:** نفس المياه الرمادية بعد معالجتها في المفاعل الحيوي الغشائي.

قد تحتوي المياه الرمادية عادة على بعض آثار النفايات البشرية، وبالتالي فهي ليست خالية من مسببات الأمراض. تأتي الفضلات من غسل منطقة الشرج في الحمام والاستحمام أو من الغسيل (غسل الملابس الداخلية والحفاضات). يمكن أن تتدهور جودة المياه الرمادية بسرعة أثناء التخزين لأنها غالبًا ما تكون دافئة وتحتوي على بعض العناصر الغذائية والمواد العضوية (مثل خلايا الجلد الميتة)، بالإضافة إلى مسببات الأمراض. تؤدي المياه الرمادية المخزنة أيضًا إلى ظهور رائحة مزعجة لنفس السبب.

في المنازل التي لديها مراحيض دافقة تقليدية، تشكل المياه الرمادية نحو 65 % من إجمالي مياه الصرف الصحي التي تنتجها تلك الأسرة. قد يكون مصدرًا جيدًا للمياه لإعادة الاستخدام نظرًا لوجود علاقة وثيقة بين إنتاج المياه الرمادية والطلب المحتمل على مياه تنظيف المراحيض.

يمكن أن يؤدي سوء توصيل الأنابيب إلى احتواء خزانات المياه الرمادية على نسبة من المياه السوداء.

لا تشكل الآثار الصغيرة للبراز التي تدخل مجرى المياه الرمادية عبر النفايات السائلة من الحمام أو الحوض أو الغسالة مخاطر عملية في ظل الظروف العادية، طالما يتم استخدام المياه الرمادية بشكل صحيح (على سبيل المثال، ترشح من بئر جافة أو تستخدم بشكل صحيح في الري الزراعي).

• المياه الخام

الماء الخام Raw Water هو الماء الذي لم يخضع لأي معالجة. ويوجد في المصادر والمحميات الطبيعية وفي مسطحات المياه السطحية والجوفية، أي أن المياه الخام هي المياه الموجودة في البيئة والتي لم تتم معالجتها ولم يتم إزالة أي من معادنها أو أيوناتها أو جزيئاتها أو بكتيرياها أو طفيلياتها. تشمل المياه الخام مياه الأمطار والمياه الجوفية والمياه من آبار الترشيح والمياه من المسطحات مثل البحيرات والأنهار. المياه الخام غير آمنة بشكل عام للاستهلاك البشري بسبب وجود الملوثات. من المشاكل الصحية الرئيسية في بعض البلدان النامية استخدام المياه الخام للشرب والطهي. وبدون معالجة، يمكن استخدام المياه الخام لأغراض الري أو البناء أو التنظيف. يستخدمه المزارعون لسقي محاصيلهم وإعطائه للماشية للشرب، وتخزينه في بحيرات أو خزانات من صنع الإنسان لفترات طويلة من الزمن.

يمكن لصناعات البناء استخدام المياه الخام لصنع الأسمنت أو لتخميد الطرق غير المغلقة لمنع تصاعد الغبار. ويمكن أيضًا استخدام المياه الخام في تنظيف المراحيض وغسيل السيارات، بالإضافة إلى أي أغراض أخرى لا تتطلب استهلاكها من قبل الإنسان. وتعتبر المياه بهذا الشكل خاماً، على عكس المياه التي تمت معالجتها قبل الاستهلاك، مثل مياه الشرب أو المياه التي تم استخدامها في العمليات الصناعية، مثل مياه الصرف الصحي. تنظيف المياه الخام هو وسيلة للحفاظ على المياه حيث يتم استخدام المياه الخام في تنظيف المراحيض.

مصادر تلوث المياه

يُعرّف تلوث الماء على أنّه وجود أيّ مواد فيزيائية، أو كيميائية، أو حيوية (بيولوجية) في الماء بكميات زائدة قد تُغيّر من جودته، وتلحق الضرر بالكائنات الحية، ويمتاز الماء غير الملوث بأنّه عديم اللون، والرائحة، والمذاق، أمّا الماء الملوث فمذاقه سيئ، ورائحته غير جيدة، وقد يظهر مُعكراً وضبابياً على الرغم من وجود بعض الملوثات التي لا يُمكن رؤيتها بالعين المجردة كمبيدات الحشرات، والكائنات الحية المجهرية.

يعد تلوث المياه مشكلة خطيرة تؤثر على صحة ورفاهية الناس والبيئة. مع وجود مصادر مختلفة للتلوث، سواء البشرية أو الطبيعية، من المهم أن نكون يقظين وأن نتخذ الإجراءات اللازمة لمنع وتقليل مستويات الملوثات في مصادر المياه لدينا. من المعالجة والترشيح إلى حماية المصدر والتثقيف العام، هناك العديد من الاستراتيجيات التي يمكن استخدامها لضمان مياه الشرب الآمنة والنظيفة للجميع.

في نهاية المطاف، لا تقتصر حماية مصادر المياه لدينا على الحفاظ على صحتنا فحسب، بل تتعلق أيضًا بالحفاظ على نوعية الحياة للأجيال القادمة. ومن خلال العمل معًا واتخاذ نهج شامل، يمكننا التغلب على التحديات التي يفرضها تلوث المياه وتأمين مستقبل آمن وصحي للجميع.

• ملوثـــات الميـــاه

♦ **الملوثـات الفيزيائيـة:** تعمـل علـى تغييـر الخصائـص الطبيعيـة للمـاء، فيصبـح المـاء غيـر صالـح للشـرب او الاسـتهلاك البشـري فتغيـر درجـة حـرارة المـاء، أو زيـادة ملوحتـه، أو ارتفـاع نسـبة المـواد العالقـة فيـه ,ممـا يشـكل خطـورة كبيـرة علـى الصحـة , ويـؤدي ذلـك أيضـا لاكتسـابه الرائحـة الكريهـة او تغيـر لونـه. يمكـن أن تكـون هـذه الملوثـات ناجمـة عـن أحـداث طبيعيـة مثـل العواصـف والتـآكل، أو الأنشـطة البشـرية مثـل البنـاء وتطويـر الأراضـي. وهـي تشـمل الرواسـب والغبـار والمـواد الصلبـة العالقـة الأخـرى.

♦ **الملوثـات الكيميائيـة:** مـن اخطـر انـواع التلـوث، حيـث تصبـح مـواد سـامه في المـاء مثـل الرصـاص، المبيـدات الحشـرية، الزئبـق. بعضهـا قابـل للانحـلال وبعضهـا يتراكـم ويـؤدي هـذا النـوع الـى وفـاة الكائنـات الحيـة او الاصابـة بالأمـراض التـي يمكـن ان تصيـب الانسـان. تشـمل هـذه المـواد الكيميائيـة السـامة والمبيـدات الحشـرية والأسـمدة والمعـادن الثقيلـة والأمـلاح والمعـادن. يمكـن أن يكـون لبعـض هـذه الملوثـات آثـار صحيـة خطيـرة، بمـا في ذلـك السـرطان والعيـوب الخلقيـة والأضـرار العصبيـة.

♦ **الملوثـات البيولوجيـة:** المـواد ذات الأصـل العضـوي سـواء كانـت حيـة أو غيـر حيـة. يمكـن العثـور علـى الكائنـات الحيـة، مثـل البكتيريـا والفيروسـات والطحالـب والفطريـات والطفيليـات، في مصـادر الميـاه التـي تلامسـت مـع النفايـات الحيوانيـة أو البشـرية. يمكـن أن تسـبب هـذه الملوثـات مشـاكل صحيـة خطيـرة، بمـا في ذلـك أمـراض الجهـاز الهضمـي، والتهابـات الجلـد، وأمـراض الجهـاز التنفسـي.

- **الملوثات الإشعاعية:** العناصر والنظائر المشعة التي يمكن أن تدخل إلى مصادر المياه عن طريق الحوادث النووية والتعدين وغيرها من المصادر. يمكن أن تسبب هذه الملوثات السرطان والعيوب الخلقية ومشاكل صحية أخرى إذا تم تناولها أو امتصاصها عن طريق الجلد.

- **نواتج التطهير الثانوية:** المواد الكيميائية التي تتكون نتيجة عملية التطهير المستخدمة في معالجة مياه الشرب. يمكن أن يكون لهذه المواد الكيميائية آثار صحية سلبية، بما في ذلك السرطان والعيوب الخلقية ومشاكل الإنجاب. على الرغم من كونها من الناحية الفنية شكلاً من أشكال الملوثات الكيميائية، إلا أنها تستحق تصنيفًا خاصًا بها نظرًا لمصدرها الفريد.

• مصادر التلوث

ترجع الأسباب الرئيسية لتلوث المياه إلى الأنشطة البشرية التي تؤدي إلى التلوث، ولكن الأحداث الطبيعية تلعب أيضًا دورًا. بعض المصادر الهامة لتلوث المياه تشمل:

- **الأنشطة الزراعية:** يمكن أن يؤدي استخدام المبيدات والأسمدة والفشل في إدارة النفايات الحيوانية إلى تلوث المياه من خلال الجريان السطحي والترشيح. عندما تغسل مياه الأمطار الحقول المعالجة بالمبيدات والأسمدة، فإنها يمكن أن تحمل هذه المواد الكيميائية إلى الجداول والأنهار وطبقات المياه الجوفية القريبة. وبالمثل، يمكن أن تحتوي النفايات الحيوانية الناتجة عن علف الماشية والمزارع على البكتيريا والفيروسات والطفيليات التي يمكن أن تلوث مصادر المياه إذا لم تتم إدارتها بشكل صحيح.

- **النفايات الصناعية:** تولد الصناعات مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية والمعادن الثقيلة كمنتجات ثانوية لعملياتها. إذا لم يتم التخلص من هذه المواد أو تخزينها بشكل صحيح، فإنها يمكن أن تتسرب إلى مصادر المياه القريبة، وتلوثها. كما أن التسرب من صهاريج التخزين تحت الأرض، مثل تلك المستخدمة لتخزين البنزين والزيت، يمكن أن يساهم أيضًا في تلوث المياه الجوفية.

- **مياه الصرف الصحي:** يمكن أن تدخل النفايات البشرية، وكذلك النفايات الناتجة عن الصناعة والزراعة، إلى مصادر المياه من خلال تصريفات محطات معالجة مياه الصرف الصحي وأنظمة الصرف الصحي. يمكن أن تحتوي مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل غير صحيح على مجموعة واسعة من الملوثات، بما في ذلك البكتيريا والفيروسات والمواد الكيميائية، التي يمكن أن تشكل خطراً على صحة الإنسان والبيئة.

- **الأحداث الطبيعية:** العواصف والزلازل والانفجارات البركانية يمكن أن تسبب أيضًا تلوث المياه. وتتفاقم بعض هذه الأحداث بشكل غير مباشر بسبب الأفعال البشرية، مثل زيادة شدة العواصف بسبب تغير المناخ أو الانهيارات الأرضية التي لا تنتج عن الأمطار فحسب، بل أيضًا عن الاستخدام غير السليم للأراضي، في حين أن بعضها الآخر يتجاوز النشاط البشري بشكل أو بآخر، مثل الانفجارات البركانية. يمكن أن تؤدي هذه الأحداث إلى تعطيل مصادر المياه، مما يتسبب في جريان الرواسب والتلوث بالمواد الكيميائية والمعادن الثقيلة والملوثات الأخرى. ويمكن أن تسبب أيضًا أضرارًا مادية لمرافق معالجة المياه، مما يجعل من الصعب معالجة المياه بشكل صحيح للاستخدام الآمن.

- **التعدين:** عادة ما تكون عملية استخراج المعادن والفلزات من الأرض مكثفة، حيث تستهلك كميات كبيرة من المياه وتطلق العديد من المنتجات الثانوية التي يحتمل أن تكون سامة، والتي يمكن أن تساهم أيضًا في تلوث المياه. أثناء عملية التعدين، يمكن إطلاق معادن ثقيلة وملوثات أخرى إلى مصادر المياه القريبة، مما يشكل خطراً على صحة الإنسان والبيئة.

- **التحضر:** مع توسع المناطق الحضرية من خلال البناء وتطوير الأراضي، فإنها يمكن أن تسبب جريان الرواسب، والتي يمكن أن تحمل المواد الكيميائية والمعادن الثقيلة والملوثات الأخرى إلى مصادر المياه القريبة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الاستخدام المتزايد لمنتجات التنظيف المنزلية وأدوات العناية الشخصية في المناطق الحضرية يمكن أن يؤدي إلى زيادة مستويات التلوث الكيميائي في المياه.

• آثار ملوثات المياه

تؤثر جميع ملوثات المياه سلبًا على النشاط البشري، وكذلك على بقية المحيط الحيوي. تشكل المخاطر الصحية مصدر قلق كبير بشكل خاص، حيث أن بعض الملوثات يمكن أن تشكل مخاطر صحية خطيرة، بما في ذلك المرض، وحتى الموت. يمكن أن تسبب الملوثات مثل البكتيريا والفيروسات تفشي الأمراض، في حين أن المواد الكيميائية والمواد الكيميائية الثقيلة يمكن أن تسبب انخفاضًا طويل المدى في صحة الإنسان والعيوب الخلقية التي لا يتم ملاحظتها إلا بعد فوات الأوان.

يمكن أن يكون للملوثات أيضًا آثار سلبية على صحة النظم البيئية، مثل قتل الحياة المائية والإضرار بالحياة البرية. على سبيل المثال، لوحظ أن المواد البلاستيكية الدقيقة الموجودة في كل من المياه العذبة ومياه البحر تؤثر على تطور

وسلوك كل من العوالق والأسماك. يمكن أن يؤدي تكاثر الطحالب الناتجة عن الجريان السطحي الزراعي إلى تدمير بحيرات بأكملها، ويمكن لهذه الطحالب بعد ذلك إنتاج السموم التي تهدد البشر بعد ذلك.

يمكن أن تؤثر المياه الملوثة على طعم ورائحة ومظهر المياه، مما يجعلها غير صالحة للشرب والطبخ والاستحمام، مما يؤدي إلى انخفاض نوعية الحياة. فهو يضع عبئا أكبر على النظم الطبية، ويتطلب علاجا أكثر تكلفة، ويمكن أن يؤثر على الأنشطة الاقتصادية، مثل الزراعة والسياحة المائية. يمكن أن يؤدي هذا إلى حلقة مفرغة، حيث يقرر الأشخاص الذين يتحملون تكاليف مغادرة المجتمعات المتضررة، مما يؤدي إلى مزيد من الأضرار الاقتصادية والاجتماعية، مما يعني أن المجتمع لديه فرص أقل للتعامل مع التلوث.

ومع ذلك، فإن بعض الملوثات الشائعة والجديرة بالملاحظة تشمل ما يلي:

- **الكلـــور:** مطهر شائع يستخدم لمعالجة مياه الشرب، ولكنه يمكن أن يشكل أيضًا منتجات ثانوية ضارة، مثل ثلاثي الهالوميثان (THMs)، والتي تشكل خطراً على صحة الإنسان. تم ربط التعرض المزمن لمادة THMs بزيادة خطر الإصابة بالسرطان ومشاكل صحية أخرى.
- **الزرنيـخ:** وهو عنصر طبيعي يمكن العثور عليه في المياه الجوفية، وخاصة في المناطق ذات المستويات العالية من النشاط البركاني. الزرنيخ سام ويمكن أن يسبب آفات جلدية وسرطان ومشاكل صحية أخرى.
- **الرصـــاص:** معدن سام يمكن أن يدخل إلى مصادر المياه من خلال أنظمة السباكة القديمة وخطوط خدمة الرصاص. يمكن أن يسبب التعرض المزمن للرصاص مشاكل في النمو لدى الأطفال ويؤدي إلى أمراض القلب والأوعية الدموية ومشاكل في الكلى ومشاكل صحية أخرى لدى البالغين.

- **الزئبق :** معدن سام آخر يمكن أن يدخل إلى مصادر المياه من خلال النفايات الصناعية ومحطات الطاقة التي تعمل بالفحم وغيرها من المصادر. التعرض المزمن للزئبق يمكن أن يسبب مشاكل عصبية مثل مرض مينماتا ومشاكل صحية أخرى.

- **البكتيريا القولونية :** تستخدم عادة كمؤشرات لتلوث المياه. يمكن أن يشير وجودها إلى وجود مسببات الأمراض الضارة الأخرى ويمكن أن يسبب مشاكل في المعدة والأمعاء.

- **النترات :** توجد عادة في الجريان السطحي الزراعي ويمكن أن تسبب حالة ولادة تسمى متلازمة الطفل الأزرق، والتي يمكن أن تكون قاتلة للرضع.

- **المبيدات الحشرية :** مثل النترات، يمكن أن تدخل مصادر المياه من خلال الجريان السطحي والترشيح من الحقول الزراعية. تم ربط التعرض المزمن للمبيدات الحشرية بمجموعة متنوعة من المشاكل الصحية، بما في ذلك السرطان والعيوب الخلقية واضطرابات الغدد الصماء.

• حلول تلوث المياه

هناك طرق عديدة لمعالجة تلوث المياه، ولا ينبغي لنا أن ننظر إليها باعتبارها خيارات حصرية، بل باعتبارها عناصر تكميلية يمكن، بل ينبغي، استخدامها في نهج شامل ومتكامل لضمان رفاهة البشر والبيئة.

ويوجد خط الدفاع الأول **في السياسة والتنظيم**. ومن خلال وضع معايير لجودة المياه، وتوفير التمويل لبرامج المعالجة والحماية، وفرض العقوبات على أولئك الذين ينتهكون القواعد التنظيمية، يستطيع صناع السياسات تقليل تلوث المياه وتوفير الإغاثة والبدائل والحلول للمجتمعات المتضررة.

يمكن لتدابير حماية المصدر، مثل تحسين الممارسات الزراعية للحد من الجريان السطحي والترشيح، والتخلص بشكل صحيح من النفايات الصناعية، وصيانة محطات معالجة مياه الصرف الصحي وأنظمة الصرف الصحي، أن تساعد في منع التلوث من دخول مصادر المياه في المقام الأول، مما يجعلها ثاني أهم مصادر المياه. يقيس.

إن التثقيف العام حول أهمية جودة المياه، ومصادر تلوث المياه، والخطوات التي يمكن اتخاذها لمنع ذلك، يمكن أن يساعد في رفع مستوى الوعي وتشجيع الأفراد على اتخاذ الإجراءات اللازمة لحماية صحتهم وصحة مجتمعاتهم. ويمكنه أيضًا أن يجعل المجتمعات تشارك في حوارات مع مختلف أصحاب المصلحة، مما يسهل العثور على التنازلات والبدائل وتطبيقها.

عندما تفشل الخطوات الوقائية المذكورة أعلاه في وقف تلوث المياه، **فإن عمليات المعالجة والترشيح،** مثل التناضح العكسي، وترشيح الكربون المنشط، والتطهير بالأشعة فوق البنفسجية، يمكن أن تزيل أو تقلل مستويات الملوثات المختلفة في مياه الشرب، بما في ذلك المواد الكيميائية والمعادن الثقيلة، البكتيريا، والفيروسات. على الرغم من أن هذه العمليات فعالة عادة، إلا أنها يمكن أن تكون مكثفة ومكلفة من حيث الطاقة، ويمكن أن تصبح منتجاتها الثانوية نفسها ملوثة.

يمكن للمراقبة والاختبار المنتظمين لمصادر المياه اكتشاف وجود الملوثات والسماح باتخاذ الإجراءات في الوقت المناسب لمنعها أو خفض مستوياتها، مما يسمح بالتحقق من كفاءة اللوائح الحالية وتدابير حماية المصدر وتخصيص الموارد اللازمة بشكل فعال معالجة المياه.

وأخيرًا، كحل مؤقت لحين معالجة التلوث أو كحل دائم عندما يكون السبب غير قابل للإصلاح (مثل الوجود الجيولوجي لكميات عالية من الزرنيخ داخل المياه الجوفية)، **التحول إلى مصادر المياه البديلة**، مثل المياه السطحية أو المحلاة. مياه البحر، يمكن أن توفر مصدرًا أكثر أمانًا وموثوقية للمياه في المناطق التي تكون فيها المصادر ملوثة.

أهميـــة وأثـــر المـــاء

ما الذي يجعل الأرض مختلفة عن جميع الكواكب الأخرى؟ إنه ماء. لأن لدينا الماء لدينا الحياة. تركز استكشافات الفضاء اليوم إلى حد كبير على البحث عن الماء على القمر والمريخ حتى يتمكن الإنسان من البقاء على قيد الحياة في تلك البيئات غير المضيافة مع اعتماد أقل على كوكبنا الأصلي.

نشأت الحضارات العظيمة المبكرة في العالم على طول مصادر المياه العذبة الرئيسية: النيل، والنهر الأصفر، ونهر دجلة والفرات، وما إلى ذلك. وبدون ماء لا توجد زراعة. طورت كل ثقافة في العالم قنوات وحواجز لجلب المياه العذبة إلى محاصيلها. وفي بعض الأحيان كان لهذه المشاريع عواقب سلبية لأنها تركت وراءها الأملاح التي دمرت الأرض في نهاية المطاف.

يحدث الترسيب Sedimentation خلف السدود مما أدى إلى فقر التربة في مناطق المصب. غالبًا ما تعرضت مصايد الأسماك للضرر أو القضاء عليها، ولكن تم إطعام الناس إلى حد كبير وتمكنت المدن من النمو حول هذه المشاريع. وحتى مع عمليات الحجز، لا يزال الجفاف يشكل مشاكل لجزء كبير من العالم. فمن الدمار الذي خلفه «وعاء الغبار» في عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين في الولايات المتحدة إلى منطقة الساحل في شمال أفريقيا، يظل الجوع والمرض والموت واقعاً حقيقياً جدًا.

نحو 70 % من الأرض مغطاة بالمياه، ولكن 2 % منها فقط مياه عذبة، و3/2 منها محصور في الجليد القطبي والأنهار الجليدية. في معظم أنحاء العالم، تعرضت المياه العذبة للخطر بسبب الملوثات لدرجة أنها تشكل خطراً على الصحة العامة. كان الماء ولا يزال مصدرًا للطاقة، وقد مكّن الإنسان عبر آلاف السنين من إعفاءه من العمل المكثف مثل طحن الحبوب ونشر الأخشاب. لا تزال العديد من عجلات المياه القديمة موجودة ولا تزال قيد التشغيل. ولا يزال النقل المائي أمرا حيويا

للتجارة. مكنت القنوات المبكرة التي تربط مسطحات المياه العذبة من نقل المنتجات الزراعية والحيوانية والمعدنية بسهولة من المناطق الداخلية لأمريكا الشمالية إلى الساحل الشرقي وما وراءه. هنا في ولاية ماريلاند، لا تزال قناة C&D تمثل رابطًا حيويًا بين خليج تشيسابيك ونهر ديلاوير.

كل هذا يعود إلى حقيقة واحدة بسيطة: الماء أمر حيوي ولكنه غير مكلف نسبيًا، لذا يعتبره الكثير منا أمرًا مفروغًا منه. كوب واحد من الماء يمنحك الحياة. هذا الخزان الموجود في مجتمعك يجعل كل شيء في حياتك ممكنًا. إن مجرد وجود الماء بجميع أشكاله الثلاثة يجعل من الممكن للأرض أن يكون لديها مناخ صالح للسكنى لأشكال الحياة: يعمل الماء كمحسن للمناخ من خلال الطاقة الممتصة والمنطلقة أثناء التحول بين المراحل المختلفة. بالإضافة إلى تقليل الظواهر المناخية المتطرفة، يعد تحول المياه بين المراحل الغازية والسائلة والصلبة أمرًا حيويًا لنقل الطاقة حول العالم: نقل الطاقة من المناطق الاستوائية نحو القطبين.

اللزوجة المنخفضة للمياه تجعلها وسيلة نقل فعالة جدًا، سواء من خلال الشحن الدولي أو الملاحة النهرية والقناة. يمكن وصف هذه الخصائص بأنها الخصائص الفيزيائية للمياه وهي ضرورية لبقاء الإنسان على كوكب الأرض.

الخصائص الكيميائية للمياه لها نفس القدر من الأهمية لوجودنا اليومي. الماء هو أحد أفضل المذيبات الموجودة بشكل طبيعي على هذا الكوكب. وهذا يجعل الماء أمرًا حيويًا للنظافة: فنحن نستخدمه للغسيل ولكن أيضًا للتخلص من الملوثات.

تسمح خصائص الماء المذيبة بامتصاص العناصر الغذائية الحيوية من التربة إلى النباتات؛ وهذا يسمح بعد ذلك بنقل العناصر الغذائية داخل بنية

النبات. إن قدرة الماء على إذابة الغازات مثل الأكسجين تسمح باستدامة الحياة داخل المسطحات المائية مثل الأنهار والبحيرات والمحيطات.

إن قدرة الماء على دعم الحياة تتجاوز المسطحات المائية؛ يتكون جسم الإنسان من نحو 60 % من الماء. توجد غالبية هذه المياه داخل الخلايا، ولكن هناك نسبة كبيرة (نحو 34 %) تتحرك حول الجسم حاملة مواد كيميائية مذابة تعتبر حيوية لاستمرار حياتنا، يمكن لأجسامنا تخزين احتياطيات الطاقة التي تسمح لنا بالبقاء على قيد الحياة بدون طعام لأسابيع ولكن ليس أكثر من أيام بدون ماء. هناك العديد من الطرق الأخرى التي يؤثر بها الماء على كياننا. وفي أماكن مثل النرويج، يتم توليد الطاقة في أجزاء من الولايات المتحدة الأمريكية ونيوزيلندا للاستهلاك المنزلي والصناعي من خلال مخططات الطاقة الكهرومائية، التي تستغل مزيج الماء والجاذبية بطريقة مستدامة (إلى حد كبير).

الماء مهم لأنه يدعم وجودنا: فهو جزء من حياتنا الجسدية والمادية والروحية. ومن ثم يبدو أن دراسة المياه تدعم وجودنا ذاته. قبل التوسع أكثر في دراسة علم المياه، من الضروري أولاً الرجوع إلى الوراء وإلقاء نظرة فاحصة على خصائص المياه الموضحة بإيجاز أعلاه. على الرغم من أن الماء هو المادة الأكثر شيوعًا الموجودة على سطح الأرض، إلا أنه أيضًا من أغرب المواد. والعديد من هذه الخصائص الغريبة تساعد على المساهمة في أهميته في استمرار الحياة على الأرض.

• أثـــر الميـــاه على الحيـــاة

من وجهة النظر البيولوجية، يتمتع الماء بالعديد من الخصائص المميزة التي تعتبر بالغة الأهمية لتكاثر الحياة. وهو يقوم بهذا الدور من خلال السماح للمركبات العضوية بالتفاعل بطرق تسمح في النهاية بالتكاثر. جميع أشكال الحياة المعروفة تعتمد على الماء. يعد الماء أمرًا حيويًا باعتباره مذيبًا يذوب

فيه العديد من المواد المذابة في الجسم وكجزء أساسي من العديد من عمليات التمثيل الغذائي داخل الجسم. التمثيل الغذائي هو مجموع عملية التمثيل الغذائي والتقويض.

في عملية البناء، تتم إزالة الماء من الجزيئات (من خلال الطاقة التي تتطلب تفاعلات كيميائية إنزيمية) من أجل تنمية جزيئات أكبر (مثل النشويات والدهون الثلاثية والبروتينات لتخزين الوقود والمعلومات). في عملية الهدم، يُستخدم الماء لكسر الروابط من أجل توليد جزيئات أصغر (مثل الجلوكوز والأحماض الدهنية والأحماض الأمينية لاستخدامها في الوقود لاستخدام الطاقة أو لأغراض أخرى). وبدون الماء، لا يمكن لهذه العمليات الأيضية أن توجد.

الماء أساسي لعملية التمثيل الضوئي والتنفس. تستخدم الخلايا الضوئية طاقة الشمس لفصل هيدروجين الماء عن الأكسجين. في وجود ضوء الشمس، يتحد الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون (الممتص من الهواء أو الماء) لتكوين الجلوكوز وإطلاق الأكسجين. تستخدم جميع الخلايا الحية أنواع الوقود هذه وتؤكسد الهيدروجين والكربون لالتقاط طاقة الشمس وإصلاح الماء وثاني أكسيد الكربون في هذه العملية (التنفس الخلوي).

يعتبر الماء أيضًا عنصرًا أساسيًا في الحياد الحمضي القاعدي ووظيفة الإنزيم. يمكن تحييد الحمض، أيون الهيدروجين (H^+، أي البروتون)، بواسطة قاعدة، متقبل البروتون مثل أيون الهيدروكسيد (OH^-) لتكوين الماء. يعتبر الماء محايدًا، حيث يكون الرقم الهيدروجيني (اللوغاريتم السلبي لتركيز أيون الهيدروجين 7) . تكون قيم الأس الهيدروجيني للأحماض أقل من 7 بينما تكون قيم القواعد أكبر من 7.

• آثـــر الميـــاه على الحضـــارة الإنســـانية

ازدهرت الحضارة تاريخياً حول الأنهار والممرات المائية الرئيسية؛ كانت بلاد ما بين النهرين، إحدى ما يسمى بمهد الحضارة، تقع بين النهرين الرئيسيين دجلة والفرات. كان مجتمع المصريين القديم يعتمد كليًا على نهر النيل.

تطورت حضارة وادي السند المبكرة (نحو 3300 قبل الميلاد - نحو 1300 قبل الميلاد) على طول نهر السند وروافده التي تتدفق من جبال الهيمالايا. تأسست روما أيضًا على ضفاف نهر التيبر الإيطالي. وتدين المدن الكبرى مثل روتردام، ولندن، ومونتريال، وباريس، ومدينة نيويورك، وبوينس آيرس، وشانغهاي، وطوكيو، وشيكاغو، وهونج كونج، بنجاحها جزئيا إلى سهولة الوصول إليها عن طريق المياه والتوسع الناتج عن ذلك في التجارة.

وقد ازدهرت الجزر التي تتمتع بموانئ مياه آمنة، مثل سنغافورة، لنفس السبب. وفي أماكن مثل شمال أفريقيا والشرق الأوسط، حيث المياه أكثر ندرة، كان الوصول إلى مياه الشرب النظيفة ولا يزال عاملاً رئيسياً في التنمية البشرية.

• انتشـــار الميـــاه في الـــكون

يتم إنتاج الكثير من مياه الكون كمنتج ثانوي لتكوين النجوم. ويصاحب تكوين النجوم ريح خارجية قوية مكونة من الغاز والغبار. عندما يؤثر تدفق المواد هذا في النهاية على الغاز المحيط، فإن موجات الصدمة التي يتم إنشاؤها تضغط الغاز وتسخنه. يتم إنتاج الماء المرصود بسرعة في هذا الغاز الكثيف الدافئ.

في 22 يوليو 2011، وصف تقرير اكتشاف سحابة عملاقة من بخار الماء تحتوي على «140 تريليون مرة مياه أكثر من جميع محيطات الأرض مجتمعة»

حول نجم زائف يقع على بعد 12 بليون سنة ضوئية من الأرض. ووفقا للباحثين، فإن «الاكتشاف يظهر أن الماء كان سائدا في الكون طوال فترة وجوده تقريبا».

تم اكتشاف الماء في السحب بين النجوم داخل مجرة درب التبانة. ومن المحتمل أن يكون الماء موجودا بكثرة في المجرات الأخرى أيضا، لأن مكوناته، الهيدروجين والأكسجين، هي من بين العناصر الأكثر وفرة في الكون. استنادًا إلى نماذج تكوين وتطور النظام الشمسي والأنظمة النجمية الأخرى، فمن المرجح أن تحتوي معظم الأنظمة الكوكبية الأخرى على مكونات مماثلة.

يوجد الماء السائل على الأرض، ويغطي 71 % من سطحها. كما يوجد الماء السائل أحيانًا بكميات صغيرة على سطح المريخ. يعتقد العلماء أن الماء السائل موجود في أقمار إنسيلادوس زحل، كمحيط يبلغ سمكه 10 كيلومترات تقريبًا 30–40 كيلومترًا تحت سطح القطب الجنوبي لإنسيلادوس، وتيتان، كطبقة تحت السطح، ربما ممزوجة بالأمونيا. يمتلك قمر المشتري أوروبا خصائص سطحية تشير إلى وجود محيط مائي سائل تحت السطح. قد توجد المياه السائلة أيضًا على قمر المشتري جانيميد كطبقة محصورة بين الجليد والصخور ذات الضغط العالي.

من المحتمل أن يشكل الماء والمواد المتطايرة الأخرى الكثير من الهياكل الداخلية لأورانوس ونبتون، وقد يكون الماء الموجود في الطبقات العميقة على شكل ماء أيوني تتحلل فيه جزيئاته إلى حساء من أيونات الهيدروجين والأكسجين، وفي أعماق أكبر على شكل ماء فائق الأيوني الماء الذي يتبلور فيه الأكسجين، ولكن أيونات الهيدروجين تطفو بحرية داخل شبكة الأكسجين.

إن وجود الماء السائل، وبدرجة أقل في شكليه الغازي والصلب، على الأرض أمر حيوي لوجود الحياة على الأرض كما نعرفها. تقع الأرض في المنطقة

الصالحة للسكن في النظام الشمسي؛ ولو كان أقرب قليلاً إلى الشمس أو أبعد عنها (نحو 5 %، أو نحو 8 ملايين كيلومتر)، فإن الظروف التي تسمح للأشكال الثلاثة بالتواجد في وقت واحد ستكون أقل احتمالاً بكثير.

تسمح جاذبية الأرض لها بالاحتفاظ بغلاف جوي. يوفر بخار الماء وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي حاجزًا حراريًا (تأثير الاحتباس الحراري) مما يساعد في الحفاظ على درجة حرارة سطحية ثابتة نسبيًا. إذا كانت الأرض أصغر حجمًا، فإن الغلاف الجوي الرقيق سيسمح بحدوث درجات حرارة متطرفة، وبالتالي يمنع تراكم المياه باستثناء القمم الجليدية القطبية (كما هو الحال على المريخ).

كانت درجة حرارة سطح الأرض ثابتة نسبيًا خلال الزمن الجيولوجي على الرغم من اختلاف مستويات الإشعاع الشمسي الوارد (التشمس)، مما يشير إلى أن هناك عملية ديناميكية تتحكم في درجة حرارة الأرض عبر مزيج من الغازات الدفيئة والبياض السطحي أو الجوي. يُعرف هذا الاقتراح باسم فرضية غايا.

تعتمد حالة الماء على الكوكب على الضغط المحيط، والذي تحدده جاذبية الكوكب. إذا كان الكوكب ضخمًا بدرجة كافية، فقد يكون الماء الموجود عليه صلبًا حتى في درجات الحرارة المرتفعة، بسبب الضغط العالي الناتج عن الجاذبية، كما لوحظ على الكواكب الخارجية Gliese 436 b وGJ 1214 b.

عولمة المياه (المياه الافتراضية)

المياه الافتراضية Virtual Water هي المياه المخفية في المنتجات والخدمات والعمليات التي يشتريها الناس ويستخدمونها كل يوم. غالبًا ما تكون المياه الافتراضية غير مرئية من قبل المستخدم النهائي للمنتج أو الخدمة، ولكن يتم استهلاك تلك المياه طوال سلسلة القيمة، مما يجعل إنشاء هذا المنتج أو الخدمة ممكنًا. لأغراض حساب البصمة المائية، يتم استخدام المياه الافتراضية بالتبادل مع المياه غير المباشرة. ومن الناحية النظرية، يعني كلاهما المياه المستهلكة في كل خطوة في سلسلة القيمة لسلعة أو خدمة أو عملية معينة.

على النقيض من ذلك، فإن الاستخدام المباشر للمياه هو الماء الذي يتم رؤيته والشعور به واستخدامه في وقت ومكان معين لإنتاج سلعة أو خدمة (مثل «ماء الصنبور»). هناك طريقة أخرى لتصور الاستخدام المباشر للمياه وهي أنها المياه اللازمة لتنفيذ عملية أو نشاط ما. بمعنى آخر، في أي وقت من الأوقات أثناء إنشاء منتج أو خدمة، فإن المياه المستخدمة في نشاط محدد تأتي مباشرة من أنبوب أو حنفية.

على سبيل المثال، شركة تصنيع الرقائق الدقيقة التي تستخدم الماء المقطر بدرجة عالية في عملياتها، أو شركة تعبئة المشروبات التي تنظف الزجاجات، كلاهما يستخدمان الماء مباشرة في عملياتهما. عند أخذهما معًا، فإن جميع الخطوات التي يتم فيها استخدام المياه المباشرة تضيف ما يصل إلى إجمالي المياه المطلوبة لتوصيل المنتج النهائي للمستهلكين. ويمكن اعتبار هذا المجموع محتوى مائيًا افتراضيًا.

• أهميـــة الميـــاه الافتراضيـــة

كان مفهوم المياه الافتراضية من أفكار الدكتور توني آلان، المتخصص في الشرق الأوسط. توصل البروفيسور آلان إلى هذا المفهوم خلال بحث أجري على بلدان الشرق الأوسط وشمال أفريقيا التي حدد أنها قادرة على تلبية احتياجاتها الغذائية على الرغم من معاناتها من ندرة المياه. ومن خلال استيراد الغذاء من البلدان الغنية بالمياه، تمكنت هذه البلدان التي تعاني من نقص المياه من التغلب على ندرة المياه في بيئتها واقتصاداتها.

إن فهم المياه الافتراضية مهم لعدة أسباب. ويعتبر القطاع الزراعي أكبر مستهلك للمياه في العالم. ومن الممكن أن يؤدي تحليل المياه الافتراضية إلى تعزيز الممارسات الزراعية التي تتسم بكفاءة استخدام المياه، مما يساهم في إنتاج الغذاء وتوزيعه بشكل مستدام. ومن الممكن أن تساعدنا المياه الافتراضية أيضًا على فهم العلاقة بين ندرة المياه والأمن الغذائي بشكل أفضل، والدور الذي يمكن أن تلعبه تجارة المواد الغذائية في التعويض عن ندرة المياه.

ويمكن للمياه الافتراضية أيضًا أن تلعب دورًا مهمًا في تحسين الأمن المائي في المناطق التي تعاني من ندرة المياه والتي تعاني من الإجهاد المائي. ومن خلال استيراد المنتجات كثيفة الاستخدام للمياه، تستورد المناطق التي تعاني من ندرة المياه الحقيقية المياه الافتراضية بشكل أساسي. وإدراك ذلك يمكن أن يساعد في اتخاذ القرارات بشأن إدارة الموارد وتخصيص المياه.

ونظرًا لأن المياه الافتراضية تساعد في قياس استهلاك المياه غير المباشر المرتبط بالمنتجات والخدمات، فإنها تتيح للأفراد والشركات وصناع السياسات اكتساب فهم أوضح للبصمة المائية الحقيقية لتلك السلع والخدمات.

• البصمـــة المائيـــة Water Footprint

البصمة المائية، إلى جانب البصمة الكربونية وبصمة الأرض ، مؤشراً على البصمة البيئية، وترتبط أيضًا بالتجارة المائية الافتراضية. في عام 2002، قدم آرين واي هوكسترا، أثناء عمله في اليونسكو IHE، مفهوم البصمة المائية. تُظهر البصمة المائية العلاقة بين السلع الاستهلاكية أو نمط الاستهلاك واستخدام المياه والتلوث. ويمكن النظر إلى تجارة المياه الافتراضية والبصمة المائية كجزء من قصة أكبر: عولمة المياه. على سبيل المثال، يتطلب الأمر 1340 مترًا مكعبًا من المياه (استنادًا إلى المتوسط العالمي) لإنتاج طن واحد من القمح. يمكن أن يكون الحجم الدقيق أكثر أو أقل اعتمادًا على الظروف المناخية والممارسات الزراعية. وقد عرّف هوكسترا محتوى الماء الافتراضي لمنتج ما (سلعة أو سلعة أو خدمة) بأنه «حجم المياه العذبة المستخدمة لإنتاج المنتج، مقاسًا في المكان الذي تم فيه إنتاج المنتج فعليًا». ويشير إلى مجموع استخدام المياه في الخطوات المختلفة لسلسلة الإنتاج.

يُشار إلى أنّ البصمة المائية للفرد أو المجتمع أو الشركات على أنها الحجم الكلي للمياه العذبة المستخدمة لإنتاج السلع والخدمات التي يستهلكها الفرد أو المجتمع أو الشركة. ويقاس استخدام المياه بحجم المياه المستهلكة أو الملوثة لكل وحدة زمنية. تعد البصمة المائية من أهم الوسائل التي تدفع المستهلك لإعادة النظر والتدقيق في مفهوم الترشيد وفكرته من طريق معرفة المحتوى المائي الافتراضي لمختلف السلع والخدمات، وحجم المياه اللازمة لإنتاج السلع.

ويمكن لهذه الطريقة توفير كميات مياه هائلة؛ وذلك بطرق عدة، فمثلا يتم الاستغناء عن زراعة بعض المحاصيل ذات كميات المياه الافتراضية المرتفعة،

ويمكن استغلال هذه العملية في تغيير طرق الري والزراعة التقليدية، واستعمال وسائل حديثة وأكثر كفاءة، أو يمكن استيرادها من دول أخرى، بينما يتم زراعة محاصيل باستغلال المياه الافتراضية بشكل أقل.

• طرق قياس البصمة المائية

إن البصمة المائية للسلعة هي حجم المياه العذبة المستخدمة في إنتاج هذه السلعة، الذي يقاس على جميع مراحل التجهيز والإعداد والإنتاج، وهو مقياس متعدد الأبعاد، إذ يشمل حجم استهلاك المياه، وحجم ونوع التلوث الناتج عن عمليات الإنتاج، ويتم تحديد جميع مكونات البصمة المائية جغرافيا وزمنيا، والبصمة المائية. تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسة: البصمة المائية الزرقاء والبصمة المائية الخضراء والبصمة المائية الرمادية. وفيما يأتي وصف مختصر لكل نوع:

- **البصمة المائية الزرقاء:** حجم المياه التي تم الحصول عليها من مصادر المياه السطحية أو الجوفية، مثل: البحيرات والأنهار المستهلكة فعليا في كامل خطوط ومراحل وعمليات الإنتاج لأي منتج أو سلعة. ويمكن إدراج بصمة المياه الزرقاء في الزراعة المروية والمياه المنزلية والاستخدام التجاري للمياه.
- **البصمة المائية الخضراء:** تشير إلى حجم الموارد المائية الخضراء، وهي في الأغلب مياه الأمطار، التي تستخدم مباشرة لإنتاج محاصيل أو تنمية الثروة الحيوانية من طريق المراعي الطبيعية أو أي استعمالات أخرى. وكذلك يتم الحصول عليها من الترسيب وتخزينها في منطقة جذر التربة.
- **البصمة المائية الرمادية:** تعرف بأنها حجم المياه العذبة المطلوبة اللازمة لتخفيف حمولة الملوثات الناتجة عن المياه مثل النفايات الصناعية والجريان السطحي في المناطق الحضرية من أجل تلبية معايير الجودة المطلوبة.

◆ البصمة الداخلية والبصمة المائية الخارجية

البصمة المائية الداخلية هي حجم المياه المستخدمة من موارد المياه المحلية، بينما البصمة المائية الخارجية هي حجم المياه المستخدمة في بلد آخر لإنتاج كل السلع والخدمات التي تم استيرادها واستخدامها من قبل أشخاص من بلد مختلف.

◆ بصمـــة الميـــاه الفرديـــة

البصمة المائية للفرد كمية المياه العذبة المستخدمة بشكل مباشر أو غير مباشر من قبل الفرد. كما أنّ الاستخدام المباشر للمياه هو حجم المياه المستخدمة في المنزل، بينما المياه غير المباشرة هي كمية المياه المستخدمة في إنتاج السلع والخدمات التي يستهلكها الفرد. ويبلغ متوسط البصمة المائية في منطقة الشرق الأوسط 8600 لتر من المياه يومياً، مقارنة مع متوسط المعدل العالمي للاستهلاك، وهو 3794 لتراً في اليوم.

◆ تجارة المياه الافتراضية

تم تصور مفهوم المياه الافتراضية في البداية كوسيلة لفهم كيف يمكن للبلدان التي تعاني من الإجهاد المائي أن تزود شعوبها بإمدادات كافية من الغذاء والملابس وغيرها من المواد التي تستهلك المياه بكثافة. ومع ذلك، نظرًا لأن العديد من السلع والخدمات يتم تبادلها الآن من خلال التجارة العالمية، فإن البلدان التي تعاني من ندرة المياه تعتمد أكثر فأكثر على الموارد المائية في البلدان الأخرى لتلبية احتياجاتها من المنتجات الاستهلاكية.

وبناء على ذلك، فإن الدولة ذات الموارد المائية المحدودة غالبا ما تستورد سلعا كثيفة الاستخدام للمياه مثل المنسوجات القطنية بدلا من أن يقوم المزارعون المحليون بزراعة محاصيل القطن بتكلفة كبيرة على ظروف المياه المحلية.

هناك تداخلات بين المياه الافتراضية والبصمات المائية، لكنها ليست متكافئة. تلخص شبكة البصمة المائية المفهومين بهذه الطريقة: في حين أن المياه الافتراضية والبصمة المائية يمكن أن يشيرا إلى المياه المستخدمة لإنتاج منتج ما، إلا أنه يمكن تطبيق مفهوم البصمة المائية على نطاق أوسع. على سبيل المثال، المحتوى المائي الافتراضي للمنتج هو المبلغ الإجمالي للمياه المستخدمة على طول سلسلة القيمة.

ومن ناحية أخرى، يمكن تحليل البصمة المائية للمنتج وفصلها إلى مكونات البصمة المائية – الأزرق والأخضر والرمادي. علاوة على ذلك، يمكن تقييم البصمة المائية لهذا المنتج لتحديد ما إذا كانت عملية الإنتاج مستدامة ضمن الظروف المائية والبيئية المحلية.

• تأثير تجارة المياه الافتراضية على الموارد المائية العالمية

تعد تجارة المياه الافتراضية مفهومًا جديدًا نسبيًا ظهر استجابة للوعي المتزايد بندرة المياه في العديد من مناطق العالم. إنها طريقة لقياس كمية المياه المستخدمة في إنتاج السلع والخدمات ونقل تلك المياه من المناطق التي تتوافر فيها كميات كبيرة من المياه إلى المناطق الأقل توافرًا. يمكن أن تتم تجارة المياه الافتراضية بين البلدان أو داخل البلد.

إحدى مزايا تجارة المياه الافتراضية هي أنها تسمح للبلدان بالحفاظ على مواردها المائية عن طريق استيراد سلع كثيفة الاستهلاك للمياه بدلا من إنتاجها محليا.

وينطبق هذا بشكل خاص على البلدان ذات الموارد المائية المحدودة أو التي تعاني من ندرة المياه. على سبيل المثال، تعد المملكة العربية السعودية واحدة من أكبر مستوردي القمح في العالم، وهو محصول كثيف الاستهلاك للمياه. ومن خلال

استيراد القمح، تستورد المملكة العربية السعودية فعليًا المياه الافتراضية من البلدان التي تتمتع بموارد مائية أكثر وفرة. يمكن أن تؤدي تجارة المياه الافتراضية أيضًا إلى فوائد اقتصادية للبلدان المشاركة فيها. ويمكن للبلدان القادرة على تصدير السلع كثيفة الاستهلاك للمياه أن تدر دخلاً من بيع هذه السلع.

ويمكن أن يكون هذا مفيدًا بشكل خاص للبلدان النامية التي قد لا يكون لديها الكثير من الموارد الأخرى للتصدير. ومع ذلك، فإن تجارة المياه الافتراضية لا تخلو من عيوبها. وأحد المخاوف الرئيسية هو أنه يمكن أن يؤدي إلى استنزاف موارد المياه في المناطق التي تزرع فيها المحاصيل كثيفة الاستهلاك للمياه. ويمكن أن يكون لذلك آثار سلبية على المجتمعات المحلية، وخاصة تلك التي تعتمد على الزراعة في معيشتها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي تجارة المياه الافتراضية إلى تركيز استخدام المياه في مناطق معينة، مما قد يؤدي إلى تفاقم مشكلات ندرة المياه الحالية.

ومن المخاوف الأخرى المتعلقة بتجارة المياه الافتراضية أنها يمكن أن تؤدي إلى إدامة «عدم المساواة في البصمة المائية» بين البلدان. فالبلدان القادرة على استيراد السلع كثيفة الاستهلاك للمياه تقوم فعليا بالاستعانة بمصادر خارجية لاستخدام المياه في بلدان أخرى. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى وضع تستخدم فيه بعض البلدان كمية غير متناسبة من المياه مقارنة بدول أخرى، حتى لو لم يكن لديها الموارد المائية المادية لدعم هذا المستوى من الاستهلاك.

هناك أيضًا تأثيرات بيئية مرتبطة بتجارة المياه الافتراضية. يمكن أن يؤدي إنتاج المحاصيل كثيفة الاستهلاك للمياه إلى تلوث الموارد المائية وتدهور النظم البيئية. يمكن أن يؤدي نقل البضائع لمسافات طويلة أيضًا إلى زيادة انبعاثات غازات الدفيئة والمساهمة في تغير المناخ.

وعلى الرغم من هذه المخاوف، فمن المرجح أن تستمر تجارة المياه الافتراضية في لعب دور مهم في الاقتصاد العالمي. وبما أن ندرة المياه أصبحت قضية ملحة بشكل متزايد، فسوف تحتاج البلدان إلى إيجاد سبل للحفاظ على مواردها المائية وزيادة كفاءة استخدام المياه المتوفرة لديها. ويمكن أن تكون تجارة المياه الافتراضية أداة للمساعدة في تحقيق هذه الأهداف، ولكن يجب إدارتها بعناية لتقليل آثارها السلبية. إحدى الطرق لمعالجة بعض المخاوف المرتبطة بتجارة المياه الافتراضية هي من خلال تطوير ممارسات الإدارة المستدامة للمياه. ويمكن أن يشمل ذلك تعزيز التقنيات والممارسات التي تتسم بكفاءة استخدام المياه في الصناعات كثيفة الاستخدام للمياه، فضلاً عن دعم تطوير ممارسات زراعية أكثر استدامة.

وهناك نهج آخر يتمثل في زيادة الشفافية حول تجارة المياه الافتراضية. وقد يشمل ذلك تطوير منهجية موحدة لحساب المحتوى المائي الافتراضي لمختلف المنتجات والخدمات، بالإضافة إلى مطالبة الشركات بالكشف عن كمية المياه الافتراضية المستخدمة في منتجاتها.

وأخيرا، من المهم أن ندرك أن تجارة المياه الافتراضية ليست سوى قطعة واحدة من اللغز عندما يتعلق الأمر بإدارة موارد المياه العالمية. وهناك حاجة إلى سياسات واستراتيجيات أوسع لمعالجة ندرة المياه وتعزيز الاستخدام المستدام للمياه.

ويمكن أن يشمل ذلك تدابير مثل الحفاظ على المياه، وإعادة تدوير المياه، وإدارة متجمعات المياه، وتطوير مصادر بديلة للمياه مثل تحلية المياه وتجميع مياه الأمطار. وبالإضافة إلى ذلك، من المهم إشراك جميع أصحاب المصلحة في تطوير وتنفيذ هذه السياسات، بما في ذلك المجتمعات المحلية والحكومات والقطاع الخاص.

• تجارة المياه الافتراضية في المنطقة العربية

لدى المنطقة العربية أسباب كثيرة للتعاون، وحتى الاندماج، خصوصاً عندما يتعلق الأمر بإدارة موارد المياه النادرة. يمكن أن يؤدي تنسيق إدارة الزراعة والمياه إلى تحسين آليات التخصيص لتحسين استدامتها. لا يمكن للمنطقة التفاوض بشأن تخصيص المياه عبر الحدود فحسب، بل يمكنها الاستفادة بشكل أفضل من أوجه التكامل المناخية والاقتصادية والديمغرافية وما إلى ذلك، من أجل زيادة الفوائد الاقتصادية والاجتماعية من المياه والزراعة إلى أقصى حد. إن تصميم تخصيص المياه الزراعية الوطنية في إطار التكامل مع المنطقة من شأنه أن يزيد بشكل كبير من إنتاجية المياه والاقتصاد في المياه للتوسع ومن أجل القطاعات الأخرى. من بين أكثر أوجه التعاون أهمية تنسيق أنماط المحاصيل بناءً على الميزة النسبية لكل دولة وتجارة المياه الافتراضية بين بلدان المنطقة.

إن محتوى المياه الافتراضية للمنتج هو حجم المياه العذبة المستخدمة لإنتاج هذا المنتج. ويشير إلى التدفق غير الظاهر للمياه إذا تم تداول المواد الغذائية أو السلع الأخرى من مكان إلى آخر. يوضح استخدام مفهوم المياه الافتراضية الروابط الهامة بين استخدام المياه الزراعية محلياً وإقليمياً وعالمياً والتي يمكن أن تخفف من حدة النقص في المياه. يمكن أن تساعد الحوافز المتصلة بالسياسات في تحويل تخصيص المياه بعيداً عن المحاصيل كثيفة استخدام المياه التي تسهم في زيادة ندرة المياه في المنطقة. وفي المناطق الشحيحة بالمياه، يتيح مفهوم المياه الافتراضية للبلدان تقييم قيمة إنتاج محصول محدد محلياً مقابل استيراده. ويمكن أن يساعد أيضاً في ربط ومقارنة تجارة المنتجات الغذائية (والمياه المضمنة فيها) بالموارد المائية الوطنية المستخدمة في الزراعة. قد يعوض استيراد المنتجات التي تستهلك المياه بكثافة عن ندرة المياه الوطنية ويساعد البلدان الشحيحة المياه على تحقيق الأمن الغذائي عن طريق استيراد الأغذية من البلدان الغنية بالمياه.

لقد بلغت واردات الدول العربية الصافية في عام 2015 أكثر من 128 مليون طن من الأغذية. ولو تم إنتاجها محلياً، لكان على المنطقة أن تخصص لها أكثر من 288 بليون متر مكعب من المياه. في الوقت نفسه، من خلال تصدير المحاصيل الزراعية التي تستهلك المياه بكثافة، تسهم دولة شحيحة بالمياه في ندرة المياه محلياً، وفي العجز الوطني بالمياه. لقد صدّرت الدول العربية في عام 2015 منتجات زراعية بأكثر من 18 مليون طن واستهلكت أكثر من 33 بليون متر مكعب من المياه.

• التغيرات المستقبلية في تجارة المياه الافتراضية

تجارة المياه الافتراضية (VWT) هي كمية المياه، سواء كانت خضراء (رطوبة التربة) أو زرقاء (متجددة وغير متجددة)، التي يتم استهلاكها في إنتاج السلع الزراعية التي يتم تداولها بعد ذلك في السوق الدولية. تعمل هذه التجارة على تخفيف الضغوط في العديد من المناطق التي تعاني من الإجهاد المائي. حظيت الوفورات المحتملة في المياه المرتبطة بتجارة المياه الافتراضية الماضية وتحليلاتها باهتمام متزايد في مجتمع البحث، حيث قد تترك الضغوط المائية المستقبلية بعض المناطق غير قادرة على تلبية احتياجاتها الزراعية من خلال الإنتاج المحلي وحده.

يمكن أن تكون هذه الضغوط مدفوعة بالظروف الاجتماعية والاقتصادية المستقبلية التي من المتوقع أن تسبب زيادة نسبية في حجم تجارة المياه الافتراضية العالمية. وفي حين أن الكثير من المياه المتداولة عالميًا هي مياه خضراء أو مياه زرقاء متجددة، فقد وجدت الدراسات الحديثة زيادة في استخراج المياه الجوفية غير المتجددة من طبقات المياه الجوفية العميقة لزراعة المحاصيل التي يتم بعد ذلك الاتجار بها دوليًا.

إن استمرار استنزاف المياه الجوفية غير المتجددة والإفراط في استغلالها له آثار سلبية كبيرة على المستويين الإقليمي والعالمي، بما في ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، هبوط الأراضي، وارتفاع مستوى سطح البحر في نهاية المطاف، وتدهور نوعية المياه.

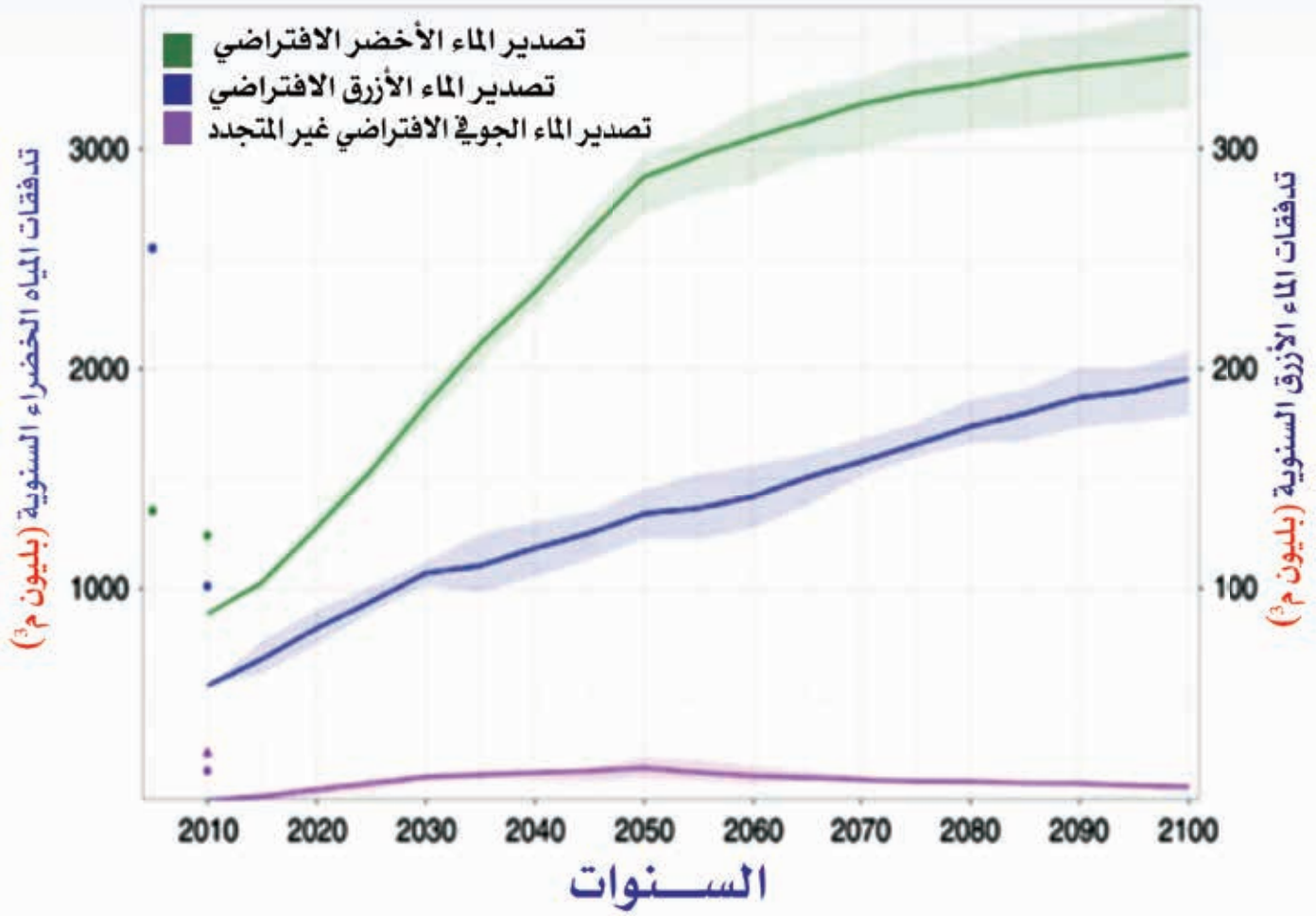
ومع ذلك، فإن الخصائص المكانية والزمانية لجميع مصادر تجارة المياه الافتراضية المستقبلية غير معروفة بشكل عام. علاوة على ذلك، على الرغم من أن العديد من تحليلات تجارة المياه الافتراضية حاولت إعادة بناء التطور التاريخي لشبكة تجارة المياه الافتراضية وخلصت إلى أن تجارة المياه الافتراضية تضاعفت بين عامي 1986 و2007، فإن تقييمات تجارة المياه الافتراضية المستقبلية لا تزال غائبة عن الأدبيات الحالية.

وتستقبل المنطقة العربية حوالي 1460 بليون متر مكعب من الأمطار، وتستهلك النباتات منها حوالي 30 % فقط مباشرة كمياه خضراء. ومع ذلك، تختلف هذه النسبة من بلد إلى آخر ويمكن أن تنخفض إلى أقل من 10 % كما في الأردن.

يبلغ متوسط موارد المياه الزرقاء في المنطقة العربية أقل من 300 م^3 للفرد سنوياً مقارنة بنحو 6,000 م^3 على مستوى العالم. ويتراوح هذا المتوسط في الدول العربية ما بين 100 م^3 للفرد في الأردن إلى 1500 م^3 للفرد في العراق.

سوف تتأثر إمدادات المياه السطحية الزرقاء أيضاً بسبب التغير المناخي. قد يكون أعلى في بعض المواقع حيث سيتم توليد المزيد من الجريان السطحي نتيجة زيادة شدة هطول الأمطار، ولكن من المحتمل أن تقل كمية إعادة تغذية المياه الجوفية بسبب انخفاض فرص تسرّب المياه.

ستؤدي زيادة درجات الحرارة إلى زيادة معدلات التبخر والنتح، لكن مع توقع أن تقصر فترات نمو المحاصيل في المنطقة، ستتطلب بعض المحاصيل مزيداً من المياه في حين لن تتطلب أخرى ذلك. عادة ما تعمل مستويات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة كسماد للمحاصيل عند زيادة كفاءة النتح وإنتاجية المياه، لكن هذا ممكن فقط إذا توفر المزيد من المياه للتربة.



نطاق صادرات المياه الخضراء والزرقاء الافتراضية ومقدار استنزاف المياه الجوفية غير المتجددة المتضمن في التجارة الزراعية لجميع سيناريوهات SSP2-RCP6.0 (إجمالي عدد السيناريوهات = 6)، بما في ذلك تأثيرات عدم اليقين في GCM. تظهر الصادرات الافتراضية الخضراء على المحور الصادي الأساسي (يسار) بينما يتم تمثيل صادرات المياه الجوفية الافتراضية الزرقاء وغير المتجددة على المحور الصادي الثانوي (يمين). تمثل الخطوط الصلبة المتوسط لكل تدفق مياه في SSP2-RCP6.0، بينما تصور الأشرطة النطاق الكامل لنماذج GCM لسيناريو RCP6.0. تظهر التقديرات السابقة لتجارة المياه الافتراضية كنقاط ويتم توسيعها في الجدول 1. وتستند قيم الدراسة الحالية إلى التجارة على المستوى القطري لمنظمة الأغذية والزراعة في عام 2010، وجميع التقديرات المستقبلية تقع بين 32 منطقة من مناطق GCAM. Dalin et al. (2017). Hoekstra and Mekonnen (2012)

• تقليل الاعتماد على المياه الافتراضية

يمكن لمفهوم المياه الافتراضية أن يعزز الحفاظ على المياه واستخدامها بشكل أكثر كفاءة. إن خفض كثافة استخدام المياه في المنتجات والخدمات يؤدي إلى تقليل البصمة المائية الإجمالية لصناعات وقطاعات معينة، بل وحتى لبلدان معينة، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تخفيف الضغط على موارد المياه الطبيعية.

تعد إعادة استخدام المياه أداة قيمة لتقليل المياه الافتراضية. يمكن أن تساهم تقنيات معالجة مياه الصرف الصحي في جهود إعادة استخدام المياه من خلال معالجة وتنقية مياه الصرف الصحي إلى مستوى يمكن من خلاله إعادة استخدامها بأمان وفعالية للأغراض غير الصالحة للشرب، مثل الري والعمليات الصناعية وأنظمة التبريد. تحافظ هذه الممارسة على موارد المياه العذبة وتتوافق مع مبادئ إدارة المياه الافتراضية.

بشكل عام ومن أجل تقليل البصمة المائية الخاصة بك، يمكنك اتخاذ قرارات معينة تحد من تأثير عاداتك الاستهلاكية على البيئة. فيما يلي 4 نصائح يمكن أن تساعدك على تقليل البصمة المائية:

◆ قلل من استهلاك اللحوم

النظام الغذائي النباتي له بصمة مائية أصغر بشكل عام من النظام الغذائي الذي يتضمن الكثير من المنتجات الحيوانية. ومن خلال استهلاك كميات أقل من اللحوم ومنتجات الألبان واتباع نظام غذائي متوازن من الأطعمة والمشروبات النباتية، يمكننا المساهمة في تقليل البصمة المائية.

◆ إعطاء الأفضلية للمنتجات الموسمية والإقليمية

من خلال شراء الأطعمة والمشروبات التي يتم إنتاجها في منطقتنا وفي الموسم، يمكننا المساهمة في تقليل بصمتنا المائية لأن هذه المنتجات تؤدي إلى انخفاض التكاليف من حيث النقل وري المحاصيل.

◆ الاســـتفادة من تقنيات توفير المياه

ومن خلال تطبيق تقنيات توفير المياه في الزراعة والصناعة والمنازل الخاصة، يمكننا المساهمة في تقليل بصمتنا المائية. ويشمل ذلك تكنولوجيات مثل أنظمة الري بالتنقيط في الزراعة، والأجهزة المنزلية الأكثر كفاءة، والصنابير الموفرة للمياه (بما في ذلك أجهزة التهوية ومنظمات التدفق).

◆ التقـــليل من النفايات والاستخدام المسرف

من خلال تجنب هدر الطعام وإعادة تدوير المواد التي نستخدمها؛ يمكننا المساهمة في تقليل بصمتنا المائية حيث ستكون هناك حاجة إلى موارد أقل لتصنيع منتجات جديدة. إذاً يعد مفهوم المياه الافتراضية جانبًا حيويًا يجب مراعاته كجزء من المناقشات حول الاستخدام المستدام للموارد المائية. من خلال التأكد من أننا على دراية بكمية المياه المطلوبة لتصنيع المنتجات التي نستهلكها، يمكننا اتخاذ قرارات مستنيرة وتقليل بصمتنا المائية.

ومع ذلك، لكي نكون في وضع يسمح لنا باتخاذ قرارات مستنيرة كمستهلكين، سيكون من المفيد أن يكون لدينا علامات على المنتجات، على سبيل المثال، والتي من شأنها أن تشرح كمية المياه (الافتراضية) المطلوبة. فقط عندما يتم توفير المعلومات بطريقة مركزة يمكننا الاستفادة منها.

وفي نهاية المطاف، تقع على عاتق كل واحد منا مسؤولية تعزيز الممارسات المستدامة والتصدي للتحديات التي تواجهنا فيما يتعلق باستخدام المياه ونقصها في جميع أنحاء العالم. إن لم يكن لسبب آخر، فمن أجل ضمان العيش الكريم للجيل القادم.

• الإدارة المستدامة للمياه الافتراضية

يمكن لتجارة المياه الافتراضية أن تعالج ندرة المياه وتحسن الأمن الغذائي. ومع ذلك، يجب أن يكون لدى صناع السياسات فهم شامل للآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية لاستخدام تجارة المياه الافتراضية كأداة استراتيجية، فضلا عن آثارها الجيوسياسية.

وتشير الشراكة العالمية للمياه إلى أنه إذا كنا نأمل في تطوير حلول لندرة المياه وتعزيز الأمن الغذائي استنادا إلى بيانات المياه الافتراضية، فيجب ربط هذه النتائج بالقضايا المحلية والإقليمية وقضايا أحواض الأنهار، مع الأخذ في الاعتبار الآثار البيئية والاجتماعية.

يمكن أن توفر المياه الافتراضية رؤى قيمة حول المياه المخفية في المنتجات والخدمات، مما يساعدنا على رؤية البصمة المائية الحقيقية. ومن خلال النظر في المياه الافتراضية، يمكننا اتخاذ قرارات أكثر استنارة تساهم في تحقيق الأمن المائي، والتنمية المستدامة، والاستخدام الفعال للموارد.

• القيود والاعتراضات

لقد كانت البصمات الافتراضية للمياه مهمة في تسليط الضوء على دور الموارد المائية في التجارة الدولية. ومع ذلك، ينبغي توخي بعض الحذر عند تطبيق المفاهيم على مسائل السياسة الهامة. التجارة الدولية معقدة وتنطوي على العديد من القضايا التي لا يتم تناولها في مفهوم المياه الافتراضية. وبالمثل، فإن استخدام المياه وتخصيصها ينطوي على العديد من القضايا والآثار أكثر مما ورد في تقديرات آثار المياه.

على سبيل المثال، تم استخدام تحليل البصمة المائية للإشارة إلى أن البلدان التي تعاني من نقص المياه لا ينبغي لها إنتاج وتصدير المحاصيل كثيفة الاستخدام للمياه. وهذا يمكن أن يشجع صناع السياسات على تعزيز استراتيجيات الإنتاج والتجارة التي تقلل من صافي الفوائد الاجتماعية. وتقوم العديد من البلدان التي تعاني من نقص المياه بإنتاج وتجارة المنتجات كثيفة الاستهلاك للمياه. وتدر هذه الأنشطة إيرادات كبيرة للمنتجين، مع تعزيز محفظة السلع والخدمات المتاحة في كل من البلدان المصدرة والمستوردة.

كما يتجاهل منظور المياه الافتراضية النظر في تأثيرات الإنتاج والتجارة على سبل عيش الأفراد وحيوية المجتمعات المنخرطة في الزراعة. إن المقترحات الداعية إلى إعادة ترتيب أنماط التجارة الدولية استناداً فقط إلى النظر في الموارد المائية من الممكن أن تفرض ضرراً كبيراً على الأفراد الذين يكسبون عيشهم من الزراعة، وخاصة في البلدان الفقيرة.

• الدروس المستفادة

- تساعد المياه الافتراضية على فهم العلاقة بين ندرة المياه والأمن الغذائي وتحسين فهم دور تجارة الأغذية في تعويض العجز المائي.
- يتطلب إدراج المياه الافتراضية كخيار سياسي فهمًا شاملاً للتأثير والتفاعلات على الآثار الطبيعية والاجتماعية والاقتصادية والبيئية والسياسية لاستخدام تجارة المياه الافتراضية كأداة استراتيجية في سياسة المياه والأوساط الأكاديمية.
- ومن أجل تطوير حلول لندرة المياه وانعدام الأمن الغذائي بناءً على بيانات حول المياه الافتراضية، يجب ربط هذه النتائج بالقضايا المحلية والإقليمية وأحواض الأنهار.
- إن إرساء خطة تجارية اقتصادية أو سياسة زراعية على المياه الافتراضية وحدها، دون النظر إلى الجدوى البيئية والاجتماعية، من المرجح أن يؤدي إلى ضرر أكبر بكثير من نفعه.
- يعد المحتوى المائي الافتراضي ذا قيمة لمقارنة السلع، ويمكن أخذه في الاعتبار في السياسة، ولكن من المحتمل ألا يكون أداة عملية تستند إليها القرارات التجارية الاقتصادية أو الزراعية.

الفصل السابع

علم المياه السطحية (الهيدرولوجيا)

مصادر وخصائص المياه	عناصر المياه السطحية
التساقط	التبخر
الجريان السطحي	الهيدروغراف
الترشيح	التخزين
التفاعل بين المياه السطحية والجوفية	جودة المياه السطحية

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

علم المياه السطحية (الهيدرولوجيا)

مُقَدِّمَة

تعد الهيدرولوجيا Hydrology مجالًا مهمًا للغاية، حيث تتعامل مع أحد أهم الموارد على وجه الأرض: الماء. تتم دراسة جميع جوانب المياه المتوفرة على الأرض من قبل خبراء من العديد من التخصصات، من الجيولوجيين إلى المهندسين، للحصول على المعلومات اللازمة لإدارة هذا المورد الحيوي. ويعتمد علماء الهيدرولوجيا على فهمهم لكيفية تفاعل المياه مع بيئتها، بما في ذلك كيفية انتقالها من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي، ثم العودة إلى الأرض. وتسمى هذه الحركة التي لا تنتهي بالدورة الهيدرولوجية، أو دورة الماء.

قد تتكون المياه السطحية من مياه عذبة أو مالحة، أو مزيج من المياه شبه المالحة تسمى المياه قليلة الملوحة Brackish Water. توجد المياه قليلة الملوحة والمالحة في المحيطات والبحار ومناطق دلتا الأنهار. تشمل المياه السطحية العذبة الأنهار والبحيرات والمستنقعات والمياه الجوفية. ومع ذلك، فإن الجزء الأكبر من المياه العذبة 66 % تقريبا متجمد ومغلف في القمم الجليدية والأنهار الجليدية. وتشكل المياه الجوفية أيضًا جزءًا كبيرًا: 33 % تقريبا. أما الجزء المتبقي، فتشمل المياه العذبة في الغالب البحيرات والمستنقعات والأنهار. وتقع المياه السطحية إلى حد كبير تحت تأثير التلوث الناجم عن الأنشطة البشرية والحيوانية، وكذلك عن البيئة نفسها، مما قد يضر بالصحة العامة. يشمل نطاق الأنشطة البشرية في مستجمع المياه التي قد تسبب تلوث المياه السطحية بالمخاطر الميكروبيولوجية والكيميائية والإشعاعية الأنشطة الزراعية وممارسات

الصرف الصحي والصناعة والتعدين والمواقع العسكرية والتخلص من النفايات وحركة المرور. وبالمقارنة بالمياه الجوفية، تحتاج المياه السطحية عمومًا إلى المعالجة، وبشكل مكثف في كثير من الأحيان.

يأخذ الماء أشكالا مختلفة في البيئة استجابة للتغيرات في درجات الحرارة والمؤثرات الأخرى. يتم تسخين المياه الموجودة على سطح المحيطات والمسطحات المائية الأخرى بواسطة الشمس وتتبخر على شكل بخار ماء. وعندما يرتفع هذا الهواء الرطب إلى أعلى الغلاف الجوي، فإنه يبرد ويتكثف على شكل سحب. ثم تعود الرطوبة الموجودة في السحب إلى سطح الأرض على شكل أمطار. وبمجرد وصوله إلى الأرض، يتم امتصاص الماء، ويصبح مياهًا جوفية. وستعود المياه الجوفية التي لا يتم امتصاصها إلى الجداول والأنهار والجداول، وفي النهاية إلى المحيطات. وتتكرر الدورة مع تبخر سطح المسطحات المائية مرة أخرى. يمكن أيضًا للرطوبة التي تلتقطها النباتات أن تعود إلى الغلاف الجوي من خلال عملية تسمى النتح.

لا يقتصر مجال الهيدرولوجيا على دراسة التوزيع الطبيعي وحركة المياه فحسب، بل إنه يهتم أيضًا بتأثير الأنشطة البشرية على جودة المياه ومشاكل إدارة المياه. يستخدم الناس الماء لأغراض عديدة. ويستخدم الناس في منازلهم المياه للشرب والطبخ والتنظيف والاستحمام. العديد من الصناعات لديها حاجة كبيرة للمياه. وفي الزراعة، تُستخدم المياه لري الأراضي الزراعية وتربية الماشية. يتم استخدام المياه في العديد من السدود لإنتاج الطاقة الكهرومائية. إن قائمة الاستخدامات البشرية للمياه تكاد لا تنتهي.

المساران الرئيسيان لدراسة الهيدرولوجيا يأتيان من الهندسة والجغرافيا، وخاصة جانب علوم الأرض من الجغرافيا. يأتي منهج علوم الأرض من دراسة

أشكال الأرض (الجيومورفولوجيا) وهو متجذر في تاريخ شرح العمليات التي تؤدي إلى تحرك المياه حول الأرض ومحاولة فهم الروابط المكانية بين العمليات. يميل النهج الهندسي إلى أن يكون أكثر عملية قليلاً ويتطلع إلى إيجاد حلول للمشاكل التي تطرحها حركة المياه (أو عدم تحركها) حول الأرض. في الواقع، هناك مساحات كبيرة من التداخل بين الاثنين، وغالبًا ما يكون من الصعب الفصل بينهما، خاصة عند الدخول في البحوث الهيدرولوجية. ومع ذلك، على المستوى الجامعي، يتجلى الاختلاف من خلال كون هيدرولوجيا علوم الأرض أكثر وصفًا وأن الهيدرولوجيا الهندسية أكثر عددًا.

مصادر وخصائص المياه السطحية

تعد المياه السطحية ضرورية للغاية إذ تشكل ما يقارب 80 % من المياه المستخدمة على أساس يومي، كما أنها تشكل معظم المياه التي تستخدم للإمداد العام والري. تتشكل المياه السطحية بسبب تبخر الماء من المحيط ومن سطح الأرض، ويحتفظ به الغلاف الجويّ مؤقتاً على شكل بخار، ثم يعود إلى سطح الأرض على شكل مطر، ويستهلك جزءاً من هذه الأمطار الغطاء النباتي والتربة، وتشكّل المياه الزائدة من خلال الجريان السطحي الجداول والأنهار والبحيرات، ويطلق على مجموع مساحة الأراضي التي تساهم في الجريان السطحي إلى النهر أو البحيرة حوض تصريف.

يُشير مصطلح المياه السطحية Surface Water إلى أي مسطح مائي موجود فوق سطح الأرض، بما في ذلك الجداول والأنهار والبحيرات والأراضي الرطبة والخزانات والينابيع، إضافةً إلى البحار والمحيطات التي على الرغم من كونه مياهها مالحة، إلا أنها تعتبر مياهاً سطحية، ويعمل هطول الأمطار وجريان المياه على تغذية هذه المسطحات المائية، أما من ناحية أخرى، فيؤدي تبخر المياه وتسربها إلى الأرض إلى فقدان نسب المسطحات المائية السطحية.

من المصادر الرئيسية للمياه السطحية **المحيطات والأنهار والبحيرات والخزانات والأنهار والجبال الجليدية والينابيع**. تعتبر المحيطات أكبر المسطحات المائية وهي مياه مالحة لذلك ليست مفيدة لأغراض الشرب والاستعمال المباشر، كما أنها أكبر مصادر المياه السطحية إذ تشكل 97 % من المياه السطحية الموجودة للأرض. **تمثل الأنهار** المصدر الأساسي للمياه السطحية الجارية على سطح الأرض، وتتشكل عندما تسقط مياه الأمطار إلى أن تصبح الأرض مشبعة بالمياه وغير منفذة، لتشكل جداول صغيرة تجري بشكل منحدِر

على طول مجاري وقنوات موجودة على الأرض متجهة نحو الأنهار التي كانت بالأساس جداول صغيرة. وتمثل **البحيرات** أيضاً مصدراً مهماً من مصار المياه السطحية، حيث تعد البحيرات منخفضات طبيعية تتجمع فيها المياه، وقد تختلف فيما بينها في العمق والاتساع والعمر، وتنشأ الأحواض الطبيعية للبحيرات عندما ينسد مجرى وادي النهر، بسبب التراكمات الصخرية أو الانهيارات الطبيعية، وقد تتكون بسبب النحت الجليدي أو المائي لسطح الأرض، وتعتمد كمية المياه في هذه الأنهار بشكل أساسي على كمية الأمطار الساقطة. **الينابيع** هي مصادر مياه طبيعية تتدفق من التربة أو الصخور. يتم تغذية الينابيع من مياه الأمطار ومياه جوفية. **الخزانات** هي واحدة من مصادر المياه السطحية العذبة وتعتبر من المنشآت الاصطناعية والتي يتم إنشاؤها لتخزين مياه الأمطار لغايات الزراعة والاستخدام البشري. **الأنهار والجبال الجليدية** هي واحدة من مصادر المياه السطحية العذبة إذ تغطي 10 % من مساحة الأرض في العالم، وتعتبر جرينلاند الموطن الأساسي لهذه الأنهار الجليدية. تعد الأمطار مثل هطول الأمطار وذوبان الثلوج جنبًا إلى جنب مع جريان المياه المصدر الرئيسي للمياه السطحية. يتم دفع الجريان السطحي إلى أسفل بسبب الجاذبية إلى المسطحات المائية. مع ارتفاع درجة حرارة المناخ في فصل الربيع، يتدفق ذوبان الثلوج نحو الجداول والأنهار القريبة مما يساهم في زيادة منسوب المياه السطحية. يتم فقدان المياه السطحية عن طريق التبخر والتسرب عبر الأرض. والبعض الآخر تستخدمه النباتات والحيوانات من أجل البقاء.

تكمن أهمية المياه السطحية في سهولة الوصول إليها لذلك يتمّ الاعتماد عليها في العديد من الاستخدامات البشرية، إذ تُعدّ المياه السطحية مصدرًا مهمًا لمياه الشرب، والطهي، والتنظيف، كما تُستخدَم لري الأراضي الزراعية، كما تُشكل الأراضي الرطبة بيئة مناسبة للنباتات المائية والحياة البرية، وتُحافظ على النظم البيئية.

• أنواع المياه السطحية

المياه السطحية الدائمة Perennial: هي المياه الموجودة في الأنهار، والبحيرات، والينابيع، والمستنقعات على مدار العام، وتتجدد من مياه الأمطار.

المياه السطحية شبه الدائمة Ephemeral: تشمل المسطحات المائية التي تحتفظ بالماء خلال فترة من العام فقط؛ كالجداول الصغيرة، أو البحيرات، أو المناطق المنخفضة التي يتجمّع فيها الماء لفترة محددة.

المياه السطحية من صنع الإنسان Man-Made: تشمل المياه الموجودة من صنع الإنسان، مثل: السدود، والبرك الاصطناعية.

• تقديرات الميزان المائي العالمي

يبلغ متوسط هطول الأمطار والتبخر السنوي حوالي متر واحد للأرض بأكملها. على السطوح الأرضية يبلغ متوسط كثافة الهطول، P، حوالي 0.80 متر في السنة، في حين أن متوسط التبخر المقابل، E، يبلغ حوالي 0.50 متر في السنة، أو حوالي 60 % إلى 65 % من الهطول. وفي ظل ظروف ثابتة، أي لفترات زمنية طويلة، يمكن اعتبار الباقي جريانًا من أسطح الأرض إلى المحيطات، R (معبرًا عنه بارتفاع عمود الماء لكل وحدة زمنية)، أو:

$$R = P - E$$

يبلغ متوسط الجريان السطحي السنوي R في جميع القارات وعلى مدى فترات زمنية طويلة حوالي 35 % إلى 40 % من هطول الأمطار.

تقديرات متوسط توزيع المياه في أشكال مختلفة معبرا عنها بعمق المياه التي تغطي الكرة الأرضية، والتي يفترض أنها كرة مثالية. تشير هذه إلى

أن متوسط هطول الأمطار السنوي البالغ متر واحد يعد كبيرًا نسبيًا مقارنة بالمياه العذبة النشطة على الأرض، وهي المياه التي لا يتم تخزينها في الجليد الدائم والمياه الجوفية العميقة. وهذا يعني أن دوران الجزء النشط من الدورة الهيدرولوجية سريع إلى حد ما، وأن فترات البقاء في بعض الأجزاء الرئيسية من الدورة المائية قصيرة نسبيًا؛ ويمكن حساب متوسط وقت المكوث كنسبة للتخزين والتدفق داخل أو خارج التخزين.

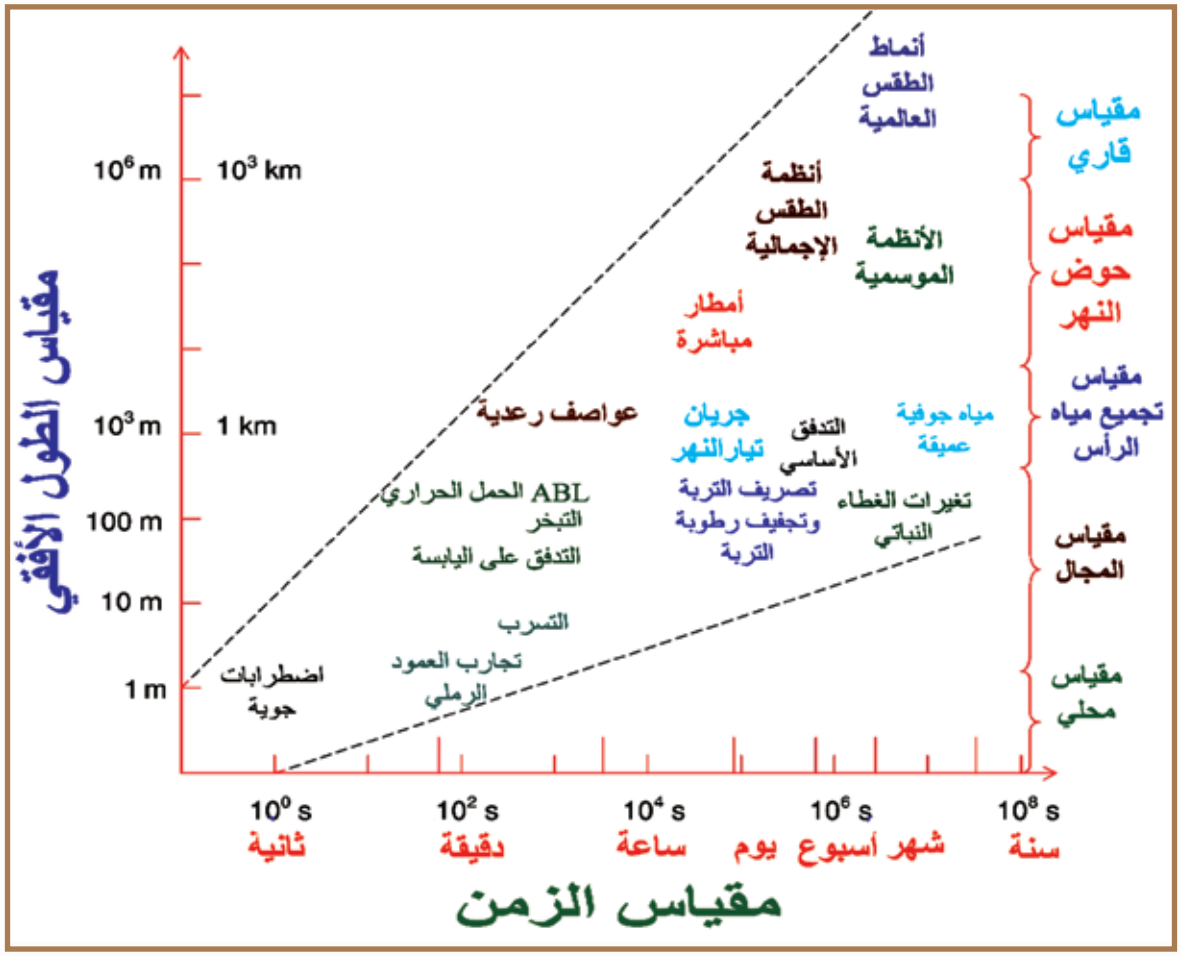
على سبيل المثال، معدل الجريان السطحي القاري البالغ 0.30 متر مكعب ومخزن في الأنهار (0.29/0.003) متر مكعب من المياه على 29 % من العالم الذي تشغله الأرض، يعطي متوسط وقت الإقامة حوالي 13 يومًا لـ أنهار العالم. هذه أوقات إقامة قصيرة جدًا . علاوة على ذلك، بما أن المحيطات تشغل حوالي 71 % من سطح الأرض، فإن المياه العذبة النشطة في الدورة الهيدرولوجية يتم تقطيرها باستمرار من جديد من خلال تبخر المحيطات.

الخرائط التي تصور التوزيع التقريبي لمكونات الميزان المائي في أجزاء مختلفة من العالم. يمكن أن تختلف الأحجام النسبية والمطلقة للمكونات الرئيسية للدورة الهيدرولوجية، وهي P وR وE، على نطاق واسع من موقع إلى آخر.

ومن الواضح أن القيم المتوسطة طويلة المدى لجميع هذه العناصر الثلاثة لا تكاد تذكر في المواقع الصحراوية. وعلى الجانب الآخر، تم تسجيل الحد الأقصى لقيم هطول الأمطار السنوية التي تصل إلى 26.5 مترًا في بيئة الرياح الموسمية الجبلية. على مساحات واسعة وعلى مدى فترات طويلة بما فيه الكفاية، عندما يتم إهمال تأثيرات عدم الثبات والذوبان والتمثيل الضوئي والاحتراق والتدفق الجانبي، يمكن كتابة توازن الطاقة السطحية على النحو التالي:

$$R_n = L_e E + H$$

حيث R_n هو التدفق النوعي لصافي الإشعاع الوارد، وL_e هي الحرارة الكامنة للتبخر، وE هو معدل التبخر، وH هو التدفق النوعي للحرارة المعقولة في الغلاف الجوي. يتم امتصاص الجزء الأكبر من الإشعاع الوارد بالقرب من سطح الأرض، ويتحول إلى طاقة داخلية. يتم توضيح العديد من المقاييس المكانية مع المقاييس الزمنية المميزة المقابلة في الشكل الآتي لبعض الأنواع العامة من عمليات النقل المائي تم أخذها في الاعتبار في الدراسات الهيدرولوجية.



النطاقات التقريبية للمقاييس المكانية والزمانية لبعض العمليات الفيزيائية الشائعة ذات الصلة بالهيدرولوجيا

الخصائص الفيزيائية والكيميائية

المياه المستخدمة كمصدر لأي إمدادات خاصة من مياه الشرب لها خصائصها الفيزيائية والكيميائية الخاصة. وقد يكون هذا مستمدًا من مصدر بيئي، مثل التربة أو الجيولوجيا، أو من التلوث مثل الجريان السطحي. من الضروري أن يتم فهم المياه ومعالجتها بشكل مناسب قبل استخدامها للأغراض المنزلية (كما هو محدد في قانون صناعة المياه لعام 1991).

قيمه الحامضية PH value

قيمة الرقم الهيدروجيني للماء هي مقياس لحموضته أو قلويته. يتأين الماء النقي قليلاً إلى أيونات هيدروجين موجبة الشحنة (+H) وأيونات هيدروكسيد سالبة الشحنة (-OH). يكون الماء متعادلاً عندما تكون أعداد أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد متساوية. عندما يتجاوز تركيز أيونات الهيدروجين تركيز أيونات الهيدروكسيد، يكون الماء حمضيًا وتكون قيمة الرقم الهيدروجيني له أقل من 7. وعلى العكس، عندما يتجاوز تركيز أيونات الهيدروكسيد تركيز أيونات الهيدروجين، يكون الماء قلويًا وتكون قيمة الرقم الهيدروجيني له أكبر من 7. مقياس الأس الهيدروجيني لوغاريتمي، وبالتالي فإن التغير في قيمة الأس الهيدروجيني لوحدة واحدة يمثل تغيرًا بمقدار عشرة أضعاف في تركيزات أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيد.

يمكن أن تنتج الحموضة في الماء الخام من انحلال ثاني أكسيد الكربون لإنتاج حمض الكربونيك الضعيف. قد تحتوي المياه الجوفية والمياه السطحية أيضًا على أحماض عضوية يتم إنتاجها أثناء تحلل النباتات. قد يكون للمياه السطحية المشتقة من متجمعات المستنقعات قيمة أس هيدروجيني منخفضة تصل إلى 4. وتنتج المياه القلوية بالكامل تقريبًا من انحلال أملاح البيكربونات

والكربونات والهيدروكسيد من الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، على سبيل المثال من طبقات المياه الجوفية من الحجر الجيري. يمكن أن تسبب المياه الحمضية الناعمة تآكل الأنابيب وذوبان المعادن مثل النحاس والزنك والرصاص. يمكن أن تتسبب المياه القلوية الصلبة في تكوين القشور وقد تكون بعض المياه العسر أيضًا مذيبة.

تتضمن لوائح جودة مياه الشرب في المملكة المتحدة الرقم الهيدروجيني كمعلمة مؤشر وتحدد الحد الأدنى من الرقم الهيدروجيني 6.5 والحد الأقصى للرقم الهيدروجيني 9.0. في معالجة المياه، يمكن تغيير قيمة الرقم الهيدروجيني عن طريق التهوية والجرعات القلوية أو الحمضية

الصلابة Hardness

تنجم عسر الماء عن الأملاح الذائبة للكالسيوم والمغنيسيوم. تتكون الصلابة الكلية من صلابة مؤقتة ودائمة. تنجم الصلابة المؤقتة بشكل كامل تقريبًا عن كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم. تترسب الصلابة المؤقتة عن طريق التبخر والغليان. تنجم الصلابة الدائمة بشكل كامل تقريبًا عن كبريتات وكلوريدات الكالسيوم والمغنيسيوم. لا يتم تعجيل الصلابة الدائمة بالغليان.

يمكن تصنيف صلابة المياه، معبرا عنها بالملغم/لتر $CaCO_3$ (كربونات الكالسيوم)، على النحو المبين أدناه:

صلابة الماء Water Hardness (mg/l $CaCO_3$)	خاصية الصلابة
up to 50	Soft ناعم
100 -150	Slightly Hard قليل الصلابة
150 – 200	Moderately Hard متوسط الصلابة
200 – 300	Hard صلب
More Than 300	Very Hard صلب جداً

اللـــــون Color

يمكن تلوين المياه عن طريق المواد الدبالية والفولفيكية المتسربة من الخث أو غيرها من النباتات المتحللة وعن طريق أملاح الحديد أو المنغنيز الموجودة بشكل طبيعي. قد تكون المياه السطحية المستمدة من متجمعات المستنقعات ذات ألوان قوية. اللون البني المميز لهذه المياه متغير وغالبًا ما يظهر تأثيرًا موسميًا قويًا، مع تركيزات أكبر في أواخر الخريف والشتاء. وبالمثل، يمكن للمياه المشتقة من أنهار الأراضي المنخفضة أن تظهر زيادة موسمية في اللون بعد سقوط أوراق الخريف. قد يظهر الماء ملونًا بسبب المواد المعلقة، ولا يمكن تحديد اللون الحقيقي إلا بعد الترشيح. يتم التعبير عن اللون بالمجم/لتر على مقياس البلاتين والكوبالت (Pt-Co)، وهو ما يعادل القياسات المعبر عنها بوحدات البندق (H°). إن إزالة اللون من الماء أمر ضروري ليس فقط لأسباب جمالية ولكن أيضًا لأن معالجة المياه ذات الألوان العالية بالكلور يمكن أن تؤدي إلى تركيزات عالية من ثلاثي الهالوميثان. يقلل اللون العالي أيضًا من كفاءة التطهير عن طريق الأشعة فوق البنفسجية والكلور والأوزون وسيتسبب أيضًا في تلوث أغشية التناضح العكسي.

العكـــــارة Turbidity

يحدث التعكر بشكل أساسي بسبب المواد غير العضوية الموجودة في المعلق بما في ذلك الرواسب المعدنية (على سبيل المثال من الطباشير) وأكاسيد الحديد أو المنغنيز ولكن المواد العضوية بما في ذلك الطحالب يمكن أن تسبب أيضًا تعكرًا كبيرًا. تظهر معظم المياه السطحية عكارة عالية بشكل خاص بعد فترات هطول الأمطار الغزيرة، في حين تظهر المياه الجوفية عمومًا عكارة منخفضة إلى منخفضة جدًا. ومع ذلك، فإن الاختلافات التي تلي هطول الأمطار الغزيرة، على سبيل المثال، قد تشير إلى إعادة التغذية السريعة التي تجلب الملوثات من السطح.

يعطي قياس التعكر مؤشرًا كميًا لصفاء الماء ويتم التحليل باستخدام مقياس الكلية. تقيس مقاييس الكلية شدة الضوء المنتشر في اتجاه معين، وعادةً ما يكون عموديًا على الضوء الساقط ولا يتأثر نسبيًا باللون المذاب. تتم معايرة مقاييس الكلية وفقًا لمعايير التعكر المحضرة من معلق الفورمازين. الوحدة القياسية للتعكر هي وحدة التعكر الكلوية أو NTU.

الطعم والرائحة Taste and Oduor

تشمل مصادر الطعم والرائحة في مياه المصدر النباتات المتحللة والطحالب والعفن والفطريات الشعاعية. عادة ما يرتبط الطعم والرائحة بوجود مركبات عضوية محددة يطلقها العامل المصدر والتي تؤدي إلى طعم أو رائحة «ترابية» أو «عفنة». يمكن أن يسبب الكلور والمنتجات الثانوية للكلور أيضًا شكاوى تتعلق بالطعم أو الرائحة. يمكن للتركيزات العالية نسبيًا من الحديد والمنغنيز وبعض المعادن الأخرى أن تضفي طعمًا معدنيًا غير سار. قد تضفي مواد وترتيبات السباكة المنزلية وفي بعض الظروف أيضًا طعمًا أو رائحة ملحوظة.

يتضمن توجيه مياه الشرب الطعم والرائحة كمعلمات مؤشر دون معايير رقمية ولكن مع شرط «مقبول للمستهلكين ولا يوجد تغيير غير طبيعي». يتم التعبير عن شدة الرائحة والطعم برقم التخفيف، وهو تخفيف العينة بماء خالي من الرائحة أو الطعم حيث لا يمكن اكتشاف الرائحة أو الطعم. تتم إزالة الطعم والرائحة بشكل أساسي لأسباب جمالية. يمكن تقليل أو إزالة الطعم والرائحة عن طريق التهوية أو الأوزون أو امتزاز الكربون المنشط، أو عندما تكون الكلورة هي مصدر الطعم أو الرائحة، عن طريق التحكم في عملية التطهير

النشـــاط الإشـــعاعي Radioactivity

تحتوي جميع المياه البيئية على آثار من النويدات المشعة التي تحدث بشكل طبيعي، والتي يعتمد تركيزها على أصل المياه. النويدات المشعة الطبيعية الأكثر صلة بإمدادات مياه الشرب هي الرادون (Rn) واليورانيوم (U). الرادون مادة متطايرة ونتيجة لذلك يمكن إطلاقه من الماء كغاز. وهذا أمر مثير للقلق إذا حدث الإطلاق في مكان مغلق مع عدم كفاية التهوية. يتم التعبير عن تركيز العناصر المشعة في الماء من حيث نشاطها، بالبيكريل لكل لتر (Bq/l). تحدد لوائح جودة المياه مستوى 0.1 بيكريل/لتر كنشاط ألفا الإجمالي و1 كنشاط بيتا الإجمالي.

لا يمكن أن تشمل معالجة غاز الرادون أنظمة نقاط الاستخدام المجهزة بالصنبور لأنه، كونه متطايرًا، يتم إطلاقه في الغلاف الجوي عند استخدام المياه. كما أن المعالجة تحت الحوض باستخدام مرشح الكربون المنشط غير مستحسن أيضًا لأن المرشح سيصبح مشعًا. ولذلك يجب تركيب معالجة إزالة الرادون قبل دخول الماء إلى المبنى، وتعتبر التهوية هي تقنية المعالجة المفضلة على الرغم من إمكانية استخدام طرق أخرى. وأفضل وسيلة لتحقيق إزالة اليورانيوم هي أنظمة نقطة الاستخدام.

عناصر المياه السطحية

تساقط الأمطار Precipitation

يعرف التساقط أو الهطول بأنه كل صور الرطوبة التي تسقط على سطح الأرض سواء كانت سائلة أو صلبة (ثلوج)، وهو يحدث نتيجة التمدد وتبريد الهواء الصاعد حتى تبدأ عملية تكوين السحب فوق المشبعة ببخار الماء، فيتكاثف بخار الماء إلى ملايين القطرات المائية الصغيرة والنويات الثلجية، حيث يتم التلاحم بينها لتكون قطرات وبلورات ثلجية أكبر حجمًا، وهذه تزداد نموًّا وثقلًا حتى يصبح الضغط الناشئ عن الهواء الصاعد غير قادر على حملها. هناك ثلاثة شروط يجب توافرها قبل تشكل الهطول:

- التبريد الجوي.
- نوى التكثيف.
- نمو قطرات الماء/الثلج.

• التبريد الجوي

يمكن أن يحدث تبريد الغلاف الجوي من خلال عدة آليات مختلفة تحدث بشكل مستقل أو متزامن. الشكل الأكثر شيوعًا للتبريد هو من خلال رفع الهواء عبر الغلاف الجوي. مع ارتفاع الهواء، ينخفض الضغط؛ وينص **قانون بويل** على أن هذا سيؤدي إلى تبريد مماثل في درجة الحرارة. تؤدي درجة الحرارة الباردة إلى تقليل كمية بخار الماء التي يحتفظ بها الهواء وتصبح الظروف مواتية للتكثيف. قد يكون سبب الارتفاع الفعلي للهواء هو التسخين من سطح الأرض (مما يؤدي إلى هطول الحمل الحراري)، أو اضطرار كتلة هوائية إلى

الارتفاع فوق عائق مثل سلسلة جبال (وهذا يؤدي إلى هطول جبالي)، أو من طقس منخفض الضغط نظام حيث يتم دفع الهواء باستمرار إلى الأعلى (وهذا يؤدي إلى هطول الأمطار الإعصاري).تشمل الآليات الأخرى التي يبرد بها الغلاف الجوي كتلة هوائية دافئة تلتقي بكتلة هوائية أكثر برودة، ويلتقي الهواء الدافئ بجسم أكثر برودة مثل البحر أو الأرض.

• نـــوى التكثيـــف

نواة التكثيف هي جسيمات دقيقة تطفو في الغلاف الجوي وتوفر سطحًا لبخار الماء ليتكثف عليه ويتحول إلى ماء سائل. وعادة ما يكون قطرها أقل من ميكرون (أي جزء من المليون من المتر). هناك العديد من المواد المختلفة التي تصنع نوى التكثيف، بما في ذلك جزيئات الغبار الصغيرة وأملاح البحر وجزيئات الدخان.

ركزت الأبحاث في مجال توليد الأمطار الاصطناعية على توفير نوى التكثيف في السحب، وهي تقنية تسمى **البذر السحابية**. خلال الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين، بُذل الكثير من الجهد في استخدام جزيئات يوديد الفضة المسقطة من الطائرات لتكون بمثابة نوى تكثيف. ومع ذلك، فقد أشارت الأبحاث الحديثة إلى أن الأملاح الأخرى مثل كلوريد البوتاسيوم هي نوى أفضل. هناك الكثير من الجدل حول قيمة البذر السحابية. بعض الدراسات تدعم فعاليته. يتساءل مؤلفون آخرون عن النتائج، بينما يقترح آخرون أنها تعمل فقط في ظروف جوية معينة ومع أنواع معينة من السحب.

• نمـــــو قطـــرة المـــاء

عادةً ما تكون قطرات الماء أو الجليد المتكونة حول نوى التكثيف أصغر من أن تسقط مباشرة على الأرض؛ أي أن القوى الناتجة عن السحب لأعلى داخل السحابة أكبر من قوى الجاذبية التي تسحب القطرة المجهرية إلى الأسفل. من أجل التغلب على التيارات الصاعدة، من الضروري أن تنمو القطرات من الحجم الأولي البالغ 1 ميكرون إلى نحو 3000 ميكرون (3 ملم). سيؤدي اختلاف ضغط البخار بين القطرة والهواء المحيط بها إلى نموها من خلال التكثيف، وإن كان ذلك ببطء نوعًا ما.

عندما تكون قطرة الماء جليدية، يصبح فرق ضغط البخار مع الهواء المحيط أكبر ويتصاعد بخار الماء على قطرة الجليد. سيؤدي هذا إلى إنشاء قطرة هطول أسرع من التكثيف على قطرة ماء، ولكنها لا تزال عملية بطيئة.

الآلية الرئيسية التي تنمو بها قطرات المطر داخل السحابة هي من خلال الاصطدام والالتحام. تتصادم قطرتان من المطر وتتحدان معًا لتشكل قطرة أكبر قد تصطدم بعد ذلك بالعديد من القطرات قبل أن تسقط نحو السطح على شكل أمطار أو أي شكل آخر من أشكال هطول الأمطار.

هناك آلية أخرى تؤدي إلى زيادة حجم قطرة الماء وهي ما يسمى **بعملية بيرجيرون** Bergeron Process. ويسمى الضغط الذي يمارس داخل قطعة الهواء، من خلال وجود بخار الماء داخلها، ضغط البخار. كلما زاد بخار الماء الموجود كلما زاد ضغط البخار. ونظرًا لوجود حد أقصى لكمية بخار الماء التي يمكن أن تحتجزها قطعة الهواء، يوجد أيضًا حد أقصى لضغط البخار، وهو ما يسمى بضغط بخار التشبع.

يكون ضغط بخار التشبع أكبر على قطرة الماء منه على قطرة الجليد لأنه من الأسهل على جزيئات الماء أن تهرب من سطح السائل أكثر من المادة الصلبة. وهذا يخلق تدرجًا لبخار الماء بين قطرات الماء وبلورات الجليد، بحيث ينتقل بخار الماء من قطرات الماء إلى بلورات الجليد، وبالتالي يزيد حجم بلورات الجليد. ولأن السحب عادة ما تكون عبارة عن خليط من بخار الماء وقطرات الماء وبلورات الجليد، فقد تكون **عملية بيرجيرون** عاملاً مهمًا في جعل قطرات الماء كبيرة بما يكفي لتصبح قطرات مطر (أو بلورات جليد/ ثلج) تتغلب على الجاذبية وتتساقط من السحب.

آليات تكوين القطرات داخل السحابة ليست مفهومة تمامًا. تعتمد النسبة النسبية للقطرات المتكونة والمتكونة من التصادم والمتكونة من عملية بيرجيرون إلى حد كبير على ظروف السحابة الفردية ويمكن أن تختلف بشكل كبير.

عندما تكون هناك كتلة أرضية كبيرة وعالية، فمن الشائع أن تجد هطول الأمطار أعلى بكثير على جانب واحد من الجانب الآخر وهو ما يسمى بتأثير ظل المطر Rain Shadow Effect. ويتم ذلك من خلال مزيج من تأثيرات الارتفاع والانحدار والجوانب واتجاه الطقس الديناميكي ويمكن أن يحدث على العديد من المستويات المختلفة. عند تحريك القطرة حول سحابة، فإنها قد تتجمد وتذوب عدة مرات، مما يؤدي إلى أنواع مختلفة من هطول الأمطار.

• أنـــواع تســـاقط المطـــر

يمكن أن يصل تساقط أو هطول الأمطار إلى سطح الأرض بأشكال مختلفة:

- **الرذاذ:** هو هطول خفيف جدًا، وعادةً ما يكون منتظمًا، ويتكون من عدة قطرات دقيقة يزيد قطرها عن 0.1 مم ولكن أصغـــر من 0.5 مم. وإذا كان كثيفـــا فإنه يقلّل من وضوح الرؤية، وقـــد يصل معدّل هطولـــه إلى 1 مم/ساعة.

- **المطر:** هو هطول يتكون من قطرات ماء أكبر من 0.5 ملم. يمكن تصنيفها على أنها أمطار خفيفة عندما تكون شدتها أقل من 2.5 ملم/ ساعة، ومعتدلة عندما تتراوح بين 2.5 و7.5 ملم/ ساعة، وثقيلة عندما تتجاوز 7.5 ملم / ساعة. وأمطار غزيرة جدا إذا زاد معدّل هطولها عن 8مم/ساعة.

- **الثلج:** هو هطول الأمطار بشكل رئيسي على شكل بلورات ثلجية سداسية أو شبيهة بالنجوم متفرعة، ناتجة عن التسامي العكسي المباشر لبخار الماء في الغلاف الجوي؛ يمكن لجزيئات الثلج أن تصل إلى الأرض على شكل بلورات مفردة، ولكنها في أغلب الأحيان تفعل ذلك بعد التكتل على شكل رقاقات ثلج. تميل هذه الرقائق إلى أن تكون أكبر عند درجات حرارة قريبة من درجة التجمد. يمكن أن تختلف الكثافة النوعية للثلج على نطاق واسع، ولكن كقاعدة عامة بالنسبة للثلوج الطازجة، غالبًا ما يتم أخذها بحوالي 0.1.

- **القِطْقِط:** في أمريكا الشمالية هو هطول يتكون من كريات أو حبيبات من الجليد شفافة إلى حد ما، تتشكل نتيجة مرور قطرات المطر عبر طبقة من الهواء البارد بالقرب من الأرض. في بريطانيا تشير عبارة عن هطول الأمطار الذي يتكون من ذوبان الثلوج أو خليط من الثلج والمطر.

- **جليد رقيق:** أو المطر المتجمد هو جليد يترسب بواسطة الرذاذ أو المطر على الأسطح الباردة.

- **حبيبات الثلج :** (وتسمى أيضًا الثلج الحبيبي أو الجرابل Graupel) هي شكل من أشكال الهطول يتكون من حبيبات صغيرة بيضاء غير شفافة يتراوح قطرها بين 0.5 و5 ملم تقريبًا.

- **حبات برد صغيرة :** هو هطول يتكون من حبيبات بيضاء أو شبه شفافة أو شفافة يتراوح قطرها من حوالي 2 إلى 5 ملم. وتكون هذه الحبيبات في معظمها مستديرة، وأحيانًا مخروطية الشكل، ولها مظهر مزجج. ويتساقط البَرَد الصغير عادةً مصحوبًا بالمطر، عندما تكون درجة الحرارة أعلى من درجة التجمد.

- **البرد ناعم :** تتكون من حبيبات مستديرة غير شفافة بنفس حجم حبات البَرَد الصغيرة، لكنها أكثر ليونة في المظهر وتميل إلى التفكك بسهولة أكبر.

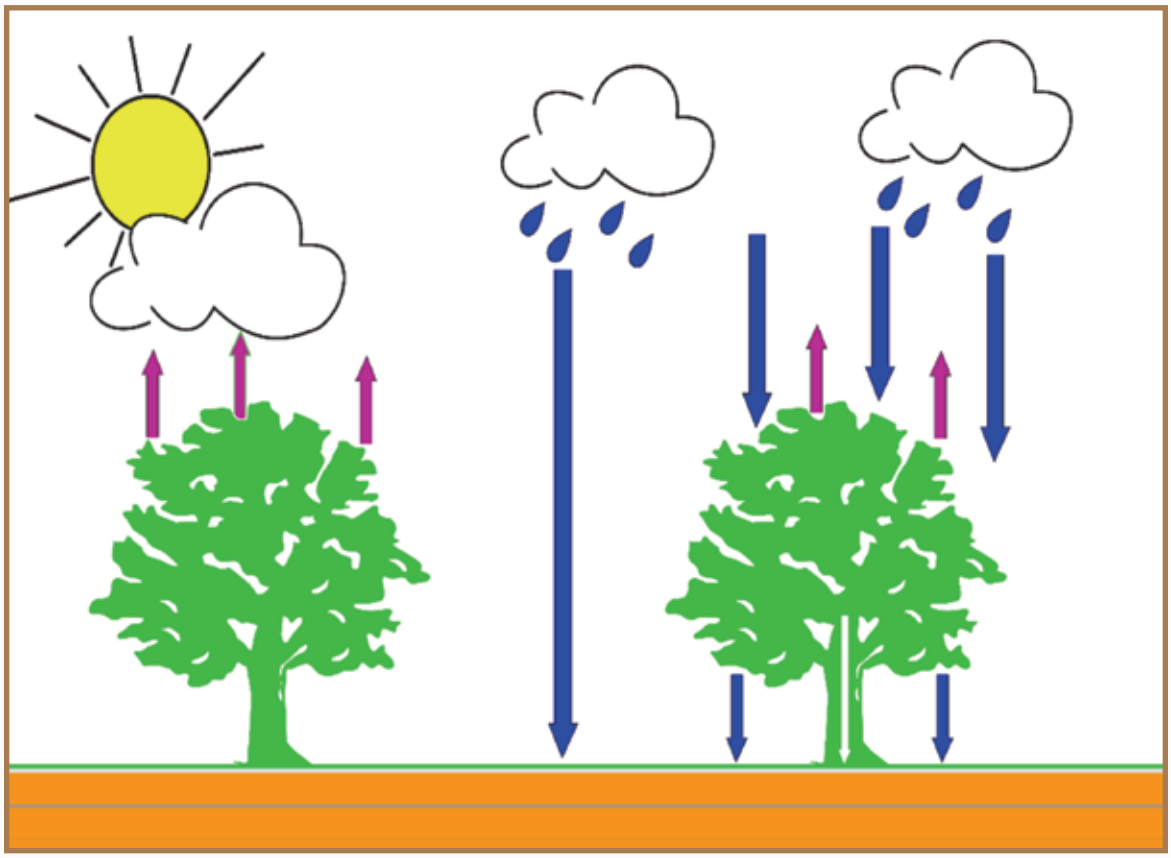
- **البَرَد :** يتكون من كرات أو قطع غير منتظمة من الجليد يتراوح قطرها بين 5 و50 ملم، أو حتى أكبر. يمكن أن تكون كتل الجليد هذه شفافة أو يمكن أن تتكون من طبقات متحدة المركز من الجليد الشفاف وغير الشفاف؛ مثل هذا الهيكل الطبقي هو نتيجة لحركات الصعود والهبوط المتناوبة أثناء تكوين البرد. يسقط البَرَد عادة خلال عواصف الحمل الحراري العنيفة والمطولة في ظل ظروف درجات حرارة أعلى من درجة التجمد بالقرب من الأرض؛ يمكن أن يسبب أضرارا جسيمة.

- **النـــــدى :** تتكون الرطوبة على شكل قطرات سائلة على سطح الأرض وعلى الغطاء النباتي والعناصر السطحية الأخرى، وذلك نتيجة التكثيف المباشر لبخار الماء الموجود في الغلاف الجوي. ويحدث هذا عادةً في الليل على الأسطح التي تم تبريدها بواسطة الإشعاع طويل الموجة الصادر.

- **صقيع هش :** يتشكل بنفس طريقة الندى، لكن بخار الماء يتكثف مباشرة ليتحول إلى جليد. يمكن لهذه البلورات الجليدية أن تتخذ مجموعة واسعة من الأشكال.

• تقسيم تساقط الأمطار في الغابات

بمجرد سقوط المطر على مظلة نباتية، فإنه يقسم المياه بشكل فعال إلى أوضاع منفصلة للحركة: السقوط، والتدفق الجذعي، وفقدان الاعتراض. وهذا موضح في الشكل الآتي.



هطول الأمطار فوق وتحت المظلة. يشار في الرسم البياني إلى تدفق الجذع (السهم الأبيض على الجذع)؛ المحصلة المباشرة وغير المباشرة (السهم ذو الفقس الخفيف)؛ وفقدان الاعتراض (سهم أغمق متجه للأعلى).

■ التدفق المباشر

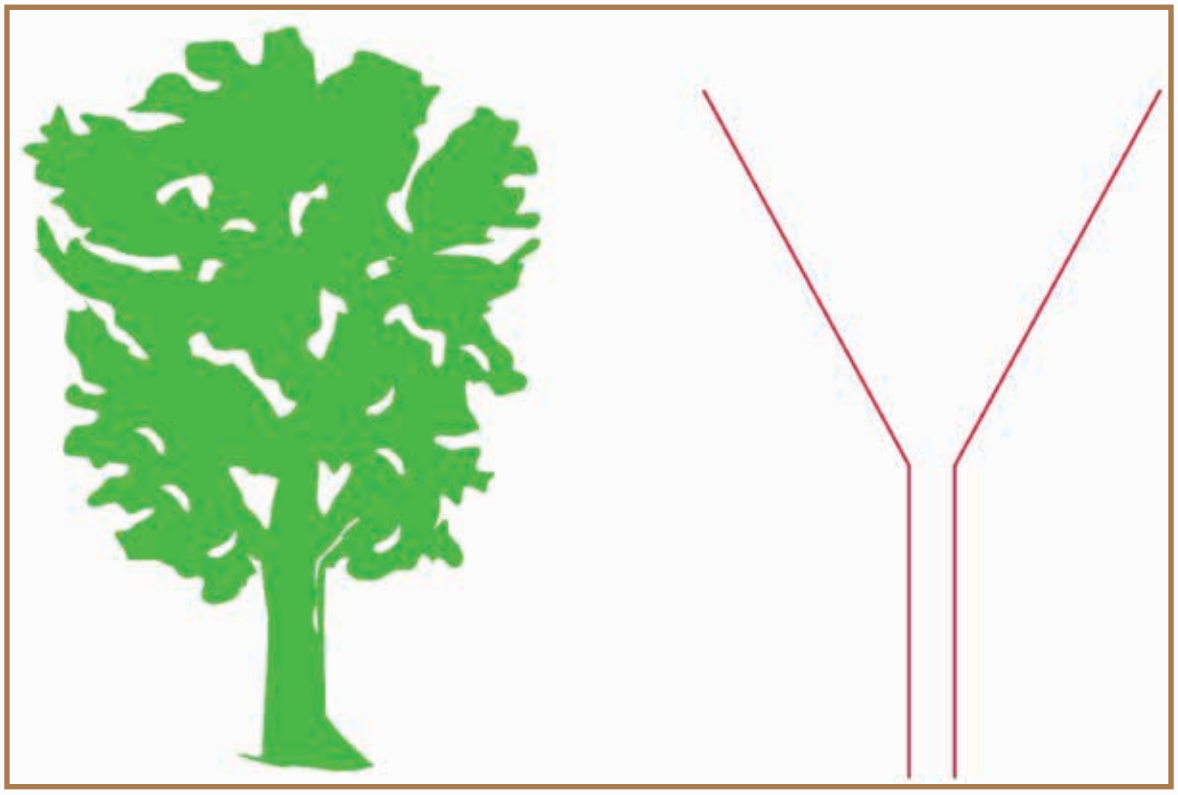
هذا هو الماء الذي يسقط على الأرض إما بشكل مباشر، من خلال الفجوات الموجودة في المظلة، أو بشكل غير مباشر، بعد أن تساقطت من الأوراق أو السيقان أو الفروع. يتم التحكم في كمية التدفق المباشر من خلال تغطية المظلة لمنطقة ما، وقياسها هو مؤشر مساحة الورقة Leaf Area Index (LAI). وهو في الواقع نسبة مساحة الورقة إلى مساحة سطح الأرض وبالتالي تكون قيمتها أكبر من واحد عندما يكون هناك أكثر من طبقة واحدة من الورقة فوق الأرض. عندما يكون مؤشر مساحة الورقة أقل من واحد، فإنك تتوقع حدوث بعض الاختراق المباشر. عندما تحتمي تحت شجرة أثناء عاصفة ممطرة فإنك تحاول تجنب هطول الأمطار والسقوط المباشر. كلما زادت مساحة سطح الأوراق فوقك، زادت احتمالية تجنب التبلل من السقوط المباشر. يتم أيضًا التحكم في كمية المسيل غير المباشر بواسطة مؤشر مساحة الورقة، بالإضافة إلى سعة تخزين المظلة وخصائص هطول الأمطار. السعة التخزينية للمظلة هي حجم المياه التي يمكن أن تحتفظ بها المظلة قبل أن يبدأ الماء بالتساقط على شكل مجاري غير مباشرة.

يتم التحكم في سعة تخزين المظلة من خلال حجم الأشجار، بالإضافة إلى مساحة الأوراق الفردية وقدرتها على الاحتفاظ بالمياه. تعتبر خصائص هطول الأمطار عنصر تحكم مهم في التدفق غير المباشر لأنها تحدد مدى سرعة ملء سعة تخزين المظلة.

تتغير خصائص المظلة باستمرار ومن النادر أن تمتلئ المياه الموجودة على المظلة بالكامل قبل إنشاء مجرى غير مباشر. وهذا يعني أن التدفق غير المباشر يحدث قبل أن تتساوى كمية الأمطار مع سعة تخزين المظلة، مما يجعل من الصعب قياس سعة التخزين بالضبط.

■ التدفـق الجـذعـي

التدفق الجذعي هو هطول الأمطار الذي تعترضه السيقان والفروع ويتدفق عبر جذع الشجرة إلى التربة. على الرغم من أن قياسات التدفق الجذعي تظهر أنه جزء صغير من الدورة الهيدرولوجية (عادة 2–10 في المائة من هطول الأمطار فوق المظلة) فإنه يمكن أن يكون له دور أكثر أهمية بكثير. يعمل تدفق الجذع مثل القمع (انظر الشكل الآتي)، حيث يجمع المياه من مساحة كبيرة من المظلة ولكنه يوصلها إلى التربة في منطقة أصغر بكثير: سطح الجذع عند قاعدة الشجرة.



تأثير قمع مظلة الشجرة على التدفق الجذعي

■ فقدان وكسب الاعتراض

بينما يستقر الماء على المظلة، قبل التدفق غير المباشر أو التدفق الجذعي، فإنه يكون متاحًا للتبخر، ويشار إليه بفقدان الاعتراض Interception Loss. هذه عملية تبخر. في بعض الظروف، من الممكن أن يكون هناك مكاسب اعتراضية Interception Gain من الغطاء النباتي. في متجمعات بول ران بولاية أوريغون بالولايات المتحدة الأمريكية، تبين أن إنتاجية المياه بعد قطع الأخشاب كانت أقل بكثير مما كانت عليه قبل قطع الأشجار. يعد الضباب القادم من شمال المحيط الهادئ البارد، مع عدم وجود أمطار مصاحبة، سمة شائعة ويعتقد أن الأشجار تعترض جزيئات الضباب، مما يخلق «قطرات ضباب» والتي تمثل جزءًا مهمًا من توازن الماء. يؤدي الاختلاط المضطرب للهواء أثناء مرور الرياح فوق مظلة خشنة إلى تعزيز الترسيب السريع للمياه المتكثفة (على العكس مباشرة من فقدان الاعتراض). والنتيجة الإجمالية لذلك هي أن إزالة الأشجار تؤدي إلى انخفاض كمية المياه في النهر.

■ حساب كثافة التساقط:

يعبر عن كمية المطر المتساقطة في جهة ما بوحدات الطول أو ما يعرف بعمق التساقط على مساحة معينة، ويعبر عن ذلك باللمم أو بالسم أو بالبوصة، وتقاس الأمطار بجهاز يسمى مقياس المطر Rain Gage، وهي على أنواع مختلفة:

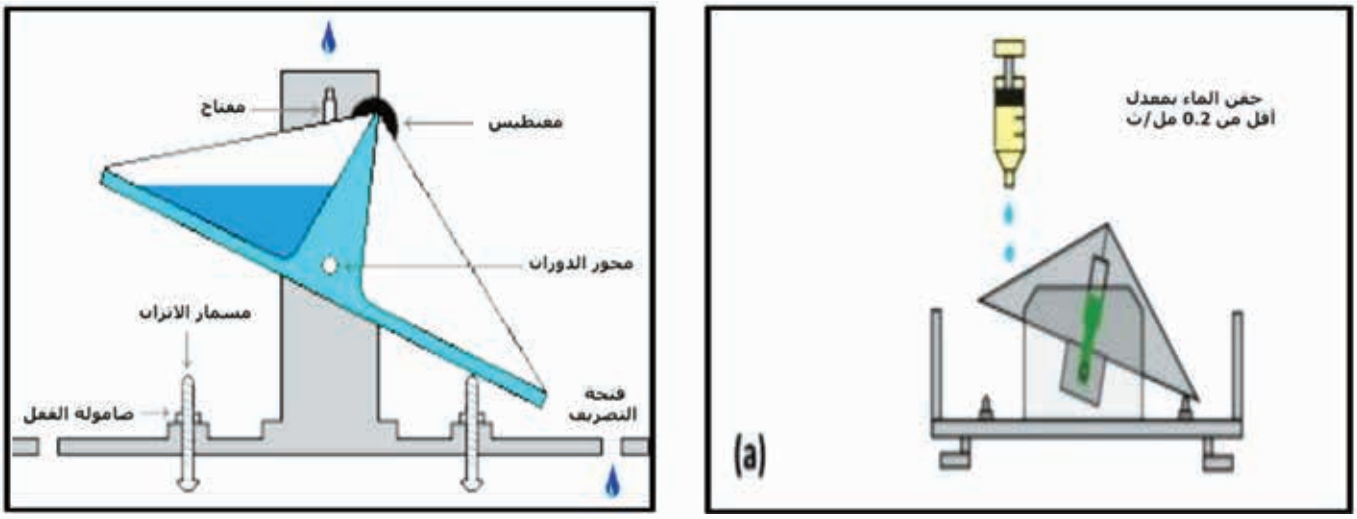
■ مقياس المطر اليدوي

وهي الأداة الأكثر شيوعًا لقياس التساقط، وهو في الأساس عبارة عن قمع دائري يبلغ قطره 203 ملم يجمع المطر في أسطوانة مدرجة. يجب أن يكون الجزء السفلي من مقياس المطر على ارتفاع 0.3 متر فوق سطح الأرض، مع عدم وجود أي معوقات قريبة تؤثر على تدفق الرياح. وتقاس الكميات المتجمعة من الأمطار عادة كل 24 ساعة.

مقياس المطر اليدوي ومكوناته المختلفة

■ مقيـــاس المطـــر ذو الدلو القـــلّاب Tipping Bucket Rain Gauge

يستخدم في المحطّات الآلية الحديثة للرصد الجوي، ويتكوّن من دلوين معلّقين على محور واحد، إذ تُجمّع مياه الأمطار فيه عبر فتحة مقدارها 203 مم، وحال ملء الدلو الأول من ماء المطر تصدر نبضة إلكترونية تسبّب قلبه وتفريغه، ليبدأ الدلو الآخر بالتعبئة، يتحرك بمقتضاها ذراع في طرفه مؤشر يبين به كل مرة من مرات التفريغ على لوحة خاصة. ويمكن على هذا الأساس حساب كمية المطر التي سقطت. وما يميّز هذا النوع من مقاييس المطر أنّه لا حاجة لتفريغ الدلو في كلّ مرة يمتلئ فيها، إذ تحدث العملية بشكل آلي، كما أنّه يعطي قراءات مباشرة عن كمية ومعدّل هطول الأمطار، يمكن رصدها بيانيا طوال فترة عمل الجهاز.



مقياس المطر ذو الدلو القلّاب Tipping Bucket Rain Gauge

تُحسب كثافة التساقط بقسمة كمية الأمطار المتساقطة التي سُجّلَت باللمم، على مدّة الهطول بالساعات، وبالتالي فإنّ كثافة التساقط تقاس بوحدة (مم/ساعة)، ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{كثافة تساقط المطر (مم/ساعة)} = \frac{\text{ارتفاع الماء الكلي في جهاز القياس(مم)}}{\text{كثافة هطول المطر(مم/ساعة)}}$$

فمثلاً إذا كانت مدّة التساقط = 4 ساعات، وسُجّلت كمية ماء مقدرها 45 مم خلالها، فإنّ كثافة التساقط تحسب كالآتي:

كثافة التساقط = 45 مم/4 ساعة = 11.25 مم/ساعة.

• تـــوزع الهطـــولات على الأرض

◆ التوزيـــع المكانـــي

في التحليلات الهيدرولوجية على مستوى الحوض أو متجمعات المياه، من الضروري اعتبار المدخلات بمثابة متوسط هطول الأمطار على المنطقة بأكملها. تم استخدام طرق وزن مختلفة في الماضي لتقدير هذا المتوسط من خلال شبكة قياس الهطول المتوفرة. عندما لا تتوفر معلومات أخرى، فإن الطريقة الوحيدة الممكنة هي أخذ القيمة المتوسطة العادية، أي الوسط الحسابي، مع أوزان متساوية مخصصة لجميع محطات القياس. عندما تكون مواقع المحطات معروفة على الخريطة، يتم استخدام طريقة **مضلع ثيسين** Thiessen بشكل شائع.

◆ التوزيـــع الزمنـــي

يتم تسجيل هطول الأمطار عادةً على أساس كل ساعة أو يوميًا، ويمكن الإبلاغ عنه في سجلات البيانات على مدار فترات متوسطة مختلفة. وصف تطور هطول الأمطار مع مرور الوقت يعتمد إلى حد كبير على القرار الزمني المعتمد.

في الهيدرولوجيا التطبيقية، يُشار عادةً إلى سجل شدة الهطول مع مرور الوقت لأحداث العواصف الفردية باسم مخطط الرطوبة؛ عادة ما يتم تقديم رسم بياني شريطي مع خطوة زمنية كل ساعة. ويسمى هطول الأمطار المتراكم مع مرور الوقت منحنى الكتلة. منحنى الكتلة المزدوجة هو رسم بياني لهطول الأمطار الموسمي أو السنوي المتراكم في محطة معينة مقابل متوسط الهطول المتراكم لعدد من المحطات المجاورة أو المحيطة.

• حساب عمق الأمطار المتساقطة

إذا توفرت مقاييس المطر في منطقة ما، فيمكن حساب متوسط الأمطار التي تساقطت على مساحة معينة سواء كانت فصلية أو سنوية أو أثناء عواصف مطرية بعديد من الطرق، أهمها:

❖ تقدير المتوسط الحسابي Mean

وفيها يتم حساب متوسط الأمطار بحساب المتوسط الحسابي لكمية الأمطار المسجلة عبر محطات الأرصاد في المنطقة، وهي تعطي قيما معقولة إذا كان توزيع المحطات توزيعًا متجانسًا. وهي تساوي خارج قسمة مجموع التساقط على كل محطة من محطات الرصد على عدد هذه المحطات.

$$Pmean = \frac{\sum_{i=1}^{n} Pi}{n}$$

حيث:

P_{mean} = عمق التساقط الفاعل لمنطقة الدراسة (مم أو سم)

Pi = مقدار التساقط المحسوب في كل محطة

n = عدد المحطات

❖ طريقة تساوي خطوط المطر Isohyetal Method

تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق في حساب متوسط كمية الأمطار وأكثرها دقة، لأن توزيع المطر فيها مرتبط بالظروف الطبغرافية للمنطقة، واتجاه الرياح والجبهات المطرية. حيث تعين في المنطقة مواقع المحطات، وتوضع كميات التساقط في كل المحطات، ثم ترسم خطوط الأمطار المتساوية بطريقة تماثل تلك المتبعة لرسم الخرائط الكنتورية في الخرائط الطبغرافية،

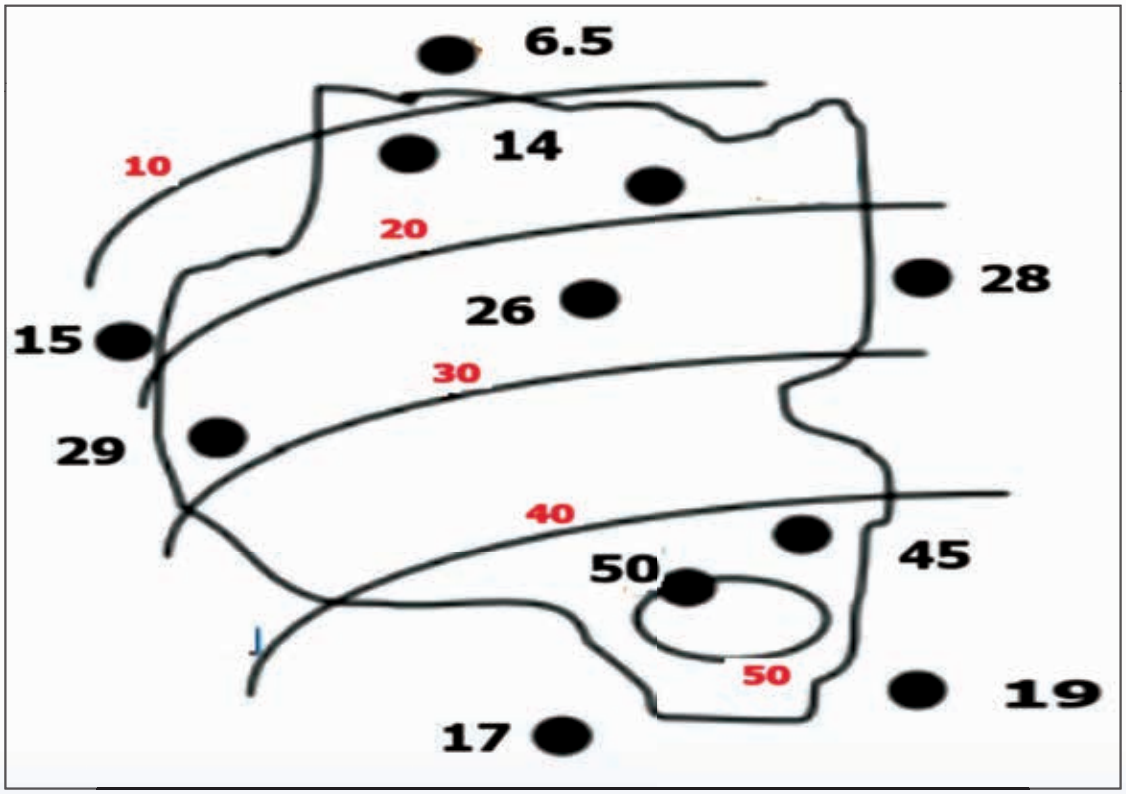
والتي تظهر على هيئة خطوط كنتور تسمى خطوط تساوي المطر Isohyetal Lines. وتتلخص الطريقة في ضرب متوسط الأمطار بين كل خطي تساو مطري متجاورين في مساحة المنطقة الواقعة بين هذين الخطين، وبجمع نواتج الضرب لمنطقة معينة تغطيها خطوط التساوي المطرية وقسمتها على المساحة الكلية للمنطقة ينتج عنها متوسط عمق الأمطار الساقطة.

$$Pmean = \frac{\sum_{n=1}^{n} \left(\frac{Ai\ (Pi + Pi + 1)}{2} \right)}{\sum_{i=1}^{n} Ai}$$

حيث:

Pi, P_{i+1} = متوسط الأمطار بين كل خطي تساو مطري متجاورين.

Ai = المساحة الخاصة بالمنطقة الواقعة بين خطي تساوي المطر.



◆ طريقة ثايسن Theissen Method

تعتمد هذه الطريقة على إيجاد معامل اتزان لكل جهاز قياس، وذلك بتوقيع مكان كل محطة على خريطة المنطقة، ثم الوصل بين هذه المحطات بخطوط مستقيمة، وبإقامة أعمدة من منصفات الخطوط الموصلة بين المحطات تتكون أشكال متعددة الأضلاع، توضح كل منها حدود منطقة التأثير لكل محطة قياس، ثم تحدد مساحة كل من هذه المناطق بواسطة البلانيمتر Planimeter (مقياس المساحة)، ويعبر عنها كنسبة مئوية من المنطقة الشاملة. وبضرب النسبة المئوية لمساحة كل منطقة تأثير لمحطات القياس في كمية الأمطار المستقبلة في المحطة المعينة يكون حاصل جمع هذه النتائج معبرا عن كمية الأمطار الساقطة على كل المنطقة، وبالطبع يمكن إيجاد متوسط كمية الأمطار (وحدات طولية)، بقسمة النتائج على المساحة الكلية للمنطقة.

$$Pmean = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ai\ Pi}{\sum_{i=1}^{n} Ai}$$

حيث:

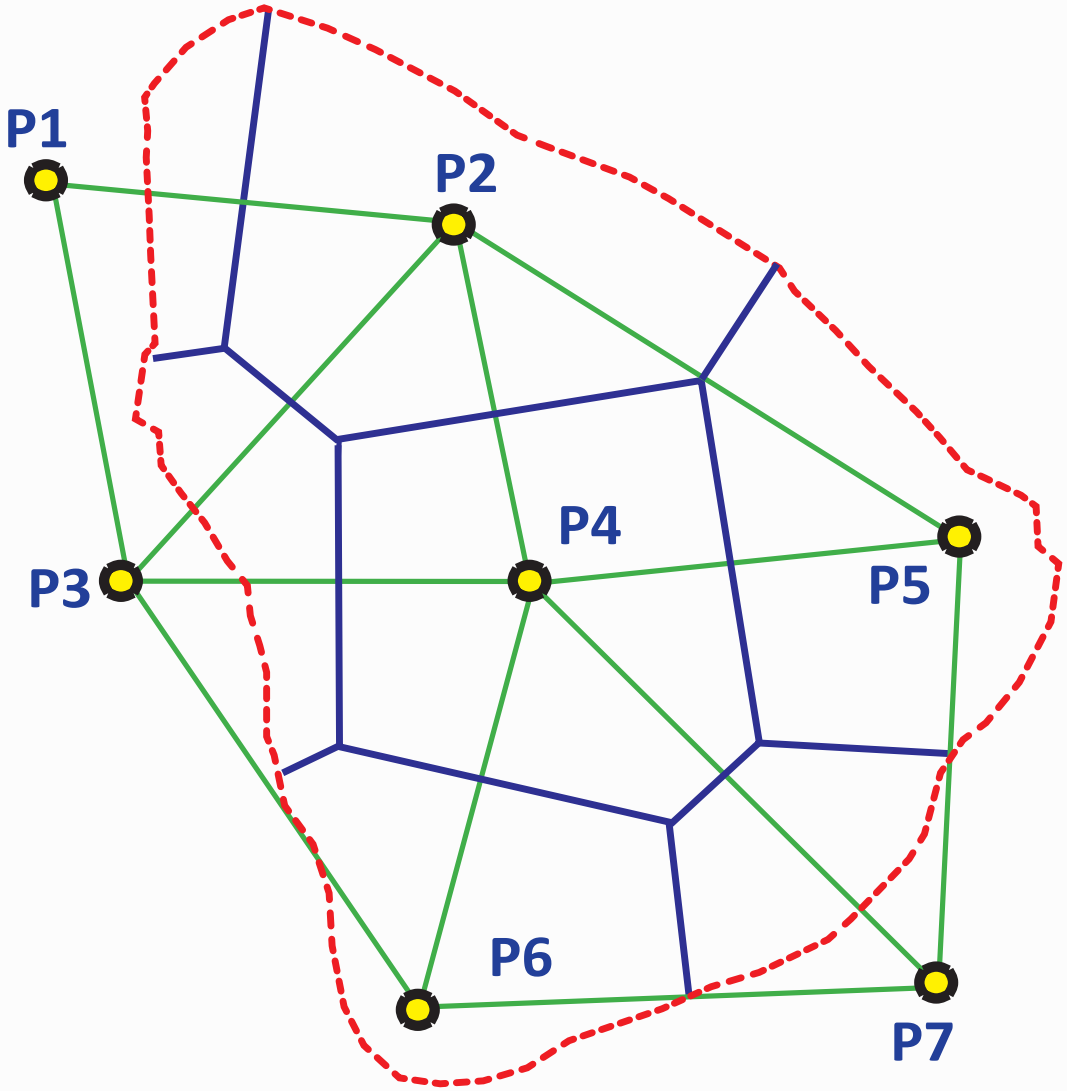
P_{mean} = متوسط الأمطار الساقط في المنطقة (مم).

Pi = تسجيل الأمطار الساقطة في المحطة i (مم).

Ai = مساحة المضلع المحيط بالمحطة الواقعة في منتصفه ($م^2$)

تصلح طريقة ثايسن لإيجاد عدد من الارتفاعات المتوسطة لمنطقة معينة تخدم شبكة من المحطات الثابتة في عددها ومواضعها، وتفقد صلاحيتها في حالة إضافة محطات جديدة، أو إخراج محطات من الشبكة، أو في حالة تغير

مواضع المحطات أو فقدان بيانات أي محطة. وتقتضي مثل هذه التغيرات إعادة تحديد مضلعات ثايسن لكل المنطقة والمحطات. ومن المفترض عدم استخدام هذه الطريقة في منطقة جبلية للتغيرات التي تؤثر على التساقط المواكب لارتفاع المنطقة.



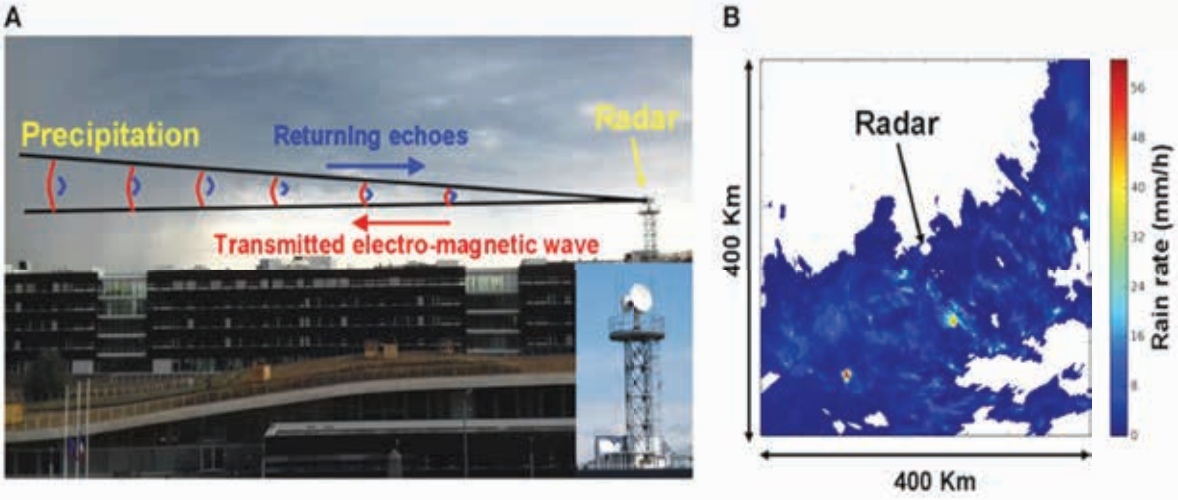
طريقة مضلعات ثايسن في حساب التساقط

❖ طريقة رادار الطقس

مع تطور التقنية الحديثة تمكن العلماء من استخدام تقنية الرادار في قياس التساقط، وفي إعداد خرائط تساقط الأمطار (خطوط تساوي المطر)، التي توضح مقدار الأمطار المتساقطة فوق أماكن مختلفة خلال فترة زمنية محددة (على سبيل المثال، 5 دقائق أو ساعة، أو يوم كامل). وهو ما يقوم به رادار الطقس.

تقوم طريقة الرادار على أسلوب علمي يمكن تلخيصه بالخطوات التالية:

- **أولًا :** يرسل جهاز الرادار موجة كهرومغناطيسية في اتجاه واحد، فتنقل بعض الطاقة عبر الجو، وعندما تصل هذه الطاقة إلى قطرة مياه في إحدى السحب، يرتد جزء صغير من هذه الطاقة لجهاز الرادار؛ وبالتالي، يقيس الجهاز هذا المقدار الصغير من الطاقة الواردة من جميع القطرات
- **ثانيًا:** تستخدم برامج حاسوبية خاصة، تعمل على تحويل مقدار الطاقة الوارد إلى مقدار المطر. من الضروري، ملاحظة أن الرادار لا يقيس مقدار المطر مباشرة، ولكنه، بدلًا من ذلك، يقيس مقدار الطاقة المرتدة من القطرات. من الجدير بالذكر أن عملية تحويل مقدار الطاقة إلى كمية المطر هي عملية معقدة، وما يزال الباحثون يعكفون على إجراء دراسات بحثية لتحسينها.

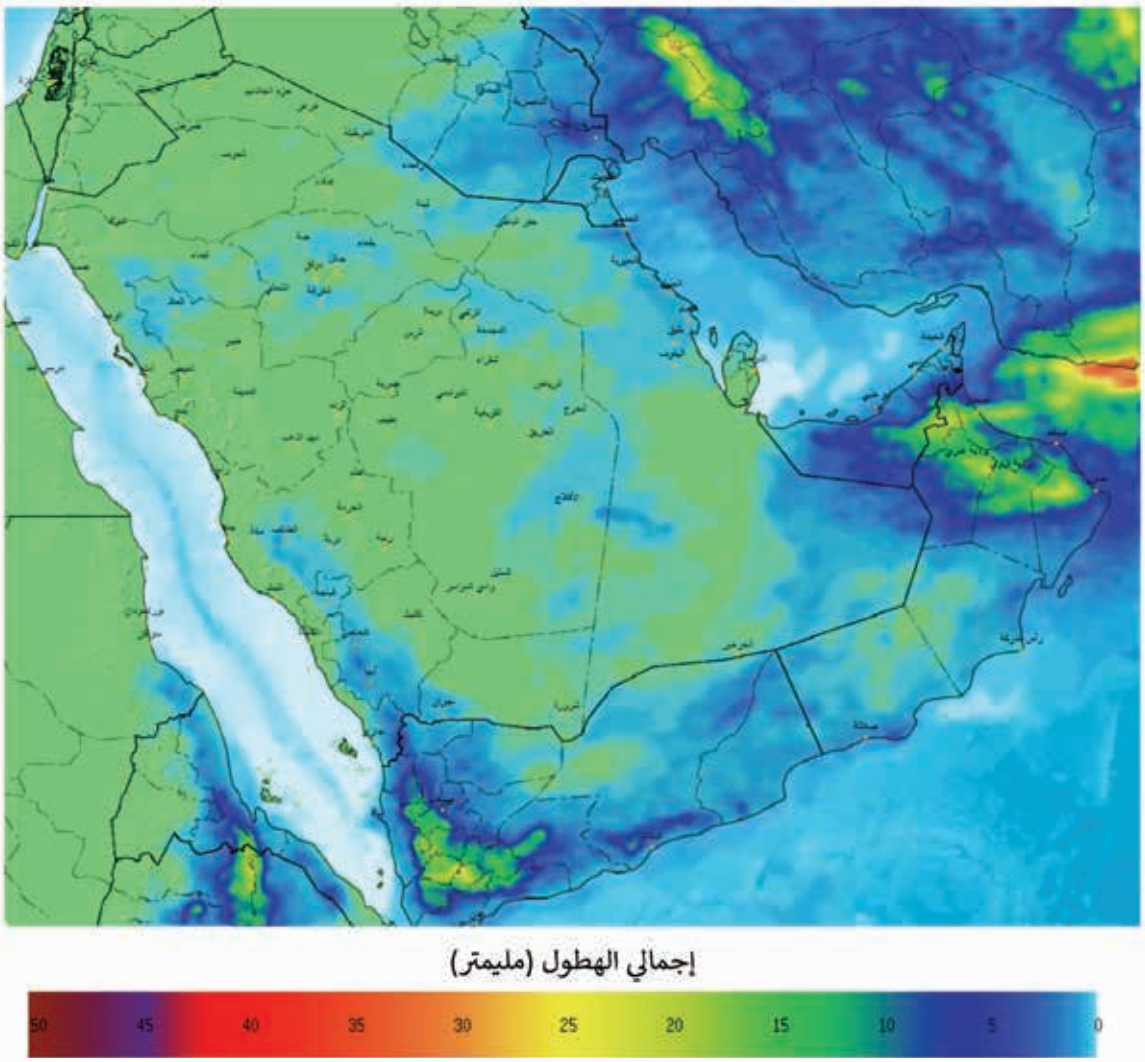


A. يعمل رادار الطقس من خلال إرسال موجة في الجو، بحيث ترد قطرات المطر جزء منها إلى الرادار. B. خريطة رادارية للتساقط. يتم إعداد خريطة سقوط الأمطار من خلال استخدام البيانات المستمدة من هذا الرادار. يمكن رؤية نقطتين كثيفتين تشيران إلى مناطق التساقط بغزارة في الجزء السفلي من الخريطة.

على سبيل المثال، يفترض أن يكون توزيع حجم القطرات وموقعها في البكسل الراداري متجانسًا، وأن تكون المعايير متماثلة في جميع الأماكن؛ وهذا تبسيط شديد للواقع من دوره أن يؤثر في القياسات. تمكن برامج الحاسوب جهاز الرادار من حساب مقدار سقوط الأمطار في أماكن بعيدة عنه، ويمكن لجهاز الرادار الدوران، كما يمكنه تغيير وجهته، لذا يستطيع حساب معدل المطر المتساقط في المناطق المحيطة به بالكامل.

تبعًا لنوع جهاز الرادار، يمكن قياس مقدار سقوط الأمطار على بعد يزيد عن 150–200 كم من الرادار؛ وتمتلك العديد من الدول المتقدمة شبكة من معدات الرادار. من خلال دمج البيانات التي قامت جميع أجهزة الرادار المختلفة بتجميعها.

كما يمكن الحصول على خرائط حساب معدل سقوط الأمطار فوق البلد بأكمله. يوضح الشكل B مثالاً على خريطة رادارية للتساقط، حيث يمكن رؤية تنوع مقدار سقوط الأمطار من خلال ملاحظة النقطتين شديدتي الكثافة في الجزء السفلي من الخريطة، باللونين الأصفر والأحمر.

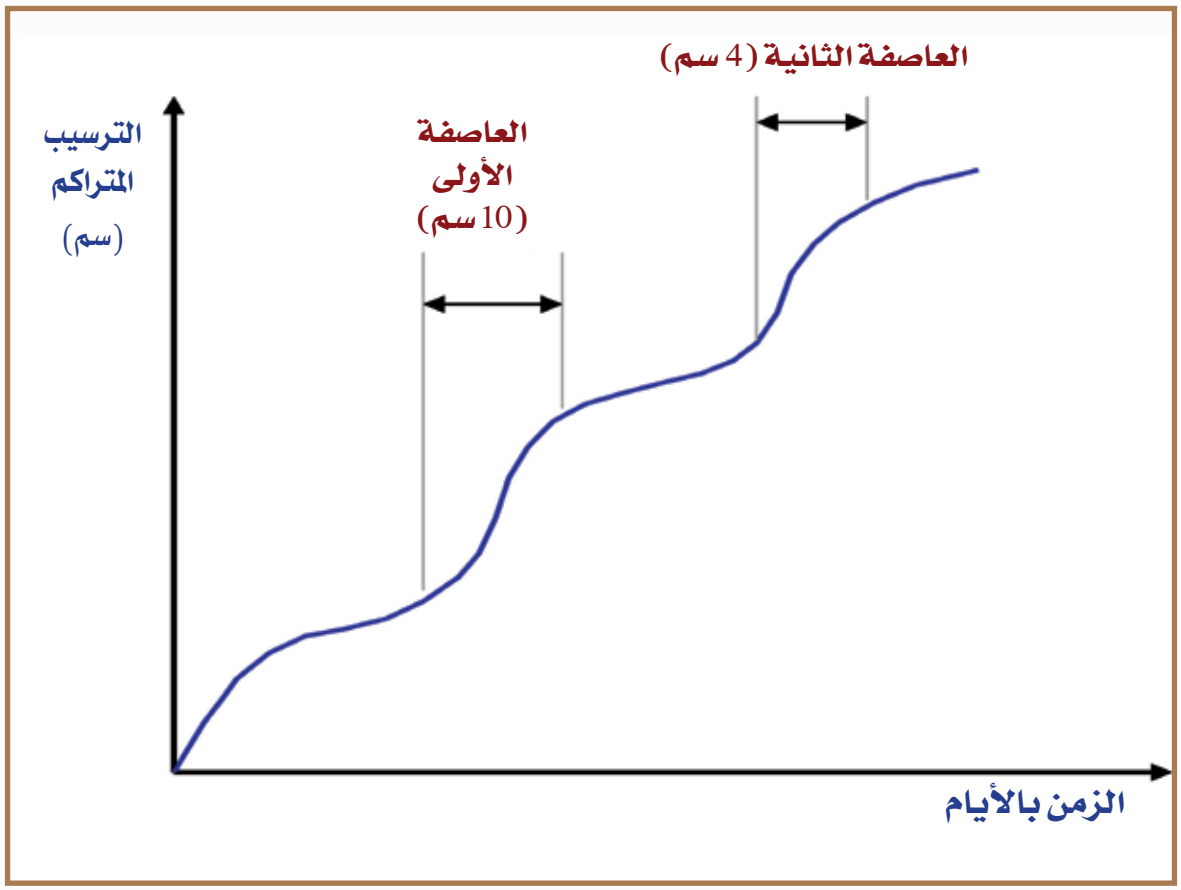


توضح هذه الخريطة توقعات هطول المطر تراكميا أو كل 12 ساعة في شهر مارس 2024 م في شبه الجزيرة العربية وتشمل السعودية، الإمارات، عمان، قطر، البحرين، العراق، اليمن، الكويت، وأجزاء من مصر والسودان، وغيرها

• طرق عرض البيانات المطرية Rainfall Data-show Methods

• المنحني التراكمي للمطر Accumulated Rainfall Curve:

عبارة عن رسم التساقط المتراكم مقابل الزمن ويرسم حسب التسلسل الزمني عادةً ، كما في الشكل:



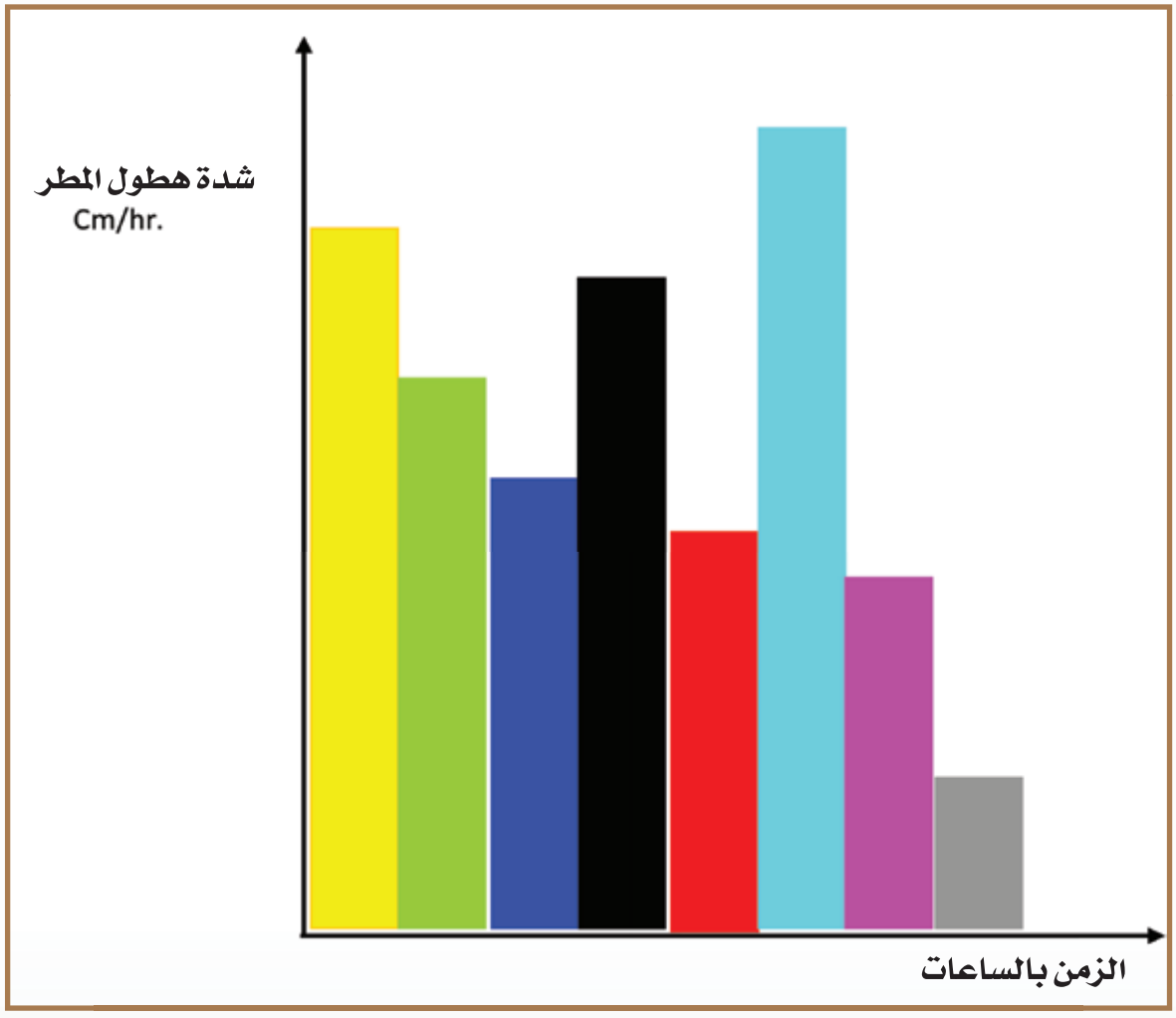
◆ يعطي المنحني التراكمي معلومات عن :

- مقدار الزخة المطرية (cm) 2.
- استدامتها بالأيام.
- شدة المطر في مختلف الفترات الزمنية من معرفة انحدار المنحني (cm./hr)

الهيتوغراف (مخطط المطر) Hyetograph: عبارة عن رسم شدة المطر مقابل الزمن، والهيتوغراف مشتق من المنحني التراكمي و يعرض على شكل خطوط عمودية (Bar Chart). يعد الهيتوغراف طريقة مناسبة :

- عرض خصائص الزخة المطرية (مثلاً أول 8 ساعات الشدة المطرية 10 سم / ساعة)
- التنبؤ عن الفيضانات العالية.

تمثل المساحة تحت الهيتوغراف التساقط الكلي في تلك الفترة

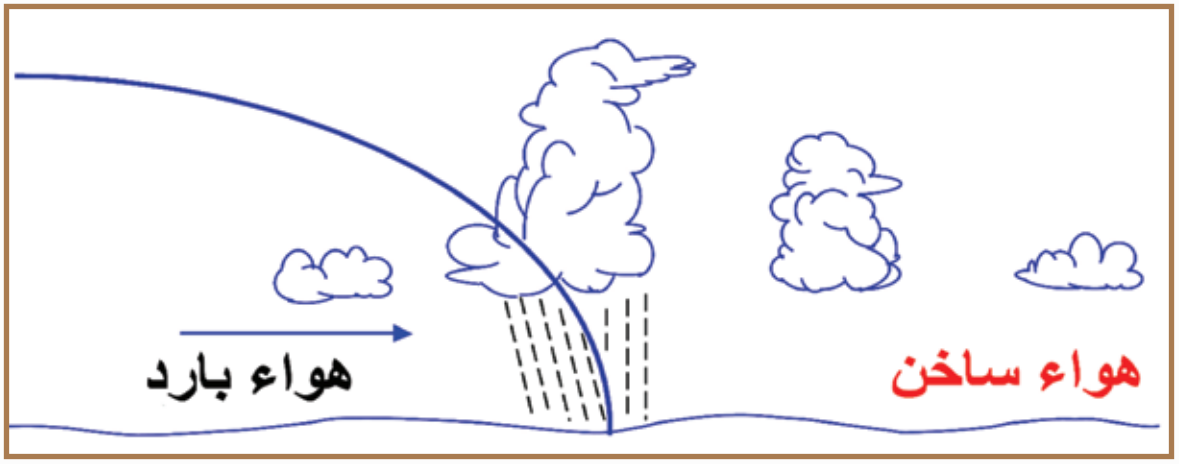


• أنظمة الطقس الرئيسية لهطول الأمطار

◆ الأعاصير والجبهات خارج المدارية

تنتج هذه الأنواع من الأنظمة عادةً عن تفاعل كتلتين هوائيتين متناقضتين. يمكن تعريف الكتلة الهوائية بأنها جسم من الهواء له خصائص فيزيائية موحدة تقريبًا مثل درجة الحرارة (المحتملة) والرطوبة. تسمى الواجهة بين كتلتين هوائيتين مختلفتين بالجبهة الباردة عندما يزيح الهواء البارد نسبيًا ويتحرك تحت هواء أكثر دفئًا نسبيًا، وتسمى الجبهة الدافئة في الحالة المعاكسة.

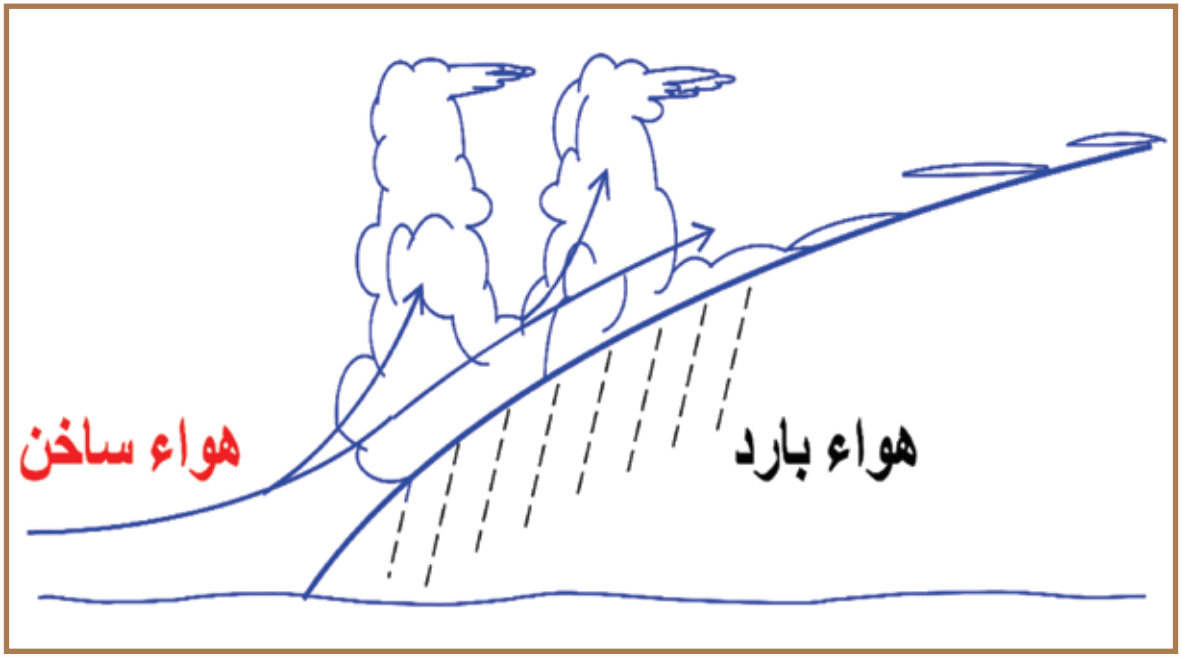
تميل الجبهات الباردة إلى أن تكون شديدة الانحدار نسبيًا، بمتوسط انحدارات يبلغ 0.015؛ في نصف الكرة الشمالي غالبًا ما تكون موجهة من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي وتتحرك نحو الشرق والجنوب الشرقي. عادةً ما يتم الإعلان عن اقتراب الجبهة الباردة من خلال زيادة سرعة الرياح وظهور السحب الركامية المتوسطة (الشكل الآتي). وفي الوقت نفسه، يتناقص الضغط، وتتحرك السحب المنخفضة، خاصة من نوع المزن الركامية، مع بداية هطول الأمطار.



مقطع عرضي لجبهة باردة نموذجية.

ومع اقتراب الجبهة تزداد شدة هطول الأمطار. بعد مرور الجبهة يرتفع الضغط بسرعة وتنخفض درجة الحرارة بشكل حاد. يتغير اتجاه الرياح، عادة من اتجاه جنوبي أو جنوبي غربي إلى اتجاه أكثر غربية أو شمالية. غالبًا ما يتبع الجبهات الباردة طقس أكثر جفافًا وبرودة. يحدد استقرار الكتلة الهوائية الدافئة نوع الهطول الناتج عن الجبهة الباردة. وإذا كان الهواء الدافئ مستقراً تكون السحب من النوع الطبقي.

وتكون السحب ركامية الشكل وهطولها حملي إذا كان الهواء الدافئ غير مستقر بشروط. وفي هذه الحالة قد تتطور عواصف رعدية وزخات متفرقة، وفي الحالات القصوى قد تتطور الجبهة إلى خط متواصل من العواصف الرعدية يسمى خط العاصفة (كما في الشكل الآتي).



مقطع عرضي لجبهة دافئة نموذجية.

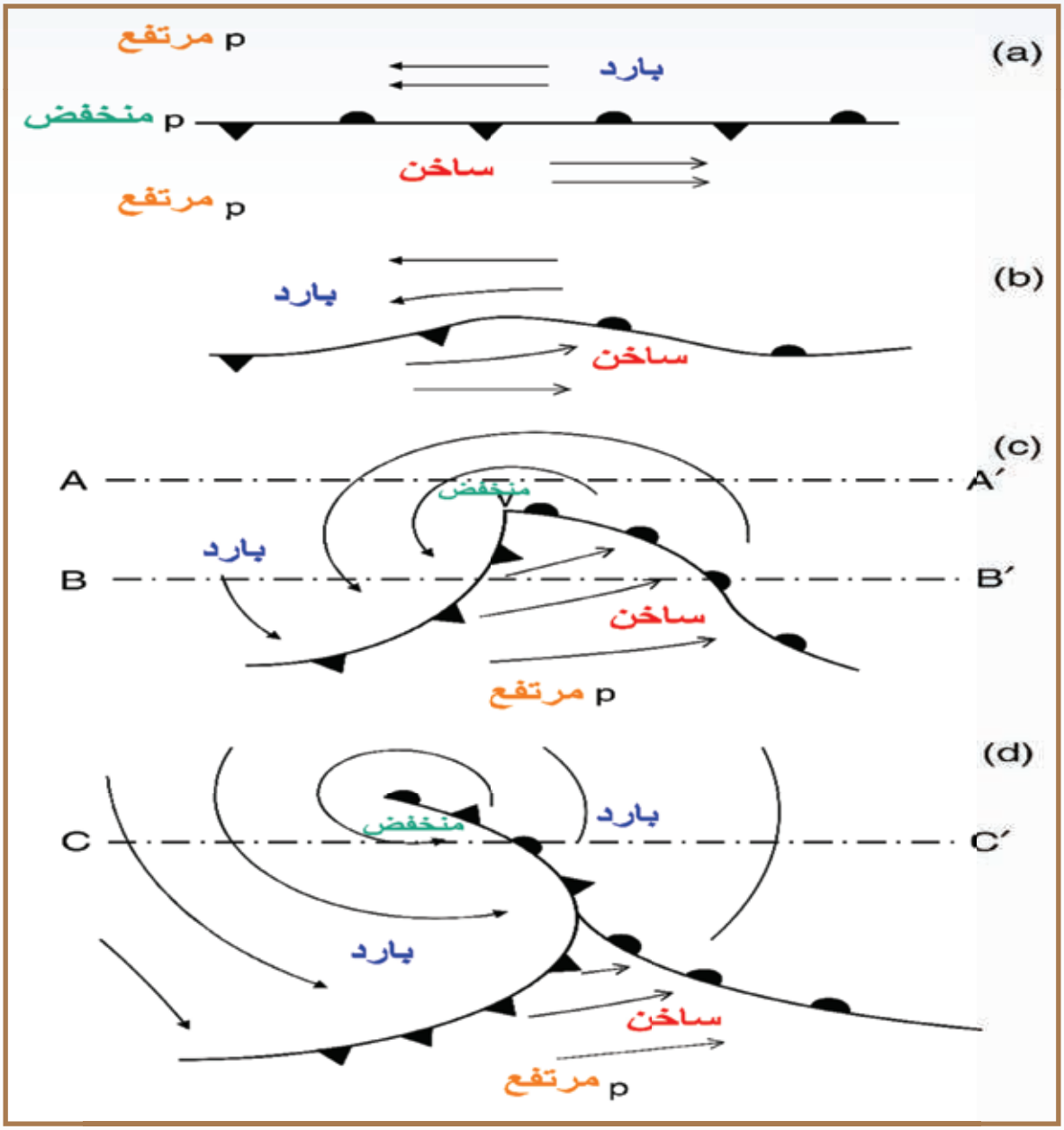
الجبهات الدافئة عادة ليست شديدة الانحدار، مع منحدرات يبلغ متوسطها 0.01؛ كما أنها تتحرك بشكل أبطأ من الجبهات الباردة، وليست محددة بشكل جيد. ومع تحرك الهواء الدافئ فوق الهواء البارد، يتشكل نطاق واسع من السحب (الشكل السابق)، يمتد إلى عدة مئات من الكيلومترات قبل موقع الجبهة على الأرض. وفي حالة الجبهة الدافئة أيضًا، فإن ثبات الهواء الدافئ هو الذي يحدد نوع الهطول الذي تنتجه الجبهة. عندما يكون الهواء الدافئ في كتلة الهواء الأمامية التي تقترب رطبًا ومستقرًا، فإن تسلسل أنواع السحب هو سمحاقي، سمحاقي طبقي، طبقي مرتفع، طبقي مزني، ويزداد هطول الأمطار تدريجيًا. عندما يكون الهواء رطبًا وغير مستقر، قد يحدث نفس التسلسل، ولكن سيتم أيضًا ملاحظة الركام المتوسط والمزن الركامي، غالبًا مع العواصف الرعدية.

يميل السطح البيني بين الكتل الهوائية المتباينة إلى أن يكون غير مستقر وغالبًا ما يتطور أكثر، من خلال دوران الأرض، إلى تيار حلزوني يسمى الإعصار. الإعصار هو منطقة كبيرة ذات ضغط منخفض، وعادة ما تكون مصحوبة بأنظمة السحب والأمطار. أما الإعصار المضاد فهو الحالة المعاكسة، أي منطقة الضغط العالي، والتي عادة ما تجلب طقسًا معتدلًا؛ ويتميز أيضًا عادةً بالهبوط، وهو حركة هواء بطيئة إلى الأسفل ناتجة عن الانحراف الأفقي للهواء بعيدًا عن الضغط المرتفع.

على الرغم من وجود تباين لا نهائي في حدوث الأعاصير، إلا أنها تشترك في بعض السمات؛ يتم رسم دورة حياة نموذجية للإعصار في الأشكال الآتية في المرحلة الأولية تهب الرياح على جانبي الجبهة الثابتة في اتجاهين متوازيين ولكن متعاكسين.

نتيجة للقص والاضطرابات الصغيرة أو خشونة السطح أو عدم انتظام الحرارة، قد تتخذ الجبهة تدريجيًا شكلًا يشبه الموجة، والتي قد تستمر وتزداد سعتها، وتتطور في النهاية إلى نمط تدفق عكس اتجاه عقارب الساعة (في نصف الكرة الشمالي)، تسمى موجة أمامية.

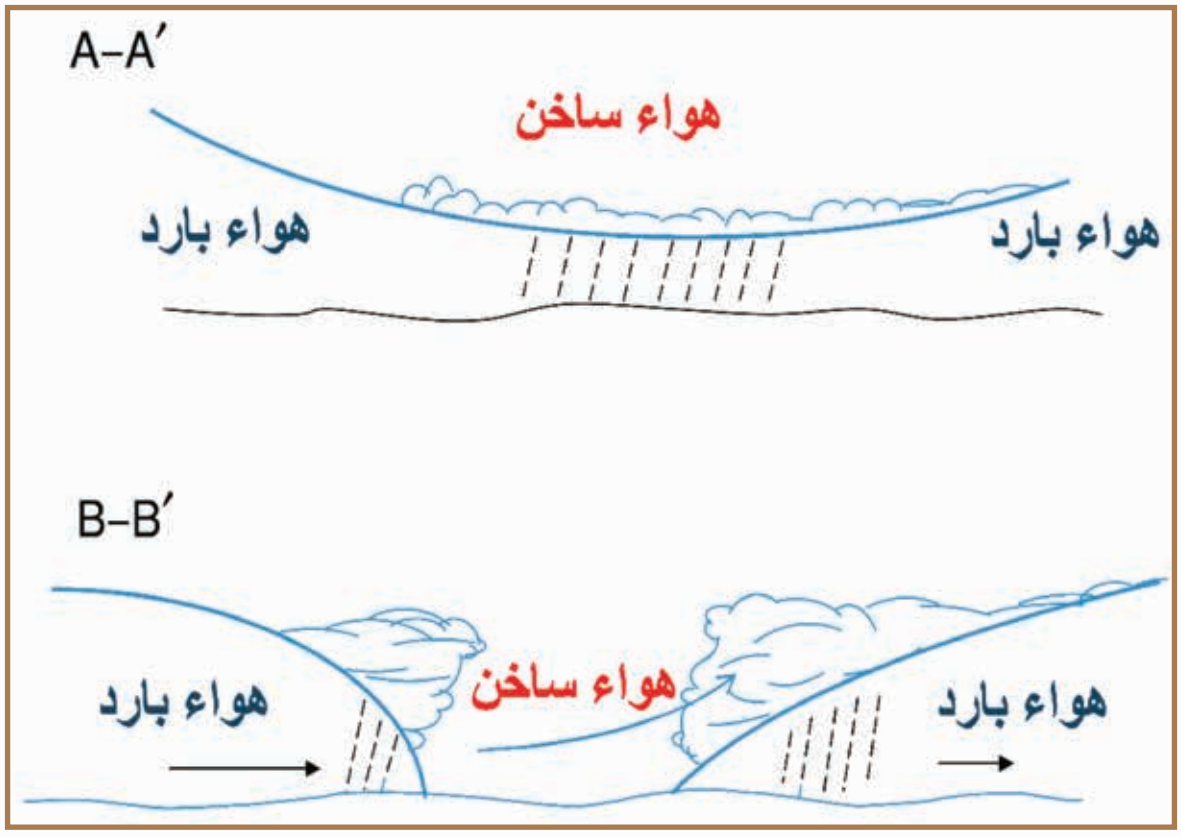
توجد الآن جبهة باردة واضحة المعالم وجبهة دافئة، وتستمر الدورة الإعصارية في التزايد. يتحرك القسم الأمامي البارد عادةً بشكل أسرع ويتفوق في النهاية على الجبهة الدافئة.



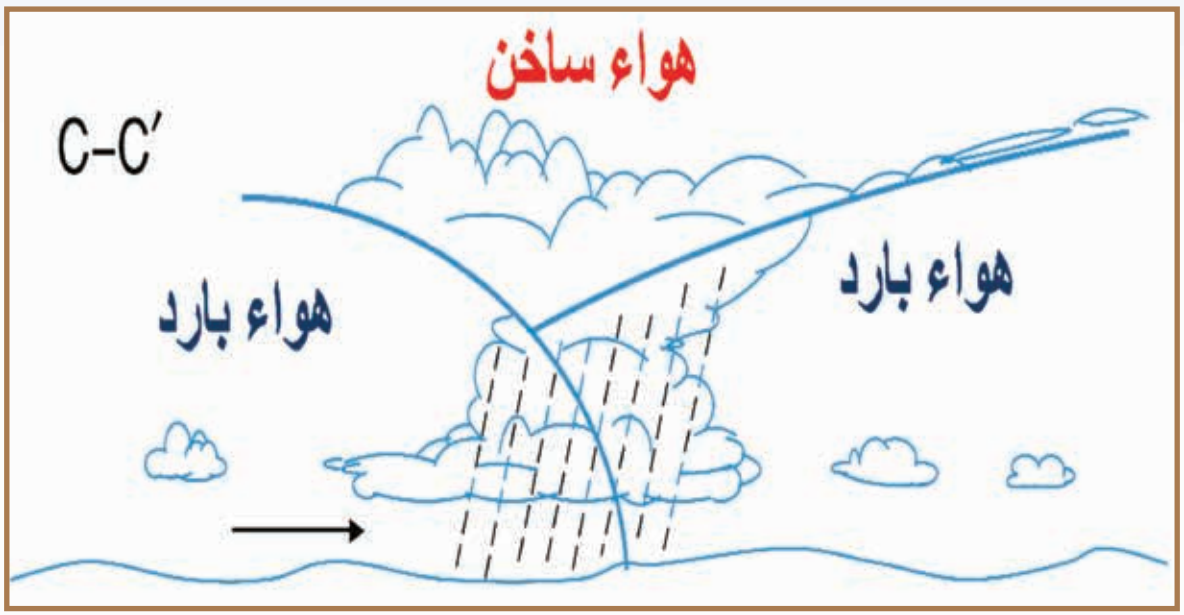
تطور إعصار نموذجي خارج مداري (في نصف الكرة الشمالي)، كما هو مستمد من خرائط الطقس السطحية، مع إظهار ناقلات سرعة الرياح الجيوستروفية بالتوازي مع خطوط الأيزوبار؛ (a) يوضح الحالة الأولية المفترضة كواجهة ثابتة مع قص الرياح؛ هذه الواجهة غير مستقرة وتتطور تدريجياً إلى موجة أمامية ذات سعة متزايدة كما هو موضح في (b) و(c). في (d) تجاوزت الجبهة الباردة الجبهة الدافئة وأصبح الإعصار مسدودًا. ومنذ ذلك الحين يفقد الإعصار قوته وتذوب الجبهات تدريجياً.

عند هذه النقطة، وهو وقت الشدة القصوى للإعصار، يشار إلى الجبهة المدمجة باسم الانسداد أو الجبهة المسدودة. في المراحل اللاحقة من الانسداد، تنخفض شدة الإعصار والحركة الأمامية تدريجيا؛ وأخيراً يختفي الانسداد بينما قد تتشكل جبهة ثابتة جديدة.

لاحظ أنه، على النقيض من الجبهات الباردة والدافئة الموضحة في الأشكال السابقة، من المفترض أن تتضمن تلك (المبينة في الشكل الآتي) كتلة هوائية دافئة مستقرة، بحيث تكون السحب الموضحة من النوع الطبقي.



المقاطع العرضية الرأسية على طول الخطوط A'-A و B'-B



مقطع عرضي عمودي على طول الخط C-C'، يُظهر انسدادًا أماميًا باردًا.

تتحكم العديد من العوامل المختلفة في تطور الجبهات المسدودة. لقد ثبت أنه أكثر من تباين درجات الحرارة، فإن تباينات الاستقرار عبر الجبهات هي التي تحكم ديناميكيات الانسداد.

تهيمن الأعاصير الأمامية على الطقس في خطوط العرض المتوسطة والعالية، خاصة في الموسم البارد، عندما تكون التناقضات بين المناطق الاستوائية والقطبية أكثر وضوحًا. وفي المواسم الأكثر دفئًا، تكون هذه الأنظمة الإعصارية أضعف بشكل عام. وهي تشتمل عادةً على مقاييس طول تصل إلى 103 كم، ويشار إليها أيضًا بمقياس الميزو ألفا أو الماكرو أو السينوبتيكي وأعلى نسبة حدوث لها هي حوالي خط عرض 55 درجة.

◆ الطقس الحملي خارج المداري

الظروف الجوية غير المستقرة لديها القدرة على توليد أنظمة منظمة من حركة الهواء شبه الدوامة الحملية، على نطاق واسع من المقاييس. تذكر أن الدوامة المثالية هي تدفق تكون فيه الخطوط الانسيابية عبارة عن دوائر متحدة المركز.

ومع ذلك، في الغلاف الجوي، تكون أنظمة الحمل الحراري أكثر تعقيدًا بكثير من دوامة حوض الاستحمام المقلوب. في ظل ظروف الرطوبة المناسبة للغلاف الجوي، يمكن أن تتطور هذه الأنظمة إلى عواصف رعدية، وقد تتكون من خلية عاصفة واحدة، أو من عدة خلايا كجزء من نظام الحمل الحراري المتوسط النطاق.

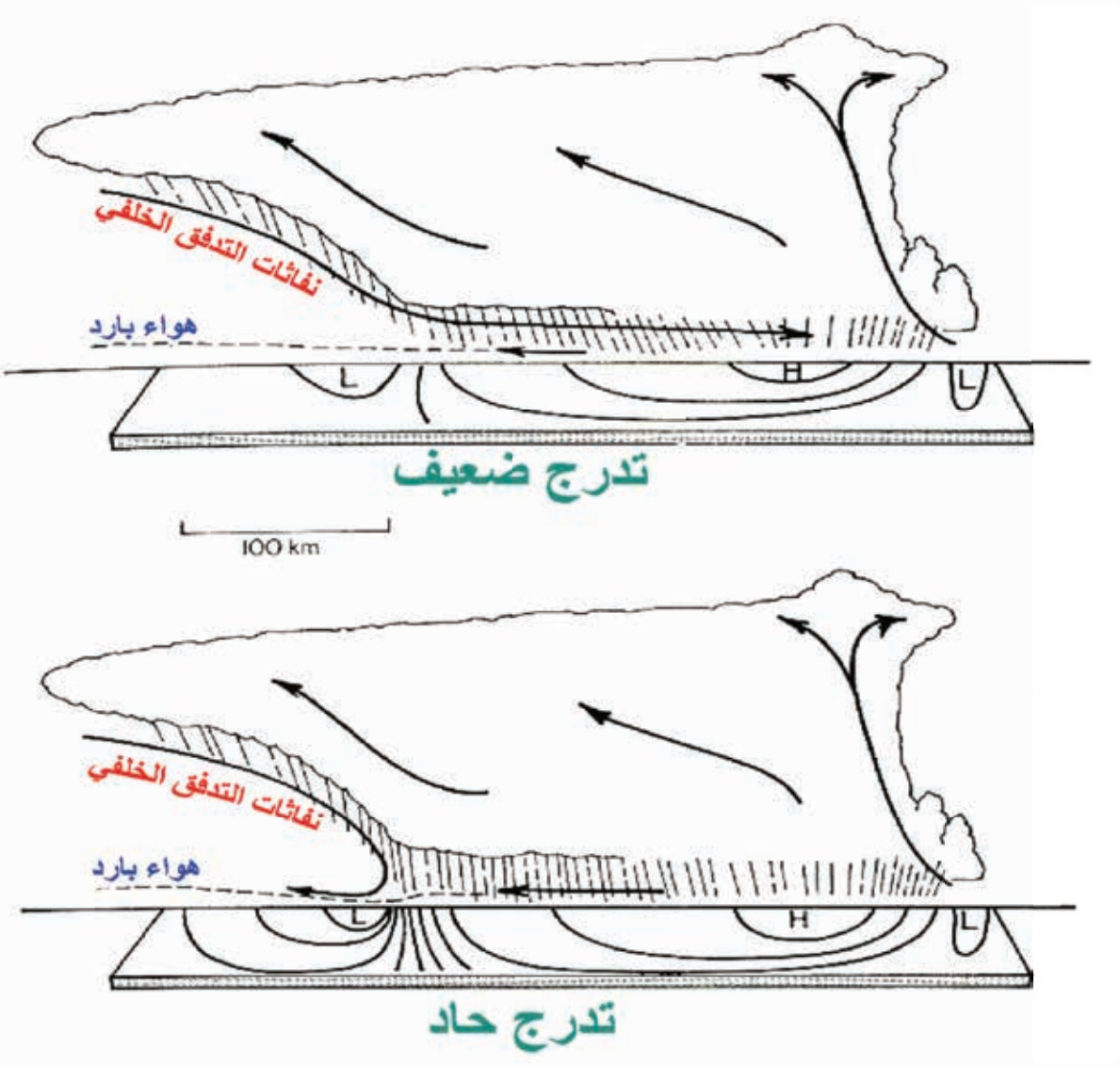
يميل المدى المكاني لهذه الأنظمة إلى تغطية الميزوبيتا بشكل رئيسي في مقاييس الميزوألفا، والتي تتراوح عادة من حوالي 50 إلى 500 كم، ولكن الخلايا الفردية يمكن أن تكون صغيرة بحيث لا تتجاوز بضعة كيلومترات فقط. تتميز الخلايا الفردية بتيارات صاعدة وهبوطية محلية قوية.

ببساطة، التيارات الصاعدة هي مظهر من مظاهر الظروف الجوية غير المستقرة وتؤدي إلى تكثيف الهواء البارد مما يؤدي إلى هطول الأمطار.

من ناحية أخرى، لا تنتج التيارات الهابطة فقط من الانحباس عن طريق هطول الأمطار وبعض التبريد التبخيري، ولكن أيضًا من التدفقات الراجعة التي تتطلبها الاستمرارية للتعويض عن الحركات الصعودية؛ يتم إنتاج بعضها بعد أن تصل التيارات الصاعدة إلى أعلى مستوى لها ثم تتراجع كتيارات هابطة.

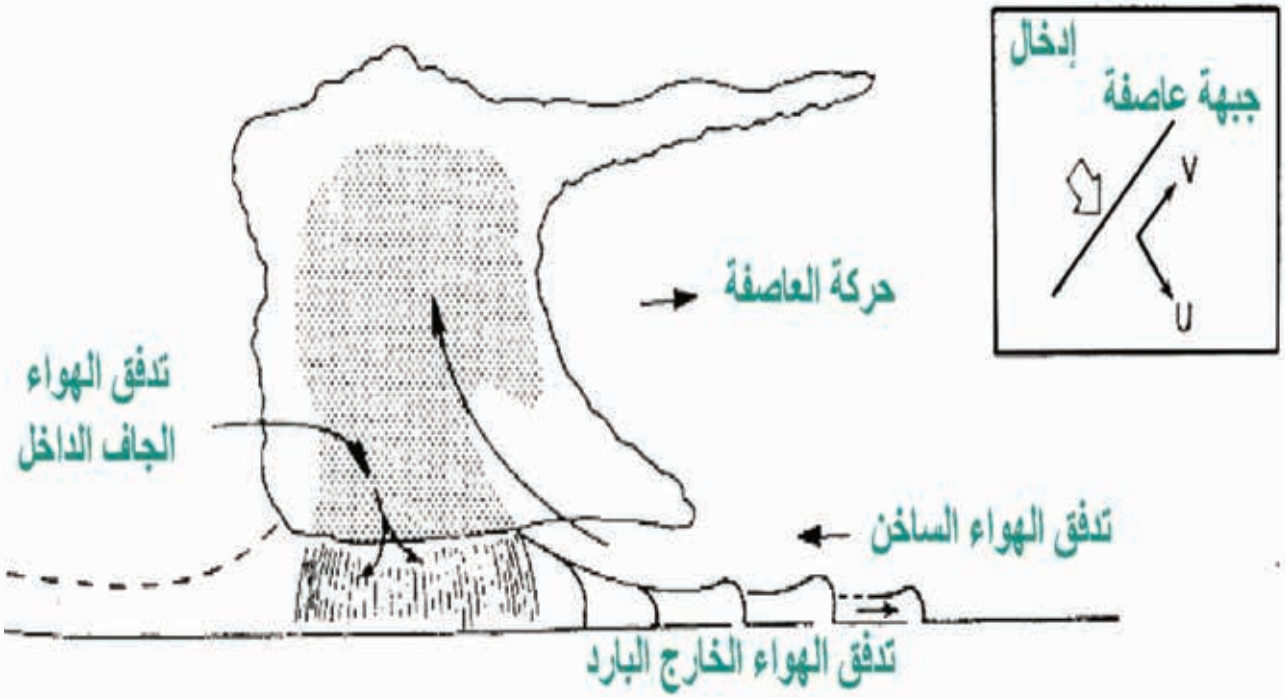
معظم الأنظمة من هذا النوع تكون مصحوبة بنمط ضغط سطحي محدد، تم وصفه لأول مرة بواسطة فوجيتا (1955) من تحويل بيانات الباروغراف من وقت إلى مكان. باختصار، يتكون هذا النمط من منطقة ضغط مرتفع أو ارتفاع متوسط، تتبعها منطقة ضغط منخفض، وتسمى أيضًا منطقة الضغط المتوسط أو انخفاض الاستيقاظ. تم لاحقًا توضيح بعض الآليات المعنية بشكل أكبر وتم توضيحها في الشكل الآتي.

من المعتقد عمومًا أن الضغط المرتفع هو نتيجة للتبريد التبخيري في التيارات الهابطة لهطول الأمطار أسفل قاعدة السحابة؛ قد تحدث تأثيرات إضافية نتيجة اصطدام التيارات الهوائية السفلية بالأرض، مما يتسبب في أنف الضغط، وتحميل الهاطل المائي Hydrometeor.



نمط الضغط السطحي النموذجي والبنية الرأسية لنظام الحمل الحراري. يُظهر الجزء العلوي حالة الضعف والجزء السفلي حالة تدرجات الضغط الحادة، جنبًا إلى جنب مع نفاثات التدفق الخلفي Rear-inflow jets التي تتقدم للأمام نحو خط الحمل الحراري الرئيسي أو تكون مسدودة، على التوالي.

الأنف، المعروف أيضًا باسم الحافة الأمامية لتدفق الهواء البارد أو مقدمة العاصفة، غالبًا ما يتخذ شكل اندفاع؛ تمت دراسة حوالي 20 حالة مع برج يبلغ ارتفاعه 461 مترًا بواسطة الباحث غوف (1976) (انظر الشكل الآتي)، مما يشير إلى أن لديهم بعض الميزات المشتركة مع اندفاعات القناة المفتوحة.



رسم تخطيطي لدورات العواصف الرعدية المرتبطة بتدفق الهواء البارد عند الحافة الأمامية. يتم عرض العديد من الزيادات. تتكون المنطقة المظلمة من هطول الأمطار المتساقطة أو المعلقة. الخط المتقطع هو الحد العلوي للتدفق في الخلف في أعقاب العاصفة. يُظهر الملحق إحداثيات الرياح الأفقية بالنسبة إلى المقدمة.

في الوقت الحاضر، لا تزال تفاصيل تطور العاصفة، والأدوار المحتملة لتيارات الجاذبية وموجات الجاذبية في أنماط الضغط المرصودة، غير مفهومة تمامًا.

يمكن تنظيم أنظمة الحمل الحراري المتوسطة الحجم للعواصف الرعدية على شكل خطوط عاصفة أو كمجمعات حمل حراري متوسطة الحجم. خطوط العاصفة أو خطوط عدم الاستقرار هي نطاقات ضيقة نسبيًا من عناصر الحمل الحراري، وغالبًا ما تكون مصحوبة بعواصف رياح قصيرة ومفاجئة، وتميل إلى الحدوث على طول جبهات باردة حادة. تعد مجمعات الحمل الحراري المتوسطة الحجم آلية رئيسية لإنتاج هطول الأمطار الغزيرة عند خطوط العرض الوسطى خلال المواسم الأكثر دفئًا في العام.

◆ الأنظمة الاستوائية الموسمية

تحدث هذه الأنظمة في منطقة التقاء الرياح التجارية الشمالية والجنوبية وكهياكل تشبه الأمواج في المنطقة الواقعة بين أحزمة الضغط العالي شبه الاستوائية وخط الاستواء؛ وهي مسؤولة في الغالب عن هطول الأمطار الاستوائية المعروفة والنباتات الطبيعية الوفيرة في تلك المناطق. وعادةً ما تنتج عناقيد سحابية عميقة، وتهطل الأمطار بغزارة من النوع الحملي بشكل متقطع مع الطقس المعتدل. وتميل هذه الأنظمة إلى أن تكون ذات طابع موسمي، لأنها تتبع الشمس بين المنطقتين الاستوائيتين. حيث تقترن بالرياح الموسمية والتأثيرات الجبلية، كما هو الحال في ميغالايا في الأجزاء الشرقية من الهند، فقد أنتجت بعضًا من أكبر كميات الأمطار طويلة المدى المسجلة.

الرياح الموسمية هي أنظمة رياح واسعة النطاق شبه ثابتة، غالبًا ما تنتج عن سمات جغرافية وطبوغرافية محددة للمناطق التي تحدث فيها، وتتميز

بانعكاس موسمي لاتجاه الرياح. استجابة للتدفئة التفاضلية من السطح، فإنها تهب من الأرض إلى البحر في الشتاء، ومن البحر إلى الأرض في الصيف، مما ينتج عنه دورة موسم رطب-جاف.

◆ أنظمة الحمل الحراري الاستوائية واسعة النطاق

وهي أنظمة ضغط منخفض متطورة، من أصل محيطي استوائي، يمكنها السفر لمسافات طويلة مصحوبة برياح قوية وأمطار غزيرة. ومع ابتعادها عن أصولها، فإنها يمكن أن تسبب طقسًا قاسيًا في المناطق الساحلية. وطالما ظلت سرعة الرياح أقل من 40 كم/ساعة، يشار إليها بالمنخفضات الاستوائية؛ وتسمى العواصف الاستوائية لسرعات الرياح بين 40 و 120 كم / ساعة، والأعاصير للرياح فوق هذا النطاق. وفي غرب المحيط الهادئ تُعرف باسم تيفونات. وقد ولدت مثل هذه الأنظمة أيضًا بعضًا من أكبر معدلات هطول الأمطار المسجلة على الإطلاق. كميات من 15-25 سم في فترة 24 ساعة ليست غير شائعة على الأراضي المستوية.

◆ التأثيرات الجبلية

يمكن أن يتأثر هطول الأمطار الناتج عن كل نوع من أنواع الطقس العامة التي تمت مناقشتها هنا بشكل ملحوظ بالخصائص الطبوغرافية، مثل الارتفاع والانحدار وشكل سطح الأرض. وتميل النتيجة إلى زيادة هطول الأمطار على المنحدرات التي تواجه الريح، وهطول الأمطار بشكل أقل على المنحدرات المواجهة للريح، والتي تسمى أيضًا ظلال المطر. وفي بعض المناطق التي يمكن تحديد اتجاهات الرياح السائدة فيها، مثل السلاسل الساحلية لغرب أمريكا الشمالية أو سفوح ميغالايا في شرق الهند، يمكن تحديد المنحدرات المواجهة للرياح بسهولة.

حدد سميث (1979) أن هناك ثلاث آليات مستقلة لهطول الأمطار الجبلية، على النحو التالي:

- هطول الأمطار على المنحدرات على نطاق واسع، والذي يتم إنشاؤه عن طريق الحركة العمودية القسرية من النوع الطبقي أو عن طريق الحمل الحراري أثناء تحرك الهواء فوق التضاريس المرتفعة.
- إعادة توزيع هطول الأمطار على نطاق صغير من السحب الموجودة مسبقًا بواسطة التلال الصغيرة؛ ويزداد هطول الأمطار فوق قمم التلال، لأن سطحها العلوي يمكن أن يعترض القطرات المتساقطة قبل أن تتبخر، وعلى ما يبدو أيضًا لأن القطرات تخضع لتراكم متزايد عن طريق غسل السحب المنخفضة المستوى.
- توليد الرياح المنحدرة في كتلة هوائية غير مستقرة بشكل مشروط نتيجة لتسخين المنحدر بواسطة الشمس؛ تتطور هذه إلى درجات حرارة مرتفعة، والتي بدورها يمكن أن تنمو إلى سحب ركامية فوق مستوى تكثيف الرفع.

التبخـــــر Evaporation

من ناحية كميات المياه المنقولة على مستوى العالم، يعد التبخر ثاني أهم عنصر في الدورة الهيدرولوجية، بعد هطول الأمطار. يشير علم المناخ العام للدورة الهيدرولوجية إلى أن التبخر على أسطح الأرض يصل في المتوسط إلى حوالي 60 % إلى 65 % من متوسط هطول الأمطار. لكن هذا التقدير لا يقدم سوى فكرة عن حجم الحجم المتوقع؛ من المرجح أن يكون معدل التبخر الفعلي في أي وقت ومكان مختلفًا تمامًا عن المتوسط المناخي، وغالبًا ما يتطلب الأمر إجراء تحليل أكثر شمولاً.

التبخر هي عملية طبيعية يتحول فيها الماء السائل إلى بخار ماء (تبخير)، مع إزالته المستمرة من سطح التبخير. يتبخر الماء من مجموعة متنوعة من الأسطح؛ كالبحيرات والأنهار والترب الرطبة والنباتات. يحتاج التبخر إلى طاقة لتغيير حالة جزيئات الماء من السائل إلى البخار، وتأتي من الإشعاع الشمسي المباشر، وبدرجة أقل درجة حرارة الهواء المحيطة. هذه الطاقة هي القوة الدافعة لإزالة بخار الماء من سطح التبخير، وهي الفرق بين ضغط بخار الماء عند سطح التبخير وضغط الغلاف الجوي المحيط. ومع استمرار عملية التبخر، يصبح الهواء المحيط مشبعًا تدريجيًا وتتباطأ العملية وقد تتوقف إذا لم ينتقل الهواء الرطب إلى الغلاف الجوي. ويعتمد استبدال الهواء المشبع بالهواء الأكثر جفافًا بشكل كبير على سرعة الرياح. ومن ثم، فإن الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء ورطوبة الهواء وسرعة الرياح هي عوامل مناخية يجب مراعاتها عند تقييم عملية التبخر.

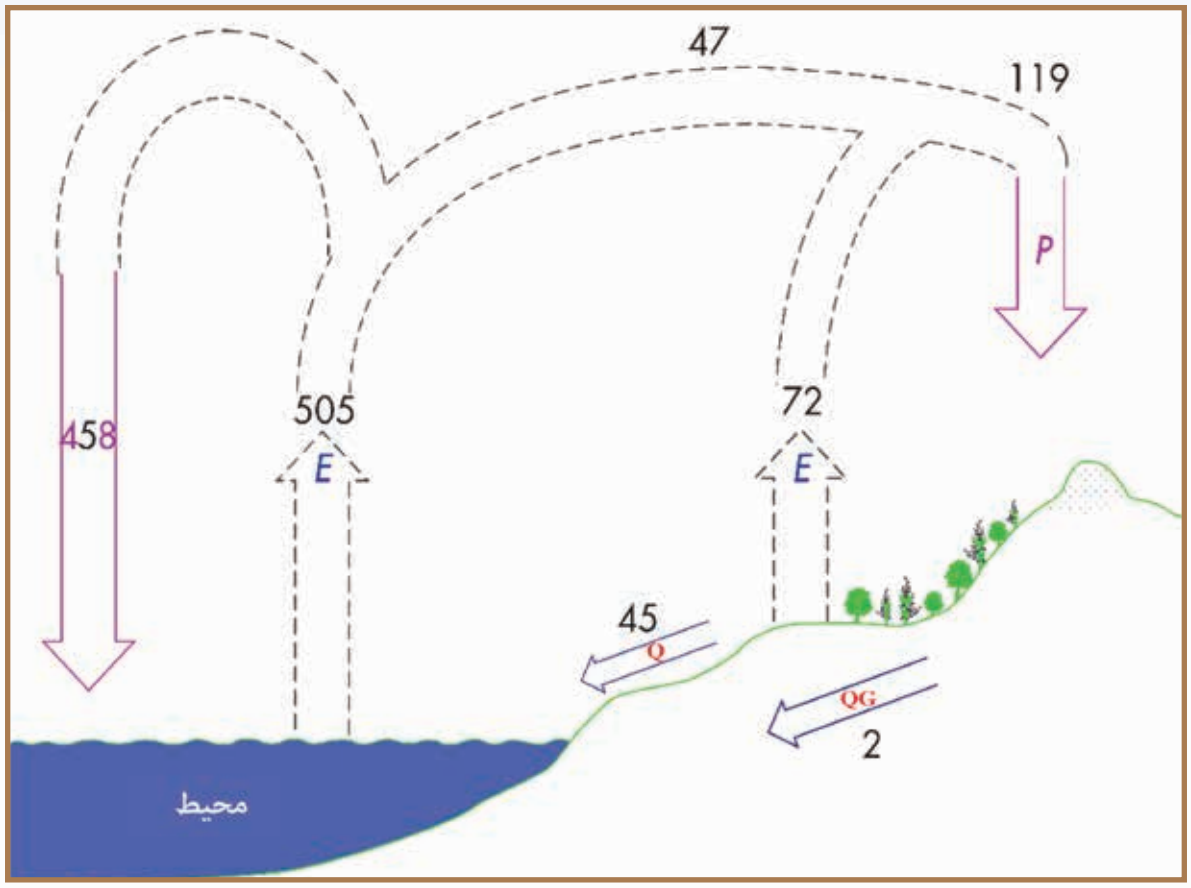
تعتمد أهمية التبخر في الدورة الهيدرولوجية إلى حد كبير على كمية المياه

الموجودة والطاقة المتاحة، وهما عاملان يحددهما مناخ المنطقة. خلال أشهر الشتاء في المناخات الرطبة المعتدلة، قد يكون التبخر عنصرًا ثانويًا في الدورة الهيدرولوجية حيث لا يوجد سوى القليل جدًا من الطاقة المتاحة لدفع عملية التبخر.

يتغير هذا خلال فصل الصيف عندما تكون هناك وفرة من الطاقة المتاحة ويكون للتبخر القدرة على أن يصبح جزءًا رئيسيًا من توازن الماء. قد تكون الإمكانية محدودة بسبب توفر الماء السائل خلال أشهر الجفاف. ويمكن ملاحظة ذلك في المناخات شديدة الحرارة والقاحلة، حيث يوجد غالبًا الكثير من الطاقة المتاحة لدفع التبخر ولكن القليل جدًا من الماء المطلوب تبخره. ونتيجة لذلك فإن الكمية الفعلية للتبخر صغيرة.

إن وجود أو نقص الماء على السطح هو الذي يوفر التمييز الدلالي الرئيسي في تعريفات عملية التبخر. تبخر المياه المفتوحة (يُشار إليه غالبًا باسم E_o) هو التبخر الذي يحدث فوق مسطح مائي مثل البحيرة أو الجدول أو المحيطات.

ويبين الشكل الآتي أن هذا هو أكبر مصدر للتبخر على المستوى العالمي، ولا سيما من المحيطات. التبخر المحتمل (P_E) هو الذي يحدث على سطح الأرض، أو قد يحدث إذا كانت إمدادات المياه غير مقيدة.



الدورة الهيدرولوجية العالمية. تمثل الأرقام تقديرات لكمية المياه الإجمالية (آلاف الكيلومترات المكعبة) في كل عملية سنويًا. E = التبخر؛ P = هطول الأمطار؛ QG = الجريان تحت السطحي؛ Q = الجريان السطحي.

يحدث هذا عندما تكون التربة رطبة ويحدث التبخر دون نقص إمدادات المياه. التبخر الفعلي (E_t) هو ما يحدث بالفعل (أي إذا لم يكن هناك الكثير من المياه المتاحة فسيكون أقل من المحتمل). عندما تكون الظروف رطبة جدًا (على سبيل المثال أثناء هطول الأمطار) فإن Et سوف يساوي PE، وإلا فإنه سيكون أقل من PE. في مجال الهيدرولوجيا، يهمنا أكثر Eo وEt ولكننا نطلب عادةً PE لحساب قيمة Et.

يحدث التبخر فوق سطح الأرض بطريقتين – إما التبخر الفعلي من مصفوفة التربة أو النتح من النباتات. غالبًا ما يشار إلى الجمع بين هذين الاثنين باسم التبخر، على الرغم من أن مصطلح التبخر الفعلي هو نفسه في الأساس (ومن هنا حرف t في Et). يحدث النتح من النبات كجزء من عملية التمثيل الضوئي والتنفس. يتم التحكم في معدل النتح عن طريق فتح أو إغلاق الثغور في الورقة.

يمكن التحقق من النتح على مستوى النبات الفردي عن طريق أدوات قياس تدفق الماء إلى أعلى جذع النبات أو ساقه. تترشح أنواع مختلفة من النباتات بمعدلات مختلفة، لكن الضوابط الأساسية هي الماء المتوفر في التربة، وقدرة النبات على نقل الماء من التربة إلى أوراقه، وقدرة الغلاف الجوي على امتصاص الماء المترشح.

يوصف التبخر أحيانًا بشكل خاطئ بأنه الخسارة الوحيدة في معادلة توازن الماء. معادلة التوازن المائي هي وصف رياضي للدورة الهيدرولوجية وبحكم التعريف لا توجد خسائر ومكاسب ضمن هذه الدورة. والمقصود بالخسارة هو فقدان التبخر من سطح الأرض، حيث يهتم علماء الهيدرولوجيا في الغالب بكائن الماء. بالنسبة لأخصائي الأرصاد الجوية المهتم بالغلاف الجوي، يمكن اعتبار التبخر مكسبًا. على الرغم من أن التبخر ليس خسارة، إلا أنه يمكن اعتباره عكس الهطول، خاصة في حالة سقوط الندى، وهو شكل من أشكال الهطول. في هذه الحالة يكون سقوط الندى (أو التبخر السلبي) بمثابة مكسب لسطح الأرض.

• العوامل المؤثرة في التبخر

■ ضغط البخار بين سطح الماء والهواء العلوي

يتناسب معدل التبخر طرديا مع الفرق بين ضغط بخار التشبع عند درجة حرارة الماء (ew)، وضغط البخار الفعلي في الهواء (ea) كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$E = C\ (ew - ea)$$

حيث؛

E = معدل التبخر (مم / يوم)

C = ثابت

ea : ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة الماء (مم زئبق)

ew : ضغط البخار في الجو (على ارتفاع 2 م فوق سطح الماء) (مم زئبق)

وهذه المعادلة تعرف **بقانون دالتون**، وهو أول من حقق هذا القانون، ويستمر التبخر لحين وصول ew = ea

لقد ربط **دالتون** (1766-1844)، وهو فيزيائي إنجليزي سرعة الرياح وجفاف الهواء بمعدل التبخر.

■ درجة الحرارة المحيطة بالهواء وسطح الماء Temperature

تزداد معدلات التبخر مع ازدياد درجات الحرارة وثبوت العوامل الأخرى

■ سرعة الرياح

تعمل الرياح على زيادة التبخر منذ البداية، ولكن عندما يصبح الهواء محملًا ببخار الماء، فإن معدلات التبخر تقل، في حين لا يتوفر هذا الأمر عندما يكون

المسطح المائي صغيرا، حيث تعمل الرياح على نقل بخار الماء بعيدًا عن ذلك الجسم.

- **الضغط الجوي**

انخفاض الضغط الجوي كما في المرتفعات يزيد من معدل التبخر

- **نوعية المياه** Water Quality

تتأثر قيم التبخر من المسطحات المائية بنوعية مياهها. حيث تقل معدلات التبخر 1 % عندما تزيد ملوحة المياه 1 % لذلك فان معدلات التبخر من المسطحات المائية التي تصل نسبة ملوحتها 3.5 % تقل من 2 الى 3 % عن تلك المعدلات من المسطحات المائية ذات المياه العذبة. وهذا الأمر يعود الى تناقص ضغط البخار للمياه المالحة. وللعكرة تأثير ضعيف أيضا على كمية التبخر، كما ان للموازنة الحرارية لمياه المسطحات المائية تأثير غير مباشر على معدلات التبخر.

- **حجم وشكل المسطحات المائية**

تواجه هذه الخاصية مزيدًا من البحث والتمحيص من قبل العلماء. إذ تبين ان المسطحات صغيرة الحجم، واسعة المساحة تكون معدلات التبخر فيها عالية؛ وذلك يعود إلى عملية التبخر ذاتها. حيث تنطلق جزيئات الماء الى الطبقات الهوائية الملامسة لسطح الماء، وان استمرار هذه العملية سوف يؤدي الى زيادة محتوى الهواء الملامس للماء لبخار الماء، مما يؤدي الى الاقلال من معدلات التبخر، حيث تنشا طبقة هوائية تدعى Blanket غنية ببخار الماء، وإذا استمر تدفق الرياح بالاتجاه نفسه، فإن هذه الطبقة تزداد سماكتها، وتعمل على نقص معدلات التبخر من سطح البحيرات الكبرى. أما فيما يخص البحار والمحيطات

الشاسعة فان هذا الأمر لا ينطبق عليها، وانما تخضع لعوامل أخرى كالطاقة الحرارية.

- **عمق المياه** Depth of water body

لعمق المياه أثر مؤكد على معدلات التبخر، ففي المياه الضحلة يتوافق منحنى درجة الحرارة مع منحنى درجة حرارة المياه. ولكن في المياه العميقة فإن منحنى درجات الحرارة يصبح يعمل بصورة عكسية مع منحنى درجات الحرارة للمياه السطحية، وعليه فان معدلات التبخر في المياه الضحلة تكون على أشدها بمنتصف الصيف، في حين أن التبخر في المسطحات العميقة يكون على أشده بمنتصف فصل الشتاء. ويعود هذا الأمر الى عملية الخزن الحراري وعملية المزج البطيئة ضمن المسطحات المائية العميقة.

- **المساحة السطحية للماء**

يتناسب معدل التبخر طرديا مع مساحة المسطح المائي

- **الرطوبة النسبية**

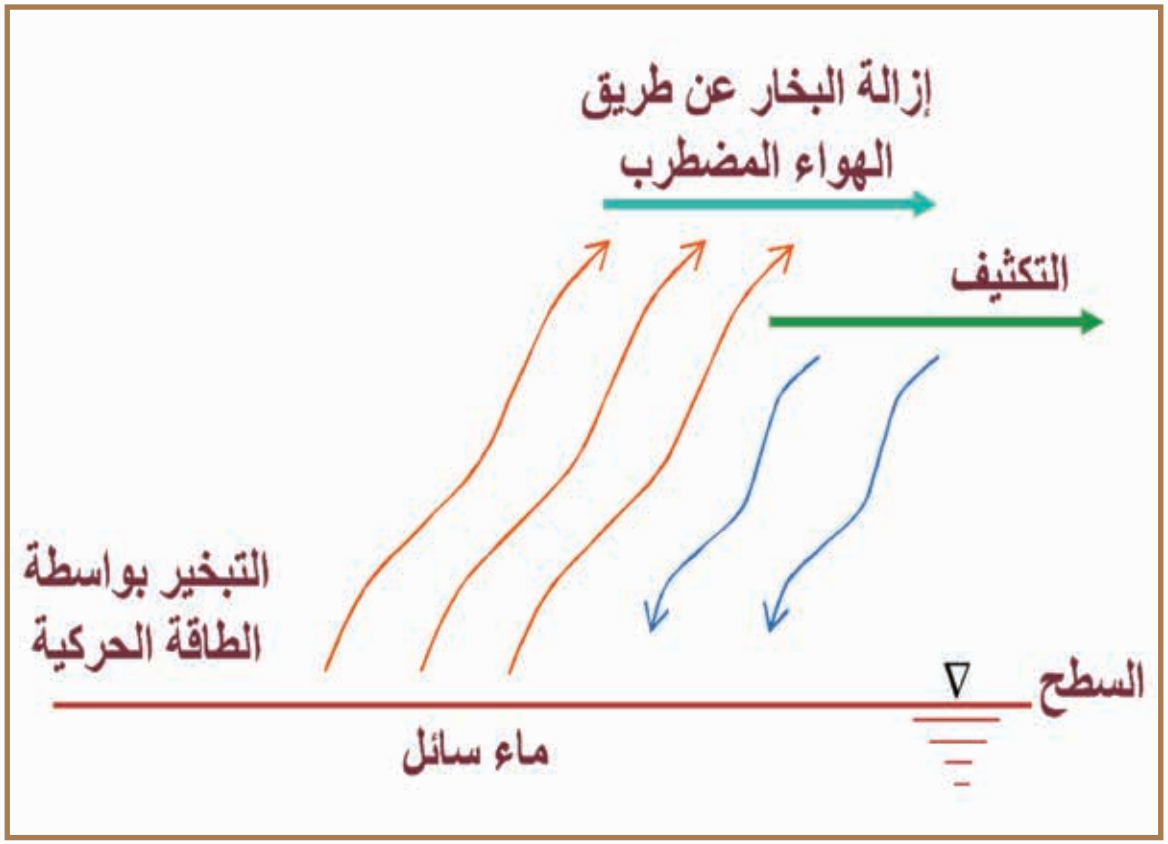
وهي عبارة عن النسبة المئوية بين مقدار بخار الماء الموجود فعلاً في وحدة حجم معينة من الهواء وبين مقدار ما يمكن أن يتحمله هذا الحجم ليصل درجة التشبع في درجة الحرارة نفسها وعند مقدار الضغط نفسه. وكلما ازدادت الرطوبة النسبية قلت معدلات التبخر.

- **الطاقة المتاحة**

لقد قيل بالفعل أن التبخر يتطلب مصدر طاقة وإمدادات مياه متوفرة لتحويل الماء السائل إلى بخار ماء. هناك شرط مسبق آخر: أن يكون الغلاف الجوي جافًا بدرجة كافية لاستقبال أي بخار ماء يتم إنتاجه. هذه هي الأجزاء الثلاثة الأساسية لفهم عملية التبخر . المصدر الرئيسي للطاقة للتبخر هو من

الشمس. وهذا ليس بالضرورة في شكل إشعاع مباشر، فغالبًا ما يمتصه السطح ثم يعاد إشعاعه بطول موجي مختلف.

كظاهرة فيزيائية، التبخر هو انتقال الماء من الطور السائل إلى الطور البخاري. يتطلب هذا التحول أولاً، إمدادًا بالطاقة لتزويد جزيئات الماء بالطاقة الحركية اللازمة للهروب من السطح السائل؛ وثانيًا، بعض الآليات لإزالة الجزيئات الهاربة من المنطقة المجاورة مباشرة لسطح السائل وبالتالي منع عودتها إلى التكاثف (انظر الشكل الآتي).



هروب جزيئات الماء السائل ذات الطاقة الحركية الكافية من السطح السائل عن طريق التبخر. هناك حاجة إلى آلية إزالة لمنع إنشاء حالة توازن يصبح فيها التبخر متوازناً بالتكثيف.

المصطلح العادي المستخدم لوصف كمية الطاقة المستقبلة على السطح هو الإشعاع الصافي Net radiation (Q*)، ويتم قياسه باستخدام مقياس الإشعاع الصافي. صافي الإشعاع هو مجموع جميع تدفقات الحرارة المختلفة الموجودة على السطح ويمكن وصفها بالمعادلة:

$$Q^* = Q_S \pm Q_L \pm Q_G$$

حيث Q_S هو تدفق الحرارة المعقول؛ Q_L هو تدفق الحرارة الكامن و Q_G هو تدفق حرارة التربة. والحرارة المحسوسة هي التي يمكن استشعارها بالأجهزة. يمكن فهم هذا بسهولة على أنه الحرارة التي نشعر بها كالدفء. التدفق الحراري المعقول هو معدل تدفق تلك الحرارة المعقولة. الحرارة الكامنة هي الحرارة التي يتم امتصاصها أو إطلاقها خلال مرحلة التحول من الجليد إلى الماء السائل، أو الماء السائل إلى بخار الماء. عندما ينتقل الماء من السائل إلى الغاز، يكون هذا تدفقًا سلبيًا (أي يتم امتصاص الطاقة) بينما ينتج تغير الطور المعاكس (الغاز إلى السائل) تدفقًا حراريًا إيجابيًا.

تدفق حرارة التربة هو الحرارة المنبعثة من التربة التي تم تخزينها مسبقًا داخل التربة. وكثيرًا ما يتم تجاهل ذلك لأنه يميل إلى الصفر خلال فترة 24 ساعة ويشكل مساهمًا بسيطًا نسبيًا في صافي الإشعاع.

يقوم الغلاف الجوي بتصفية الإشعاع الشمسي الوارد بحيث لا يتم استقبال جميع الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسي على سطح الأرض. يُشار غالبًا إلى الإشعاع الوارد الذي يصل إلى السطح باسم إشعاع الموجة القصيرة: الضوء المرئي بالإضافة إلى بعض نطاقات الأشعة تحت الحمراء. وهذا ليس صحيحًا تمامًا، حيث أن السحب وبخار الماء في الغلاف الجوي، بالإضافة إلى الأشجار والمباني الشاهقة فوق السطح، تنبعث منها إشعاعات ذات موجة أطول تصل أيضًا إلى السطح. يمكن أن يكون الإشعاع الصادر إما إشعاعًا منعكسًا على

الموجات القصيرة أو طاقة يشعها سطح الأرض. وفي الحالة الأخيرة، يكون هذا عادةً في نطاق الأشعة تحت الحمراء وأطوال موجية أطول ويشار إليه باسم إشعاع الموجة الطويلة. هذا مصدر رئيسي للطاقة للتبخر.

هناك نوعان آخران من الطاقة المتاحة والتي قد تكون في ظروف معينة مصادر مهمة في عملية التبخر. الأول هو الحرارة المخزنة في المباني من مصدر بشري (مثل التدفئة المنزلية). غالبًا ما يتم تغذية مصدر الطاقة هذا من مصادر عضوية وقد يمثل إضافة كبيرة لميزانية الحرارة في البيئة الحضرية، خاصة في أشهر الشتاء. المصدر الإضافي الثاني هو الطاقة المصاحبة. هذه هي الطاقة التي تنشأ من مكان آخر (منطقة أخرى قد تكون على بعد مئات أو آلاف الكيلومترات) وتم نقلها إلى السطح التبخري (في كثير من الأحيان على شكل حرارة كامنة) حيث تصبح طاقة متاحة على شكل حرارة معقولة.

• طرق قياس التبخر

- معادلة التخزين The Storage Equation
- أوعية التبخر :Evaporation Pan
  - حوض التبخر القياسي.
  - حوض كولورادو المدفون
  - أحواض التبخر البريطانية.

❖ أوعية التبخر الصغيرة Mometers

❖ المعادلات التجريبية.

❖ معادلة Penman

■ معادلة التخزين $E = P + \Delta S \pm D \pm Q$

يمكن حساب التبخر من سطح خزان عن طريق دراسة الميزانية المائية أو اتزان الطاقة في الخزان. يتم كتابة معادلة التخزين بدلالة أحجام المياه الداخلة على الخزان أو المغادرة له خلال فترة من الزمن.

$$E = P + \Delta S \pm D \pm Q$$

حيث:

P = التساقط

E: التبخر

Q: صافي الجريان السطحي الخارج من الخزان

D: التصريف تحت السطحي Subsurface Drainage

ΔS: الزيادة في المخزون Increase in Storage

يمكن حساب التساقط P وصافي الجريان السطحي Q بدقة، غير أن هناك صعوبة في قياس الصرف تحت السطحي D والزيادة في المخزون. لحل مشكلة الصعوبة بالنسبة لـ ΔS ، يجب أخذ القياسات على فترات زمنية طويلة مثلا سنة، ويكون منسوب المياه في الخزان عند بداية فترة القياس هو نفسه عند نهاية الفترة، وبالتالي يكون ΔS = صفرا، وتحذف من المعادلة.

بالنسبة لقياس الصرف تحت السطحي يكون أكثر صعوبة حيث يتم تقديره عن طريق قياس نفاذية التربة ومنسوب المياه الجوفية، دقة هذه المعادلة في قياس التبخر تصل الى 10 %.

أوعية التبخر Evaporation Pan Types

تعد أوعية التبخر أبسط الطرق الحقلية لقياس التبخر، وهي من أكثر الطرق شيوعا وأسهلها. فهي رخيصة نسبيا، ويمكن التحكم في جميع عناصر معادلة التخزين عدا التبخر فانه يمكن الحصول على قياس مباشر وواضح للتبخر. وتختلف هذه الأحواض في الأبعاد والمواد وفي طرق التثبيت. فمنها ما يثبت فوق سطح الأرض ومنها ما يدفن في التربة ومنها ما يبقى ظاهرا على السطح. ولكل من هذه الطرق الثلاث محاسنها ومثالبها.

حوض التبخر القياسي من صنف A Class A Evaporation Pan

ويعد الجهاز الأشهر في العالم، ويبلغ قطره 122 سم (4 قدم)، وعمقه 25 سم (10 بوصات)، حيث يوضع على قاعدة خشبية لتقليل الإشعاع الأرضي الواصل، يوضع بحيث ترتفع قاعدته 6 بوصة فوق سطح الأرض بما تسمح بحرية مرور الهواء من حوله، بحيث يكون سطح الماء في الحوض في حدود 2-3 بوصة من حافة الحوض. ويحاط بشبكة سلكية لمنع الحيوانات من الشرب منه وتوضع داخل الحوض أسطوانة مدرجة. وتقاس نسبة التبخر فيه بشكل يومي بمعرفة كمية المياه المتبخرة في ارتفاع واحد بوصة. يبدأ القياس اليومي بملء إنشين من أعلى الحوض، وفي نهاية اليوم بعد مضي 24 ساعة تحسب كمية المياه اللازمة للمحافظة على مستوى الإنشين، حيث يكون هذا النقص هو الكمية المتبخرة.

في حالة تساقط الأمطار خلال فترة القياس تؤخذ بعين الاعتبار كميات الأمطار في حساب التبخر. أما إذا كانت كميات التساقط أكبر من معدل التبخر فيجب إخراج الزيادة في كمية الأمطار من خلال منحدر مثبت في الحوض. أما من عيوب هذا النوع من أحواض التبخر بأنه لا يمكن قياس معدل التبخر في حالة تجمد مياه الحوض.

■ حوض كولورادو المدفون

مربع الشكل، ويبلغ طول ضلعه 0.92 مترًا (3 أقدام) وعمقه 0.46 مترًا (18 بوصة) ومصنوعة من الحديد المجلفن غير المطلي. وكما يوحي الاسم، فهو مدفون في الأرض على مسافة حوالي 5 سم (2 بوصة) من حافته. يمكن مقارنة التبخر من حوض كولورادو المدفون مع حوض التبخر القياسي من الفئة أ من خلال معامل التصحيح، والذي يبلغ 0.8.

■ أحواض التبخر البريطانية:

تكون مربعة بطول 6 قدم، وبعمق 2 قدم، وتدفن بالأرض، وتوضع بحيث يكون حافة الحوض أعلى من مستوى سطح الأرض المحيطة بحوالي 3 بوصة.

حـوض تبخـر من النـوع أ

■ معامل الحوض Pan Coefficient:

من المعروف ان معدل التبخر من المسطحات الصغيرة يفوق تلك المعدلات من المسطحات الواسعة، لذلك اقترح لكل نوع من أنواع أحواض التبخر معامل خاص Coefficient، هو معامل أقل من 1.0 يتم ضربه في قيمة التبخر المقاس

من الحوض نظرا لأن الكمية الصغيرة من المياه في حوض التبخر تكون معرضة للطاقة الداخلة في صورة حرارة أكثر بكثير من الكتلة الكبيرة من المياه الموجودة في البحيرة، يكون التبخر المقاس من حوض التبخر يميل لأن يكون أكبر الى حد ما من التبخر الفعلي من البحيرة.

فمثلا : قيمة معامل الصنف Class A تتراوح ما بين (0.69 – 0.74)

- معامل حوض Colorado المطمور إلى (0.83).
- أما الحوض البريطاني المطمور افقيا فيتراوح المعامل ما بين (0.91 – 1.04).

• أجهزة قياس التبخر الصغيرة Small Atmometers (الأتومتر)

الأتومتر هو مقياس للتبخر يعتبر أداة علمية تستخدم لقياس معدل تبخر الماء من سطح مبلل إلى الغلاف الجوي. تستخدم أجهزة قياس الحرارة بشكل رئيس لقياس معدلات التبخر وقياس التبخر نتح (ET) للمحاصيل في أي موقع حقل. واستنادًا إلى كمية المياه التي تتبخر وتنتح، يمكن للمستخدم ري المحاصيل وفقًا لذلك، مما يؤدي إلى استخدام أقل للمياه وربما زيادة إنتاجية المحاصيل.

■ نوع بيشي Piche Type

هذه الأداة طورت من قبل بيتشي عام 1872، وهي عبارة عن أنبوب زجاجي يصل طوله الى 92 سم. وبقطر يصل الى 1 سم، ونهايته مفتوحة، ويملأ هذا الانبوب بماء مقطر، ويقفل الجانب المفتوح منه بواسطة ورقة نشاف تثبت على تلك الفتحة بواسطة مربط. ويعلق الجهاز بحث تكون الفتحة المقفلة بورقة النشاف الى أسفل. علما بأن الانبوب مدرج، ونستطيع تقدير مقدار التبخر من خلال قراءة مستوى الماء على الانبوب المدرج.

ومن أهم مساوئ استخدام هذا الجهاز هي سرعة الرياح، ولهذا السبب يثبت هذا الجهاز داخل صندوق ستيفنسون Stevenson Screen، ومن أهم فوائده البساطة وسهولة التثبيت والاستخدام.

- **لفنجستون** Livingston

ويتكون من كرة بيضاء من الخزف المسامي مملوءة بالماء المقطر، تتصل بأنبوب يوصلها الى مستوع يزودها بالماء، ويوجد بهذا المستودع ترقيم يدل على مدى استهلاك تلك الكرة من مياه، نستدل بواسطتها على مقدار التبخر، ومن مساوئ هذا الجهاز هو لونها الأبيض، ثم تعرضها لتأثير الرياح، ولكنها سهلة الاستعمال وقريبة من نتائج Class A Pan.

- **نوع بللاني** Bellani Type:

ويتكون هذا الجهاز من قطعة خزف سوداء دائرية، يصل قطرها 7.5 سم. وتزود هذه القطعة بالمياه المقطرة من خزان يجعلها رطبة بشكل دائم، ويوجد صمام يمنع رجوع الماء إلى الخزان إذا سقطت الامطار على تلك القطعة. او تكاثف الندى عليها لكون تلك القطعة مكشوفة.

• معادلات التبخر Evaporation Formulas

A. اشتق ثورنثويت نموذجًا تجريبيًا يربط متوسط درجة حرارة الهواء بالتبخر المحتمل. وهذا رابط منطقي بطبيعته لأننا نعلم أن درجة حرارة الهواء ترتبط ارتباطًا وثيقًا بكل من الطاقة المتاحة وقدرة الهواء على امتصاص بخار الماء.

يشتق الجزء الأول من تقنية تقدير ثورنثويت (ثورنثويت 1954) مؤشر الحرارة الشهري (i) لمنطقة ما بناءً على متوسط درجة الحرارة t (درجة مئوية) لمدة شهر (المعادلة الآتية):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

يتم بعد ذلك جمع هذه المصطلحات لتوفير مؤشر الحرارة السنوي I (وفق المعادلة الآتية):

$$I = \sum_{j=1}^{12} i$$

ثم اشتق ثورنثويت معادلة لتوفير تقديرات التبخر بناءً على سلسلة من قياسات التبخر المرصودة (المعادلة الآتية):

$$PE = 16b\left(\frac{10t}{I}\right)^{a}$$

يمكن اشتقاق الحدين a وb في هذه المعادلة بالطرق التالية. المصطلح b هو عامل تصحيح لحساب طول اليوم غير المتساوي بين الأشهر. يمكن العثور على قيمتها من خلال البحث في الجداول بناءً على خط العرض لموقع الدراسة. تتم معايرة الحد a كدالة مكعبة من الحد I كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$a = 6.7 \times 10^{-7} I^3 - 7.7 \times 10^{-5} I^2 + 0.018 I + 0.49$$

تعتبر تقنية ثورنثويت مفيدة جدًا حيث يمكن استخلاص التبخر المحتمل من معرفة متوسط درجة الحرارة (غالبًا ما تكون متاحة بسهولة من محطات الأرصاد الجوية القريبة) وخط العرض. هناك عيوب لاستخدامه ولكن؛ وأبرزها أنها توفر فقط تقديرات التبخر الشهري. بالنسبة لأي شيء على نطاق زمني أصغر، من الضروري استخدام تقنية أخرى مثل تقنية **بنمان** Penman.

هناك أيضًا مشاكل في استخدام نموذج ثورنثويت في المناطق ذات احتمالية التبخر العالية. وتعني الطبيعة التجريبية للنموذج أنه تمت معايرته لمجموعة معينة من الشروط وأنه قد لا يكون قابلاً للتطبيق خارج هذه الشروط. وقد تبين أن نموذج ثورنثويت يقلل من تقدير التبخر المحتمل في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. إذا تم تطبيق النموذج في ظروف مختلفة عن معايرة ثورنثويت الأصلية (المناطق المعتدلة الرطبة).

■ معادلة بنمان Penman's Equation

E = evaporation in mm/day

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} H + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} Ea$$

حيث:

E = **التبخر باللمم/يوم**

D : **ميل منحنى ضغط البخار المشبع مقابل درجة الحرارة.**

g : **ثابت** = 0.66

H : **صافي التبادل الإشعاعي مقاسًا بما يعادل مليمترات التبخر/ يوم.**

Ea = **التبخر فوق المياه المفتوحة لكل وحدة زمنية (مم/يوم) بافتراض تساوي درجة حرارة السطح ودرجة حرارة الهواء.**

وتفاصيلها كالتالي:

$$\Delta = (0.00815 * Ta + 0.8912)^7$$

Ta : درجة حرارة الهواء (مئوية).

$$H = 7.14 \times 10^{-3} R_A + 5.26 \times 10^{-6} R_A (Ta - 17.8)^{1.87}$$

R_A : هو الاشعاع الشمسي اليومي بوحدات (كالوري/سم/يوم).

$$Ea = (es - ea)^{0.88} (0.42+0.0029 Vp)$$

Vp : هي سرعة الرياح بوحدات كم/يوم على ارتفاع 15 سم فوق السطح.

$$(es-ea) = 33.86 * \{(0.00738Ta + 0.8072)^8 - (0.00738 Td + 0.8072)^8\}$$

هذه المعادلة مستنتجة على أساس أن كل من درجة حرارة الهواء وسطح الماء متماثلة. وهذه الفرضية تكون صحيحة فقط عندما تكون البحيرة ضحلة جدا أو عندما يحدث التبخر من شيء ما مثل حوض البخر.

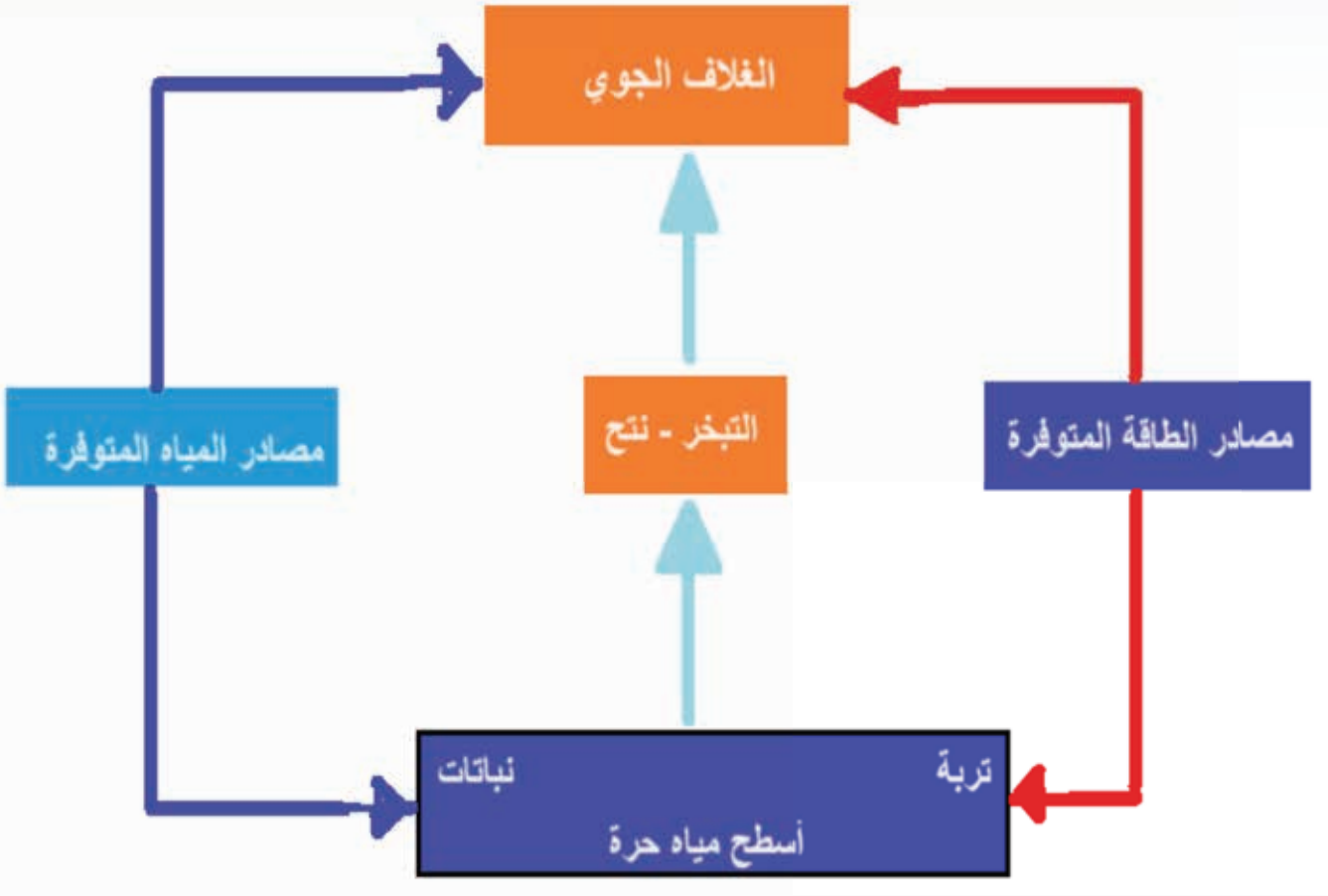
لتطبيق نتائج هذه المعادلة لبحيرة طبيعية فان الأمر يتطلب ضرب قيمة التبخر المحسوب من المعادلة بمعامل الحوض.

التبخـــر والنتـــح Evapo-Transpiration

التبخر : هـو تحـول الميـاه مـن الحالـة السـائلة الـى الحالـة الغازيـة وانتشـاره في الهـواء الجـوي. أي انتقـال المـاء مـن المسـطحات المائيـة والتربـة الـى الهـواء الجـوي. أمـا **النتح** هـي العمليـة التـي مـن خلالهـا تنـزع النباتـات الرطوبـة من التربـة وتطلقها الـى الهـواء علـى هيئـة بخـار مـاء. ثلثـا التسـاقط الـذي يصـل الـى سـطح الأرض يعـود للهـواء الجـوي مـرة أخـرى مـن خـلال العمليـة المشـتركة لـكل مـن البخـر والنتـح والتـي يطلـق عليهـا بخـر – نتـح. وعندمـا تكـون الأرض مغطـاة بالنباتـات يكـون مـن المسـتحيل فصـل التبخـر عـن النتـح، ولذلـك يتـم ربـط العمليتيـن معـا.

التبخر – النتح الأقصى : هـو معـدل التبخـر – نتـح المحـدد أساسـا بالظـروف الجويـة مـن أرض ممتـدة مغطـاة تغطيـة كاملـة بالعشـب القصيـر النشـط النمـو، وهـذه الأرض لا تعانـي نقصًـا في الرطوبـة الأرضيـة. أي أن التبخـر– النتـح الأقصـى يقتـرب مـن تبخـر المـاء الحـر مـن سـطح مائـي مكشـوف مـع افتـراض تشـابه تأثيـر الظـروف الجويـة والعوامـل المناخيـة.

نظـرا لضآلـة كميـة الميـاه التـي تسـتهلك في بنـاء أنسـجة النبـات بالنسـبة لكميـة الميـاه التـي تفقـد في النتـح يتـم عـادة إهمـال كميـة الميـاه اللازمـة لبنـاء أنسـجة النباتـات عنـد دراسـة الاسـتهلاك المائـي. أي يمكـن التعبيـر عـن الاسـتهلاك المائـي للنبـات بكميـة البخـر – نتـح للنبـات.



دورة التبخر والنتح بالغلاف الجوي

■ التبخـر- النتـح من بيانـات الأقمـار الصناعيـة

عندما يتبخر السطح، فإنه يفقد طاقة ويبرد نفسه. هذا التبريد هو ما يمكن ملاحظته من الفضاء. تستطيع الأقمار الصناعية رسم خرائط لحرارة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأرض، مما يتيح تمييز الأسطح الباردة عن الأسطح الدافئة.

التخزيـــــن

توجد ضمن الدورة الهيدرولوجية عدة مناطق يمكن اعتبار المياه مخزنة فيها، أبرزها رطوبة التربة والمياه الجوفية والثلوج والجليد، وبدرجة أقل البحيرات والخزانات. من المغري رؤية المياه المخزنة على أنها ثابتة، ولكن في الواقع هناك حركة كبيرة. يتم شرح استخدام مصطلح التخزين في الشكل الآتي حيث يمكن ملاحظة أن هناك تدفقًا داخليًا وتدفقًا خارجيًا وحركة للمياه بين الاثنين.

ليس من الضروري أن يكون التدفق الداخلي والخارجي متساويين خلال فترة زمنية؛ إذا لم يكن الأمر كذلك، فقد حدث تغيير في التخزين (S). النقطة الحرجة هي أنه يوجد في جميع الأوقات بعض المياه المخزنة، حتى لو لم تكن نفس المياه طوال فترة القياس.

هذا التعريف للمياه المخزنة ليس مثاليا لأنه يمكن أن يشمل الأنهار كمياه مخزنة بالإضافة إلى المياه الجوفية، وما إلى ذلك. وغالبا ما يتم التمييز على أساس معدلات التدفق (أي مدى سرعة تحرك المياه أثناء التخزين).

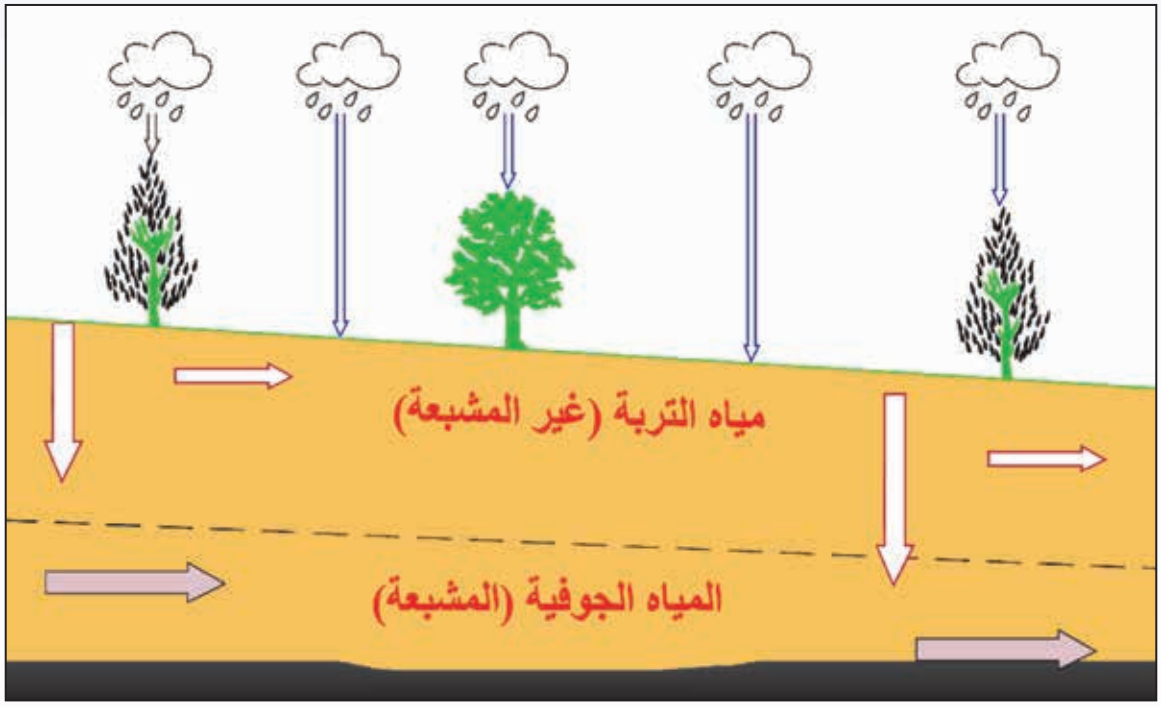
رسم توضيحي لمصطلح التخزين المستخدم في معادلة توازن الماء.

وتتجلى أهمية المياه المخزنة في كونها أكبر كمية من المياه العذبة الموجودة على كوكب الأرض أو حوله. غالبية هذا موجود إما في الثلج والجليد (خاصة القمم الجليدية القطبية) أو في المياه الجوفية. بالنسبة لأجزاء كثيرة من العالم، تعد المياه الجوفية مصدرًا رئيسيًا لمياه الشرب، لذا فإن معرفة الكميات ومعدلات التجديد مهمة لإدارة موارد المياه.

بحكم التعريف، المياه المخزنة بطيئة الحركة لذا فهي عرضة بشكل خاص للتلوث بالملوثات. تحدث العناصر الثلاثة للتحكم في تلوث المياه (التخفيف والتشتت والتدهور) بمعدلات بطيئة في المياه المخزنة، مما يجعل إدارة التلوث مشكلة خاصة. وعندما يتم دمج ذلك مع استخدام هذه المياه لأغراض الشرب، فإن فهم العمليات الهيدرولوجية التي تحدث في المياه المخزنة يكون في غاية الأهمية.

■ المـــاء تـحت ســـطح الأرض

إحدى طرق النظر إلى المياه الموجودة تحت سطح الأرض هي تقسيمها بين المناطق المشبعة وغير المشبعة (انظر الشكل الآتي).



المياه المخزنة تحت سطح الأرض. يتسلل هطول الأمطار عبر المنطقة غير المشبعة نحو المنطقة المشبعة. يمثل الخط المتقطع منسوب المياه الجوفية، على الرغم من أن هذا، كما يشير الرسم البياني، هو في الواقع تحول تدريجي من المياه غير المشبعة إلى المياه المشبعة بالكامل.

يشار إلى المياه في المنطقة المشبعة بالمياه الجوفية وتوجد تحت منسوب المياه الجوفية. ويشار إلى هذا أيضًا باسم الماء في المنطقة الفريزية Phreatic Zone.

يشار إلى المياه الموجودة في المنطقة غير المشبعة بمياه التربة وتوجد فوق منسوب الماء. يشار إلى هذا أحيانًا بالمياه في منطقة الفادوز Vadose Zone.

في الواقع، كل المياه الموجودة تحت السطح هي مياه جوفية، ولكن من المناسب التمييز بين المناطق المشبعة وغير المشبعة والحفاظ على المصطلحات المستخدمة من قبل علماء الهيدرولوجيا الآخرين.

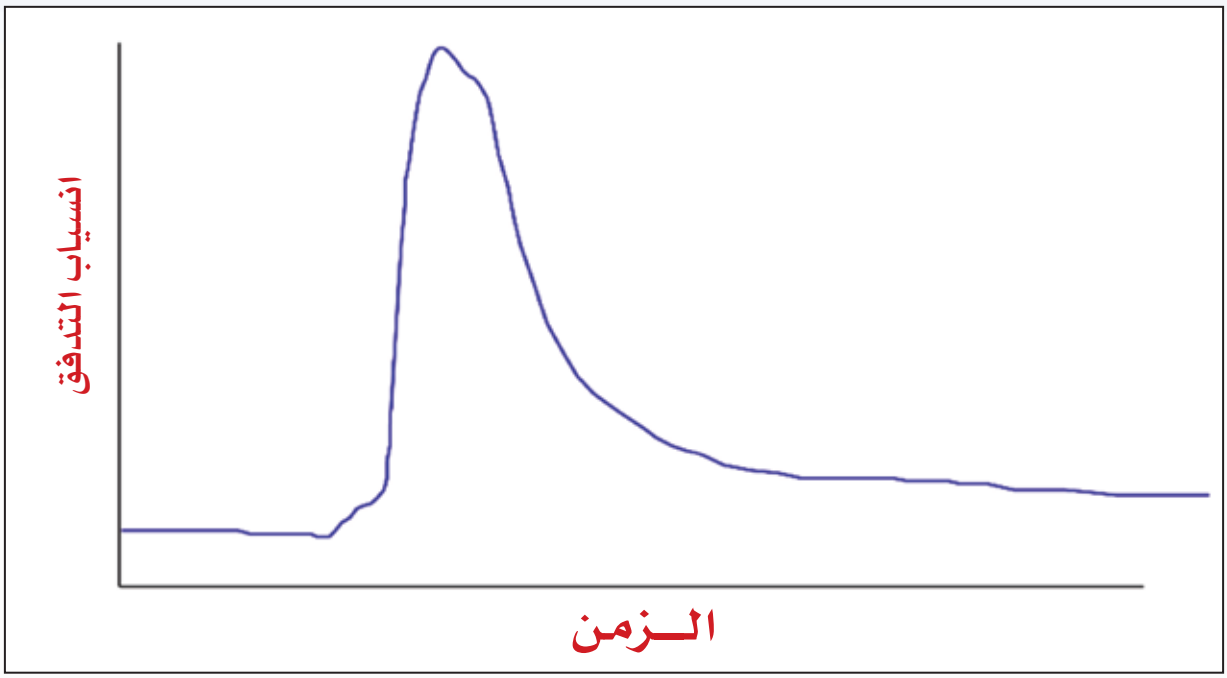
الجريـــان الســـطحي Surface Runoff

هـو مصطلـح فضفـاض يغطـي حركـة الميـاه إلـى مجـرى مائـي بعـد وصولهـا إلـى الأرض علـى شـكل هطـول. يمكـن أن تحـدث الحركـة إمـا علـى السـطح أو تحتـه وبسـرعات مختلفـة. بمجـرد وصـول المـاء إلـى مجـرى مـا، فإنـه يتحـرك نحـو المحيطـات في شـكل قنـاة، يشـار إلـى العمليـة باسـم تدفـق المجـرى أو تدفـق النهـر. يتـم التعبيـر عـن تدفـق المجـرى علـى أنـه تصريـف: حجـم الميـاه خـلال فتـرة زمنيـة محـددة.

وحـدات القيـاس الدوليـة SI للتفريـغ هـي الكوميكـس (Cumecs) m3/s. ويسـمى السـجل المسـتمر لتدفـق المجـرى المائـي بالرسـم **الهيدروغرافي** .علـى الرغـم مـن أننـا نعتبـر هـذا قياسًـا مسـتمرًا، إلا أنـه عـادةً مـا يكـون إمـا تدفقًـا متوسـطًا علـى مـدار فتـرة زمنيـة أو سلسـلة مـن العينـات (مثـل السـجلات لـكل سـاعة).

يتأثـر شـكل الهيدروغـراف، وخاصـة شـكل ذروة تدفـق العاصفـة، بخصائـص العاصفـة (مثـل كثافـة هطـول الأمطـار ومدتهـا) والعديـد مـن الخصائـص الفيزيائيـة لمتجمعـات الميـاه عنـد المنبـع. مـن ناحيـة خصائـص متجمعـات الميـاه، فـإن التأثيـر الأكبـر هـو حجـم متجمعـات الميـاه، ولكـن هنـاك عوامـل أخـرى تشـمل زوايـا المنحـدر، وشـكل متجمعـات الميـاه، ونـوع التربـة، ونـوع الغطـاء النباتـي والنسـبة المئويـة للغطـاء، ودرجـة التحضـر ورطوبـة التربـة السـابقة.

يوضـح الشـكل الآتـي شـكل هيدروغـراف العاصفـة بالتفصيـل. هنـاك العديـد مـن المصطلحـات الهيدرولوجيـة الهامـة التـي يمكـن رؤيتهـا في هـذا المخطـط. الطـرف الصاعـد للرسـم الهيدروغـرافي هـو الجـزء الأولـي شـديد الانحـدار المـؤدي إلـى أعلـى قيمـة أو ذروة التدفـق.



مظاهـــر هيدروغرافيـــة العاصفـــة

المياه المساهمة في هذا الجزء من الرسم الهيدروغراف تأتي من ترسيب القناة (أي المطر الذي يسقط مباشرة على القناة) وآليات الجريان السطحي السريع. تزعم بعض النصوص أن قناة هطول الأمطار تظهر كنقطة أولية قبل الطرف الصاعد الرئيسي. في الواقع، نادرًا ما يتم ملاحظة ذلك، وهو عامل من عوامل الطبيعة المعقدة لعمليات الجريان السطحي للعواصف. يقع طرف الركود في الرسم الهيدروغراف بعد الذروة ويتميز بانخفاض طويل وبطيء في تدفق المجرى حتى يتم الوصول إلى التدفق الأساسي مرة أخرى.

يتم تخفيف طرف الركود بسبب عاملين: وصول مياه الأمطار إلى مصب مستجمع المياه من أبعد الأجزاء، ووصول المياه التي تحركت كتدفق تحت الأرض بمعدل أبطأ من تدفق المجرى المائي. إن كيفية انتقال المياه من هطول الأمطار

إلى سطح الأرض إلى تدفق المجاري المائية هي واحدة من الأسئلة الهيدرولوجية الأكثر إثارة للاهتمام، والتي لا يمكن الإجابة عليها بسهولة.

• خصائص الجريان السطحي

للجريان السطحي تأثيرات مهمة على كل من نقل المواد الأرضية والتعرية، إذ يستطيع الماء السطحي إزاحة الأتربة والأجزاء الصخرية. يستطيع الماء تحريك المواد في حالة ذائبة أو جزيئات معلقة، ويعتمد عدد الجزيئات المنقولة عن طريق الماء السطحي وحجمها على كمية المياه وعمقها ، إضافة إلى سرعة الجريان، فكلما كان جريان النهر أو الجدول سريعا، كانت الجزيئات المحمولة أكبر وعليه تتوافر كميات أكبر للمواد المنقولة لذلك فإن العوامل التي تؤثر في الجريان السطحي، تؤثر أيضا في عمليات تعرية المواد ونقلها وترسيبها. يتوزع الماء الساقط على الأرض بين ما يسمى (Watersheds)، أو مناطق تجميع مياه الأمطار وجريانها نحو نقطة واحدة أو حوض التصريف وهو مساحة من الأرض تسهم في تجميع المياه ودفعها إلى جدول أو نهر معين.

تختلف كمية الجريان السطحي ونتاج الترسيب المحمول عن طريق الجريان السطحي بصورة كبيرة بين أحواض الترسيب والأنهار؛ بسبب اختلاف الخصائص الجيولوجية والطوبوغرافية والمناخية، ووفرة الغطاء النباتي، إضافة إلى استخدامات الأراضي كحوض التصريف المعين، وهي خصائص تتغير مع الزمن

العوامل الجيولوجية: تشمل العوامل الجيولوجية الرئيسة المؤثرة في الجريان السطحي والترسيب كلا من نوع الصخور والتربة، والتركيب المعدني، ودرجة التجوية، والخصائص التركيبية للتربة والصخور، إذ غالباً ما تسمح التربة ذات المحتوى الطيني الكثيف على سطح صخر غضاري وأنواع صخور متكشفة مع قليل من التصدعات، بحركة قليلة للماء إلى الأسفل، وأن تصبح جزءا من الجريان تحت السطحي، حيث يكون الجريان السطحي للماء الساقط

على هذا النوع من المواد سريعا، وينتج عنه عدد من الجداول، وعلى النقيض من ذلك، تمتص التربة ذات المحتوى الرملي على أسطح رملية، وصخور ذات تشقق عال كمية أكبر من الماء الهاطل، وتمتاز بجريان سطحي أقل وجداول أقل.

العوامل الطوبوغرافية: يعود مصطلح (Relief) على الفرق في الارتفاع بين أعلى نقطة وأخفض نقطة لأي منطقة من الأرض، فكلما كان فرق الارتفاع لحوض التصريف أكبر، ازدادت احتمالية وجود أنهار ذات انحدار حاد في الحوض، وانحدار أعلى للأرض، وميلان بالقرب من القناة، إذ تكمن أهمية فرق الارتفاع والانحدار في تأثيرهما في سرعة الماء في النهر، ومعدل ترشيح الماء في التربة والصخور، ومعدل الجريان فوق السطح، وعليه، فإن هذه الخصائص تؤثر في معدل دخول الجريان السطحي وتحت السطحي إلى الأنهار.

العوامل المناخية: تتضمن العوامل المناخية المؤثرة في الجريان السطحي ونقل الرسوبيات كلا من نوع الهطل الحاصل، وكثافته، ومدته نسبة إلى مجموع التغير المناخي السنوي، وكذلك أنواع العواصف المطرية حيث يرتبط تكون كمية كبيرة من الماء والرسوبيات بوجه عام بتوافر عواصف مطرية قليلة التكرار وعالية الشدة، فوق طوبوغرافية غير مستقرة ومنحدرة، تقع تحتها صخور وأتربة ذات قدرة تعرية عالية.

عوامل الغطاء النباتي: يؤثر الغطاء النباتي في الجريان السطحي والانتاج الترسيبي، فهو قادر على التأثير في جريان الأنهار بطرق عدة، هي:

- ❖ قد يقلل الغطاء النباتي من الجريان السطحي بزيادة كمية المطر المحتجز والمزال عن طريق التبخر.

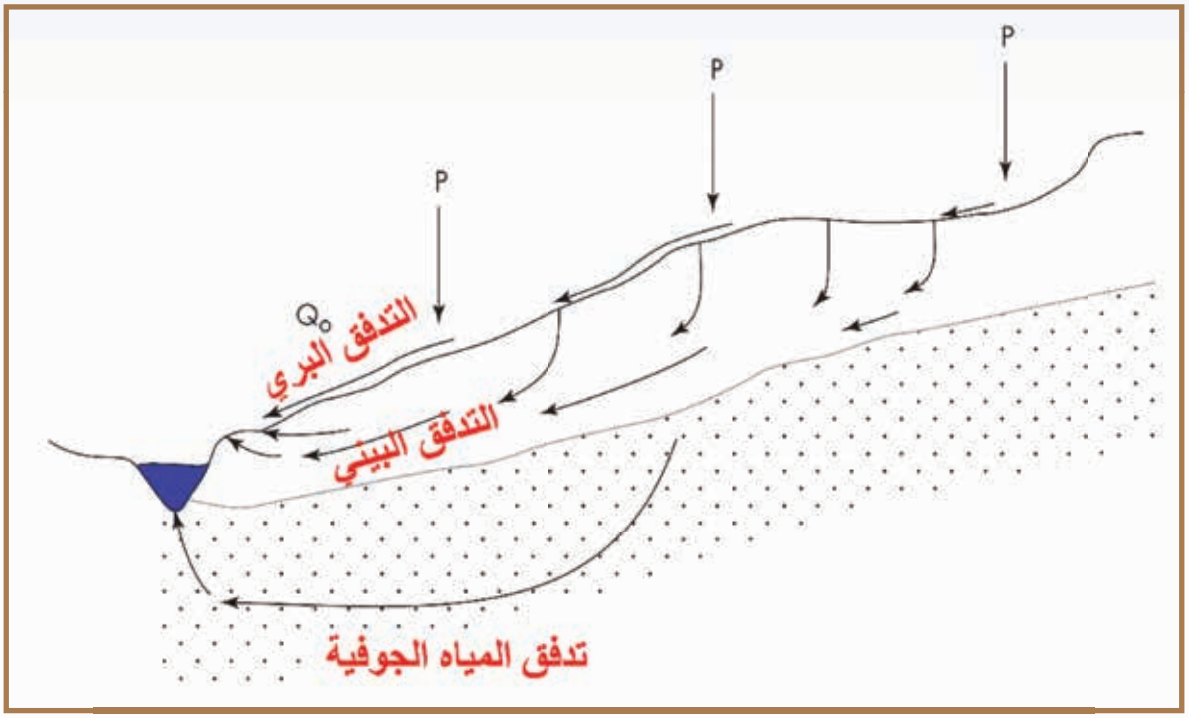
- يؤدي نقصان الغطاء النباتي أو فقدانه بسبب التغير المناخي. والحرائق، واستخدامات الأراضي مثل رعي المواشي، إلى زيادة الجريان السطحي أو إنتاج الرسوبيات أو كليهما، تقلل النباتات المتوافرة على جانبي النهر تعرية التيار العائد لأن جذورها تقيد أجزاء التربة وتثبتها في مكانها.

- في مناطق تجميع وجريان مياه الأمطار نحو نقطة واحدة (أو أحواض التصريف) في الغابات، قد يكون تأثير حطام القطع الشجرية الكبير المكون من الجذوع وقطع الخشب كبيرًا على صورة قناة النهر أو العمليات النهرية.

عوامل استعمالات الأراضي: تُعدّ الزراعة والتنمية الحضرية استخدامات أراض ذات تأثير في الجريان السطحي ، وعادة ما تزيد الزراعة من الجريان السطحي ، حيث تحرث الأرض للمحصول، قد يؤدي التحضر من خلال إنشاء الشوارع، ومواقف السيارات، والمباني السكنية والصناعية إلى زيادة في الجريان السطحي بصورة كبيرة بسبب الكميات الكبيرة للمساحات المعبدة غير المنفذة المغطية لسطح الأرض.

• آليات الجريان السطحي

الشكل الآتي هو محاولة لتمثيل عمليات الجريان السطحي المختلفة التي يمكن ملاحظتها على مقياس منحدر التل. التدفق البري (Q_o) هو الماء الذي يجري عبر سطح الأرض قبل أن يصل إلى المجرى. في باطن السطح، يحدث التدفق البيني (Q_t) في الطبقة تحت السطح الضحلة، في الغالب، وإن لم يكن دائمًا، في المنطقة غير المشبعة.



عمليات الجريان السطحي عند منحدرات التلال.

يقع تدفق المياه الجوفية (Q_G) في المنطقة المشبعة الأعمق. كل هذه هي آليات الجريان السطحي التي تساهم في تدفق التدفق. وتعتمد الأهمية النسبية لكل منها على مستجمع المياه قيد الدراسة وخصائص هطول الأمطار أثناء العاصفة.

■ التـــــدفق البـــــري

بعض الأعمال البحثية المبكرة حول كيفية حدوث التدفق البري Overland Flow أجراها روبرت هورتون (1875–1945). افترض هورتون أن التدفق البري حدث عندما كان معدل هطول الأمطار أعلى من معدل تسرب التربة. ومضى هورتون ليقترح أنه في ظل هذه الظروف، تتجمع الأمطار الزائدة على السطح قبل أن تتجه نحو المجرى كطبقة رقيقة من الماء تتحرك عبر السطح. وبموجب

هذه الفرضية فإن معدل تسرب التربة هو الذي يعمل كحاجز تحكم أو جهاز تقسيم. عندما تكون قدرة التربة على التسلل منخفضة، يحدث التدفق البري بسهولة.

ويشار إلى هذا النوع من التدفق البري على أنه تدفق بري زائد تسلل أو تدفق بري هورتوني على الرغم من أن بيفن (2004) يشير إلى أن هورتون نفسه أشار إليه على أنه زيادة هطول الأمطار Rainfall Excess. كانت أفكار هورتون في غاية الأهمية في مجال الهيدرولوجيا لأنها تمثل أول محاولة جادة لفهم عمليات الجريان السطحي للعواصف التي تؤدي إلى رسم هيدروغرافي للعواصف.

في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، ليس من غير المألوف العثور على معدلات هطول أمطار مرتفعة جدًا (تغذيها العواصف الحملية) والتي يمكن أن تؤدي إلى تسلل التدفق البري الزائد وأحداث الفيضانات السريعة؛ وهذا ما يسمى الفيضانات الخاطفة.

■ التدفق تحت السطح

في إطار مفهوم مناطق المصدر المتغيرة، توجد أماكن داخل مستجمع المياه تساهم في التدفق البري إلى الرسم الهيدروغرافي للعاصفة. عندما نجمع إجمالي كمية المياه الموجودة في هيدروغراف العاصفة، فمن الصعب تصديق أنها جاءت كلها من التدفق البري، خاصة عندما يقتصر ذلك على جزء صغير نسبيًا من متجمعات المياه (أي مفهوم مناطق المصدر المتغيرة).

إن الطريقة التي يخفف بها طرف الركود في الرسم الهيدروغراف تدفق العاصفة تشير إلى أنه قد يكون مشتقًا من حركة أبطأ للمياه: التدفق تحت

السطح. بالإضافة إلى ذلك، وجدت دراسات التتبع التي تبحث في مكان تواجد المياه قبل دخول المجرى أثناء تدفق العواصف أن كمية كبيرة من هيدروغراف العاصفة تتكون من «**مياه قديمة**». بقيت هذه المياه القديمة موجودة في التربة، أو كمياه جوفية مشبعة بالكامل، لفترة طويلة من الوقت، ومع ذلك تدخل إلى المجرى أثناء حدوث عاصفة. لقد تم طرح العديد من النظريات لمحاولة تفسير هذه النتائج، وجميعها تقريبًا تتعلق بالتدفق والمياه الجوفية.

■ التـــدفق البينـــي

هو مصطلح عام يستخدم لوصف حركة المياه عبر المنطقة غير المشبعة؛ عادة هذه هي مصفوفة التربة. بمجرد أن يتسلل الماء إلى سطح التربة فإنه يستمر في التحرك، إما من خلال مصفوفة التربة أو على طول مسارات التدفق التفضيلية (يشار إليها بالتدفق الجانبي أو التفضيلي).

يتم وصف معدل حركة مياه التربة من خلال مصفوفة التربة المشبعة بواسطة قانون دارسي وتقريب ريتشاردز لقانون دارسي عندما تكون أقل من التشبع. في ظل ظروف التسلل العادية والرأسية، يكون التدرج الهيدروليكي بقيمة 1- وتكون الموصلية الهيدروليكية المشبعة هي قدرة التسلل.

بمجرد تشبع التربة، لا تكون حركة الماء عمودية فقط. مع وجود منسوب مائي مائل على منحدر التل، يتحرك الماء إلى أسفل المنحدر. ومع ذلك، فإن حركة المياه من خلال مصفوفة التربة المشبعة ليست سريعة، على سبيل المثال. وقد أبلغ كيليهر وسكوتر (1992) عن قيمة قساة قدرها 13 ملم/ساعة للطفال الرملي الناعم. لكي يساهم التدفق في جريان مياه الأمطار، يجب أن تكون هناك آلية أخرى تعمل (بخلاف تدفق المصفوفة).

جريـــان الســـيول Torrent Flow

المياه السطحية من أهم أجزاء الدورة المائية، وهي المياه الجارية فوق سطح التربة والتي عادة ما تعرف بالسيول. ومن أهم خصائص السيول حجم السيل الكلي، معدل تدفق السيل، قيمة ذروة السيل, وقت الوصول لذروة السيل سرعة السيل، يبدأ الجريان السطحي عادة في الطبيعة في القنوات والمجاري الصغيرة في المناطق المرتفعة، ثم تتجمع لتشكل قنوات أكبر لتنتهي في الأودية التي تحمل المياه لتصب في البحار أو لتختفي في باطن الأرض.

وهـو على قســمين:

• الجريان فوق السطحي (Overland Flow)

عبارة عن جريان المياه في المناطق الجبلية التي عادة ما تكون ذات ميل كبير نسبياً. ويتميز بأنه جريان ذو طبقة رقيقة لا تتعدى سنتيمترات قليلة، سرعة هذا الجريان عالية نسبيًا، وليس له حدود واضحة يمكن قياسها بسهولة.

• الجريان في القنوات المفتوحة (Open Channel Flow)

ويحدث نتيجة لتجمع المياه فوق السطحية في الأودية، يكون هذا الجريان على أسطح ملساء ذات ميل صغير. سرعة هذا الجريان بطيئة مما يؤدي إلى إعطاء فرصة أكبر لتجمع المياه، عمق هذا الجريان كبير.يسهل تحديد أبعاده.

وصف هورتون الجريان فوق السطح « بأنه إذا أهملنا كمية الماء المأخوذ بواسطة النبات من المطر فإن الجريان السطحي هو ذلك الجزء من المطر الذي لم يمتص بواسطة التربة عن طريق الرشح، وتكون كمية الجريان السطحي

عبارة عن الفرق بين معدل المطر ومعدل رشح التربة»، هذا النوع من الجريان أكثر شيوعا في المناطق الجافة وشبه الجافة

ومن هذا الوصف يمكن كتابة معادلة هورتون كالتالي:

$$R = i - f$$

حيث:

R = الماء فوق سطحي

i = معدل المطر

f = معدل الرشح في التربة

• طرق قياس السيول

❖ القياس غير المستمر لارتفاع السيل

ويتم بطريقة تثبيت مسطرة طويلة في قاع الوادي، وتكون مقسمة إلى سنتيمترات وأمتار واضحة للقارئ من مسافة بعيدة عند حدوث السيول.

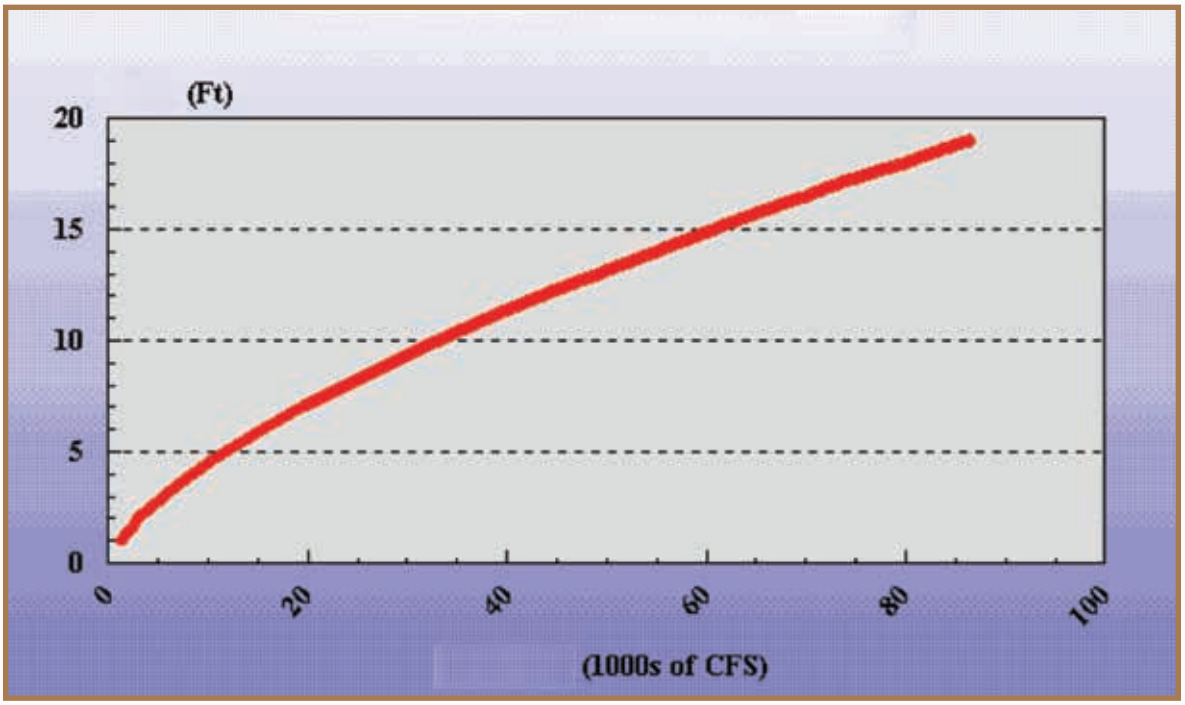
مقياس مدرج لارتفاع الماء في القناة النهرية

❖ القياس المستمر لارتفاع السيل

يستخدم جهاز وهو عبارة عن بكرة مرتبطة بسلك مثبت أسفله بعوامة ترتفع عند مرور السيل وارتفاع الماء، وتكون هذه البكرة موصلة بقلم يرسم على ورقة مثبته على قرص دائري يدور تبعاً لساعة مركبة في تروس هذا القرص المعدني، وبذلك يتم قياس السيل بشكل مستمر حتى يتسنى للمستخدم معرفة تدرج ارتفاع وانخفاض السيل في الفترة الزمنية المطلوبة.

❖ منحنى التقدير (Rating Curve)

عبارة عن العلاقة بين ارتفاع الماء في مقطع معين في الوادي ومعدل تصريف السيل في ذلك المقطع. إذا تم قياس التصريف في نهر أو جدول، وحُسب ارتفاع منسوب سطح الماء فيها، يمكن الحصول على بيانات يستنتج منها علاقة تربط بين عمق الماء وتصريف المجرى، والتي تظهر على هيئة منحنى يعرف بمنحنى التقدير، مما يسمح بعد ذلك باستخدام المنحنى لتقدير التصريف مباشرة.



منحنى التقدير Rating curve

❖ قياس التصرف المائي (Discharge)

يعرف التصرف المائي (Q) بأنه حجم التدفق للماء المار في مقطع عرضي مساحته A في مدة زمنية معلومة.

$$Q = A\ V$$

أو

$$Q = W H V$$

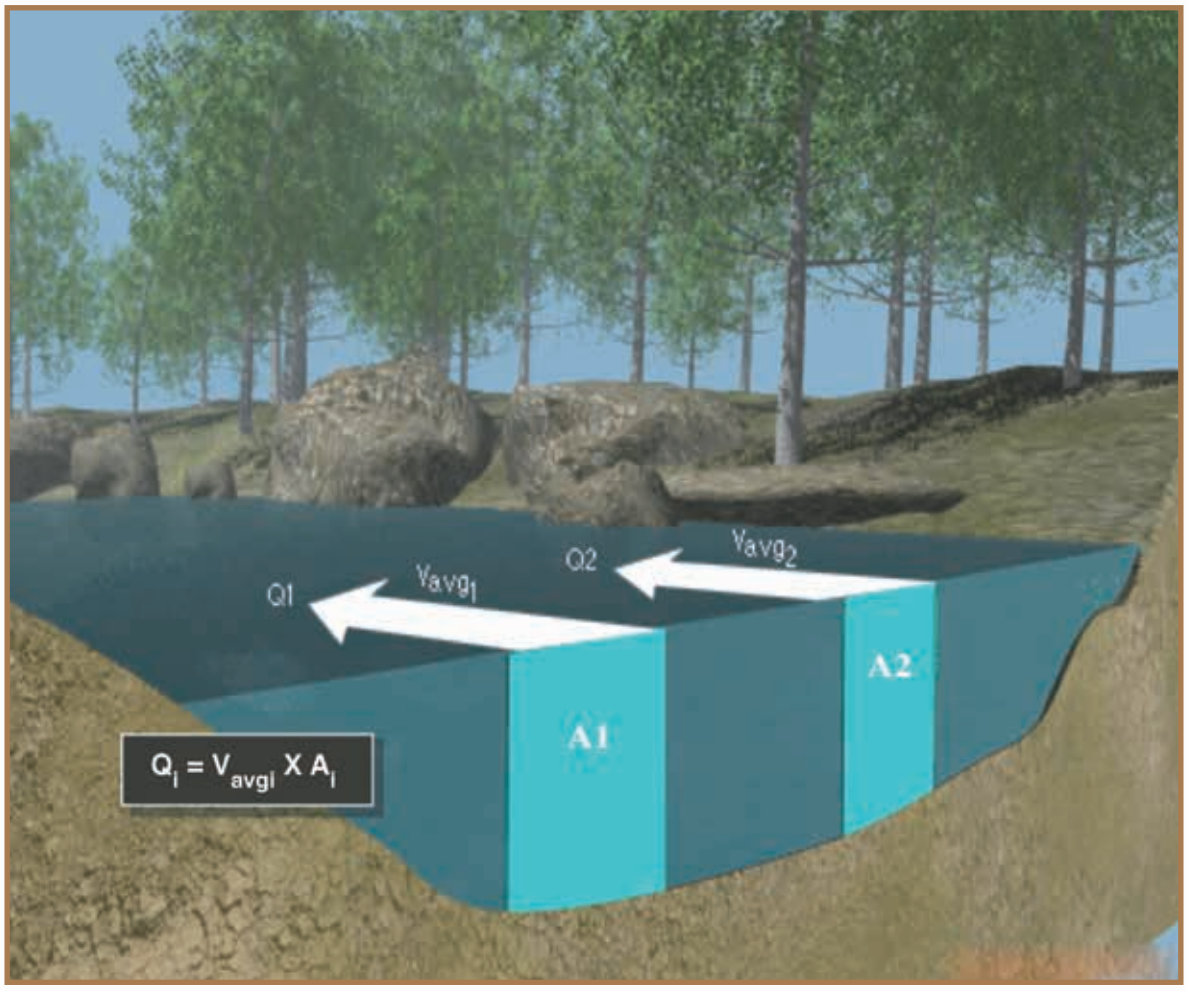
حيث:

Q = معدل التصرف المائي م3/ ثانية

W = عرض المقطع (م)

V = سرعة جريان الماء

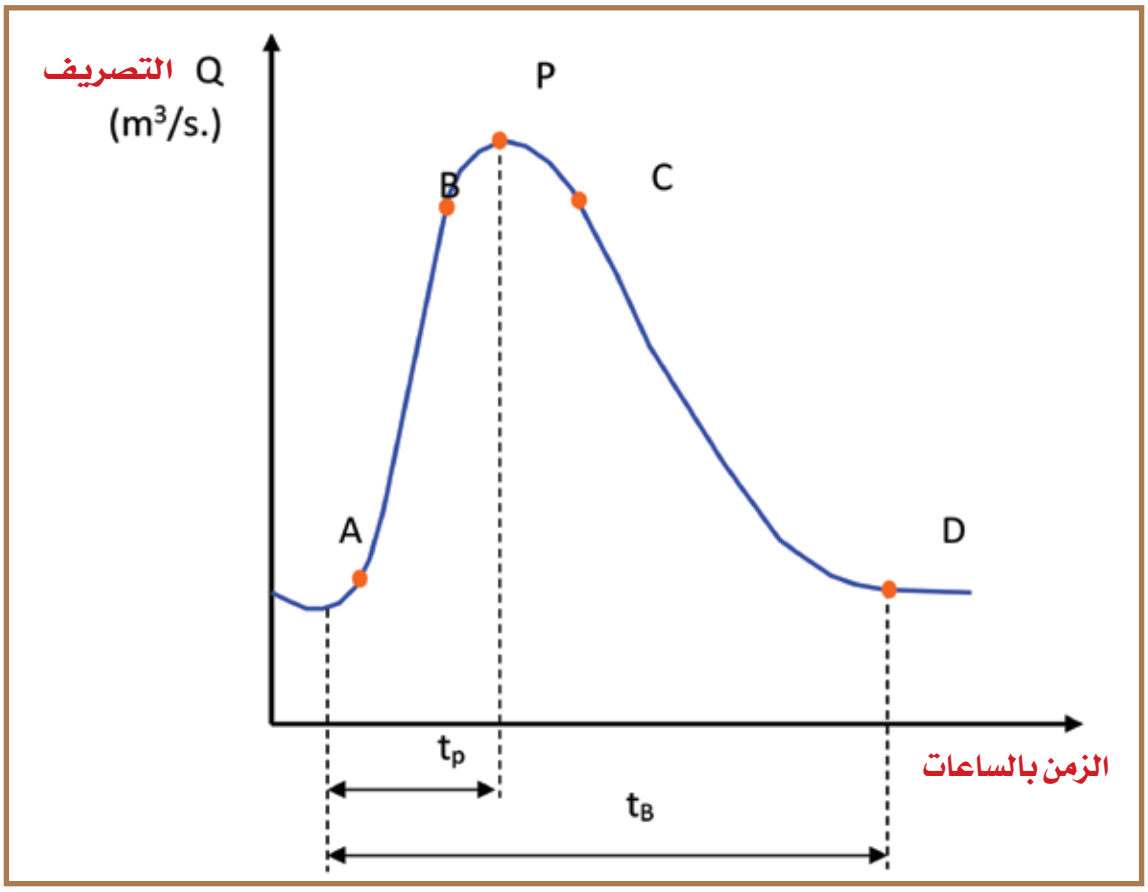
H = ارتفاع الماء



مقطع عرض لمجرى مائي قسم إلى أجزاء معروفة المساحة وسرعة جريان الماء

الهيـدروغــراف Hydrograph

يمثل الهيدروغراف : العلاقة بين معدل التصريف مع الزمن.



المخطـــط المائـــي (الهيـدروغـــراف)

هـو رسـم بيانـي يعـرض التغيـرات مـع الزمـن لبعـض المعطيـات الهيدرولوجيـة مثـل المناسـيب والتصاريـف والسـرعة، و...)، وغالبـا مـا تسـتخدم مـن أجـل المناسـيب والتصريـف، وهـو يعـد أحـد أكثـر المفاهيـم الهيدرولوجيـة اسـتخداما وفائـدة في إدارة العواصـف المطريـة، يمكـن دراسـته لمـدة زمنيـة تتـراوح بـين عـدة سـاعات وقـد تصـل إلـى عـام.

إن الهيدروغراف يمثل حالات الجريان السطحي بأشكاله الثلاثة:

- **الجريان السطحي. Surface Runoff.**
- **الجريان البيني Inter Flow.**
- **الجريان القاعدي Base Flow .**

• أجـــزاء الهيدروغـــراف

- **منحنى القاعدة:** وهو ما يكون عليه المنحنى قبل العاصفة المطرية، ويعتمد المجرى في هذه الحالة على المياه الجوفية فقط.
- **الطرف الصاعد:** AB (Rising Limb) وهو الزيادة في التصريف بسبب الزيادة التدريجية في التخزين في القنوات، ومع استمرار العاصفة المطرية، بانتظام فإن التصريف يزداد مع مرور الوقت بانتظام التساقط.
- **قطعة الحافة أو القمة:** Crest Segment BC وهي إحدى الأجزاء المهمة لأنها تحتوي على ذروة الجريان.
- **الـــــذروة:** Peak وهي النقطة الواقعة بين طرفي الانقلاب B و C.
- **الطرف الهابط (منحنى الانحسار):** CD (Recession Limb) ويمتد من نقطة الانقلاب في نهاية قطعة الحافة حتى بدء الماء الأرضي بالجريان، ويمثل عملية سحب الماء الذي تم خزنه في المرحلة الأولى من الهيدورغراف، أي انه يبدأ من لحظة توقف التساقط حتى لحظة توقف الجريان السطحي من الوصول إلى المجرى المائي. إن نقطة البداية في منحنى الانحسار تمثل حالة التخزين الأعظم، وإن نفاد التخزين يبدأ بعد انتهاء العاصفة المطرية،

لذلك فإن شكل منحنى الهيدروغراف لا يتعلق بخصائص العاصفة المطرية بل يتعلق بخصائص الحوض.

- **منحنى القاعدة (منحنى التجفيف):** ويمتد من لحظة انعدام الجريان السطحي حتى لحظة تساقط عاصفة مطرية جديدة، ويتغذى المجرى في هذه الحالة من المياه الجوفية فقط، مما يسبب تجفيفا لصخور الطبقة الحاملة للمياه، لهذا سمي بمنحنى التجفيف.

- **وقت الذروة:** الوقت الفاصل من نقطة البداية حتى النهاية. وقت الذروة t_p (Peak Time) : الوقت من النقطة A حتى نقطة P

- زمن القاعدة t_B (Base Time)

كذلك يتضمن التأثيرات الكاملة للاختلافات الكبيرة بين خصائص الحوض وخصائص العاصفة المطرية، لذلك فإن عاصفتين مطريتين تسقطان على حوضٍ واحد لهما هيدروغراف يختلف فيها الواحد عن الآخر، وبالمثل فإن العواصف المتشابهة تنتج لنا هيدروغرافاً الواحد فيها مختلف عن الآخر.

العوامل المؤثرة على شكل الهيدروغراف

- **شكل الحوض:** يؤثر الشكل في الوقت الذي يستغرقه الماء حتى يصل من الأجزاء البعيدة من الجالبية إلى مخرجها، وبناءً عليه فإن نقطة الذروة وشكل الهيدروغراف يتأثر بصورة مباشرة بشكل الحوض.

- **حجم الحوض:** إن الأحواض الصغيرة تتصرف على نحوٍ مختلف عن الأحواض الكبيرة وخاصةً بالنسبة إلى طبيعة وأهمية الحالات المختلفة للسيح، وفي الجوابي الصغيرة فإن حالة الجريان و الشدة المطرية تلعبان

دوراً مهماً في تحديد ذروة الفيضان في مثل هذه الجوابي. أما في الكبيرة منها فإن هذه التأثيرات تكون مخفية ويكون نوع الجريان السائد ه الجريان في القناة.

- **الميـــــل:** إن ميل المجرى المائي الرئيسي يعد أحد الأمور المؤثرة على سرعة الجريان في القناة ، وحيث أن منحني الإنحسار في الهيدروغراف يمثل نزف الخزين (Depletion of Storage) من الجابية فإن من العوامل التي لها تأثير واضح على ذلك ميل القناة للمجري المائي، حيث كلما كان الميل كبيراً فإن نزف الخزين يكون سريعاً وميل منحني الإنحسار يصبح شديداً وكنتيجة لذلك يكون وقت القاعدة للهيدروغراف صغيراً.

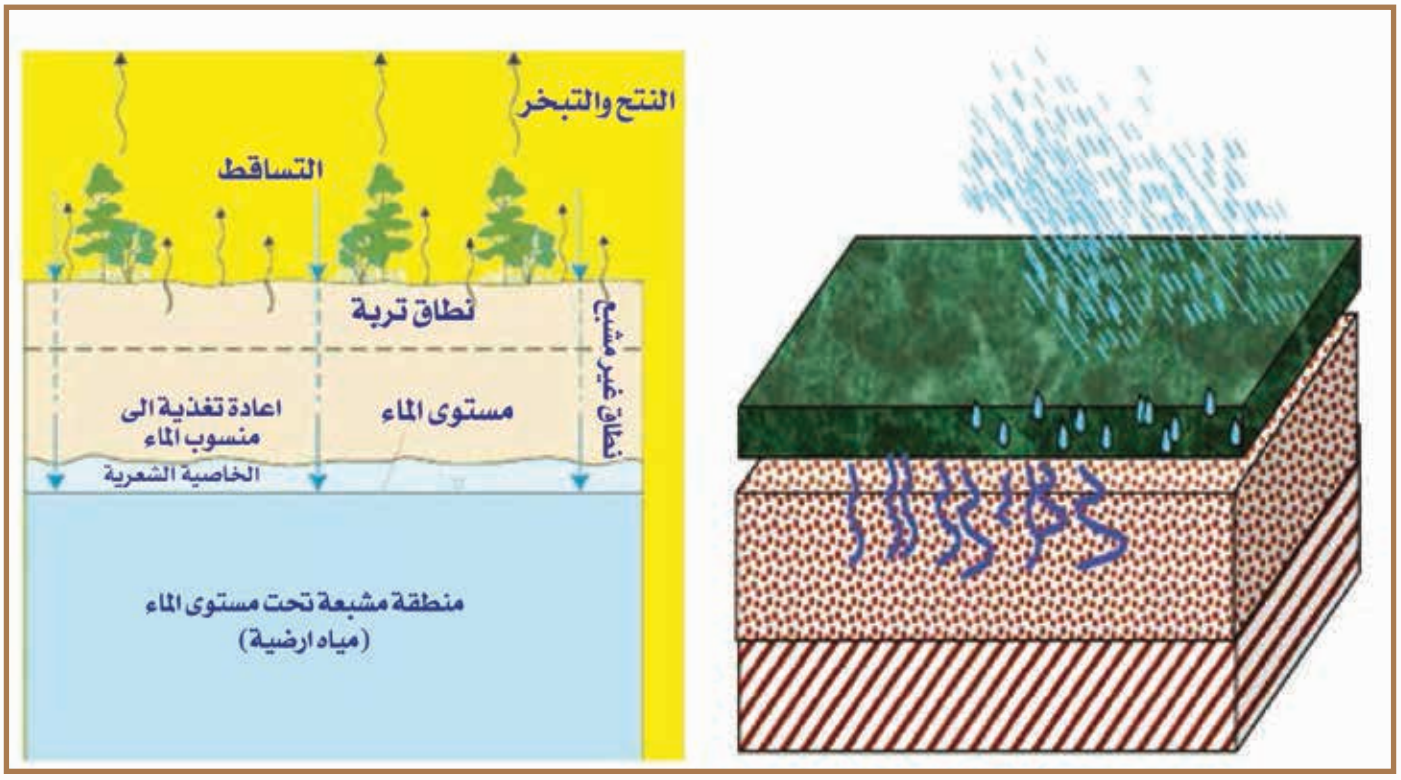
- **كثافـــة البـــزل:** هي النسبة بين مجموع أطوال القنوات الموجودة بالجابية إلى المساحة الكلية للجابية ، وكلما كانت كثافة البزل عالية فإن ذروة التصريف تكون عالية وفي حالة كون كثافة البزل قليلة فإن الجريان فوق سطح الأرض هو السائد والهيدروغراف الناتج له ذروة تصريف واطئة وطرف صاعد بطيء، كما إن قطعة الحافة تكون عريضة نسبياً.

- **طبيعة الوديان.**

- **الارتفـــــاع.**

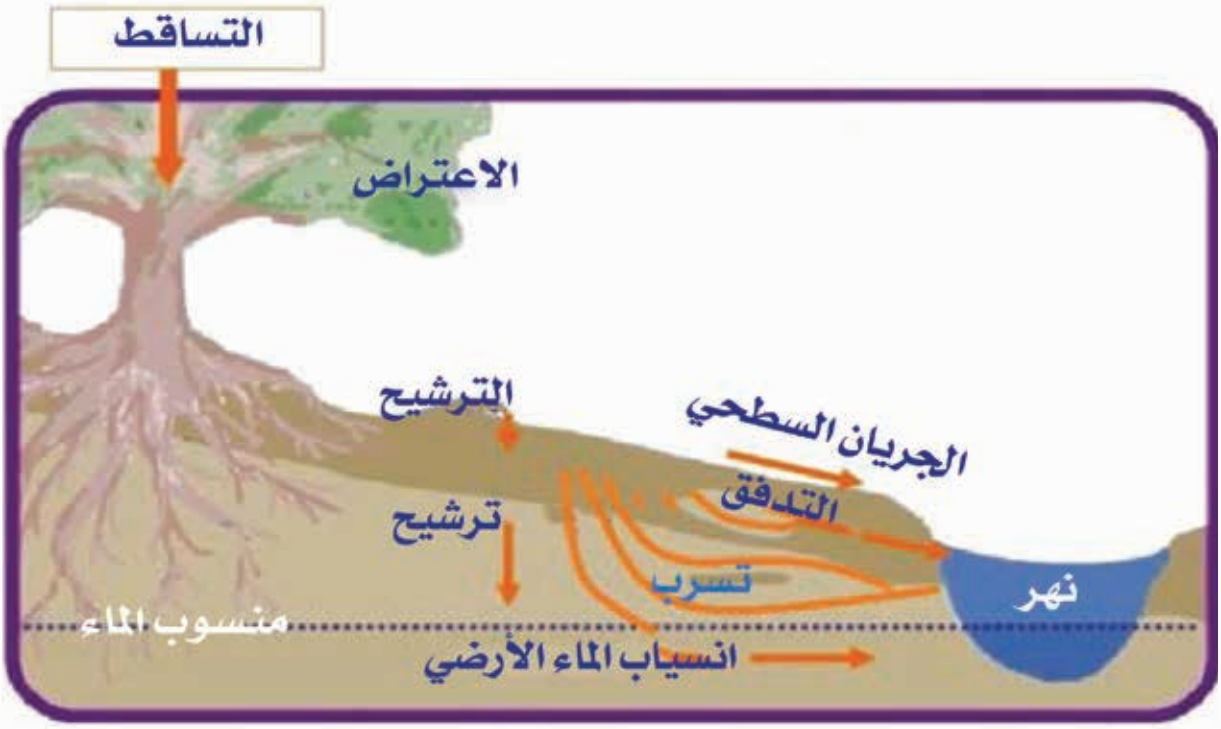
التـــــرشـــــيح Infiltration

هـي عمليـة دخـول الميـاه مـن سـطح الأرض إلـى باطنهـا، وهـو يحـدث عنـد سـقوط المطـر وقبـل وأثنـاء حـدوث السـيل . ويرتبـط بـه مصطلـح آخـر هـو التخلـل Percolation وهـو حركـة الميـاه المرشـحة رأسـياً إلـى منسـوب الخـزان الجـوفي.



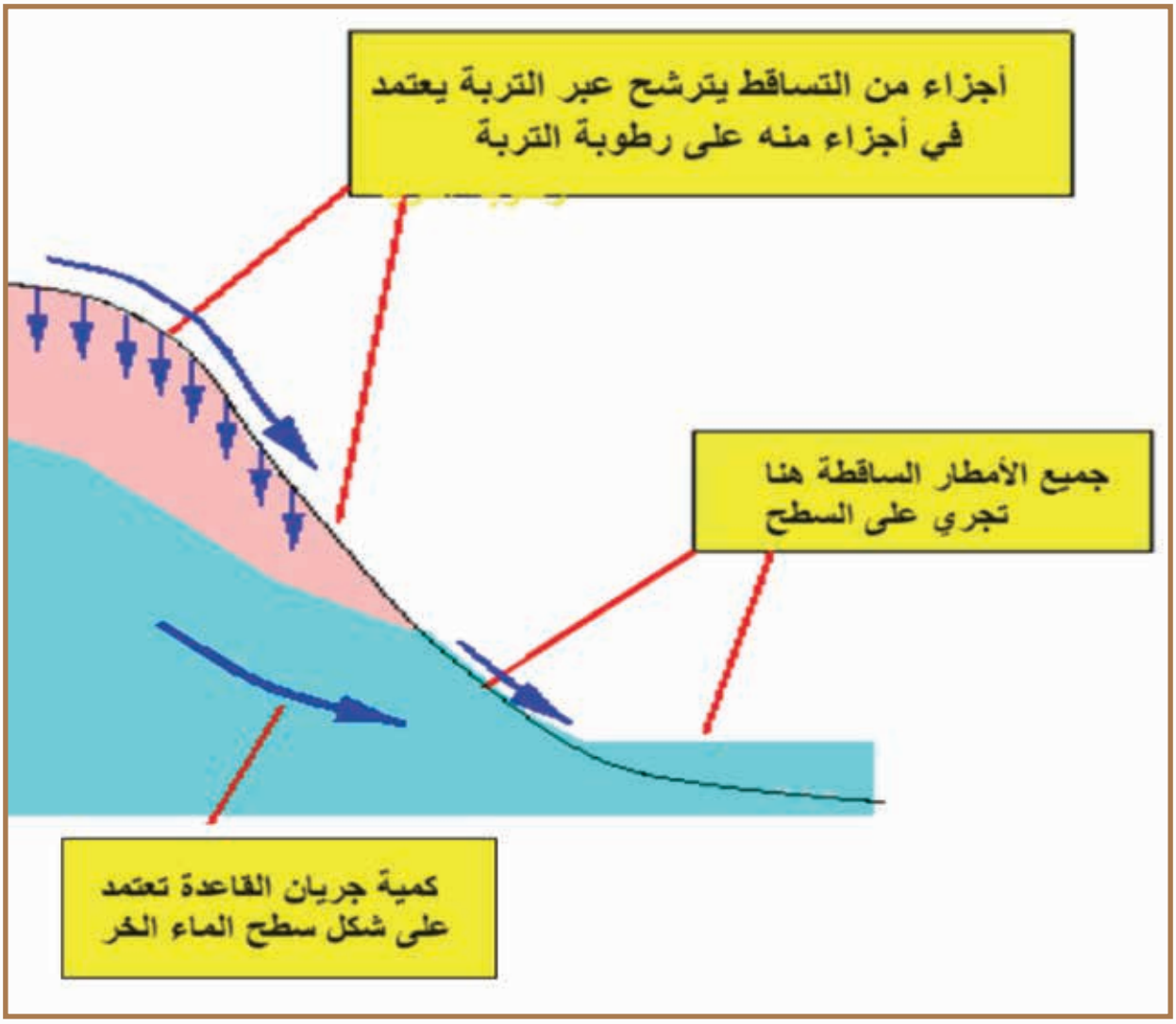
الرشـح

التخـلل



وتأتي أهمية الرشح في أنه المصدر الدائم والمتجدد لتغذية الخزانات الجوفية، من مياه الأمطار والسيول حيث يترشح الماء إلى أسفل عبر الطبقات المنفذة.

وهناك ما يعرف بالجريان الداخلي Interflow، الذي هو عبارة عن حركة المياه المرشحة أفقياً أو جانبياً إلى المجاري المائية سواء كانت أنهارًا أو بحيرات.



الجريان الداخلي

العوامل المؤثرة في الترشيح

يعتمد الترشيح على العديد من العوامل أهمها:

حالة سطح الأرض قبل حدوث الرشح

- **محتواها من الرطوبة:** كلما زادت الرطوبة الموجودة في التربة قل معدل الرشح نظراً لقلة قوة الشد.
- **الهواء المحبوس:** يعمل الهواء المحبوس في التربة - عندما تكون أفقيه، وعند انتظام معدل الرشح - على اعاقة نفاذ المياه، ومن ثم تقليل معدل الرشح.
- **ميل سطح الأرض:** كلما زاد الميل قل معدل الرشح.
- **كمية المواد الدقيقة على سطحها:** تنتفخ الـ Colliods الموجودة على سطح التربة، وتعمل على تقليل الرشح. ومن ناحية أخرى تتحرك المواد الدقيقة لملء الفراغات البينية ومن ثم تقلل الرشح.
- **الغطاء النباتي لسطح الأرض:** يؤثر نوع النبات وكثافته تأثيرا كبيرا على معدل الرشح، نظرا لتخلل جذور النبات أو الأشجار التربة، وعمل فراغات فيها. كما أنها من ناحية أخرى تهدئ من سرعة المياه ومن ثم تزيد الرشح. وقد يؤدى نمو النباتات إلى وجود الحشرات والحيوانات التي تتخذ مأوى في الأرض مما يزيد من معدل الرشح.

الخواص الطبيعية للتربة

تؤثر الخواص الطبيعية للتربة مثل: حجم الجزيئات وحجم الفراغات وترتيب الجزيئات... الخ على مسامية التربة، والتركيب الداخلي للتربة Microstructure، فكلما زاد حجم الفراغات مثل الرمل زاد معدل الرشح، وكلما كان نسيج التربة دقيقًا مثل الطمي (Fine Texture) كلما قل معدل الرشح.

درجة حرارة المياه

بزيادة درجة الحرارة، تقل اللزوجة، ومن ثم سرعة نفاذ المياه إلى داخل التربة، أي زيادة معدل الرشح.

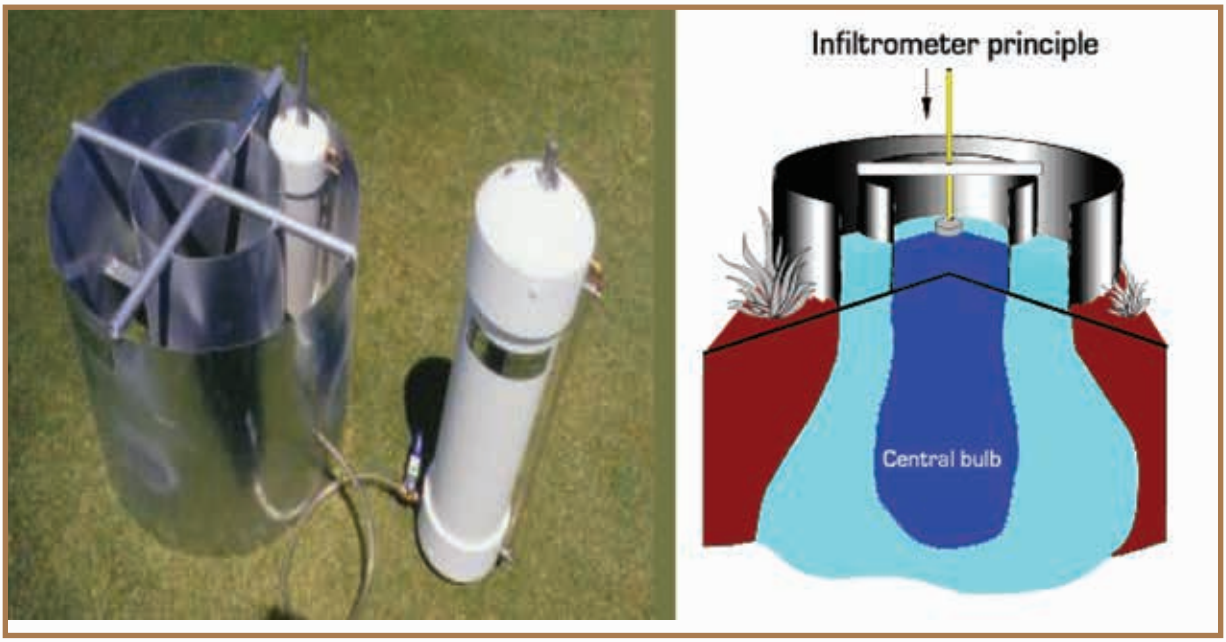
النشاط البشري

- **تؤدي معظم الأنشطة الإنسانية إلى تقليل معدل الرشح:**

- فالعمران يؤدي إلى خلق مساحات غير منفذة (مثل : الطرق، والمباني السكنية) .
- كما يؤدي الرعي إلى تقليل الرشح بسبب تقليل الحشائش التي تعمل على زيادة الرشح بالإضافة إلى مخلفاتها التي تعمل على تقليل معدل الرشح.
- ومن ناحية أخرى تعمل الأنشطة الزراعية مثل حرث الأرض، وتسويتها على زيادة الرشح.

• قياس الترشيح

من أشهر أجهزة قياس الرشح لامائي عبر التربة ما يعرف بالراشح الحلقي المزدوج.



المرشح الحلقي المزدوج Double Rings Infiltrometers

من المصطلحات المهمة في الرشح المائي:

❖ **معدل الرشح** Infiltration Rate

هو عبارة عن عمق الماء المتسرب من سطح التربة خلال وحدة زمنية، وهو يعبر عن سرعة مرور الماء في التربة. ويقل معدل الرشح مع الزمن، ووحدته مم/ ساعة أو بوصة/ ساعة.

❖ الرشـــح التراكمـي Cumulative infiltration

هـو عبـارة عـن عمـق المـاء التراكمـي للمـاء المتسـرب مـن سـطح التربـة خـلال وحـدة زمنيـة، ووحدتـه مم أو بوصـة.

❖ سـعة الرشـــح Infiltration Capacity

هي أقصي معدل لمرور المياه داخل التربة في ظروف معينه. ووحدته مم/ ساعة أو بوصة/ ساعة.

التفاعل بين المياه السطحية والجوفية

ترتبط أنظمة المياه الجوفية والمياه السطحية (GW-SW) ببعضها البعض ، والتفاعلات بينهما ديناميكية مكانية وزمانية وتتميز بقدر كبير من عدم اليقين.

تتفاعل المياه السطحية (بما في ذلك الأنهار والبحيرات والخزانات والأراضي الرطبة ومصبات الأنهار وما إلى ذلك) مع المياه الجوفية في كل مكان تقريبًا على الأرض. ويحدث هذا التفاعل من خلال فقدان المياه السطحية إلى المياه الجوفية، أو تسرب المياه الجوفية إلى المسطحات المائية السطحية، أو مزيج من الاثنين معا. وعادة ما يكون لتنمية أو تلوث المياه السطحية أو موارد المياه الجوفية تأثير على كل منهما (وينتر وآخرون، 1998). ولذلك فإن الفهم الأساسي للتفاعلات بين المياه السطحية والمياه الجوفية أمر بالغ الأهمية لتحسين الإدارة وصنع السياسات السليمة المتعلقة بمشاكل موارد المياه.

لقد أصبح من الصعب في السنوات الأخيرة إنشاء خزانات لتخزين المياه السطحية بسبب المخاوف البيئية وبسبب صعوبة تحديد المواقع المناسبة. والبديل، الذي يمكن أن يقلل أو يلغي ضرورة التخزين السطحي، هو استخدام نظام طبقة المياه الجوفية للتخزين المؤقت للمياه. على سبيل المثال، يمكن سحب المياه المخزنة تحت الأرض خلال أوقات التدفق العالي خلال أوقات التدفق المنخفض. وتؤثر خصائص ومدى تفاعلات المياه الجوفية والمياه السطحية على نجاح مثل هذه المشاريع ذات الاستخدام المشترك.

ومن المفترض عمومًا أن المياه الجوفية آمنة للاستهلاك دون معالجة. وقد أدت المخاوف بشأن جودة المياه الجوفية من الآبار القريبة من مجاري المياه، حيث قد تكون المياه السطحية الملوثة جزءًا من مصدر المياه إلى البئر، إلى زيادة الاهتمام بتحديد متى تكون هناك حاجة إلى ترشيح أو معالجة المياه الجوفية

يمكن أن يكون لخلط المياه الجوفية مع المياه السطحية تأثيرات كبيرة على البيئات المائية إذا تغيرت عوامل مثل الحموضة ودرجة الحرارة والأكسجين المذاب. وبالتالي، فإن التغيرات في التفاعل الطبيعي للمياه الجوفية والمياه السطحية الناجمة عن الأنشطة البشرية يمكن أن يكون لها تأثير كبير على البيئات المائية.

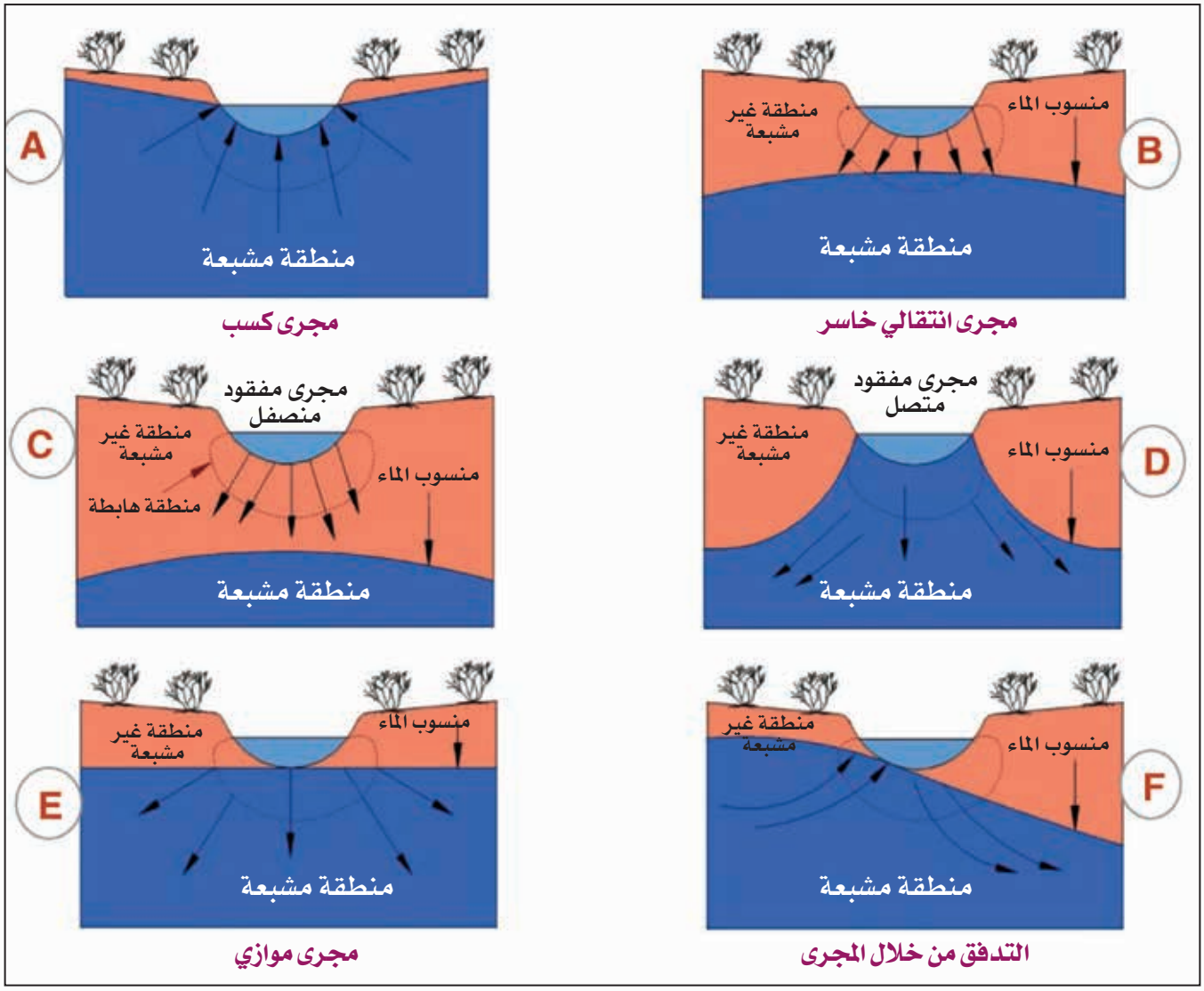
لا يمكن التعامل مع كيمياء المياه الجوفية وكيمياء المياه السطحية بشكل منفصل حيث تتفاعل أنظمة التدفق السطحية وتحت السطحية. توفر حركة المياه بين المياه الجوفية والمياه السطحية مسارًا رئيسيًا لنقل المواد الكيميائية بين الأنظمة الأرضية والمائية. يؤثر نقل المواد الكيميائية هذا على إمداد الكربون والأكسجين والمواد المغذية مثل النيتروجين والفوسفور والمكونات الكيميائية الأخرى التي تعزز العمليات البيوجيوكيميائية على جانبي الواجهة. يمكن أن يؤثر هذا النقل في النهاية على الخصائص البيولوجية والكيميائية للأنظمة المائية في اتجاه مجرى النهر.

تعد معرفة تفاعلات المياه الجوفية والمياه السطحية أمرًا ضروريًا لمعالجة قضايا موارد المياه التالية (Winter et al.، 1998):

- الاستخدام المتزامن لموارد المياه الجوفية والمياه السطحية.
- قضايا حقوق المياه، وخاصة فيما يتعلق بتدفقات المياه الجوفية من وإلى المسطحات المائية السطحية، والتي يمكن أن تكون صعبة ومثيرة للجدل.
- تقييم وتقليل الفاقد والتأخير في المياه المنطلقة من خزانات المياه السطحية.
- تقييم وتخفيف آثار الفيضانات على طول وديان الأنهار.
- تقييم ومراقبة تلوث المياه السطحية الناتج عن المياه الجوفية والعكس.

- دمج تدفقات المياه الجوفية في تخطيط وإدارة متجمعات المياه.
- تقييم تأثيرات المناطق المشاطئة على جودة مياه النهر.
- تتحكم تفاعلات المياه الجوفية والمياه السطحية في الحياة المائية وأي تغييرات في حجم واتجاه هذه التفاعلات قد تؤدي إلى تغييرات.
- دعم الموائل الديناميكية عند واجهة الحيوانات المائية وإعالتها مما يحافظ على البيئة المتنوعة ويشير إلى حالة جودة المياه المائية.
- الحفاظ على الأراضي الرطبة وإنشاء أراضي رطبة جديدة لأغراض الحفاظ عليها .

يعتمد تصنيف أنظمة طبقات المياه الجوفية السطحية على درجة التفاعل بينها، مع تحديد ستة أنواع مختلفة. يحدث التيار المكتسب (الشكل 1 أ) عندما تتسرب المياه الجوفية إلى المجرى، بينما بالنسبة للتيار الخاسر (الشكل 1ج، د)، تتسرب المياه من المجرى إلى طبقة المياه الجوفية. ومن ناحية أخرى، فإن التيارات الخاسرة في المرحلة الانتقالية (الشكل 1ب) تشهد كلا النوعين من التفاعلات. تحتوي الجداول المنفصلة هيدروليكيًا على منطقة سميكة غير مشبعة بين التيار والمياه الجوفية، بينما تحتوي الجداول المتصلة المفقودة والمتوازية (الشكل 1 هـ) على منسوب المياه الجوفية عند أو أسفل قاع النهر. التدفق عبر الجداول (الشكل 1f) له مستويات مختلفة من المياه الجوفية على جانبي قاع النهر.



سيناريوهات مختلفة للتفاعل بين مياه النهر والمياه الجوفية، (A) مجرى كسب، (B) المجرى الانتقالي الخاسر، (C) المجرى المفقود المنفصل، (D) المجرى المتصل بالخسارة، (E) التيار الموازي، (F) التدفق من خلال مجرى تيار. الأسهم تشير إلى اتجاهات تدفق السوائل.

• تغذية المياه السطحية من المياه الجوفية الغير محصورة

أحد أكثر أشكال المياه الجوفية شيوعًا يأتي من طبقات المياه الجوفية الضحلة غير المحصورة. وتشكل هذه الطبقات الجوفية مصادر رئيسية لمياه الشرب والري. كما أنها تتفاعل بشكل وثيق مع الجداول، وأحيانًا تتدفق (تفرغ) المياه إلى مجرى أو بحيرة، وفي بعض الأحيان تتلقى المياه من الجدول أو البحيرة. كسب تيارات. توفر طبقة المياه الجوفية غير المحصورة التي تغذي الجداول التدفق الأساسي للتيار. وهذا ما يسمى **تيار الكسب**. في الواقع، يمكن أن تكون المياه الجوفية مسؤولة عن الحفاظ على التوازن الهيدرولوجي للجداول السطحية والينابيع والبحيرات والأراضي الرطبة والمستنقعات. وهذا هو السبب في أن الشراكات الناجحة في مستجمعات المياه تهتم بشكل خاص بطبقة المياه الجوفية غير المحصورة المجاورة للمجرى أو البحيرة أو أي مسطح مائي سطحي آخر.

• تغذية المياه الجوفية الغير محصورة من المياه السطحية

مصدر المياه الجوفية (التغذية) هو من خلال هطول الأمطار أو المياه السطحية التي تتسرب إلى الأسفل. ما يقرب من 5-50 % من هطول الأمطار السنوي يؤدي إلى تغذية المياه الجوفية. فقدان التدفقات. في بعض المناطق، تقوم الجداول بإعادة شحن طبقة المياه الجوفية من خلال التسلل إلى قاع النهر. وتسمى هذه التدفقات الخاسرة.

■ تحقيق التوازن

إذا تركت المياه الجوفية دون أن تمس، فإنها تحقق التوازن بشكل طبيعي - التفريغ وإعادة الشحن - اعتمادًا على الظروف الهيدرولوجية. في الواقع، بعض التدفقات تكتسب تدفقات في بعض الأحيان وتفقد التدفقات في أوقات أخرى.

وعموما، تحتوي المياه الجوفية على معادن أعلى من المياه السطحية، وبالتالي تتطلب معالجة أقل من المياه السطحية وللمساعدة على ضمان حصول الأشخاص على مياه آمنة وعالية الجودة فقط، يتمّ إضافة الكلور إلى المياه الجوفية لمنع نمو البكتيريا في أنابيب وخزانات نظام توزيع المياه. علاوة على ذلك, تخزن المياه الجوفية مبيدات الآفات والنترات فيها، بينما تحتوي المياه السطحية على معظم البكتيريا والكائنات الدقيقة الأخرى، وبسبب الترابط بين المياه الجوفية والمياه السطحية، يُمكن تقاسم هذه الملوِّثات بين المصدرين، ولا يُمكن أن يكون أيّ من مصدري المياه خاليًا تمامًا من الملوِّثات.

يساعد ترشيح المياه عبر التربة على تنظيف المياه الجوفية. إلا أن هناك بعض المشكلات المرتبطة بجودة المياه، ومن أهمها ما يتعلق بحجم السكان في منطقة معينة فعندما يبدأ عدد السكان في منطقة ما في الزيادة، فإن كمية التلوث ستزداد أيضًا، ويتسبب التلوث العالي في زيادة الضغط على المياه الجوفية.

جـــودة الميـــاه Water Quality

تقليديا، اهتمت الهيدرولوجيا فقط بكمية المياه في منطقة معينة: كمية المياه. ويشار إلى هذا في كثير من الأحيان باسم الهيدرولوجيا الفيزيائية. ومع ذلك، إذا أخذنا على عاتقنا اختصاص أوسع فيما يتعلق بالهيدرولوجيا - ليشمل توفر المياه للاستهلاك البشري - فإن القضايا المتعلقة بنوعية المياه تصبح ذات أهمية متساوية مع الكمية. هناك ثلاث حجج قوية حول الأسباب التي تجعل الهيدرولوجيا تعتبر نوعية المياه مجالًا يستحق الدراسة.

◆ العلاقـــة بين نوعية المياه وكميتها

ترتبط العديد من قضايا جودة المياه ارتباطًا مباشرًا بكمية المياه المتاحة لتخفيف ونشر الملوثات، سواء كانت طبيعية أو بشرية المنشأ. يكاد يكون من المستحيل دراسة أحدهما دون الآخر.

◆ الترابـــط بين العمليات الهيدرولوجية ونوعية المياه

ترتبط الطريقة التي تنتقل بها الملوثات من الأرض إلى البيئة المائية ارتباطًا وثيقًا بالمسار الهيدرولوجي (أي المسار الذي تنتقل به المياه من هطول الأمطار إلى المجرى)، وبالتالي العمليات الهيدرولوجية التي تحدث

◆ توظيـــف الهيدرولوجيين

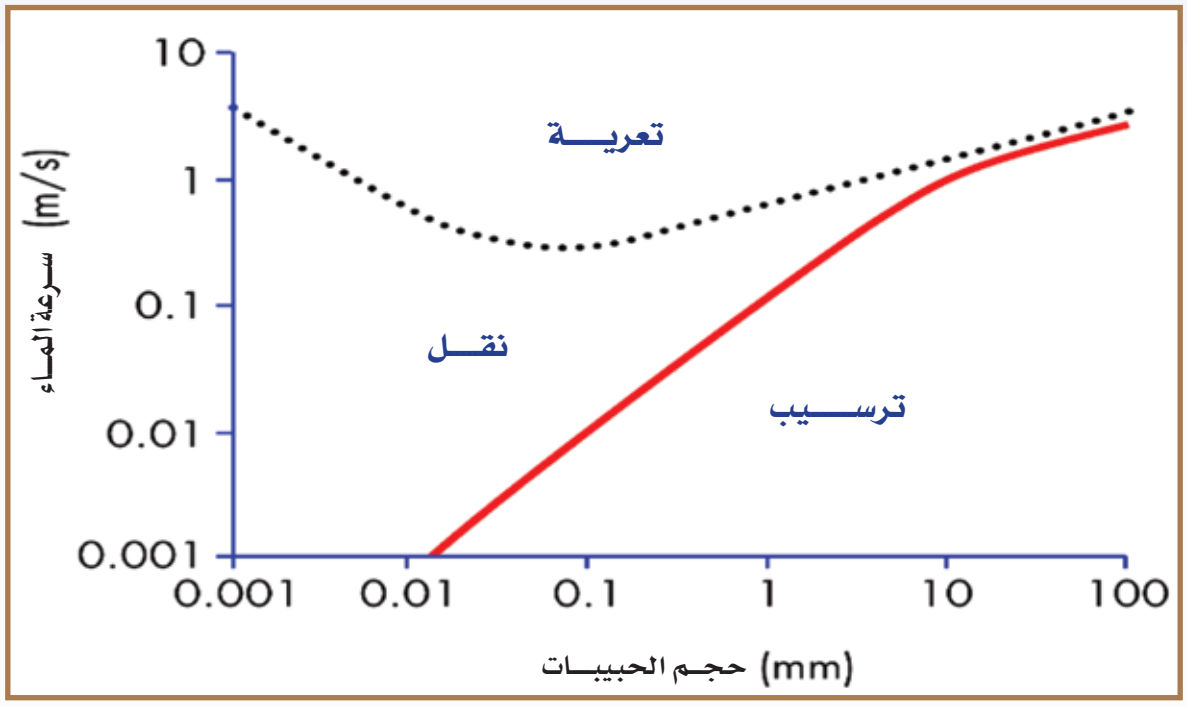
من النادر أن يهتم شخص يعمل في إدارة الموارد المائية بكمية المياه بشكل كامل، دون أي اعتبار لقضايا الجودة. إن الحفاظ على جودة المياه لا يقتصر فقط على مياه الشرب (تقليديًا دور المهندس)، ولكن على نطاق أوسع يمكن أن يكون من أجل الحفاظ على قيمة وسائل الراحة للأنهار والجداول.

من السهل أن نفكر في جودة المياه من حيث التلوث فقط؛ أي النفايات التي تدخل نظام النهر نتيجة للنشاط البشري. وهذه مسألة مهمة في تحليل نوعية

المياه ولكنها ليست القضية الوحيدة بأي حال من الأحوال. واحدة من أكبر مشكلات جودة المياه هي كمية الرواسب العالقة في النهر، والتي غالبًا ما تكون عملية طبيعية تمامًا. وللرواسب العالقة آثار خطيرة على نوعية مياه الشرب في النهر، ولكن أيضًا على الاهتمامات الهيدرولوجية الأخرى مثل تصميم الخزان والنباتات والحيوانات المائية.

بمجرد بناء السدود على النهر، سوف تتباطأ سرعة المياه. إن المعرفة البسيطة لمنحنى جولستروم تخبرنا أن هذا سيؤدي إلى ترسب الرواسب العالقة. سيؤدي هذا الترسب في النهاية إلى تقليل سعة الخزان الموجود خلف السد.

سيؤدي هذا الترسب في النهاية إلى تقليل سعة الخزان الموجود خلف السد. وفي أنظمة الأنهار عالية الطاقة، حتى بالنسبة لخزان كبير جدًا، يمكن أن يحدث انخفاض كبير في السعة خلال عقدين إلى أربعة عقود.



منحنى جولستروم الذي يربط سرعة التيار بخصائص التآكل/الترسيب للجسيمات ذات الأحجام المختلفة (المحور السيني). بشكل عام، كلما كان تحرك الماء أبطأ، كانت الجزيئات المترسبة أصغر حجمًا، وكلما تحرك الماء بشكل أسرع، زادت حجم الجزيئات التي يتم نقلها.

تنتشر المصادر على مساحة أرض أكبر بكثير ولا يمكن تحديد المواقع الدقيقة. ومن أمثلة التلوث المنتشر الأسمدة والمبيدات الحشرية الزائدة الناتجة عن الإنتاج الزراعي. إن تقسيم الملوثات إلى مصادر منتشرة ومصادر نقطية له بعض المزايا لتصميم استراتيجيات وقائية، ولكن مثل معظم التصنيفات هناك تداخلات كبيرة.

على الرغم من أن أعمال معالجة مياه الصرف الصحي يمكن اعتبارها مصدرًا نقطيًا عندما تقوم بتصريف النفايات السائلة في مجرى مائي، إلا أنها قامت بالفعل بتجميع مياه الصرف الصحي الخاصة بها من منطقة منتشرة

كبيرة. إذا كانت هناك مشكلة معينة في التدفقات السائلة من أعمال معالجة مياه الصرف الصحي، فقد يكون ذلك نتيجة للتلوث المتراكم من المصدر المنتشر وليس نتيجة أعمال معالجة مياه الصرف الصحي الفعلية نفسها.

التصنيف الأكثر فائدة لملوثات المياه هو النظر في آثارها على نظام النهر. وبهذه الطريقة يمكننا التمييز بين ثلاثة أنواع رئيسية من الملوثات.

- مركبات سامة، والتي تسبب ضرراً للنشاط البيولوجي في البيئة المائية.
- يؤثر توازن الأكسجين على المركبات التي إما تستهلك الأكسجين أو تمنع نقل الأكسجين بين الهواء والماء. وهذا يشمل أيضًا التلوث الحراري لأن الماء الدافئ لا يحتوي على كمية كبيرة من الأكسجين المذاب مثل الماء البارد.
- المواد الصلبة العالقة. جزيئات صلبة خاملة معلقة في الماء.

إن الأنهار عبارة عن أوعية لكميات كبيرة من النفايات التي ينتجها البشر. وفي كثير من الأحيان يكون هذا متعمدًا ويرجع إلى قدرة الأنهار على التعامل مع النفايات من خلال التدهور والتخفيف والتشتت. تعتمد سرعة عمل هذه العمليات الثلاث على كمية الملوثات الموجودة بالفعل في النهر، ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة للمياه، وكمية المياه المتدفقة أسفل النهر وإمكانية الخلط في النهر.

والخاصيتان الأخيرتان هما خصائص تدفق النهر التي ستتأثر بدورها بالوقت من العام، وطبيعة التدفق في النهر (على سبيل المثال، شكل منحنى مدة التدفق)، وسرعة التدفق واضطرابه. وهذا يدل على العلاقة المتبادلة القوية الموجودة بين نوعية المياه وكمية المياه في نظام النهر.

• معايير جودة المياه

لتحليل نوعية المياه، لا بد من النظر في نوع الاختبار الذي يمكن إجراؤه ونمط أخذ العينات الذي سيتم استخدامه. هناك العديد من العوامل التي يمكن قياسها، وكل منها مهم للدور الذي تلعبه في القصة الشاملة لجودة المياه.

التمييز الأول الذي يمكن القيام به هو بين المعاملات الفيزيائية والكيميائية. باستخدام البارامترات الكيميائية، يتم تقييم تركيز مادة كيميائية معينة. باستخدام المعاملات الفيزيائية، يتم إجراء قياس فيزيائي، وعادة ما يتم قياس كمية شيء ما داخل عينة المياه.

• المعاملات الفيزيائية

■ درجة حرارة

تعتبر درجة حرارة الماء أحد الاعتبارات المهمة لعدة أسباب. الميزة الأكثر أهمية لدرجة الحرارة هي ترابطها مع محتوى الأكسجين المذاب. يحتوي الماء الدافئ على أكسجين مذاب أقل من الماء البارد. يعد محتوى الأكسجين المذاب أمرًا بالغ الأهمية في السماح للحيوانات المائية بالتنفس، لذا فإن درجة الحرارة مهمة أيضًا بشكل غير مباشر بهذه الطريقة. تعد درجة حرارة الماء أيضًا عاملاً متحكمًا في معدل التفاعلات الكيميائية. يعمل الماء الدافئ على زيادة معدل العديد من التفاعلات الكيميائية ، كما أنه قادر على إذابة المزيد من المواد. ويرجع ذلك إلى ضعف الروابط الهيدروجينية وزيادة قدرة الجزيئات ثنائية القطب على تطويق الأنيونات والكاتيونات.

قد تدخل المياه الدافئة على شكل تلوث حراري من محطات الطاقة والعمليات الصناعية الأخرى. في العديد من محطات الطاقة (الغاز والفحم والطاقة النووية) يتم استخدام الماء كمبرد بالإضافة إلى توليد البخار لتشغيل التوربينات.

ولهذا السبب، تقع محطات الطاقة في كثير من الأحيان بالقرب من نهر أو بحيرة لتوفير مصدر المياه. من الطبيعي أن يكون لدى محطات الطاقة إجراءات مطبقة بحيث لا يتم تصريف الماء الساخن مباشرة في النهر؛ ومع ذلك، على الرغم من عمليات التبريد المستخدمة، فإن الماء غالبًا ما يكون أكثر دفئًا بمقدار 1–2 درجة مئوية عند التفريغ.

■ المواد الصلبة الذائبة

عندما يمر الماء عبر عمود التربة أو فوق سطح التربة، فإنه يؤدي إلى إذابة العديد من المواد المرتبطة بجزيئات التربة. وبالمثل، فإن الماء سوف يذيب جزيئات الهواء أثناء مروره عبر الغلاف الجوي على شكل مطر.

يشار إلى كمية المواد الذائبة في عينة الماء باسم إجمالي المواد الصلبة الذائبة Total Dissolved Solids (TDS). كلما ارتفع مستوى المواد الصلبة الذائبة، زاد تلوث المسطحات المائية، سواء كان ذلك من مصادر طبيعية أو بشرية.

■ التوصيل الكهربائي

يتم توفير قياس مماثل لـ TDS بواسطة التوصيل الكهربائي. تتناسب قدرة عينة الماء على نقل التيار الكهربائي (موصليتها) بشكل مباشر مع تركيز الأيونات الذائبة. يظل الماء النقي المقطر موصلًا للكهرباء، ولكن كلما زادت الأيونات الذائبة في الماء، زادت موصليته الكهربائية. هذه علاقة خط مستقيم، لذا يمكن استنتاج المعادلة الآتية:

$$K = \frac{\text{Conductivity}}{\text{TDS}} \text{ or } \text{TDS} = \frac{\text{Conductivity}}{K}$$

توفر هذه العلاقة مقياسًا بديلاً جيدًا جدًا لـ TDS. المصطلح K هو ثابت (عادة بين 0.55 و 0.75) ويمكن تقديره عن طريق أخذ عدة قياسات للموصلية بمستويات مختلفة من TDS. تعد الموصلية قياسًا بسيطًا حيث يوجد العديد من الأدوات الميدانية القوية التي ستوفر قراءة فورية.

■ المواد الصلبة العالقة

سيتم ترسيب الرواسب في أي مرحلة عندما تنخفض سرعة النهر وعلى العكس من ذلك سيتم التقاطها مرة أخرى بسرعات نهرية أعلى. بهذه الطريقة، سيختلف إجمالي حمولة المواد الصلبة العالقة Total Suspended Solids (TSS) من ناحية المكان والزمان. ستؤثر كمية المواد الصلبة العالقة في النهر على الحيوانات المائية، لأنه من الصعب على الأسماك واللافقاريات التي تضع البيض أن تتكاثر في بيئة ذات رواسب عالية.

غالبًا ما تكون الرواسب المعلقة خاملة، كما هو الحال في معظم جزيئات الطين والطمي، ولكنها يمكن أن تكون عضوية في محتواها وبالتالي تحتاج إلى الأكسجين.

■ التعكر

وهناك مقياس مماثل لـ TSS هو التعكر Turbidity: وهو قياس غيوم الماء. تنجم الغيوم عن المواد الصلبة العالقة وفقاعات الغاز داخل عينة الماء، لذلك ترتبط المواد الصلبة العالقة والتعكر ارتباطًا مباشرًا. يتم قياس التعكر على أنه كمية الضوء المتناثرة بواسطة الجزيئات العالقة في الماء.

• المعامـــلات الكيميائيـــة

■ الرقم الهيدروجيني pH

يعتقد الكيميائيون أن الماء يتفكك بشكل طبيعي إلى أيونين منفصلين: أيونات الهيدروكسيد (OH–) والهيدروجين (H+) وفق المعادلة الآتية:

$$H_2O \rightleftharpoons OH^- + H^+$$

يتم تحديد حموضة الماء بواسطة أيون الهيدروجين، وبالتالي فإن الرقم الهيدروجيني (مقياس الحموضة) هو مقياس لتركيز أيونات الهيدروجين الموجودة. في الواقع هو سجل التركيز العكسي لأيونات الهيدروجين وفق المعادلة الآتية:

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

يتم ذلك على مقياس يتراوح بين 1 و14، حيث يشير الرقم 7 إلى الحياد. تشير قيمة الرقم الهيدروجيني الأقل من 7 إلى وجود محلول حمضي؛ أكبر من 7 محلول أساسي (ويسمى أيضًا القلويات).

من المهم أن نأخذ في الاعتبار أنه نظرًا لأن مقياس الأس الهيدروجيني لوغاريتمي (الأساس 10)، فإن المحلول الذي بقيمة الأس الهيدروجيني 5 يكون حمضيًا بعشر مرات مثل المحلول الذي بقيمة الأس الهيدروجيني 6.

في المياه الطبيعية قد يختلف مستوى الرقم الهيدروجيني بشكل كبير. من الطبيعي أن تكون قيمة الرقم الهيدروجيني لمياه الأمطار أقل من 7، وذلك

بسبب امتصاص مياه الأمطار للغازات مثل ثاني أكسيد الكربون. وهذا يشكل حمض الكربونيك الضعيف، مما يزيد من تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول.

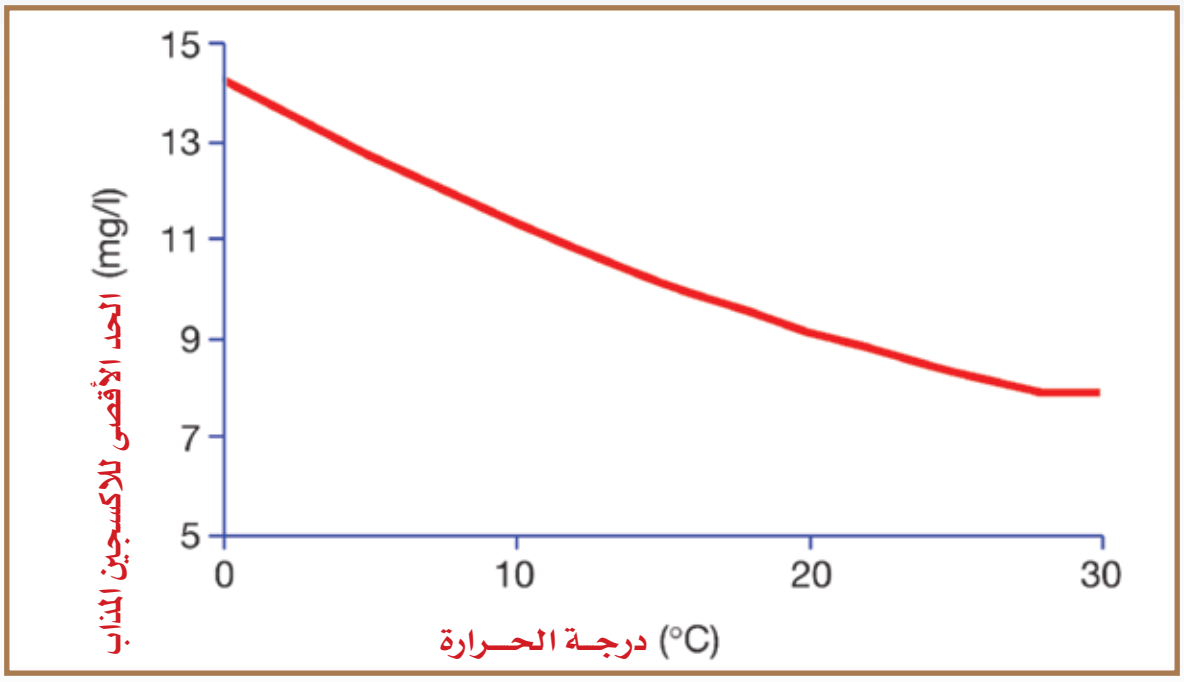
يتراوح الرقم الهيدروجيني الطبيعي لهطول الأمطار بين 5 و6 ولكنه قد ينخفض إلى 4، خاصة إذا كان هناك تلوث هواء صناعي قريب. يجب الإشارة إلى المصطلحات المربكة المتعلقة بالقلوية. القلوية هي مقياس للقدرة على امتصاص أيونات الهيدروجين دون تغيير في الرقم الهيدروجيني. ويتأثر ذلك بتركيز أيونات الهيدروكسيد أو البيكربونات أو الكربونات.

في تحليل نوعية المياه، يُستخدم مصطلح «القلوية» بشكل حصري تقريبًا للإشارة إلى تركيز أيونات البيكربونات (HCO^{3-}) لأن هذا هو الأكثر تغيرًا بين الثلاثة. تشتق أيونات البيكربونات من ترشيح الماء عبر الصخور الجيرية (مثل الحجر الجيري أو الطباشير).

من المهم معرفة تركيزها من أجل تقليل درجة الحموضة وصلابة الماء. تعد القدرة التخزينية للتربة، والمياه المشتقة من التربة، مفهومًا مهمًا في جودة المياه. قدرة التخزين المؤقت للمحلول هي القدرة على امتصاص الحمض دون تغيير الرقم الهيدروجيني. يتم تحقيق ذلك من خلال حمولة كاتيونية عالية القاعدة أو حمولة بيكربونات عالية. وهذا هو السبب في أن التربة المشتقة من الحجر الجيري والطباشير تواجه مشاكل أقل في التعامل مع الأمطار الحمضية.

■ الأكسجين المذاب

يعد الأكسجين المذاب Dissolved Oxygen أمرًا حيويًا لأي حيوان مائي يستخدم الخياشيم للتنفس. هناك طريقتان يتم من خلالهما حساب محتوى الأكسجين المذاب: نسبة التشبع والتركيز (مجم/لتر). ويرتبط هذان المقياسان من خلال درجة الحرارة، حيث أن محتوى الأكسجين المذاب في الماء يعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة (انظر الشكل الآتي).



العلاقة بين الحد الأقصى لمحتوى الأكسجين المذاب (أي التشبع) ودرجة الحرارة.

■ الطلب على الأكسجين البيوكيميائي

أحد المعايير الرئيسية لجودة المياه هو اختبار الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي لمدة خمسة أيام Five Day Biochemical Oxygen Demand Test (يشار إليه أحيانًا باسم اختبار الطلب على الأكسجين البيولوجي، أو BOD_5). هذا مقياس للأكسجين الذي تحتاجه البكتيريا والكائنات الحية الدقيقة الأخرى لتكسير المواد العضوية في عينة الماء.

وهو مقياس غير مباشر لكمية المادة العضوية في عينة الماء، ويعطي إشارة إلى مقدار الأكسجين المذاب الذي يمكن إزالته من الماء مع تحلل المادة العضوية.

الاختبار سهل التنفيذ ويمكن تكراره بسهولة. تؤخذ عينة من الماء وتوضع في قنينة زجاجية نظيفة ومظلمة وتترك حتى تصل درجة حرارتها إلى 20 درجة مئوية. بمجرد حدوث ذلك، يجب قياس محتوى الأكسجين المذاب (كتركيز).

وينبغي بعد ذلك ترك العينة عند درجة حرارة 20 درجة مئوية لمدة خمسة أيام في بيئة مظلمة. بعد ذلك يجب قياس محتوى الأكسجين المذاب مرة أخرى. الفرق بين قراءتي الأكسجين المذاب هو قيمة BOD_5.

■ مركبات النيتروجين

يوجد النيتروجين Nitrogen في بيئة المياه العذبة في أربعة أشكال رئيسية:

- النيتروجين العضوي – البروتينات والأحماض الأمينية واليوريا
- الأمونيا – إما على هيئة أمونيا حرة (NH_3) أو أيون الأمونيوم (NH^{4+})
- النتريت (NO^{2-}).
- النترات (NO_3^{2-}).

إذا دخلت مركبات النيتروجين العضوية إلى النهر (على سبيل المثال في مياه الصرف الصحي غير المعالجة)، فستحدث عملية أكسدة تسمى النترجة.

وحتى يحدث هذا، يجب أن تكون هناك بكتيريا آزوتية وأكسجين. تعتبر هذه إحدى العمليات الرئيسية التي تعمل في معالجة مياه الصرف الصحي حيث تعمل على تحلل المركبات النيتروجينية العضوية إلى نترات مستقرة وغير ضارة نسبياً.

هناك مشكلتان في هذه العملية التي تحدث في بيئة النهر الطبيعية. أولاً، هناك الطلب على الأكسجين الناتج عن عملية النترجة. ثانيًا، مرحلة الأمونيا المتوسطة شديدة السمية، حتى في التركيزات المنخفضة جدًا.

■ الفوسفات

يمكن العثور على الفوسفور في ثلاثة أشكال مختلفة: أورثوفوسفات، متعدد الفوسفات (كلاهما مذاب بشكل طبيعي) والفوسفات العضوي (مرتبط بالجزيئات العضوية). تعتمد نسبة الأشكال المختلفة للفسفور في عينة الماء بشكل كبير على الرقم الهيدروجيني. كما هو الحال مع النيتروجين، يعد توفر الفوسفور عاملاً مقيدًا لنمو النبات.

الشكل الأكثر شيوعًا للتطبيق على النباتات هو الفوسفات. والفرق الرئيسي عن النترات هو أن الفوسفات ليس قابلاً للذوبان تقريبًا. وبالتالي، يتم استخدام الفوسفات عادة كسماد صلب، وبشكل أقل من النترات.

■ الكلور

لا يوجد الكلور عادة في مياه النهر. يتم استخدامه كمطهر في إمدادات مياه الشرب. يتم استخدامه لأنه سام للبكتيريا وقصير العمر نسبيًا. والأكثر شيوعًا في عينات مياه النهر هو أيون الكلوريد. قد يكون هذا مؤشرا على تلوث مياه الصرف الصحي حيث يوجد نسبة عالية من الكلوريد في البول. تعطي أيونات الكلوريد الطعم المالح لمياه البحر، ويبلغ الحد الأدنى للطعم نحو 300 ملغم / لتر. الحد الأقصى المسموح به من قبل المفوضية الأوروبية لمياه الشرب هو 200 ملغم/لتر.

■ المعـــادن الثقيلـــة

«المعادن الثقيلة» Heavy Metals هو المصطلح المطبق على المعادن التي يزيد وزنها الذري عن 6. وهي توجد بشكل عام فقط في مستويات منخفضة جدًا مذابة في المياه العذبة، ولكن يمكن العثور عليها في الرواسب المحملة بالقاع. في المياه الحمضية يمكن إذابة المعادن (أي الموجودة في شكل أيوني).

غالبًا ما تكون سامة بتركيزات أعلى من المستويات النزرة. السمية، بالترتيب التنازلي، هي الزئبق والكادميوم والنحاس والزنك والنيكل والرصاص والكروم والألمنيوم والكوبالت.

في البيئة المائية، يعد النحاس والزنك من أكثر أسباب التسمم شيوعًا. مصدر رئيسي للزنك مشتق من الفولاذ المجلفن، وخاصة في سياج الأسلاك والأسقف.

الفصل الثامن

علم المياه الجوفية (الهيدروجيولوجيا)

تطـور الميـاه الجوفيـة	مصـادر الميـاه الجوفيـة
خزانـات الميـاه الجوفيـة	حركـة الميـاه الجوفيـة
قـانـون دارسـي	أنمـاط تدفـق الميـاه
خصائـص الميـاه الجوفيـة	كيميـاء الميـاه الجوفيـة
تنميـة المـوارد المائيـة	الإدارة المتكاملـة للميـاه

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

علم المياه الجوفية (الهيدروجيولوجيا)

مُقَدِّمَة

المياه الجوفية هي المياه التي تتسرب إلى التربة من الأمطار أو غيرها من الأمطار وتتحرك نحو الأسفل لملء الشقوق والفتحات الأخرى في طبقات الصخور والرمال. ولذلك فهو مورد متجدد، على الرغم من أن معدلات التجديد تختلف بشكل كبير حسب الظروف البيئية. تُعدّ المياه الجوفية مصدرًا مهمًا للحياة على الأرض، إذ تشكل ما نسبته 30 % من المياه العذبة في العالم، وتتوزع النسبة المتبقية بين المياه الموجودة على شكل جليد وثلوج وتبلغ نسبتها 69 %، ويوجد 1 % فقط من المياه العذبة الموجودة في الأنهار والبحيرات. يعتمد ثلث الاستهلاك البشري على المياه الجوفية، وفي بعض الأماكن يتمّ الاعتماد عليها بشكل كلي.

تكمن أهمية المياه الجوفية في أنها تُشكّل المياه الجوفية حوالي ثلث المياه العذبة التي يستهلكها البشر في العالم. تُعدّ المياه الجوفية المصدر الرئيس لمياه الريّ في الزراعة؛ فعلى الصعيد العالمي يُقدّر استخدام المياه الجوفية في الريّ ما نسبته 43 %. تُستخدم المياه الجوفية في الصناعات الغذائية وتؤدّي دورًا مهمًا للمجتمع البشري والاقتصاد. تلعب المياه الجوفية دورًا مهمًا ومحوريًا على الصعيد البيئي، من حيث الحفاظ على استمرار تدفّق المياه إلى الأنهار، والبحيرات، والأراضي الرطبة، خصوصًا خلال الأشهر الجافة والحارّة التي لا تهطل فيها الأمطار.

تمثل المياه الجوفية ذلك الجزء من المياه المحجوز في الخزان الجوفي المسامي، والناتج من تسرب وتخلخل مياه الأمطار إلى التربة والطبقات السفلي. ومن المصادر المهمة للمياه الجوفية تسرب مياه الأمطار أو المياه السطحية إلى المخزون الجوفي، والتغذية الصناعية لزيادة المخزون الجوفي، والتسرب من الخزانات وشبكات المياه وأحواض التحليل وغيرها من المنشآت وتسرب مياه الري والبحيرات أو الآبار. ومن أهم العوامل المؤثرة على زيادة المخزون الجوفي خواص الماء (مثل: الكثافة، واللزوجة).

المياه الجوفية، لأنها موجودة تحت الأرض دون أن يلاحظها أحد، غالبًا ما لا يتم الاعتراف بها ويتم التقليل من قيمتها، مما يؤدي إلى عواقب بيئية واقتصادية واجتماعية سلبية. يمكن أن يؤدي الإفراط في استغلال المياه الجوفية عن طريق الضخ غير المنضبط إلى حدوث آثار ضارة على الآبار والآبار المجاورة، وهبوط الأراضي، وتسرب المياه المالحة، وجفاف المياه السطحية والأراضي الرطبة.

تربط دورة المياه بين المياه الجوفية والسطحية؛ مما يعني أنّها يُمكن أن تلوِّث بعضها البعض، فعندما يتساقط المطر أو الثلج على سطح الأرض، تتدفق بعض المياه من الأرض إلى المياه السطحية، مثل: الأنهار، والبحيرات، والجداول، والمحيطات، ويتمّ أيضًا تبخير بعض الماء، وامتصاصه بواسطة النباتات، أو يستمر في التحرك إلى أسفل ليصبح مياهًا جوفية، والتي تتحرك ببطء شديد نحو المناطق المنخفضة مثل الجداول والبحيرات التي تنتهي مرة أخرى في المياه السطحية.

المياه الجوفية تكون عادةً أنظف وأنقى من المياه السطحية، إلا أنها لا تزال تحتوي على ملوثات مختلفة؛ إذ يتم التقاط هذه الملوثات من التسرب وترشيح التربة، ويمكن لطبقات الرواسب الموجودة أسفل منسوب المياه الجوفية تصفية

المياه بشكل طبيعي لإزالة بعض الملوثات منها .تشمل المصادر الرئيسية للتلوث المواد الكيميائية الزراعية، والنفايات الصناعية والبلدية، والمخلفات ومياه الصرف الصحي الناتجة عن المناجم، وحفر المياه المالحة في حقول النفط، وتسرب صهاريج التخزين وخطوط الأنابيب تحت الأرض، وحمأة الصرف الصحي وأنظمة الصرف الصحي.

من خلال دراسة موضوعات مثل خصائص المواد المسامية، ونظرية تدفق المياه الجوفية، وهيدروليكا الآبار، وكيمياء المياه الجوفية، والنظائر البيئية، وهيدروجيا المياه الملوثة وتقنيات معالجة المياه الجوفية وإدارة طبقات المياه الجوفية، تقع على عاتقنا جميعًا مسؤولية إدارة موارد المياه الجوفية لتحقيق التوازن البيئي، المتطلبات الاقتصادية والاجتماعية وتحقيق التنمية المستدامة للمياه الجوفية.

تطـور الميـاه الجوفيـة

يعود تاريخ تطور المياه الجوفية إلى العصور القديمة، كما يتضح من الآبار والأنفاق الأفقية المعروفة باسم القنوات (الغنات) أو الأفلاج (مفردها فلج)، وكلاهما مصطلحان عربيان يصفان قناة اصطناعية صغيرة تم حفرها كجزء من نظام توزيع المياه، والتي يبدو أنها نشأت في بلاد فارس منذ نحو 3000 سنة. توجد أمثلة على هذه الأنظمة في نطاق عبر المناطق القاحلة يمتد من أفغانستان إلى المغرب. وفي عمان، تقع القرى الريفية والواحات المزودة بالأفلاج في قلب الثقافة والتقاليد العمانية.

إن استغلال موارد المياه الجوفية سبق تأسيس الجيولوجيا (علم الأرض) بزمن طويل، وحتى في أواخر القرن السابع عشر، كان من المفترض عمومًا أن

المياه الخارجة من الينابيع لا يمكن الحصول عليها من هطول الأمطار، لأنه كان من المعتقد أن الكمية غير كافية وأن الأرض منيعة جدًا بحيث لا تسمح بتسرب مياه الأمطار تحت السطح.

تم التوصل إلى فهم واضح للدورة الهيدرولوجية بحلول نهاية القرن السابع عشر. أجرى الفرنسيان بيير بيرولت (1611–1680) وإدمي ماريوت (نحو 1620–1684) قياسات لهطول الأمطار والجريان السطحي في حوض تصريف نهر السين، وأثبت عالم الفلك الإنجليزي إدموند هالي (1656–1742) أن تبخر مياه البحر كان كافيًا لتفسير جميع الينابيع وتدفق الأنهار (هالي 1691). وبعد أكثر من مائة عام، قدم الكيميائي الشهير جون دالتون (1766–1844) ملاحظات إضافية حول دورة المياه، بما في ذلك دراسة أصل الينابيع (دالتون 1799).

أعطى هذا الانفجار في الطلب على المياه زخما لدراسة الجوانب الاقتصادية للجيولوجيا. وفي هذا الوقت قدم لوكاس (1874) مصطلح «الهيدروجيولوجيا» وأنتج أول خريطة هيدروجيولوجية حقيقية. في نهاية القرن التاسع عشر، أنتج ويليام ويتاكر، الذي يوصف أحيانًا بأنه «أبو الجيولوجيا المائية الإنجليزية»، وجامع متعطش لسجلات الآبار، أول مذكرات عن إمدادات المياه للمسح الجيولوجي والتي تناولت فيها المياه يتم تسجيل إمدادات ساسكس بشكل منهجي. وقد حفز حفر العديد من الآبار الارتوازية نشاطا موازيا في فرنسا خلال النصف الأول من القرن التاسع عشر.

قام المهندس الهيدروليكي الفرنسي هنري دارسي (1803–1858) بدراسة حركة المياه عبر الرمال ومن خلال الملاحظات التجريبية حدد المعادلة الأساسية، المعروفة عالميًا باسم قانون دارسي، التي تحكم تدفق المياه الجوفية في معظم التكوينات الغرينية والرسوبية. يعد قانون دارسي أساس الجوانب النظرية لتدفق

المياه الجوفية، وقد تم توسيع عمله من قبل فرنسي آخر، هو أرسين دوبوي (1804–1866)، الذي أصبح اسمه مرادفًا لمعادلة التدفق المتماثل محوريًا نحو بئر في مادة مسامية نفاذة.

أعقب العمل الرائد لدارسي ودوبويت المهندس المدني الألماني، أدولف ثيم (1836–1908)، الذي أجرى تحليلات نظرية للمشاكل المتعلقة بتدفق المياه الجوفية نحو الآبار والمعارض، والنمساوي فيليب فورشهايمر (1852–1933) الذي، ولأول مرة، طبق الرياضيات المتقدمة على دراسة الهيدروليكا.

كانت إحدى مساهماته الرئيسية هي تحديد العلاقة بين الأسطح متساوية الجهد وخطوط التدفق. مستوحاة من التقنيات السابقة المستخدمة لفهم مشاكل تدفق الحرارة، وبدءًا بقانون دارسي وافتراضات دوبويت، اشتق فورشهايمر معادلة تفاضلية جزئية، معادلة لابلاس، لتدفق ثابت للمياه الجوفية.

تم استنساخ الكثير من أعمال فورشهايمر في الولايات المتحدة على يد تشارلز سليشتر (1864–1946)، والذي كان على ما يبدو غافلًا عن وجود فورشهايمر. ومع ذلك، كان النهج النظري لسليشتر حيويًا لتقدم هيدرولوجيا المياه الجوفية في أمريكا في الوقت الذي كان فيه التركيز على استكشاف وفهم وجود المياه الجوفية.

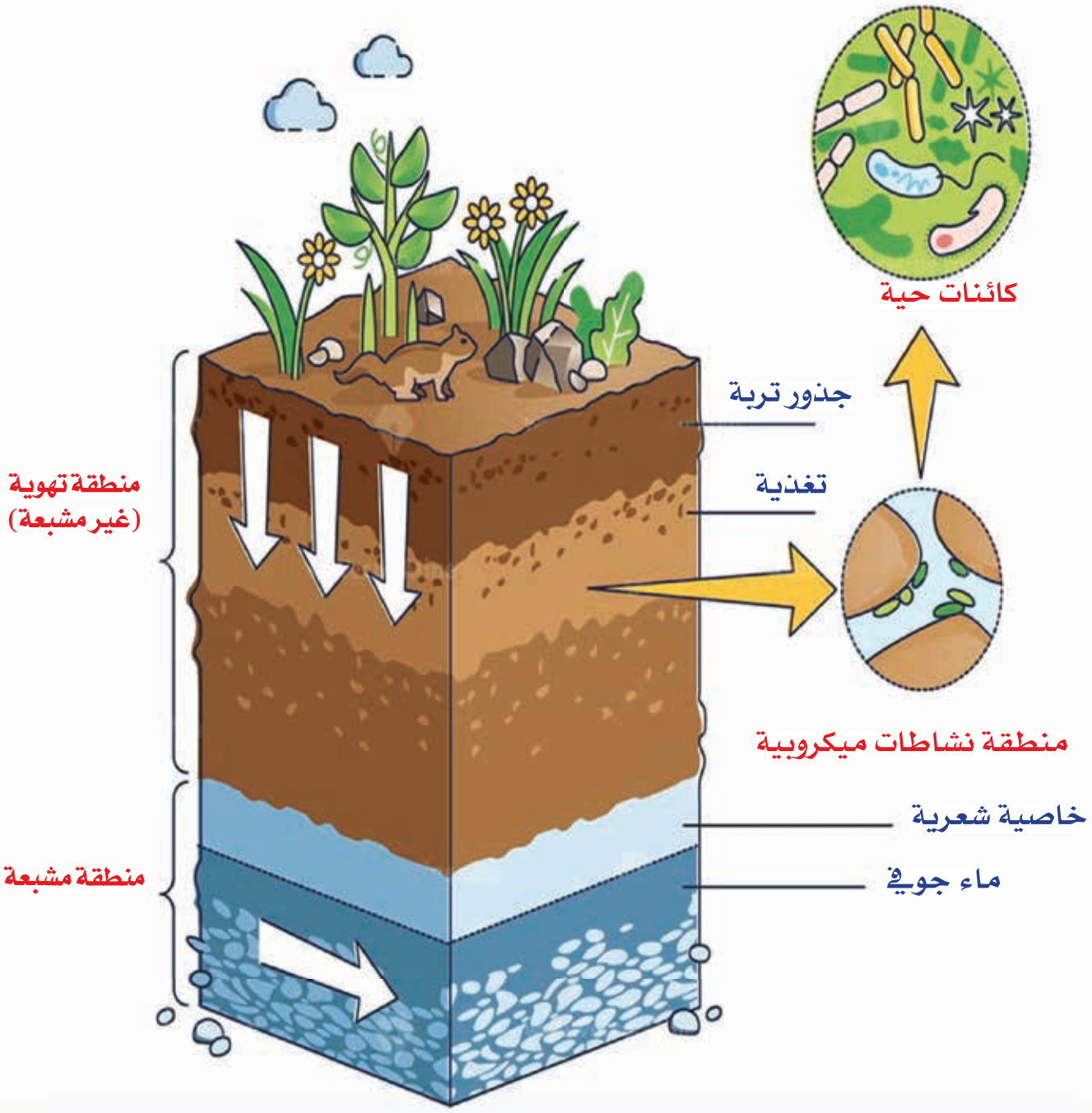
وقد عزز ماينزر (1923) هذه الحقبة في كتابه عن وجود المياه الجوفية في الولايات المتحدة. كان ماينزر (1928) أيضًا أول من تعرف على سلوك التخزين المرن لطبقات المياه الجوفية الارتوازية. من دراسته للحجر الرملي في داكوتا، بدا أنه تم ضخ كمية من المياه من المنطقة أكبر مما يمكن تفسيره بكمية التغذية عند النتوء، بحيث يجب أن يمتلك التكوين الحامل للمياه بعض السلوك المرن في إطلاق المياه الموجودة في المخزن.

وبعد سبع سنوات، قدم ثيس (1935)، مرة أخرى باستخدام القياس بين تدفق الحرارة وتدفق المياه، الحل الرياضي الرائد الذي يصف السلوك العابر لمستويات المياه بالقرب من بئر الضخ. قدم هوبرت وجاكوب مساهمتين رئيسيتين إضافيتين في تطوير الهيدروجيولوجيا الفيزيائية في منشوراتهما عام 1940. قام هوبرت (1940) بتفصيل العمل حول نظرية تدفق المياه الجوفية الطبيعية في الأحواض الرسوبية الكبيرة، بينما اشتق جاكوب (1940) معادلة تفاضلية جزئية عامة تصف تدفق المياه الجوفية العابر.ومن الجدير بالذكر أن المعادلة وصفت السلوك المرن للصخور المسامية التي قدمها ماينزر قبل أكثر من عقد من الزمن. واليوم، يعتمد الكثير من التدريب على نظرية تدفق المياه الجوفية وهيدروليكية الآبار، واستخدام برامج الكمبيوتر لحل المشكلات الهيدروجيولوجية، على عمل هؤلاء الهيدروجيولوجيين الأوائل خلال النصف الأول من القرن العشرين.

مصـــادر الميـــاه الجوفيـــة

المصدر الرئيس للمياه الجوفية هو الهطل المطري، الذي يتسرب من خلال سطح الأرض إلى التربة والصخور، وأهم نطاقين في المياه الجوفية هما نطاق التهوية Vadose Zone، ونطاق الإشباع Zone of Saturation ويشتمل نطاق التهوية على المواد الأرضية فوق سطح المياه الجوفية Water Table، الذي هو الحد الفاصل بين النطاقين وهذه المواد مكونة من التربة ورسوبيات الأنهار والصخور، ونادرا ما يكون نطاق التهوية مشبعا، إذ كان يسمى حتى وقت قريب، نطاق عدم الإشباع Unsaturated Zone أن بعض المناطق المشبعة قد تتوافر في هذا النطاق، عندما يتحرك الماء خلالها بعد الهطل، ولهذا النطاق أهمية كبيرة؛ لأن الملوثات التي ترشح من السطح تمر من خلاله، قبل أن تصل نطاق الإشباع تحت سطح المياه الجوفية لذلك يُعد هذا النطاق خلال عمليات المراقبة البيئية السطحية منطقة تحذير مبكر لتلوث محتمل للمياه الجوفية.

نطـــاق التهويـــة (Vadose)



يبدأ الماء الذي يصل نطاق التشبع عادة رحلته من خلال الرشح من السطح، حيث تشتمل العوامل المؤثرة في عملية الرشح على الآتي:

- **الطوبوغرافيـــة:** كلما كانت الطوبوغرافية أكثر انحدارا، كان الجريان السطحي أكبر، ما يقلل من الرشح.
- **نوعيـة التربـة والصخـور:** تمتلك التربة والصخور الغنية بالفتحات الكثيرة الناتجة عن التشققات أو الفراغات بين الحبيبات معدلات ترشيح عالية.
- **كميـة الهطـل وشـدتـه:** التساقط ذو الشدة المتدنية يدعم حديث الرشح، بينما يدعم التساقط ذو الشدة العالية الجريان السطحي.
- **الغطـاء النباتـي:** الأوراق والجذوع تحتجز الهطل، ثم ينساب الماء Urger بهدوء على سطح الأرض، ما يزيد من الرشح.
- **اسـتخدام الأراضي:** تقلل الأراضي الحضرية ذات المناطق المعتدة. والأسطح من الرشح، أما الممارسات الزراعية فغالبا ما تريد الجريان السطحي وتعرية التربة مقتلة من الرشح، كذلك يقلل لقطاع. الأشجار بالكامل في بعض المناطق من الغطاء النباتي، ما يزيد من تعرية التربة والجريان السطحي، وذلك يقلل من الرشح.

يدخل الماء المتسرب خلال نطاق عدم التهوية إلى نطاق الإشباع، حيث يحدث جريان الماء الجوفي، وتمتلئ بالماء الفراغات جميعها الموجودة بين الحبات في التربة والصخور التي تشكل نطاق الإشباع - وهذا هو تعريف مصطلح مشبع (Saturated)، السطح العلوي لنطاق الإشباع هو سطح المياه الجوفية.

ويمكـن تقسـيم المـــاء الجوفـي طبقاً لمصـادره إلى:

- **مـــاء جوي Meteoric Water** وهذا يتعلق بالمياه في الغلاف الجوي.
- **مـــاء وليـــد (صهير) Juvenile Water** ويعبر عن مياه صهيرية تخرج إلى سطح الأرض مع مقذوفات البراكين.
- **مـــاء متجـدد Rejuvenated Water** ويعبر عن الماء المستخرج مؤقتاً من الدورة الطبيعية (بفعل التجوية) ثم عاد إليها (بوساطة التحول والانضغاط).
- **مـــاء حبيـس Connate Water** عند حدوث الانخفاض في قشرة الأرض تمتلئ مسامات الصخور الرسوبية بالماء المالح. وعند رفع الصخور تخرج المياه العذبة لتحل محل الماء المالح. وعادة تزداد ملحية الماء الحبيس أكثر من مياه البحار نسبة لإذابة مواد معدنية أخرى عبر الحقب الزمنية الطويلة.

كما يمكن تقسيم المياه الجوفية على حسب فتحات الصخور على النحو التالي:

- **ميـــاه مسامية Pore Water** حيث أن المسامات فيها عبارة عن فتحات في الصخور الرسوبية والمواد الحبيبية الأخرى. وهذه المسامات في حجم شعيرات مرتبطة مع بعضها مما يسمح معه بتطبيق قانون دارسي عليها.
- **مـــاء شقوق أو ماء صدعي Fissure or Fault Water** وتحدث التشققات والتصدعات في الصخور الرسوبية الكثيفة التبلور ويمكن أن يكون للتشققات الرئيسة حجم أكبر من الشعيرات أما التشققات الفرعية فيكون لها حجم الشعيرات. ويمكن أحياناً تطبيق قانون دارسي عليها.
- **مـــاء كارست:** منطقة أحجار جيرية ذات مجار جوفية) وأحياناً في الصخور البركانية؛ وعادة يكون دفق الماء مضطرباً. تتكون الخزانات الجوفية الكارست (الجيرية) Karstic Aquifers في الحجر الجيري والدلوميت حيث تقوم المياه بعمل كهوف عند إذابتها للصخور.

خزانات المياه الجوفية

تؤدي التغيرات الطبيعية في نفاذية وسهولة انتقال المياه الجوفية في المواد الجيولوجية المختلفة إلى التعرف على خزانات المياه الجوفية Aquifer وخزانات المياه المائية المنفذة Aquitard وخزانات المياه الجوفية الكتيمة Aquiclude.

- **خزان المياه الجوفية Aquifer** عبارة عن طبقة أو سلسلة من الصخور أو الرواسب تشتمل على تكوين جيولوجي واحد أو أكثر تحتوي على الماء وتكون قادرة على نقل كميات كبيرة من الماء تحت تدرج هيدروليكي عادي. وبالتالي فإن طبقات المياه الجوفية تتمتع بنفاذية كافية لنقل المياه الجوفية التي يمكن استغلالها اقتصاديًا من الآبار أو الينابيع. عادة ما يتم تطوير طبقات المياه الجوفية الجيدة في الرمال والحصى والأحجار الجيرية المتحللة والأحجار الرملية المكسورة.

- **خزانات المياه المائية المنفذة Aquitard** توصف تكوين ذو نفاذية منخفضة قد ينقل كميات كبيرة من المياه من حيث تدفق المياه الجوفية الإقليمية، ولكن يمكن الحصول منها على إمدادات ضئيلة من المياه الجوفية. تشمل أمثلة طبقات المياه المائية المنفذة الغرين النهري والجليدي النهري والطين الرملي والصخور الرسوبية ذات الكسور القليلة والصخور البلورية المكسورة.

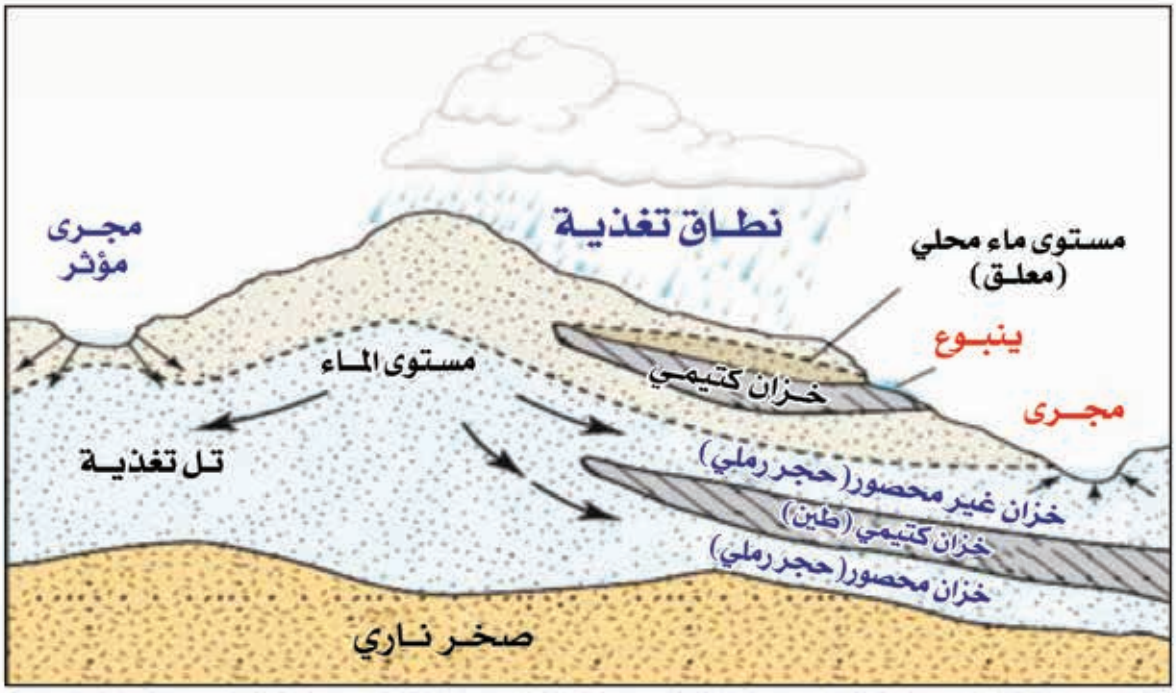
- **خزان المياه الكتيمة Aquiclude** عبارة عن وحدة جيولوجية مشبعة ذات نفاذية منخفضة لدرجة أنها غير قادرة على نقل كميات كبيرة من المياه تحت التدرجات الهيدروليكية العادية ويمكن أن تكون بمثابة حاجز أمام تدفق المياه الجوفية الإقليمية. تشمل الصخور المائية الطين والصخور المتحولة.

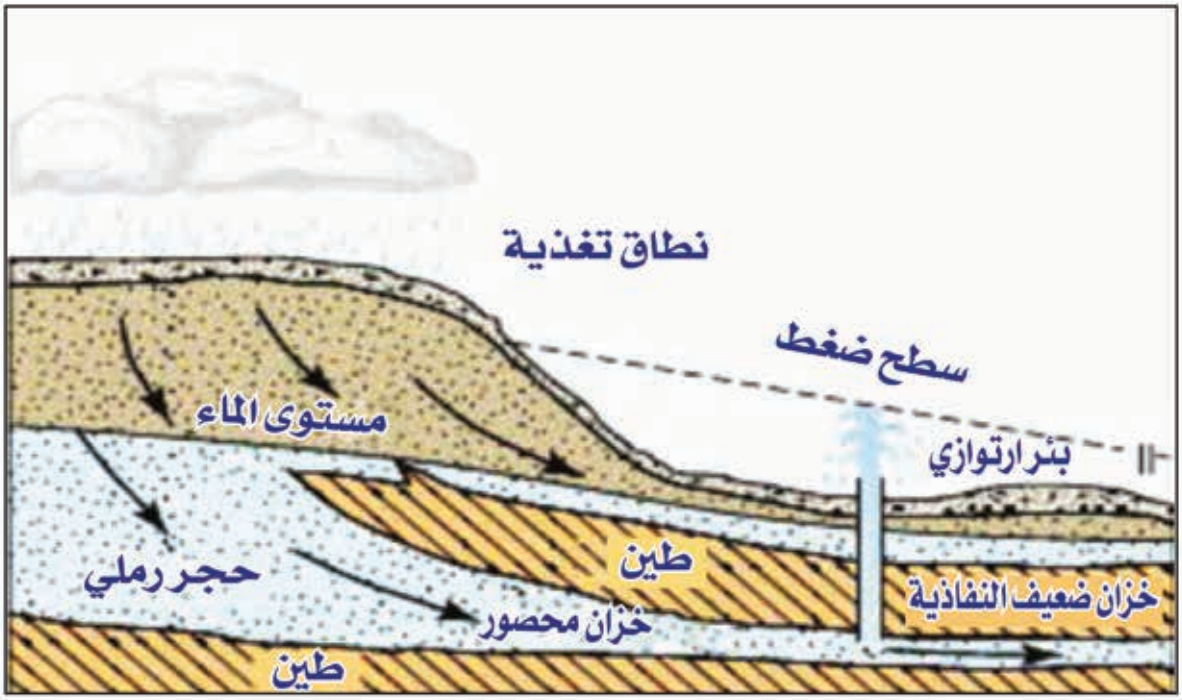
- **منطقـــة التهويـــة (الميـاه المعلقـة غيـر المشـبعة) Aeration Zone** هـذه المنطقـة قريبـة مـن سـطح الأرض حيـث أن المسـامات ممتلئـة جزئيـاً بالمـاء وجزئيـاً بالهـواء؛ وتسـمى الميـاه في هـذه المنطقـة بالميـاه المعلقـة أو (ميـاه رطوبـة التربـة) Soil Moisture.

- **منطقـــة التشـــبع Saturation Zone**: هـذه المنطقـة توجـد تحـت منطقـة الميـاه المعلقـة حيـث كل المسـامات ممتلئـة بالميـاه وتسـمى الميـاه في هـذه المنطقـة بالميـاه الأرضيـة أو الجوفيـة.

- **سـطح الميـــاه الجوفيـــة:** ميـاه أرضيـة حـرة؛ ميـاه غيـر ارتوازيـة : هـو السـطح الـذي يفصـل بـين منطقـة التهويـة ومنطقـة التشـبع والضغـط علـى هـذا السـطح جـوي عندمـا تكـون كتلـة الميـاه الأرضيـة غيـر محصـورة بتكويـن غيـر منفـذ في أعلاهـا ويسـمى أيضـاً بالسـطح غيـر الارتـوازي.

- **خـــزان الميـــاه الارتوازيـــة Artesian Zone**: وتسـمى طبقـة الميـاه المضغوطـة أو طبقـة الميـاه الحبيسـة، وتكـون عمومـاً محصـورة بـين طبقتـين كتيمتـين مـن الأعلـى والأسـفل، وحينمـا يختـرق بئـر مـا هـذه الطبقـة يرتفـع المـاء فـوق السـطح الفاصـل بـين الطبقتـين الكتيمـة العلويـة والحاملـة إلـى مـا يسـمى بالسـطح البيزومتـري.





العلاقة ما بين تغذية خزانات المياه الجوفية المحصورة والغير محصورة

يسمى الخزان غير المحصور (Unconfined Aquifer)، إذا لم يكن هناك طبقة حاصرة تقيد سطح نطاق الإشباع العلوي على سطح المياه الجوفية، والعكس من ذلك في الخزان المحصور (Confined Aquifer) ويمكن توافر كل من الخزانين في المنطقة نفسها، أما الخزان المعلق (Perched Aquifer)، فهو نطاق مشبع محدود يقع فوق سطح المياه الجوفية الإقليمي. قد يكون الماء تحت الطبقة الحاصرة واقعا تحت الضغط، ما يولد ظروفا ارتوازية، تشبه من حيث تأثيرها برج الماء، الذي يولد ضغطا مائيا للمنازل.

تتحرك المياه الجوفية في النظام الارتوازي (Artesian System) نحو الأسفل، ثم بصورة جانبية، حيث تكون محصورة وتحت تأثير الضغط، وعليه ، قد يرتفع الماء نحو الأعلى من خلال شقوق الصخور، ليشكل نبعا ارتوازيًا ، وقد يشكّل أيضًا بئرًا ارتوازيا، تعد تغذية المياه الجوفية Groundwater Recharge بوجه عام، عملية تزويد الخزانات الجوفية بالمياه، وقد تنتج عن عمليات طبيعية، مثل الهطل المطري الذي يُعد من أكثرها شيوعًا، ، وقد تنتج أيضا عن تأثير الإنسان مثل تسرب المياه وترشيحها من خطوط المياه المكسورة، أو التسرب من القناة، أو نتيجة لري المحاصيل ومن صور عملية ضخ المياه الجوفية Groundwater Discharge من الخزانات الجوفية، خروج المياه بصورة طبيعية من النبع، الذي يتشكل عندما يتقاطع الماء الجاري في خزان جوفي مع سطح الأرض، حيث يمكن أن يشكل ضخ الماء من النبع بداية جدول أو نهر، ويحدث ضخ الماء الجوفي أيضا عندما يُستخرج الماء من بئر، وعندها يتشكل مخروط الانخفاض في مستوى الماء (Cone of Depression)، على سطح المياه الجوفية أو سطح الضغط الارتوازي، ومن الممكن أن يغير مخروط انخفاض كبير من اتجاه حركة المياه الجوفية في منطقة. أضف إلى ذلك أن الضخ الجائر يتسبب في خفض مستوى المياه الجوفية إلى الأسفل بصورة كبيرة، وذلك يستدعي تخفيض معدل الضخ

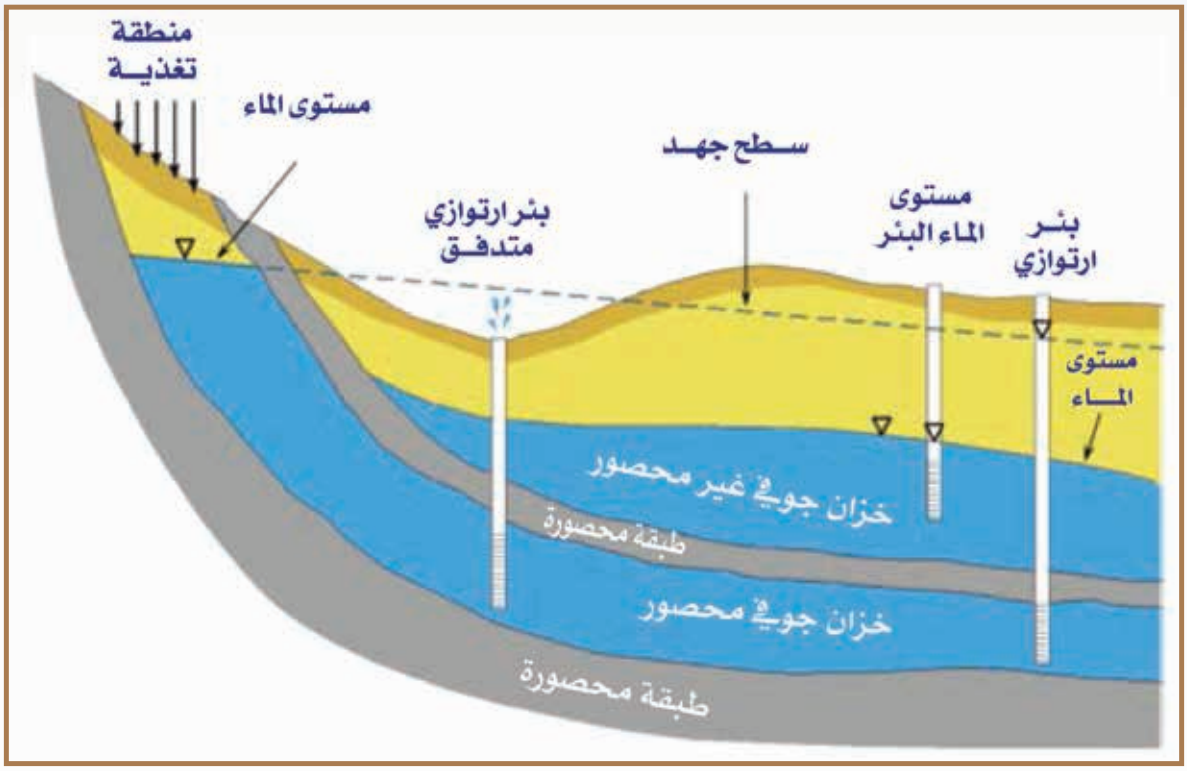
أو حفر آبار أكثر عمقاً، ما يتطلب تكاليف أكثر، العملية قد لا تنجح؛ لأنها تعتمد على الظروف الهيدرولوجية، فعلى سبيل المثال: تعد عملية تنزيل مستمر في أعماق الآبار، لتعديل آثار الضخ الجائر للآبار المحفورة في صخور نارية وصخور متحولة عملية محدودة جدا، إذ يُضخ الماء الناتج عن هذه الآبار من أنظمة شقوق مفتوحة تميل إلى الانغلاق أو التضييق في العدد والحجم مع العمق، إضافة إلى أن نوعية الماء المستخرج تصبح أقل جودة، إذا استخرجت من مياه عميقة تحتوي على الكثير من المعادن الذائبة.

الآبار الارتوازية

البئر الارتوازي Artesian Well هو ببساطة بئر لا يحتاج إلى مضخة لجلب الماء إلى السطح؛ يحدث هذا عندما يكون هناك ضغط كافٍ في طبقة المياه الجوفية. يدفع الضغط الماء إلى السطح دون أي نوع من المساعدة. تم حفر أول بئر ارتوازي في عام 1126 في مقاطعة أرتوا الفرنسية، ومن هنا جاء اسم البئر الارتوازية Artois

طبقة المياه الجوفية الارتوازية Artesian Aquifer هي طبقة تحت الأرض تحمل المياه الجوفية تحت الضغط. يؤدي هذا إلى ارتفاع مستوى الماء في البئر إلى نقطة يكون فيها الضغط مساوياً لوزن الماء مما يضعه تحت الضغط. ويسمى هذا النوع من الآبار بالبئر الارتوازية. وقد تصل المياه إلى سطح الأرض إذا كان الضغط الطبيعي مرتفعا بما فيه الكفاية، وفي هذه الحالة يسمى البئر بئر ارتوازي متدفق Flowing Artesian Well

طبقة المياه الجوفية هي طبقة جيولوجية يمكنها الاحتفاظ بالمياه مثل الرمل والحصى أو الحجر الجيري أو الحجر الرملي، والتي تتدفق من خلالها المياه ويتم تخزينها. طبقة مياه جوفية عبارة عن طبقة ارتوازية محاصرة بين الصخور أو الطين مما يسبب الضغط. تعود المياه إلى طبقات المياه الجوفية عندما يكون منسوب المياه في منطقة التغذية على ارتفاع أعلى من مستوى رأس البئر. يمكن أيضًا أن تكون طبقات المياه الجوفية الأحفورية ارتوازية إذا كانت تحت ضغط كافٍ من الصخور المحيطة. وهذا مشابه لعدد آبار النفط المستغلة حديثًا التي يتم ضغطها.



مخطط يوضح آلية البئر الارتوازي

آلية البئر الارتوازي حيث تصب البئر في طبقة مياه جوفية محصورة. تحت الضغط الارتوازي، ترتفع المياه الموجودة في البئر فوق قمة طبقة المياه الجوفية، ولكنها لا تصل بالضرورة إلى سطح الأرض. البئر الارتوازي المتدفق هو البئر الذي تم حفره في طبقة المياه الجوفية حيث يجبر الضغط داخل طبقة المياه الجوفية على الارتفاع فوق سطح الأرض بشكل طبيعي دون استخدام مضخة. يمكن أن تتدفق الآبار الارتوازية على أساس متقطع أو مستمر وتنشأ من طبقات المياه الجوفية الموجودة إما في المواد غير المجمعة مثل الرمل والحصى أو في الصخور الأساسية، على أعماق تتراوح بين بضعة أمتار إلى عدة آلاف من الأمتار. جميع الآبار المتدفقة هي آبار ارتوازية ولكن ليست كل الآبار الارتوازية هي آبار متدفقة.

حركة المياه الجوفية

تتحرك المياه الجوفية في أوساط مسامية ذات شقوق، وهي غير متشابهة وغير متجانسة لذلك فإن نوع الجريان وشكله وسرعته تتغير حسب الوسط. كما تكون حركة المياه الجوفية إما مستمرة وإما غير مستمرة، إلا أن السرعة الموجهة للجريان لا تتغير مع الزمن، ويسمى هذا الجريان بالجريان المنتظم، غير أنه لا يتوافر في الطبيعة. وعموماً فإن سرعات الجريان في الطبيعة تتغير مع الزمن، وتصنف في نظامين: نظام الجريان الصفائحي أو المنتظم، ونظام الجريان المضطرب أو غير المنتظم. إن جريان المياه الجوفية في الوسط المسامي غالباً ما يكون صفائحياً حيث تكون جزيئات السوائل فيه على شكل خطوط متوازية فيما بينها وغير متداخلة وعلى شكل صفائحي، على خلاف الجريان المضطرب الذي تكون فيه جزيئات السوائل غير منتظمة ومتداخلة وذات سرعة كبيرة لجريانها، ويتغير اتجاهها مع الزمن، لكن متوسط سرعتها يكون ثابتاً.

أما معدّل حركة المياه الجوفية واتجاهها في خزان جوفي فإنه يعتمد بصورة جزئية على كل من ميلان سطح الماء Gradient، أو ما يسمى الميلان الهيدروليكي (Hydraulic Gradient)، ونوع المواد الأرضية في الخزان وبوجه عام، يكون الميلان الهيدروليكي للخزان غير المحصور بمستوى ميلان سطح الماء تقريبا، وتسمّى قابلية أي مادة تسمح للماء بالتحرك خلالها التوصيلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity أو النفاذية التي يعبر عنها بوحدات المتر المكعب (m^3) من الماء في اليوم، خلال مساحة مقطع عرضي مقداره متر مربع أي ($m^3/day/m^2$)، حيث تختصر بـ (m/day)، وبدورها تعتمد التوصيلية الهيدروليكية أو النفاذية بصورة جزئية على حجم الفراغات المفتوحة بين الحبيبات في الخزان وعلى مدى اتصال هذه الفراغات ببعضها، فيما تسمى نسبة الفراغات غير المغلقة،

أي الفراغات الخالية Void Spaces في الرسوبيات المسامية Porosity، التي تتغيّر مما مقداره (1%) للصخر الجرانيتي ذي التكسرات القليلة إلى (50%) للطين، أن بعض المواد ذات المسامية العالية، مثل الطين تمتاز بتوصيلية أو نفاذية منخفضة؛ لأن الفراغات بين الحبات صغيرة جدا، وتجذب الماء فيها بصورة قوية، بينما يمتلك كل من الرمل والحصى مسامية عالية، مع وجود فراغات كبيرة نسبيا بين الحبات وتوصيلية عالية.

تفسر هذه الخصائص السبب في أن الرمل والحصى تُعد خزانات جوفية جيدة، ولماذا يشكل الطين مواد عازلة Aquitards (مواد أرضية تحجز لكنها لا تمنع حركة المياه الجوفية)، يتحرك الماء الجوفي بصورة سريعة في الرمل وبطيئة جدًا في الطين، ويتناسب معدل جريان المياه الجوفية طرديا مع حاصل ضرب الميلان الهيدروليكي والنفاذية (التوصيلية الهيدروليكية)، في معادلة مشهورة تسمى قانون دارسي (Darcy's Law) الذي يسمح لنا بالتعبير عن العلاقة الكمية بين الميلان الهيدروليكي والنفاذية من جهة، وجريان المياه الجوفية من جهة أخرى، بحل الكثير من المسائل، مثل معدل جريان المياه الجوفية وسرعة استنزافها أو تعويضها.

هناك عوامل رئيسية تؤثر في تذبذب مستوى المياه الجوفية منها :

- **الهطول المطرية:** تتوافر علاقة وطيدة بين الهطل المطري والتذبذب في مستوى المياه الجوفية، فكلما كانت كمية المياه المترشحة إلى باطن الأرض كبيرة ارتفع منسوب المياه الجوفية، وبطبيعة الحال فإن منسوب المياه الجوفية يرتفع في مواسم المطر، وينخفض في مواسم الجفاف، ويحتاج ارتفاع المنسوب إلى مدة زمنية حتى تتمكن المياه المترشحة من الوصول إلى مستوى المياه الجوفية، وهذا يعتمد على نفاذية الصخور.

- **الجريان السطحي:** إن مرور المياه الجارية في جزء من الطبقات المائية الحرة يؤثر في مستوى المياه الجوفية. ويمكن عموماً للجريان ما بين المياه السطحية والمياه الجوفية أن يكون متبادلاً وأن يحدث فيما بينهما، وفي حالة تغذية الطبقات المائية من المياه السطحية يلاحظ انخفاض السطح العلوي للمياه السطحية وارتفاع مستوى المياه الجوفية، والعكس صحيح.

- **التبخر والنتح:** يعتمد تأثير التبخر والنتح في مستويات المياه الجوفية على عمق مستوى المياه الجوفية وعلى شدة التبخر، إذ يكون التبخر والنتح في الطبقات المائية العميقة ضعيفين، ويمكن إهمالهما، أما تذبذبات مستوى المياه الجوفية في المناطق التي لا تحتوي على أغطية نباتية فتكون ضعيفة، ويعود عموماً سبب تذبذباته في مواسم نمو النباتات إلى الفواقد الناتجة من التبخر النتحي، وتعود زيادة هبوط مستوى المياه الجوفية في الأيام المشمسة إلى زيادة الفاقد في التبخر، ويصل هذا الهبوط إلى حدّه الأعلى في منتصف ساعات النهار، وتتناقص سرعته في أثناء ساعات الظلام بحيث لا يزيد على مستواه في أثناء النهار.

- **الضغط الجوي:** إن تذبذبات مستوى المياه الجوفية في الطبقات المائية الحرة الناتجة من تغير الضغط الجوي قليلة جداً، وتعد زيادة ضغط الهواء فوق الطبقات المائية الحرة مسؤولة عن هبوط المستوى المائي، أما زيادة الضغط في نطاق التربة فيقلل حجم الهواء مما يؤدي إلى رفع المياه الشعرية، ومن ثم ارتفاع المستوى المائي، ويحدث خلاف ذلك حين نقصان الضغط. ويسبب تغير الضغط تذبذبات كبيرة في الآبار المحفورة في الطبقات المائية المحصورة، ويلاحظ هبوط في مستوى المياه الجوفية في آبار المراقبة حين زيادة الضغط الجوي

قانـون دارسـي والتوصيـل الهيـدروليكـي

تتأثر نفاذية التربة بالعديد من العوامل، ومنها نسيج التربة وبنيتها: إذ أنّ حجم مسام التربة له أهمية كبيرة فيما يتعلق بمعدل التدفق (حركة الماء إلى التربة)، ومعدل الترشيح (حركة الماء خلال التربة)، تماسك التربة، لون التربة، طبقات التربة بالإضافة إلى عمق الطبقات غير المنفذة مثل صخور الأساس والطين. يرتبط عدد المسام وحجمها ارتباطًا وثيقًا بنسيج التربة وبنيتها، وبالتالي فهو يؤثر في نفاذية التربة. من المتعارف عليه إن التغير في جهد ماء التربة يؤدى إلى إحداث عدم توازن للماء يكون نتيجته حركة الماء من موضع إلى أخر. وبالتالي فان حركة أو انتقال الماء في التربة يتم بناءاً على منحدر الجهد (التدرج في الجهد المائي من نقطة إلى أخرى). وعليه يكون الفرق في جهد الماء من نقطة إلى أخرى هو القوة الدافعة لتدفق الماء في التربة.

حركة الماء في التربة تتوقف عل المحتوى الرطب فعندما تكون التربة مشبعة (المسام ممتلئة تماماً بالماء) تسمى الحركة في الحالة المشبعة Saturated Water Flow وعندما يكون المحتوى الرطب للتربة دون التشبع تسمى الحركة في الحالة غير المشبعة Unsaturated Water Flow. هذا الاختلاف في المحتوى الرطب يؤثر على معمل التوصيل الهيدروليكي - حيث يكون هذا المعامل ثابت مع الزمن في الحالة المشبعة ويتغير مع تغير المحتوى الرطب للتربة في الحالة غير المشبعة وتكون قيمته اقل من حالة التشبع

قانون دارسي Darcy's Law هو معادلة تصف تدفق السائل عبر وسط مسامي. تمت صياغة القانون من قبل هنري دارسي بناءً على نتائج التجارب على تدفق المياه عبر طبقات من الرمال، مما يشكل أساس الجيولوجيا المائية، وهو فرع من علوم الأرض. إنه مشابه لقانون أوم في الكهرباء الساكنة، حيث

يربط خطيًا معدل تدفق حجم السائل بفرق الرأس الهيدروليكي (والذي غالبًا ما يتناسب فقط مع فرق الضغط) عبر التوصيل الهيدروليكي.

تم تحديد قانون دارسي تجريبيًا لأول مرة بواسطة دارسي، ولكن منذ ذلك الحين تم استخلاصه من معادلات نافييه-ستوكس عبر طرق التجانس. وهو مشابه لقانون فوريه في مجال التوصيل الحراري، وقانون أوم في مجال الشبكات الكهربائية، وقانون فيك في نظرية الانتشار.

إن الماء الموجود داخل الفراغات المترابطة من التربة والصخور قادر على الحركة، وتشكل قدرة الصخر على تخزين ونقل المياه خصائصه الهيدروليكية.

في قلب القوانين التي تحكم سلوك تدفق المياه الجوفية في المواد المشبعة هو ذلك الذي صاغه بشكل تجريبي المهندس البلدي الفرنسي لديجون، هنري دارسي، في عام 1856.

درس دارسي تدفق المياه من خلال مادة مسامية موجودة في عمود ووجد أن التدفق الإجمالي، Q، يتناسب مع كل من الفرق في مستوى الماء، h1 - h2، المقاس بـ أنابيب مقياس الضغط عند طرفي العمود ومنطقة التدفق العرضية A، وتتناسب عكسيًا مع طول العمود L. عند دمجها مع ثابت التناسب K، حصل دارسي على العلاقة:

$$Q = KA\frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

وبشكل عام يمكن كتابة قانون دارسي كما هو معروف على النحو التالي:

$$Q = -KA\frac{dh}{dl}$$

حيث يمثل dh/dl التدرج الهيدروليكي، مع الإشارة السلبية إلى التدفق في اتجاه انخفاض الرأس الهيدروليكي. يُطلق على K اسم التوصيل الهيدروليكي للمادة المسامية. باعتماد الاختصار dh/dl يساوي i، يمكن كتابة المعادلة السابقة على النحو التالي:

$$Q = -AiK$$

الموصلية الهيدروليكية، أو كما يشار إليها، معامل النفاذية، لها أبعاد $[LT^{-1}]$ وهي مقياس لسهولة حركة الماء عبر مادة مسامية. وتعرض قيم التوصيل الهيدروليكي نطاقًا واسعًا في الطبيعة، يمتد إلى 13 مرتبة من حيث الحجم.

بشكل عام، تتمتع المواد ذات الحبيبات الخشنة والمكسورة بقيم عالية من الموصلية الهيدروليكية، في حين أن الطمي والطين ذو الحبيبات الدقيقة لها قيم منخفضة.

لا تعتمد الموصلية الهيدروليكية للمواد الجيولوجية فقط على الخواص الفيزيائية للمادة المسامية، بل أيضًا على خصائص السائل المهاجر، بما في ذلك الوزن النوعي، $\gamma = \rho g$، حيث ρ هي كثافة السائل وg هي كثافة السائل تسارع الجاذبية)، واللزوجة، μ، بحيث:

$$K = k_i \frac{\gamma}{\mu}$$

حيث يُطلق على ثابت التناسب، ki، اسم النفاذية الجوهرية لأنها خاصية فيزيائية جوهرية للمادة المسامية وحدها.

تعد كثافة ولزوجة الماء من وظائف درجة الحرارة والضغط، ولكن هذه التأثيرات ليست كبيرة بالنسبة لنطاقات درجة الحرارة والضغط التي تواجهها معظم حالات المياه الجوفية.

في المناطق الساحلية، سيؤدي تسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية العذبة إلى حدوث اختلافات في كثافة السوائل بحيث تكون المعلومات حول كل من ki وK مطلوبة في أي تحقيق. تمثل النفاذية الجوهرية خصائص المادة المسامية وحدها وترتبط بحجم الفتحات التي يتحرك من خلالها السائل.

بالنسبة للرمال غير المجمعة، اشتق كرومبين ومونك (1943) العلاقة التجريبية التالية حيث GM_d هو المتوسط الهندسي لقطر الحبوب (مم) و ρ هو الانحراف المعياري لحجم الحبوب بوحدات فاي ((log2(grain diameter in mm–)):

$$k_i = 760(GM_d)^2 e^{-1.3\sigma} = Cd^2$$

كما هو موضح، يتم التعبير عن المعادلة السابقة بشكل عام كـ $k_i = Cd^2$ حيث d يساوي متوسط قطر المسام وتمثل C «عامل الشكل» Shape Factor بدون أبعاد لتقييم المساهمة التي يقدمها شكل فتحات المسام، كما تتأثر بالعلاقة بين أحجام المسام والحبوب وتأثيرها على تعرج تدفق السوائل.

النفاذية الجوهرية لها أبعاد $[L^2]$، وباستخدام التسميات الشائعة في صناعة النفط، وحدة ki هي دارسي حيث 1 دارسي يعادل 9.87×10^{-13} م2.

الآن، يعطي دمج المعادلات السابقة تعبيرًا كاملًا عن التدفق عبر مادة مسامية على النحو التالي:

$$\frac{Q}{A} = q = -K\frac{dh}{dl} = -\frac{Cd^2\rho g}{\mu}\frac{dh}{dl}$$

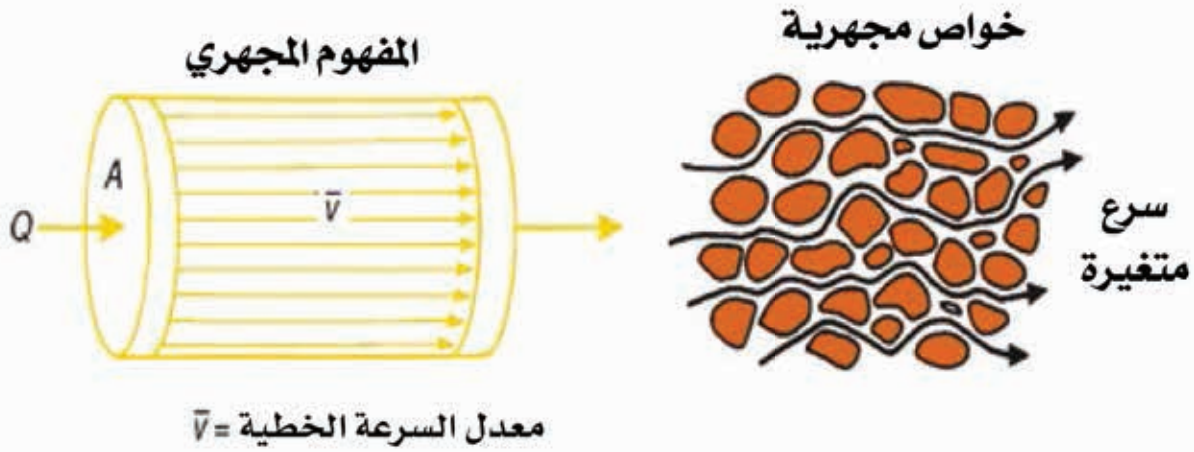
يشير حاصل القسمة Q/A، أو q، إلى التفريغ لكل وحدة مساحة مقطعية للمواد المسامية المشبعة. المصطلح q، الذي يشار إليه بالتفريغ النوعي، له أبعاد السرعة $[L\ T^{-1}]$ ويعرف أيضًا باسم سرعة دارسي أو تدفق دارسي.

من المهم أن نتذكر أن سرعة دارسي ليست هي السرعة المجهرية الحقيقية للمياه التي تتحرك على طول مسارات التدفق المتعرجة داخل التربة أو الصخور.

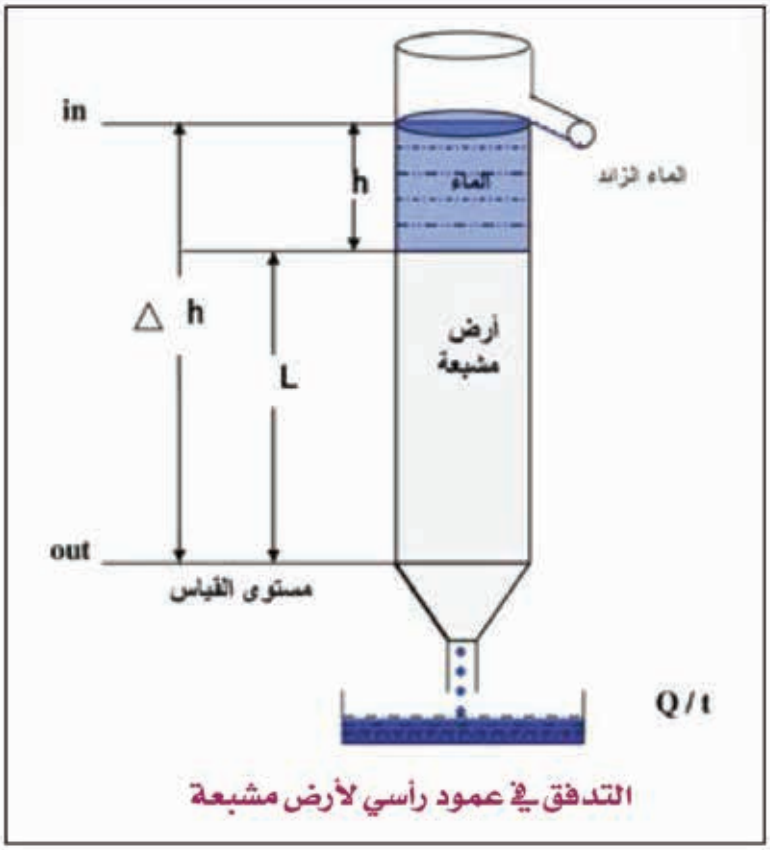
بدلاً من ذلك، من خلال تقسيم التصريف المحدد على جزء من المساحة المفتوحة (وبعبارة أخرى، المسامية الفعالة، ne) التي تتدفق من خلالها المياه الجوفية عبر منطقة مقطعية معينة، يوفر هذا قياسًا متوسطًا لسرعة المياه الجوفية مثل:

$$\frac{Q}{An_e} = \frac{q}{n_e} = \bar{v}$$

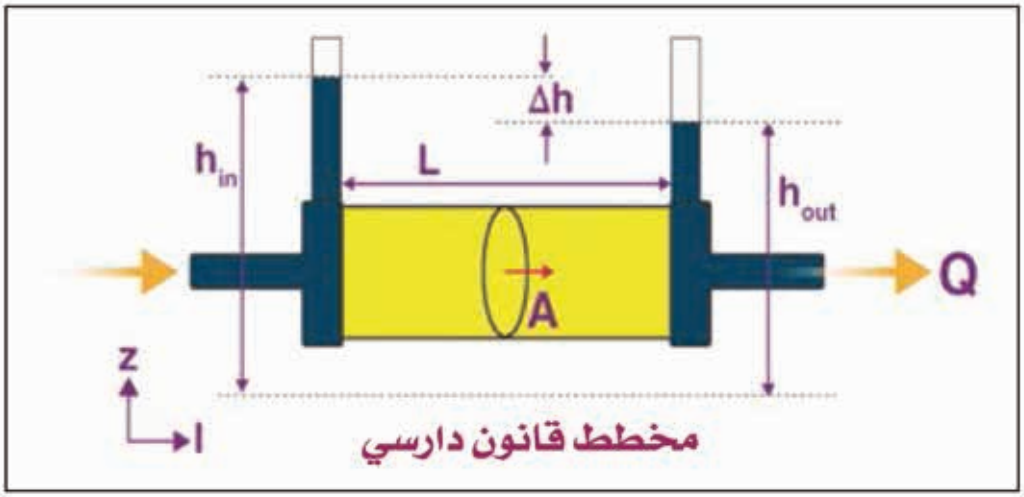
حيث V هي متوسط السرعة الخطية (الشكل الآتي).



يتناقض النهج العياني (الدارسي) لتحليل تدفق المياه الجوفية مع السلوك المجهري الحقيقي لمسارات التدفق المتعرجة.



التدفق في عمود رأسي لأرض مشبعة



مخطط قانون دارسي

يعتمد قانون دارسي على حقيقة مفادها أن التدفق بين نقطتين يتناسب طرديا مع فروق الضغط بين النقاط والمسافة واتصال التدفق داخل الصخور. يُعرف قياس الاتصال البيني بالنفاذية.

• تطبيــق قانـــون دارســي

أن حركة المياه الجوفية وسرعتها تعتمد اعتماداً كلياً على نفاذية الصخور والميل الهيدروليكي، فكلما زادتا تزداد سرعة المياه الجوفية، والعكس صحيح. أي أن حركة الماء الجوفي تعتمد على النفاذية ولكن قياسها يعتمد على قانون دارسي أحد تطبيقات قانون دارسي هو تحليل تدفق المياه عبر طبقة المياه الجوفية. يتم تبسيط قانون دارسي ومعادلة حفظ الكتلة إلى معادلة تدفق المياه الجوفية، وهي إحدى العلاقات الأساسية للجيولوجيا المائية.

قام موريس موسكات أولاً بتحسين معادلة دارسي للتدفق أحادي الطور من خلال تضمين اللزوجة في معادلة الطور الفردي (السائل) لدارسي. يمكن أن نفهم أن السوائل اللزجة تواجه صعوبة أكبر في اختراق الوسط المسامي مقارنة بالسوائل الأقل لزوجة.

وهذا التغيير جعله مناسبًا للباحثين في مجال صناعة البترول. واستنادًا إلى النتائج التجريبية التي أجراها زملاؤه ويكوف وبوتست، قام موسكات وميريس أيضًا بتعميم قانون دارسي لتغطية التدفق متعدد المراحل للمياه والنفط والغاز في الوسط المسامي لخزان النفط. توفر معادلات التدفق المتعددة الأطوار المعممة التي وضعها مسقط وآخرون الأساس التحليلي لهندسة المكامن الموجودة حتى يومنا هذا.

لوصف تدفقات النفط والغاز والمياه عبر خزانات النفط فإن هذا يخضع إلى نفاذية الصخر. يجب تحديد النفاذية في الاتجاهين الأفقي والرأسي. على سبيل المثال، يتكون الصخر الزيتي من احتمالات أقل عموديا. يشير هذا إلى أنه ليس من السهل أن يتدفق السائل لأعلى ولأسفل عبر الطبقة الصخرية ولكن من الأسهل أن يتدفق من جانب إلى آخر.

يمكن تطبيق قانون دارسي على العديد من الحالات ولكنه لا يتوافق مع الفرضيات التالية:

- التدفق غير المشبع والمشبع.
- التدفق في الصخور المكسورة والوسائط الحبيبية.
- التدفق العابر وتدفق الحالة المستقرة.
- التدفق في الخزانات وطبقات المياه الجوفية.
- التدفق في الأنظمة المتجانسة وغير المتجانسة

• مـوازنة الميـاه الجوفيـة Ground Water Budget

يعتمد مقدار المياه الجوفية في حوضٍ ما على الجريان والتصاريف في مختلف النقاط. والعلاقة المتداخلة بين الجريان الداخل Inflow والجريان الخارج Outflow والتراكم يعبر عنها بمعادلة تسمى معادلة الموازنة كما يأتي:

$$\Sigma I \Delta t - \Sigma Q \Delta t = \Delta S$$

$\Sigma I \Delta t$: كل أنواع التغذية وتشمل ما يقدم من البحيرات والجداول والأمطار والتغذية الصناعية في الحوض .

$\Sigma Q \Delta t$: تمثل التصريف الصافي للمياه الجوفية من الحوض ويشمل الضخ والجريان السطحي والتسرب إلى البحيرات و الأنهار.

ΔS : (Δt) التغير في مخزون المياه الجوفية في الحوض والحاصلة عبر فترة زمنية.

إن المعدل الأقصى للسحب من المياه الجوفية في حوضٍ ما والذي يمكن إجراؤه دون أن يتسبب في نتائج غير مرغوبة يطلق عليه (الإنتاج الأمين Safe Yield) وهذا المصطلح يعتمد على أهداف مطلوبة، وإن النتائج غير المرغوب

فيهـا تشـتمل علـى:

- إنخفاض دائم في منسوب الماء الجوفي أو الإرتفاع البيزومتري.
- أن يكون منحني الهبوط أقصى ما يمكن مؤدياً إلى عدم كفاءة تشغيل البئر.
- تداخل الماء المالح وخاصةً في التكوينات الساحلية.

الآبـــــار Wells

تعد الآبار واحدة من أهم الطرق الشائعة في الحصول على المياه الجوفية من التكوين الخازن، و على الرغم من استخدام الآبار في كثير من التطبيقات فإن أكثرها شيوعاً هي في إمدادات المياه و التطبيقات الهندسية في الري. تأمل وجود الماء في تكوين خازن حر يضخ بمعدل ثابت من البئر، و قبل الضخ يشير منسوب الماء في البئر إلى منسوب الماء الجوفي الساكن، و ينخفض هذا المنسوب مع إستمرارالضخ. و إذا كان التكوين الخازن موحد الخواص و متجانساً و كان منسوب الماء الجوفي أفقياً فإن ذلك المنسوب يتخذ شكلاً مخروطياً جراء الجريان الشعاعي إلى البئر، و يطلق عليه مخروط الانخفاض Cone of Depression، و يطلق على الانخفاض في منسوب الماء الجوفي في أية نقطة عن المنسوب الساكن مصطلح منحني الهبوط Draw – Down أما مدى تأثير مخروط الانخفاض فيطلق عليه مساحة التأثير Area of Influence في حين يسمى قطره المؤثر بقطر التأثير Radius of Influence.

و عند حصول الضخ بمعدل ثابت فإن منحني الهبوط يبدأ بالتكوين مع مرور الزمن و ذلك للسحب الكائن في الخزين، و يطلق على هذا الطور بالجريان غير الثابت لأن منسوب الماء الجوفي يتغير مع مرور الزمن، و باستمرار الضخ تصل حالة من التوازن بين معدل الضخ و معدل المياه الداخلة إلى البئر من الحافات

الخارجية من منطقة التأثير. و يتخذ سطح منحني الهبوط موقعاً ثابتاً مع مرور الزمن حيث يعمل البئر تحت ما يسمى بظروف الجريان الثابت. و عند توقف الضخ يعوض الخزن في مخروط الانخفاض بمزيد من المياه الجوفية الداخلة إلى منطقة التأثير و يبدأ التراكم التدريجي للخزين لحين الوصول إلى منسوب ساكن و يطلق على هذا مرحلة الاستعادة Recuperation of Recovery و تعد هذه ظاهرة غير ثابتة، حيث يعتمد وقت الاستعادة على خصائص التكوين الخازن.

• الجريان الثابت في البئر Steady Flow into a Well

♦ الجريـــان المحصـــور Confined Flow

يوضح الشكل أدناه بئراً يخترق تكويناً خازناً محصوراً سمكه B بافتراض أن للبئر تصريفاً ثابتاً مقداره Q، فإذا كان الارتفاع H و كان عند بئر الضخ هو h_w ومنحني الهبوط فيه هو S_w :

$$Q = \frac{2\pi k T \ (h_2 - h_1)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

, if $S_1 = H - h_1$, $S_2 = H - h_2$,

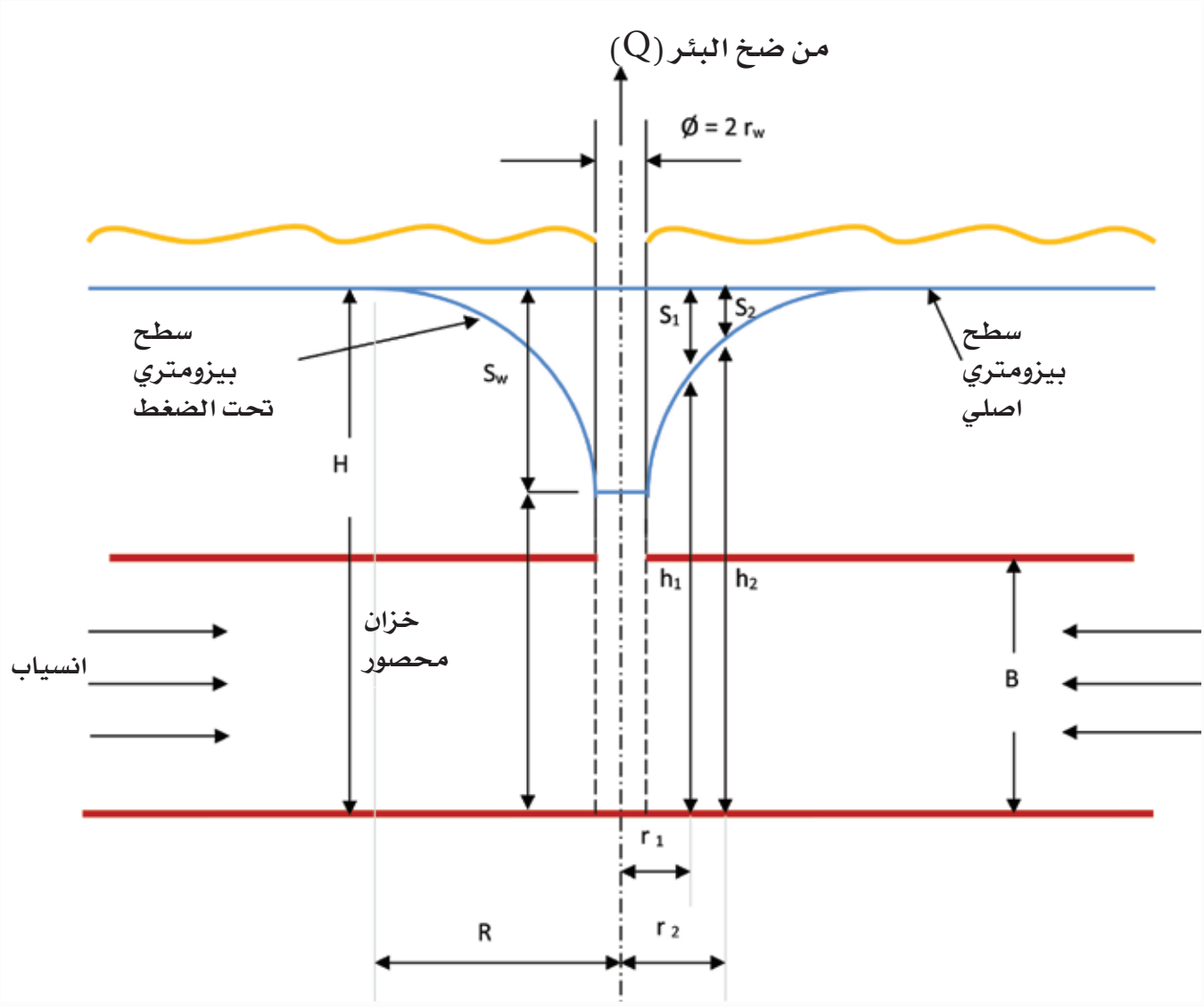
$T = k B$ (transportation factor m^2/s.)

$$Q = \frac{2\pi \ T \ (S_2 - S_1)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

وعند حافة منطقة التأثير ($H = h_2$, $R = r_2$, $S = 0$)

كما أن ($S_1 = S_w$, $h_1 = h_w$, $r_1 = r_w$) عند جدار البئر :

$$Q = \frac{2\pi \ T \ Sw}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$


من ضخ البئر (Q)
Ø = 2 rw
سطح
بيزومتري
تحت الضغط
سطح
بيزومتري
اصلي
Sw
S1
S2
H
h1
h2
خزان
محصور
انسياب
B
r 1
R
r 2

• الجريان غير المحصور (الحـــر) Unonfined Flow

$$Q = \frac{\pi k \ (h_2^2 - h_1^2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

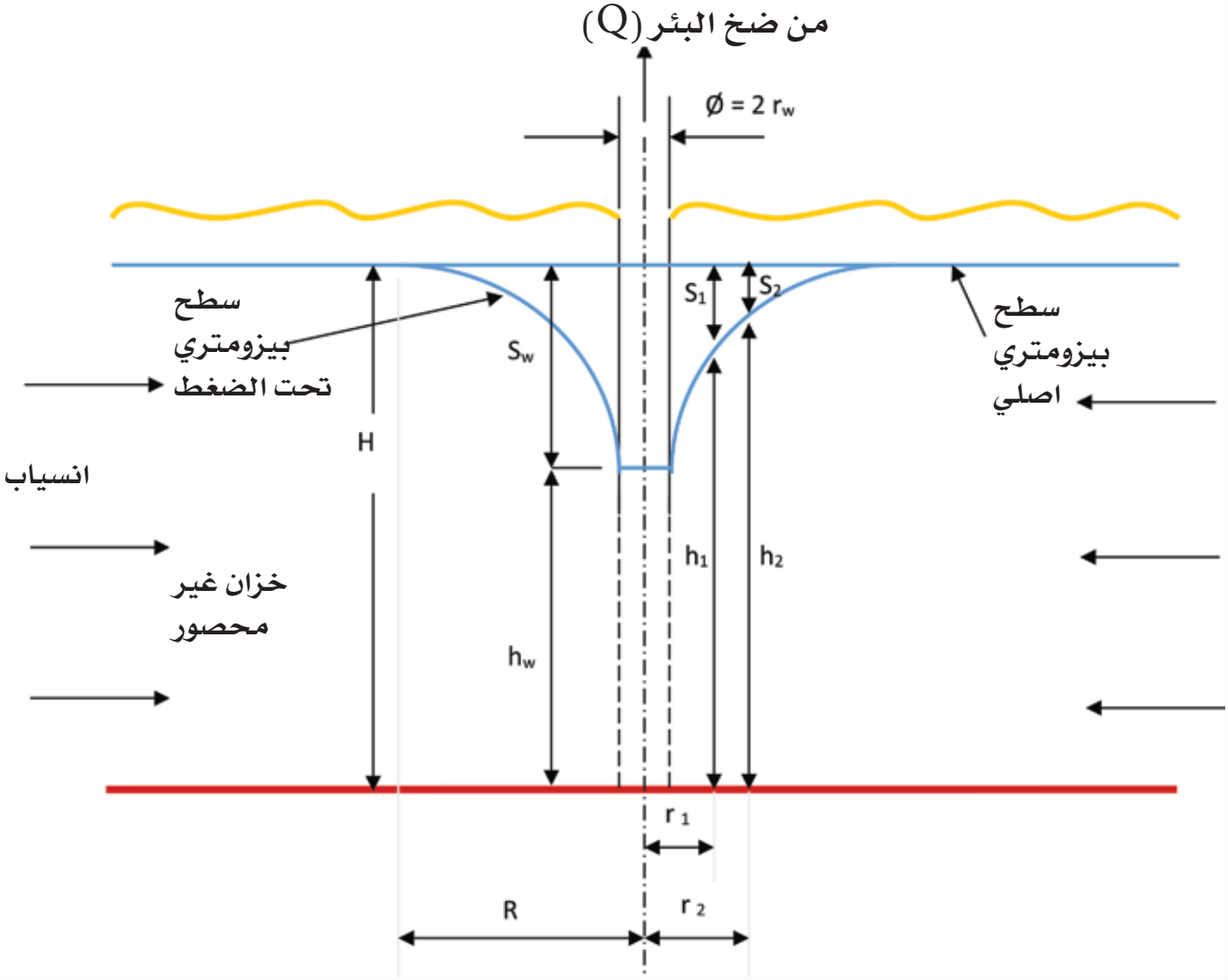
وعند حافة منطقة التأثير ($H = h_2$, $R = r_2$)

كما أن ($r_1 = r_w$, $h_1 = h_w$) عند جدار البئر :

$$Q = \frac{\pi k \ (H^2 - h_w^2)}{\ln(\frac{R}{r_w})}$$

Or :

$$Q = \frac{\pi k \ (h_1^2 - h_w^2)}{\ln(\frac{r_1}{r_w})}$$


من ضخ البئر (Q)
Ø = 2 rw
سطح
بيزومتري
تحت الضغط
سطح
بيزومتري
اصلي
S1
S2
Sw
H
انسياب
خزان غير
محصور
h1
h2
hw
r 1
R
r 2

أنماط تدفق المياه الجوفية

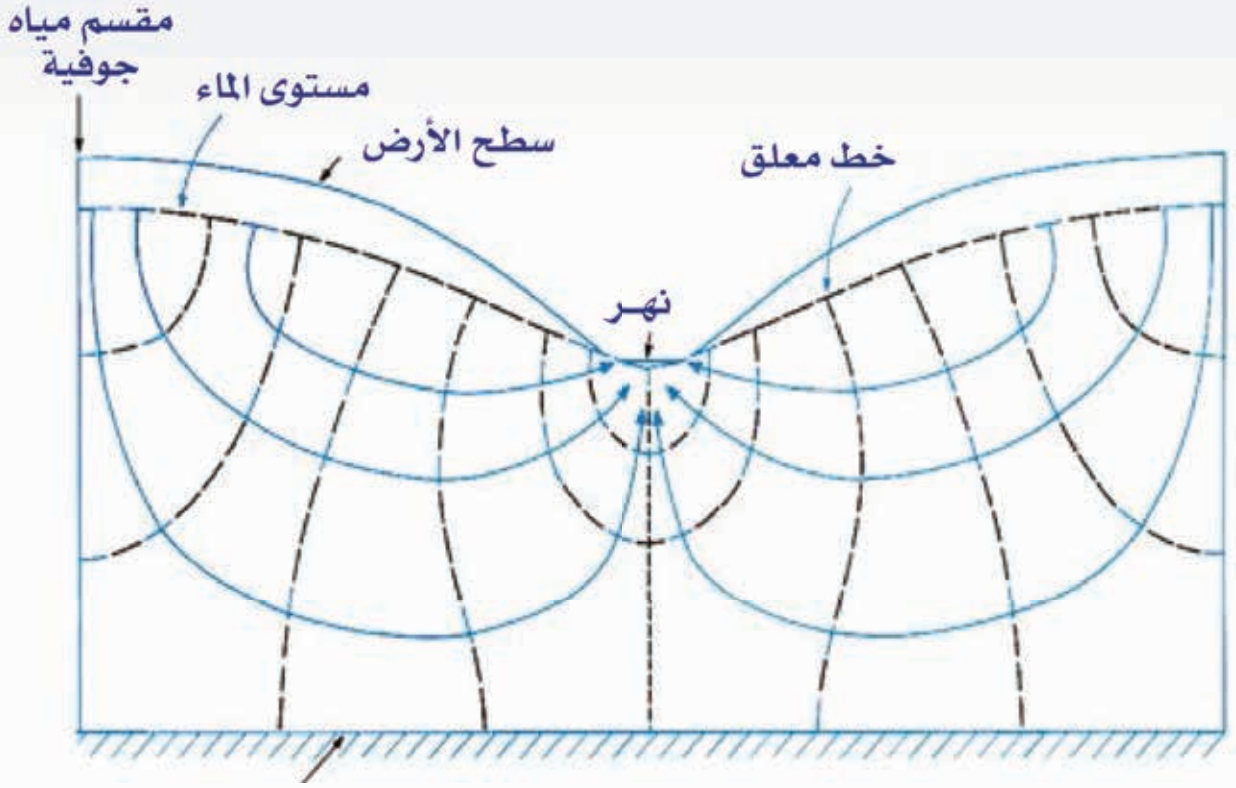
في إطار الدورة المائية أو الهيدرولوجية، تتأثر أنماط تدفق المياه الجوفية بالعوامل الجيولوجية مثل الاختلافات في طبقات المياه الجوفية وبنية الطبقات المحصورة.

هناك تأثير آخر على تدفق المياه الجوفية، بخلاف عدم تجانس طبقة المياه الجوفية، وهو تضاريس سطح الأرض. تؤثر التضاريس بشكل كبير على تدفق المياه الجوفية على المستويات المحلية والمتوسطة والإقليمية.

إن ارتفاع مناطق التغذية في مناطق نتوء طبقة المياه الجوفية، والدرجة التي تقطع بها أنظمة الأنهار المناظر الطبيعية وموقع ومدى المناطق المنخفضة التي تعاني من تصريف المياه الجوفية تحدد التكوين العام لتدفق المياه الجوفية.

وكما أوضح فريز وويذرسبون (1967)، فإن المواقع النسبية والاختلاف في ارتفاع مناطق التغذية والتفريغ تحدد التدرجات الهيدروليكية وطول مسارات تدفق المياه الجوفية.

لفهم تأثير التضاريس، ضع في اعتبارك شبكة تدفق المياه الجوفية الموضحة في الشكل الآتي لمقطع عرضي عمودي ثنائي الأبعاد من خلال طبقة مياه جوفية متجانسة ومتناحية. حيث يُظهر القسم واديًا واحدًا تحده فواصل المياه الجوفية وقاعدة طبقة مياه جوفية غير منفذة. يعتبر منسوب المياه الجوفية نسخة طبق الأصل من تضاريس جوانب الوادي.



شبكة تدفق المياه الجوفية لمقطع عرضي عمودي ثنائي الأبعاد من خلال طبقة مياه جوفية متجانسة.

يتم رسم خطوط تساوي الجهد وتدفق المياه الجوفية في الحالة المستقرة باستخدام قواعد تحليل صافي التدفق. ويتضح من شبكة التدفق أن تدفق المياه الجوفية يحدث من مناطق التغذية على جوانب الوادي إلى منطقة التصريف في قاع الوادي.

كما تم وضع علامة على الخط المفصلي الذي يفصل بين مناطق التغذية والتفريغ في الشكل السابق. بالنسبة لمعظم الملامح الطبوغرافية الشائعة، يتم وضع الخطوط المفصلية بالقرب من قيعان الوادي أكثر من فواصل مستجمعات المياه، حيث تشكل مناطق التصريف عادة 5–30 % فقط من منطقة مستجمعات المياه.

حدد توث (1963) حلاً لمشكلة القيمة الحدودية التي تمثلها شبكة التدفق الموضحة في الشكل السابق. يوفر الحل تعبيرًا تحليليًا للرأس الهيدروليكي في

مجال التدفق للحالات البسيطة لمنسوب الماء المائل ذو الانحدار الثابت والحالات التي يتم فيها فرض منحنى جيبي على المنحدر لتمثيل التضاريس الصخرية.

طور فريز وويذرسبون (1967) هذا النهج الرياضي بشكل أكبر من خلال استخدام عمليات المحاكاة العددية لدراسة تأثيرات التضاريس والجيولوجيا على طبيعة أنماط تدفق المياه الجوفية الإقليمية.

وكما هو موضح في الشكل الآتي، اقترح توث (1963) أنه من الممكن التمييز بين أنظمة تدفق المياه الجوفية المحلية والمتوسطة والإقليمية.

رسم بياني يوضح تأثير تضاريس التلال في إنتاج أنظمة تدفق المياه الجوفية المحلية والمتوسطة والإقليمية.

وأظهر توث (1963) أيضًا أنه عندما تصبح نسبة العمق إلى المدى الجانبي لنظام طبقة المياه الجوفية بأكمله أصغر وكلما أصبحت سعة الروابي أكبر، فمن المرجح أن تصل أنظمة التدفق المحلية إلى قاعدة طبقة المياه الجوفية، وبالتالي خلق سلسلة من خلايا تدفق المياه الجوفية الصغيرة.

بشكل عام، عندما تكون التضاريس المحلية ضعيفة، تتطور الأنظمة الإقليمية فقط مقارنة بمناطق التضاريس المحلية الواضحة حيث تتطور أنظمة التدفق المحلية فقط.

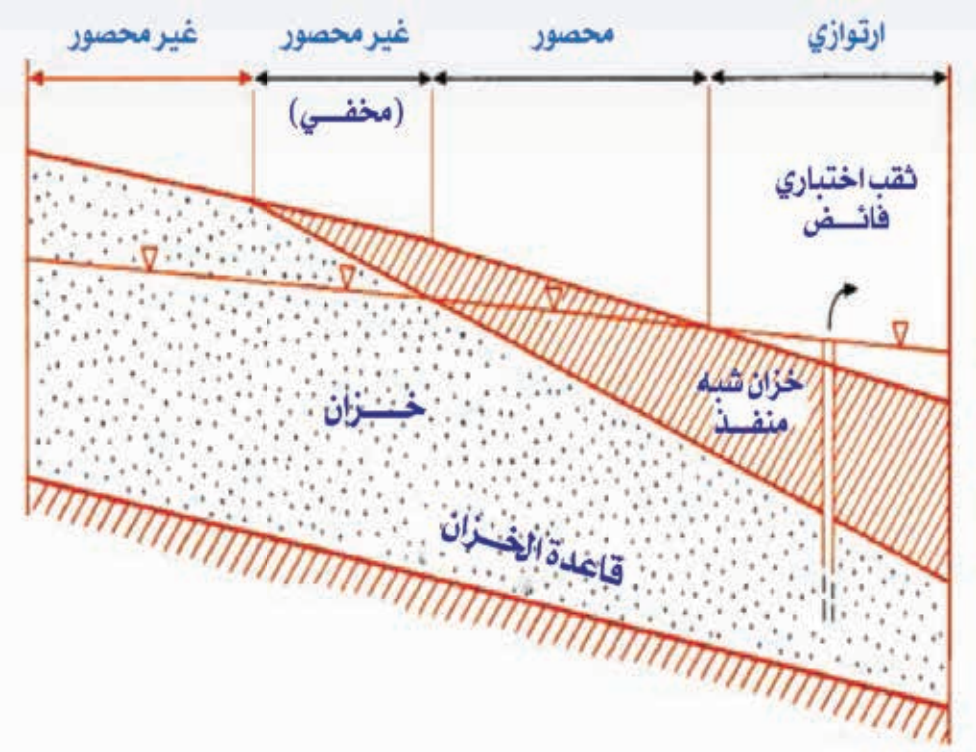
يتحرك تدفق المياه الجوفية في الأنظمة المحلية والمتوسطة بسرعة نسبية على طول مسارات التدفق القصيرة ويتم تصريفها كتدفق أساسي إلى الجداول على المستوى المحلي والأنهار على النطاق المتوسط.

يتمتع المكون الإقليمي لتدفق المياه الجوفية بفترة بقاء طويلة نسبيًا ويتبع مسارات تدفق طويلة قبل تصريفها إلى الأنهار الرئيسية.

• أنـــواع ظـــروف الميـــاه الجوفيـــة

تتأثر ظروف المياه الجوفية بشدة بتجاور الوحدات الصخرية والبنية الجيولوجية. يمكن لطبيعة هندسة طبقة المياه الجوفية أن تؤدي إلى أربعة أنواع أساسية من ظروف المياه الجوفية، كما هو موضح في الشكل الآتي، وتحدد أيضًا حدوث الينابيع.

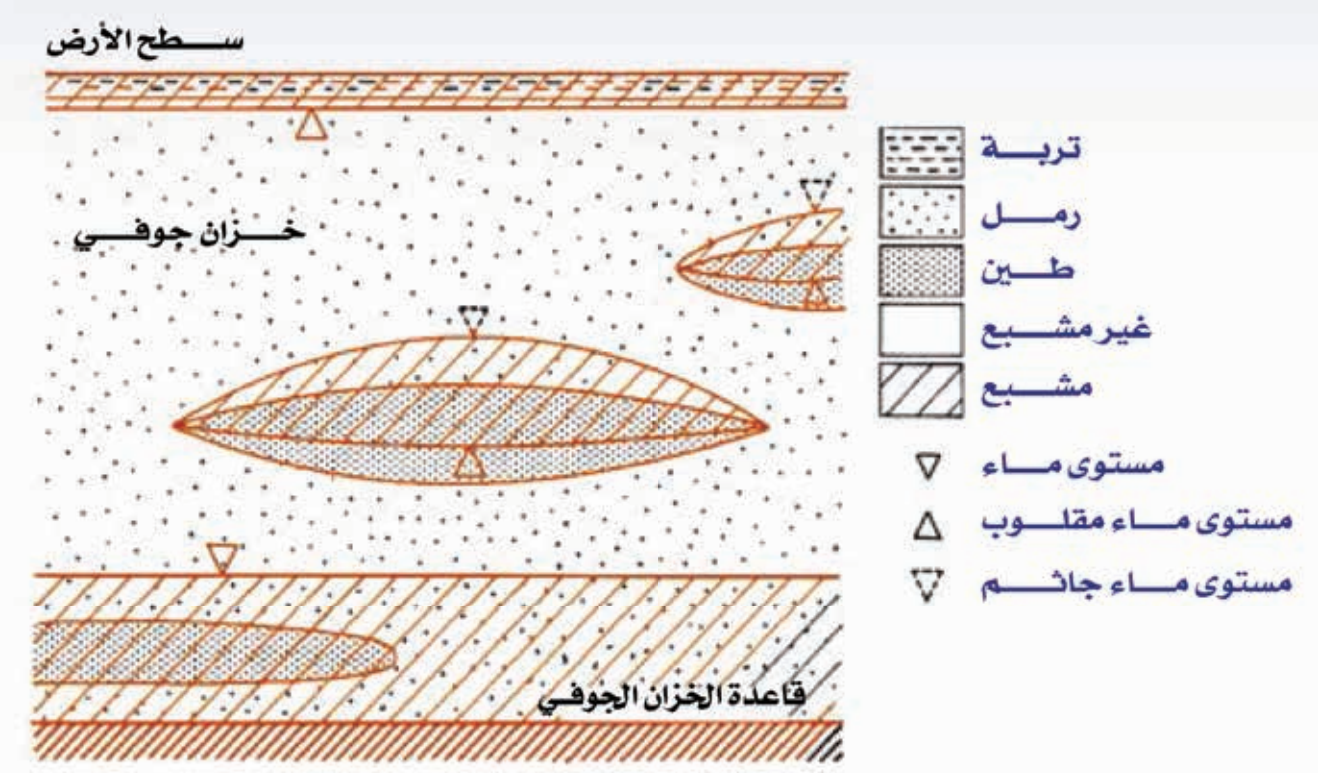
توجد طبقة مياه جوفية غير محصورة عندما يتم تطوير منسوب مائي يفصل المنطقة غير المشبعة أعلاه عن المنطقة المشبعة أدناه. من الممكن أن تتطور طبقة مياه جوفية غير محصورة تحت السطح السفلي لطبقة مائية. وفي هذه الحالة، يتم التعرف على طبقة المياه الجوفية المخفية وغير المحصورة.



مقطع عرضي يوضح أربعة أنواع من ظروف المياه الجوفية. يتم تطوير منسوب المياه حيث تكون طبقة المياه الجوفية غير محصورة أو مخفية، ويوجد سطح قياس الجهد حيث تتعرض طبقة المياه الجوفية لظروف محصورة أو ارتوازية.

في المواد غير المتجانسة، على سبيل المثال الوحدات الرسوبية التي تحتوي على عدسات مقحمة أو طبقات من الطين، يمكن أن تتطور ظروف منسوب المياه الجوفية.

كما هو مبين في الشكل الآتي، فوق منسوب المياه الإقليمي وداخل المنطقة غير المشبعة، تتسبب طبقة من الطين داخل مصفوفة رملية في احتجاز الماء فوق المادة ذات النفاذية المنخفضة مما يؤدي إلى تكوين منسوب مائي جاثم.



تطورت ظروف المياه الجوفية الجاثمة والمقلوبة داخل طبقة مياه جوفية رملية تحتوي على عدسات طينية. يظهر أيضًا منسوب المياه المقلوب أسفل سطح الأرض المبلل في منطقة التربة.

نظـرًا لأن ظـروف منسـوب الميـاه تحـدث عندمـا تكـون الميـاه الجوفيـة عنـد الضغـط الجـوي، فـإن منسـوب الميـاه المقلـوب يحـدث عنـد قاعـدة عدسـة المـاء الجاثمـة في الطبقـة الطينيـة وأيضًـا تحـت سـطح الأرض بعـد هطـول الأمطـار الـذي يتسـرب فيـه المـاء إلـى منطقـة التربـة.

توجـد طبقـة ميـاه جوفيـة محصـورة بـين خزانـين أو خزانـات ميـاه. تتعـرض الميـاه الموجـودة في طبقـة الميـاه الجوفيـة المحصـورة للضغـط، بحيـث ترتفـع الميـاه الجوفيـة في البئـر التـي تختـرق الوحـدة المحصـورة إلـى مسـتوى أعلـى مـن قمـة طبقـة الميـاه الجوفيـة.

إذا ارتفع منسوب المياه الجوفية إلى أعلى البئر فوق مستوى سطح الأرض وفاض، فعندئذ تتم مواجهة حالة فيضان المياه الجوفية الارتوازية. إذا حدث الإفراط في استخراج المياه الجوفية من الآبار التي تستغل طبقة مياه جوفية محصورة، فيمكن سحب مستوى المياه الجوفية إلى أسفل الجزء العلوي من طبقة المياه الجوفية بحيث يصبح غير محصور.

إذا كانت الوحدة الجيولوجية المغطاة تتصرف كخزان مائي، فيمكن أن يحدث تسرب للمياه إلى طبقة المياه الجوفية الأساسية إذا تم تطوير تدرج هيدروليكي عمودي عبر حدود خزان المياه الجوفية. يتم مواجهة هذا الوضع بشكل شائع عندما تعلو الطمي النهري أو النهري الجليدي والطين الرملي طبقة المياه الجوفية وتؤدي إلى حالة طبقة المياه الجوفية شبه محصورة. يتطلب التفسير الهيدروجيولوجي الإقليمي الأكثر اكتمالا الجمع بين المعلومات الجيولوجية والجيومورفولوجية المعينة وتحليلها، وبيانات مستوى المياه الجوفية التي تم مسحها، والملاحظات الميدانية الهيدروجيولوجية.

الخصائص الفيزيائية للمياه الجوفية

يتم تحديد وجود المياه الجوفية داخل القشرة الأرضية وظهور الينابيع على سطح الأرض من خلال الخصائص الحجرية للمواد الجيولوجية، والبنية الجيولوجية الإقليمية، وجيومورفولوجيا الأشكال الأرضية، وتوافر مصادر التغذية.

يخضع تسرب الأمطار إلى منسوب المياه الجوفية وتدفق المياه الجوفية في طبقة المياه الجوفية نحو منطقة التصريف لقوانين فيزيائية تصف التغيرات في طاقة المياه الجوفية.

• المسامية

مسامية التربة أو الصخور هي ذلك الجزء من حجم معين من المادة التي يشغلها فراغ أو فجوات. عادة ما يتم التعبير عن المسامية، التي يشار إليها بالرمز n، كنسبة حجم الفراغات، V_v، إلى إجمالي حجم الوحدة، Vt، للتربة أو الصخور، بحيث $n = V_v / V_t$. يمكن تحديد المسامية في المختبر من خلال معرفة كثافة الكتلة الظاهرية، ρ_b، وكثافة كتلة الجسيمات، ρ_s، للمادة المسامية باستخدام العلاقة:

$$n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

في الصخور المكسورة، يمكن تقدير المسامية الثانوية أو مسامية الكسر بطريقة خطوط المسح باستخدام العلاقة $n_f = F_a$ حيث F هو عدد المفاصل

لكل وحدة مسافة تتقاطع مع خط مسح مستقيم عبر نتوء صخري، و a هو متوسط الفتحة الكسور.

ترتبط المسامية ارتباطًا وثيقًا بنسبة الفراغ، e، وهي نسبة حجم الفراغات إلى حجم المادة الصلبة، Vs، بحيث يكون $e = V_v/V_s$. يمكن التعبير عن العلاقة بين المسامية ونسبة الفراغ على النحو التالي:

$$n = \frac{e}{(1+e)}$$

أو

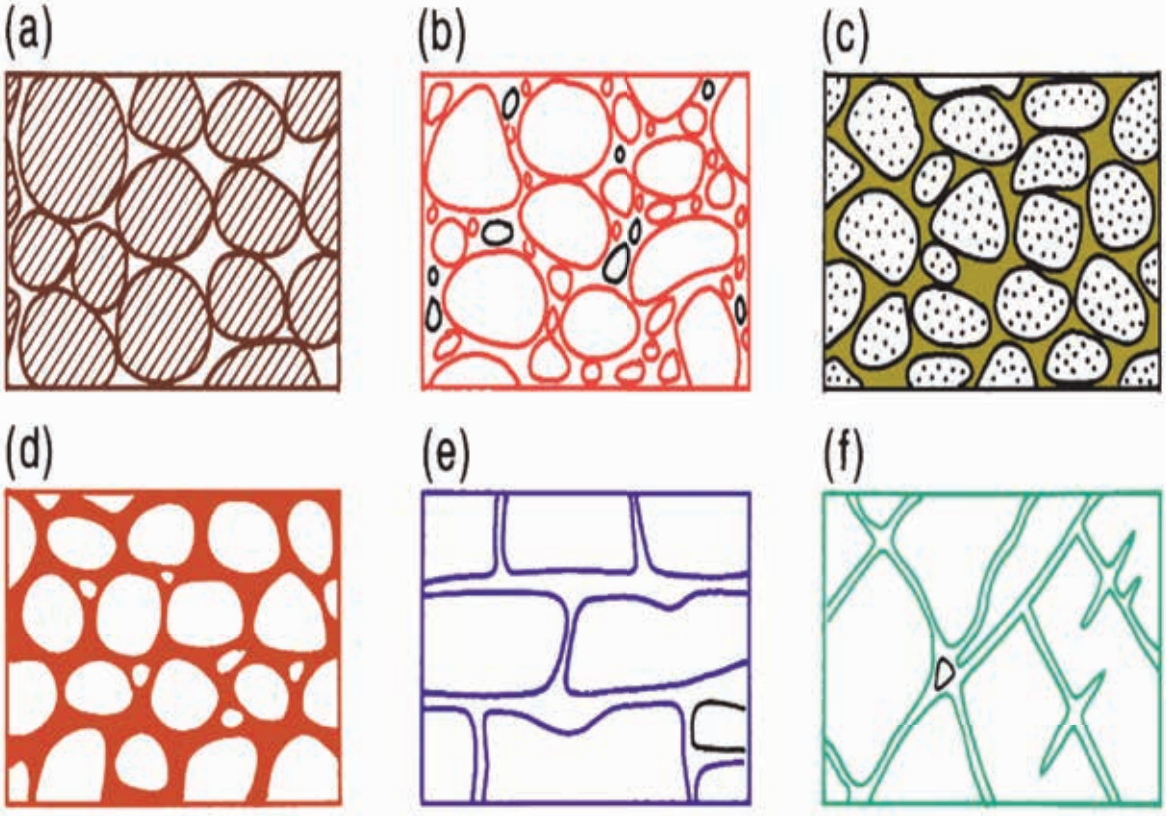
$$e = \frac{n}{(1-n)}$$

تعرض نسبة الفراغ نطاقًا واسعًا من القيم. في التربة والصخور ذات المسامية الإجمالية التي تتراوح من 0.001 إلى 0.7، تتراوح نسبة الفراغ المقابلة من 0.001 إلى 2.3. بشكل عام، تحتوي الرواسب غير المجمعة مثل الحصى والرمال والطمي والطين، والتي تتكون من جزيئات زاوية ومستديرة، على مسامية أكبر من الرواسب المتصلبة والمتماسكة مثل الحجر الرملي والحجر الجيري.

تتميز الصخور النارية والمتحولة البلورية بمسامية منخفضة بشكل خاص لأن المسام موجودة فقط داخل الأسطح البينية. على العكس من ذلك، يمكن

للتكوينـات الغنيـة بمعـادن الطـين البلاتـي ذات حجـم الحبيبـات الدقيقـة جـدًا أن تحقـق قيـم مسـامية عاليـة.

كمـا هـو موضـح في الشـكل الآتـي، يتـم التحكـم في المسـامية مـن خـلال شـكل وترتيـب الحبـوب المكونـة، ودرجـة الفـرز، والضغـط، والتثبيـت، والتكسـير، والتجويـة المحلوليـة.



أنواع المسامية فيما يتعلق بنسيج الصخور: (a) الرواسب الرسوبية جيدة الفرز ذات المسامية العالية؛ (b) الرواسب الرسوبية سيئة الفرز ذات المسامية المنخفضة؛ (c) رواسب رسوبية جيدة الفرز تتكون من حصى مسامية في حد ذاتها، بحيث تتمتع الرواسب بأكملها بمسامية عالية جدًا؛ (d) الرواسب الرسوبية جيدة الفرز والتي انخفضت مساميتها عن طريق ترسيب المواد المعدنية (الأسمنت) في الفجوات؛ (e) الصخور القابلة للذوبان التي تصبح مسامية بالمحلول؛ (f) الصخور البلورية التي يسهل اختراقها عن طريق التكسير.

تتراوح قيم المسامية من صغيرة بشكل لا يذكر (0 %) للصخور غير المكسورة إلى 0.1 (10 %) للصخور البلورية المتعرضة للتجوية إلى 0.4–0.7 (40–70 %) للرواسب الطينية غير المجمعة.

هناك فرق بين المسامية الأولية Primary Porosity، وهي السمة المتأصلة لمصفوفة التربة أو الصخور التي تطورت أثناء تكوينها، والمسامية الثانوية Secondary Porosity. قد تتطور المسامية الثانوية نتيجة للتجوية الفيزيائية والكيميائية الثانوية على طول طبقات الطبقة ومفاصل الرواسب المتصلبة مثل الحجر الجيري والحجر الرملي، أو نتيجة للتكسير الإقليمي الذي يتم التحكم فيه هيكليًا والتجوية القريبة من السطح في الصخور الصلبة مثل الصخور النارية والمتحولة، عند وجود كل من المسامية الأولية والثانوية، يتم التعرف على نظام المسامية المزدوجة، على سبيل المثال نتيجة للكسر والتشقق في الحجر الرملي المسامي أو الحجر الجيري.

لا يمكن النظر إلى كل المياه الموجودة في مسام التربة أو الصخور على أنها متاحة لتدفق المياه الجوفية، وخاصة في طبقات المياه الجوفية ذات الحبيبات الدقيقة أو المكسورة، في طبقة المياه الجوفية ذات منسوب المياه الجوفية، يُعرف حجم المياه المنطلقة من تخزين المياه الجوفية لكل وحدة مساحة سطح طبقة المياه الجوفية لكل وحدة انخفاض في منسوب المياه باسم العائد المحدد (SY) Specific Yield.

يُطلق على جزء الماء المحتجز في التربة أو الصخور ضد قوة الجاذبية اسم الاحتباس النوعي Specific Retention (SR) ومجموع المحصول النوعي والاحتفاظ النوعي (Sy + SR) يساوي المسامية الكلية Total Porosity n.

ومن المفيد التمييز بين المسامية الكلية والمسامية الفعالة ne Effective Porosity، للمادة المسامية. تتعلق المسامية الإجمالية بقدرة تخزين المادة بينما

تتعلق المسامية الفعالة بقدرة نقل المادة، في الصخور الخشنة الحبيبات ذات المسام الكبيرة، تشغل الأغشية الشعرية التي تحيط بالجزيئات الصلبة نسبة صغيرة فقط من مساحة المسام بحيث تساوي SY وne تقريبًا n. أما في الصخور الدقيقة والطين، تهيمن القوى الشعرية بحيث تساوي SR تقريبًا n، لكن ne ستكون أقل بكثير من n.

يمكن وصف هذه الاختلافات بمصطلح مساحة السطح المحددة Specific Surface Area (SSP)، والتي يتم تعريفها على أنها نسبة إجمالي مساحة السطح للفراغات الخلالية إلى الحجم الإجمالي للمادة المسامية.

في الرمال، سيكون SSP في حدود 1.5×10^4 م لكن في طين المونتموريلونيت يبلغ نحو 1.5×10^9 م. ولهذه الخصائص أهمية في امتصاص جزيئات الماء والأيونات الذائبة على الأسطح المعدنية وخاصة الطينية.

في حالة طبقة المياه الجوفية المتشققة أو المكسورة، مثل الحجر الجيري والصخور البلورية التي تعرضت للتجوية، عادة ما تكون المياه الموجودة في المادة الصلبة غير متحركة وترتبط المسامية الفعالة الوحيدة بالمياه المتنقلة الموجودة في الشقوق والكسور ومع زيادة العمق، يتناقص تكرار الشقوق والكسور ويؤدي الضغط الزائد المتزايد إلى إغلاق أي فتحات متبقية، مما يؤدي إلى انخفاض المسامية الفعالة لهذه التكوينات بشكل كبير.

• الخـواص والتجانـس الطبقـي

من غير المرجح أن تتوافق خصائص طبقة المياه الجوفية، مثل التوصيل الهيدروليكي، مع المادة المسامية المثالية والموحدة سواء تم النظر إليها على المستوى المجهري أو الإقليمي.

تُستخدم مصطلحات الخواص Isotropy، وتباين الخواص Anisotropy، والتجانس Homogeneity، وعدم التجانس Heterogeneity لوصف التباين المكاني والاتجاهات الاتجاهية في قيم خصائص طبقة المياه الجوفية.

إذا كانت الموصلية الهيدروليكية، K، مستقلة عن الموضع داخل تكوين جيولوجي، يكون التكوين متجانسًا. إذا كانت الموصلية الهيدروليكية تختلف من مكان إلى آخر، فإن التكوين يكون غير متجانس.

ويعتمد نوع عدم التجانس على البيئة الجيولوجية التي أدت إلى ظهور الرواسب أو نوع الصخور. كما هو مبين في الشكل الآتي، يعد عدم تجانس الطبقات أمرًا شائعًا في الصخور الرسوبية حيث يكون لكل طبقة تشتمل على التكوين قيمة التوصيل الهيدروليكي الخاصة به.

سيكون عدم تجانس الطبقات القوي موجودًا في الرواسب المتداخلة من الطين والرمل. وبالمثل، يمكن أن تنشأ تناقضات كبيرة في حالات عدم التجانس المتقطع الناجم عن وجود أخطاء أو سمات طبقية واسعة النطاق. يوجد عدم تجانس شائع في التكوينات مثل الدلتا والمراوح الغرينية والسهول الجليدية حيث يتم فرز وتصنيف رواسب المواد. توجد أيضًا اتجاهات رأسية في التوصيل الهيدروليكي في الصخور المدمجة حيث تعتمد النفاذية على كثافة المفاصل والكسر.

من المقبول على نطاق واسع أن التوزيع الإحصائي للموصلية الهيدروليكية للتكوين الجيولوجي يتم وصفه بواسطة دالة كثافة الاحتمالية اللوغاريتمية العادية مع متوسط التوصيل الهيدروليكي المحسوب كمتوسط هندسي. يمكن اعتبار عدم التجانس السائد داخل التكوين الجيولوجي بمثابة اتجاه في متوسط قيمة التوصيل الهيدروليكي.

التكويـن الجيولوجـي المتاحـي هـو التكويـن الـذي تكـون فيـه الموصليـة الهيدروليكيـة مسـتقلة عـن اتجـاه القيـاس عنـد نقطـة في التكويـن. إذا تغيـرت الموصليـة الهيدروليكيـة مـع اتجـاه القيـاس عنـد نقطـة مـا، يكـون التكويـن متبايـن الخـواص عنـد تلـك النقطـة. تتوافـق الاتجاهـات الرئيسـية لتبايـن الخـواص مـع الحـد الأقصـى والحـد الأدنـى لقيـم التوصيـل الهيدروليكـي وعـادة مـا تكـون بزوايـا قائمـة مـع بعضهـا البعـض.

السـبب الرئيسـي لتبايـن الخـواص علـى نطـاق صغيـر هـو اتجـاه المعـادن الطينيـة في الصخـور الرسـوبية والرواسـب غيـر المجمعـة. في الصخـور المدمجـة، يمكـن أن يـؤدي اتجـاه الوصـل أو التكسـير إلـى تبايـن قـوي علـى مسـتويات مختلفـة، مـن المحليـة إلـى الإقليميـة. نتيجـة لإدخـال تبايـن الخـواص، مـن الضـروري أيضًـا إدراك أنـه في نظـام التدفـق ثلاثـي الأبعـاد، فـإن سـرعة التفريـغ المحـددة أو سـرعة دارسـي كمـا حددهـا قانـون دارسـي، هـي كميـة متجهـة ذات مكونـات qx و qy و qz تعطـى بواسـطة:

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}, q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}, q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

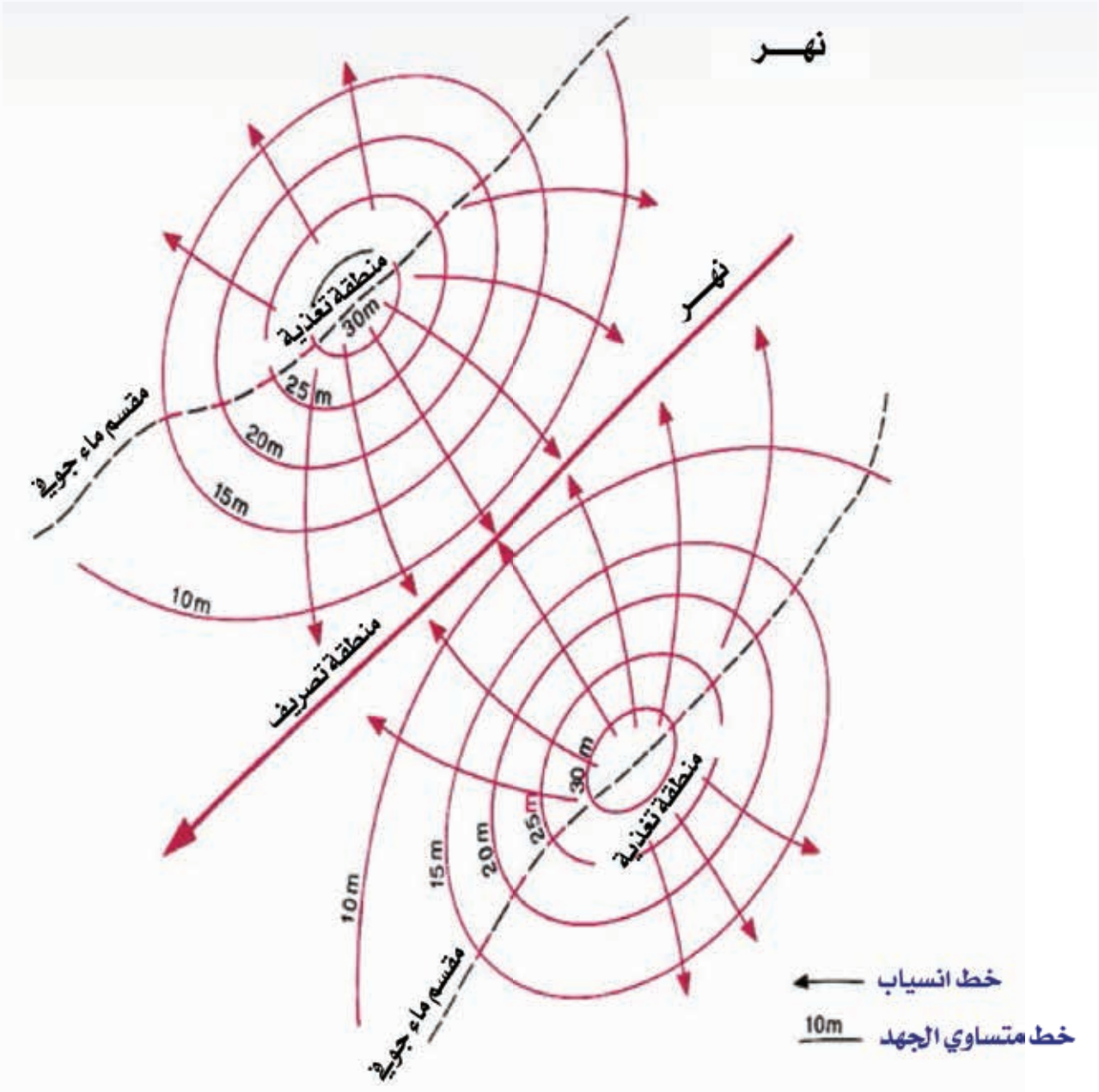
حيث Kx وKy وKz هي قيم التوصيل الهيدروليكي في اتجاهات x وy وz.

منسوب المياه والخرائط السطحية لقياس الجهد

توفر آبار المراقبة ومقاييس الضغط الموجودة داخل المنطقة صورة للتوزيع ثلاثي الأبعاد للرأس الهيدروليكي في جميع أنحاء نظام طبقة المياه الجوفية. تسمى الخطوط المرسومة عند نقاط الوصل لرأس المياه الجوفية المتساوية، أو إمكانات المياه الجوفية، خطوط تساوي الجهد Equipotential Lines. الخطوط المتعامدة مع خطوط تساوي الجهد هي خطوط تدفق ويمكن استخدامها في بناء شبكة التدفق. في عرض المخطط، يؤدي إنشاء خطوط تساوي الجهد إلى خريطة لسطح قياس الجهد.

في طبقة المياه الجوفية غير المحصورة، يكون سطح قياس الجهد بمثابة خريطة لمنسوب المياه، حيث تكون المياه الجوفية حسب التعريف عند الضغط الجوي، في طبقة المياه الجوفية المحصورة، يتنبأ سطح قياس الجهد بالموقع الذي سيرتفع إليه منسوب المياه في البئر الذي يخترق طبقة المياه الجوفية المدفونة.

وكما هو مبين في الشكل الآتي، يمكن تفسير المناطق ذات الرأس الهيدروليكي المرتفع على أنها مناطق تغذية للمياه الجوفية بينما تكون المناطق ذات الرأس الهيدروليكي المنخفض عادةً في مناطق تصريف المياه الجوفية.



خريطة مبدئية لسطح منسوب المياه الجوفية في طبقة المياه الجوفية غير المحصورة، توضح مناطق التغذية والتفريغ ومواقع تقسيمات المياه الجوفية.

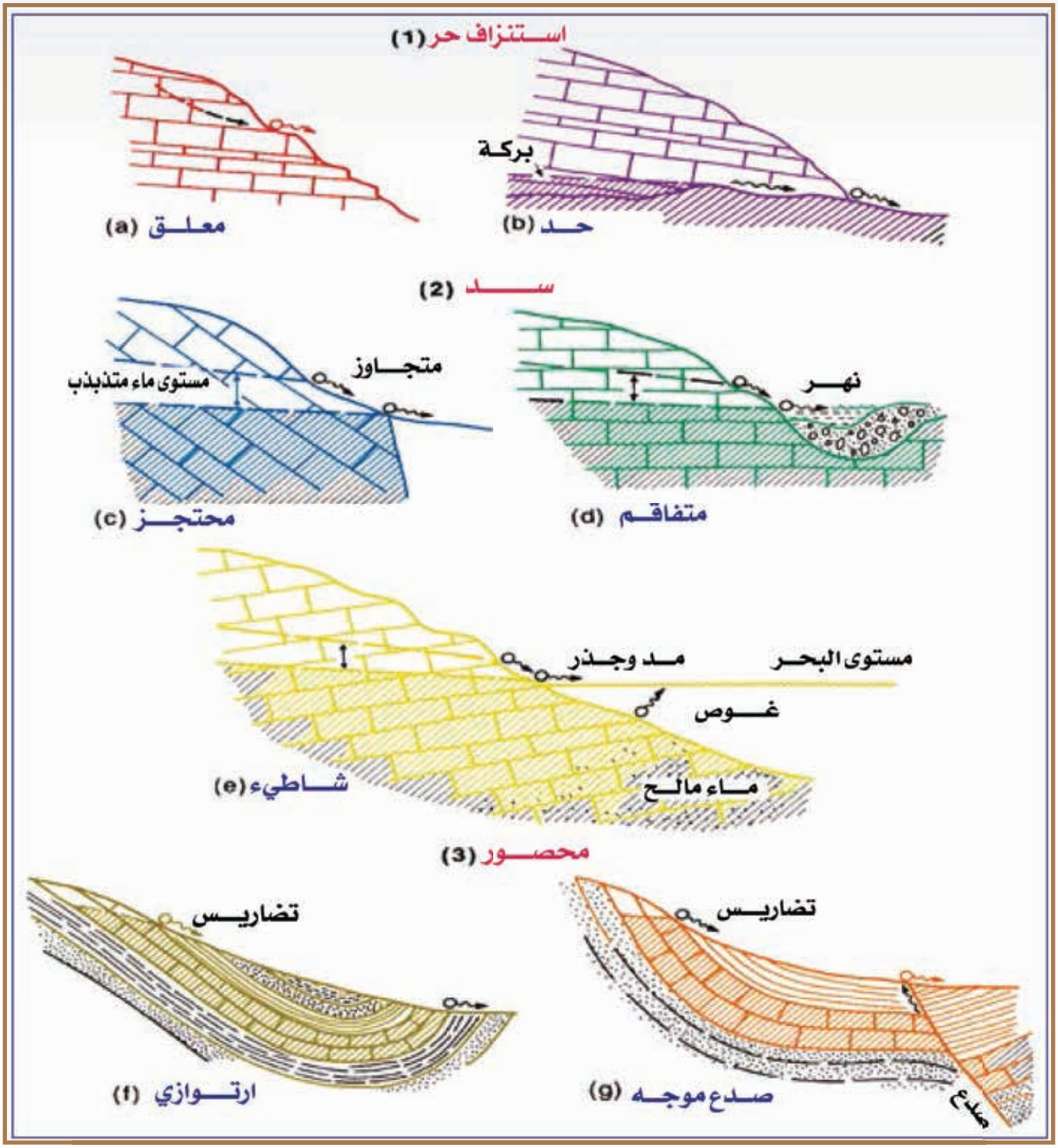
• تصنيف الينابيع والجداول المتقطعة

تمت مناقشة تصنيف الينابيع منذ وقت مبكر مثل براين (1919) الذي تعرف على الأنواع التالية: البركانية، والشق، والاكتئاب، والتلامس، والارتوازية، والينابيع في الصخور غير المنفذة، بتعريفها البسيط، تمثل الينابيع نهاية أنظمة التدفق تحت الأرض وتحدد النقطة التي تصبح عندها العمليات النهرية هي المهيمنة.

يمثل الوضع الرأسي للنبع ارتفاع منسوب المياه الجوفية أو الحد الأدنى لارتفاع سطح قياس الجهد عند نقطة التصريف من طبقة المياه الجوفية، إن تأثير الينابيع على طبقات المياه الجوفية التي تستنزفها يعتمد بشكل أساسي على السياق الطبوغرافي والهيكلي للينبوع.

ناقش فورد وويليامز (1989) الضوابط الهيدروجيولوجية على الينابيع ويتعرفان على ثلاثة أنواع رئيسية من الينابيع (التصريف الحر، والسدود، والينابيع المحصورة)، بشكل أساسي فيما يتعلق بطبقات المياه الجوفية الكارستية التي توجد فيها بعض أكبر الينابيع في العالم.

بالإشارة إلى الشكل الآتي فإن ينابيع التصريف الحر تتعرض لتصريف المياه الجوفية تحت تأثير الجاذبية وتكون كليًا أو معظمها في المنطقة غير المشبعة (الفادوز).



أنـواع الينابيـع

الينابيع السدودية هي نوع شائع وتنتج عن وجود حاجز رئيسي في مسار الصرف تحت الأرض. قد يكون الحاجز ناجمًا عن صخور أخرى، إما معيبة أو في اتصال مطابق، أو قد يكون ناجمًا عن تدهور الوادي، مثل ترسب الرواسب الجليدية.

تشكل المياه المالحة الأكثر كثافة في البحر أيضًا حاجزًا أمام تصريف المياه الجوفية المغمورة بالمياه العذبة. وفي كل حالة، قد تتشكل ينابيع فائضة مؤقتة في أوقات ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

وفي أماكن أخرى، تتسرب المياه الجوفية حيث تتم إزالة الطبقات المغطاة عن طريق التآكل. وبما أن المياه الناشئة عادة ما تتوازن بسرعة مع الضغط الجوي، فإن الغازات الذائبة يمكن أن تخلق مظهرًا «غليانًا» داخل حوض الينابيع.

في الأنهار التي تتدفق فوق نتوء طبقة المياه الجوفية، يمكن أن تتطور ظروف التدفق والنفايات السائلة اعتمادًا على موقع منسوب المياه الجوفية بالنسبة لارتفاع قاع النهر. ومع التقلبات الموسمية لمنسوب المياه الجوفية، ستختلف أيضًا أجزاء النهر التي تتلقى تصريف المياه الجوفية بالإضافة إلى الجريان السطحي.

كيمياء المياه الجوفية

تعتبر دراسة كيمياء المياه الجوفية، أو الكيمياء الهيدرولوجية، مفيدة في جيولوجيا المياه بعدة طرق. يمكن أن يساعد تفسير توزيع المعلمات الهيدروكيميائية في المياه الجوفية في فهم الظروف الهيدروجيولوجية ويمكن أن يساعد أيضًا في اتخاذ القرارات المتعلقة بنوعية المياه المخصصة لمياه الشرب. تعتبر العمليات الهيدروكيميائية مهمة أيضًا في تخفيف ملوثات المياه الجوفية. سنتكلم هنا عن العمليات الهيدروكيميائية الرئيسية ذات الأهمية في المياه الجوفية. وتوفر التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية بين المياه الجوفية والمواد الجيولوجية للتربة والصخور مجموعة واسعة من المكونات العضوية وغير العضوية الذائبة.

وتشمل الاعتبارات الهامة الأخرى التركيب المتنوع لهطول الأمطار والترسيب الجاف في الغلاف الجوي فوق مناطق تغذية المياه الجوفية، وتعديل المدخلات الجوية عن طريق التبخر، والامتصاص التفاضلي للعمليات البيولوجية في منطقة التربة والاختلاط بمياه البحر في المناطق الساحلية. وكما هو الحال مع المياه العذبة في البيئة المائية الأرضية، فإن المكونات الذائبة الرئيسية للمياه الجوفية هي الأيونات الرئيسية الستة الصوديوم (Na^{+})، والكالسيوم (Ca^{2+})، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والكلوريد (Cl^{-})، والبيكربونات. (HCO^{3-}) والكبريتات (SO_4^{2-}).

تشكل هذه الكاتيونات والأنيونات عادة أكثر من 90 % من إجمالي محتوى المواد الصلبة الذائبة، بغض النظر عما إذا كان الماء عبارة عن مياه أمطار مخففة أو لديه ملوحة أكبر من مياه البحر. تشمل الأيونات الثانوية البوتاسيوم (K^{+})، والحديد المذاب (Fe^{2+})، والسترونتيوم (Sr^{2+})، والفلورايد (F^{-}) بينما تحتوي المحاليل المائية عادةً أيضًا على كميات من العناصر النزرة والأنواع المعدنية.

يمكن أن يؤدي إدخال الملوثات إلى المياه الجوفية نتيجة للأنشطة البشرية إلى وصول بعض الأيونات الصغيرة عادة إلى تركيزات مكافئة للأيونات الرئيسية. ومن الأمثلة على ذلك النترات، حيث أن الإفراط في استخدام الأسمدة النيتروجينية يمكن أن يرفع تركيزات النترات في مياه التربة والمياه الجوفية إلى مستويات تزيد عن 50 ملجم/ لتر.

• نوعيـة الميـاه الجوفيـة

إن حدوث تلوث المياه الجوفية هو إرث من ممارسات استخدام الأراضي في الماضي والحاضر وضعف الضوابط على التخلص من النفايات. العديد من المواد الخام والمواد الكيميائية لها تاريخ طويل من الاستخدام قبل أن يتم التعرف عليها على أنها خطرة. خلال هذا الوقت، كانت ممارسات التعامل والتخلص من النفايات غير كافية في كثير من الأحيان.

ومن ثم، يجب الأخذ في الاعتبار أن أي موقع صناعي تم فيه استخدام مواد خطرة أصبح الآن مصدرًا محتملاً للأراضي الملوثة. وفي الولايات المتحدة وحدها، ذكرت الأكاديمية الوطنية للعلوم (1994) أن هناك ما يقدر بنحو 300.000 إلى 400.000 موقع للنفايات الخطرة في الولايات المتحدة، وأنه يمكن إنفاق 750 بليون دولار أمريكي على مدى العقود الثلاثة المقبلة على معالجة المياه الجوفية في الولايات المتحدة. هذه المواقع.

إضافة إلى صورة التلوث الصناعي هذه، فإن التوجه نحو الاكتفاء الذاتي في الإنتاج الزراعي والتوسع الحضري المتزايد لسكان العالم المتزايدين يهدد بشكل مباشر نوعية المياه الجوفية من خلال الإفراط في استخدام المواد الكيميائية الزراعية والتخلص غير المنضبط في كثير من الأحيان من النفايات البشرية ومخلفات مدافن النفايات.

وكتعريف، فإن المياه الجوفية الملوثة هي المياه الجوفية المتأثرة بالأنشطة

البشرية الفاسدة إلى الحد الذي تحتوي فيه على تركيزات أعلى من المكونات الذائبة أو المعلقة من التركيزات القصوى المسموح بها التي تحددها المعايير الوطنية أو الدولية لأغراض الشرب أو الصناعة أو الزراعة. تشمل الملوثات الرئيسية للمياه الجوفية المواد الكيميائية مثل المعادن الثقيلة والمذيبات العضوية والزيوت المعدنية والمبيدات الحشرية والأسمدة، والملوثات الميكروبيولوجية مثل البكتيريا البرازية والفيروسات.

• معايير جودة المياه

قد تحتوي المياه الجوفية على مركبات عضوية اصطناعية وكائنات ميكروبيولوجية، على سبيل المثال المذيبات العضوية والبكتيريا المسببة للأمراض، التي يتم إدخالها من مصادر التلوث السطحي. وللحد من الآثار الضارة المحتملة للمكونات الطبيعية والمدخلة للمياه الجوفية، تم تطوير تدابير مختلفة لحماية مستخدمي المياه.

تشمل معايير جودة المياه المعلومات العلمية التي يمكن أن تستند إليها القرارات المتعلقة بنوعية المياه، على سبيل المثال بيانات السمية والمعلومات المتعلقة بتكنولوجيا معالجة المياه المتاحة ومعدلات التدهور البيئي. ومن خلال هذه المعلومات، ومع الأخذ في الاعتبار القضايا السياسية والقانونية والاجتماعية والاقتصادية، يستطيع صناع السياسات تحديد أهداف جودة المياه لتحقيق نوعية جيدة.

بالنسبة للمياه الجوفية، قد لا يكون تحديد أهداف الجودة الكيميائية هو النهج الأفضل دائمًا لأنه يعطي انطباعًا بوجود مستوى مسموح به من التلوث.

وهناك نهج بديل يتمثل في الإشارة إلى أن المياه الجوفية لا ينبغي أن تكون ملوثة على الإطلاق. في الاتحاد الأوروبي، تم اعتماد هذا النهج الاحترازي

لحماية الوضع الكيميائي للمياه الجوفية، ويتضمن حظرًا على التصريف المباشر إلى المياه الجوفية، ولتغطية التصريف غير المباشر، شرط مراقبة مسطحات المياه الجوفية من أجل اكتشاف التغيرات في التركيب الكيميائي وعكس أي اتجاه تصاعدي في التلوث. وبموجب التوجيه بشأن حماية المياه الجوفية من التلوث الناجم عن مواد خطرة معينة (EEC/68/80؛ مجلس المجتمعات الأوروبية 1980)، تم إدراج المواد الأكثر سمية ضمن القائمتين الأولى والثانية. وينبغي منع تصريف مواد القائمة الأولى، بما في ذلك مركبات الفوسفور العضوية والزئبق والكادميوم، في المياه الجوفية. وينبغي لمواد القائمة الثانية، بما في ذلك المعادن والفلورايد والنترات، أن تقلل من تصريف هذه المواد إلى المياه الجوفية.

ولم يتم وضع سوى عدد قليل من التوجيهات المحددة على المستوى الأوروبي لقضايا معينة، بما في ذلك التوجيه بشأن التلوث المنتشر بالنترات (91/676/EEC؛ مجلس الجماعات الأوروبية 1991). ومن المتصور مجتمعة أن التدابير المذكورة أعلاه، والتي تندرج تحت التوجيه الإطاري للمياه في الاتحاد الأوروبي، يجب أن تمنع وتسيطر على تلوث المياه الجوفية وتحقق حالة كيميائية جيدة للمياه الجوفية في المستقبل. بالإضافة إلى أهداف جودة المياه، تقدم معايير جودة المياه القواعد التفصيلية التي تحكم كيفية تحقيق الأهداف. ولكي تكون المعايير قابلة للتنفيذ، يجب أن تكون بسيطة نسبيًا حتى تتمكن المراقبة الروتينية من اكتشاف فشل جودة المياه. قد يسمح المعيار ببعض التباين، أو الانتقاص، من حيث تلبية تركيز معين لنسبة معينة من العينات ولكن مع عدم السماح لعينة واحدة بتجاوز الحد الأقصى المسموح به للتركيز.

هناك اعتبار آخر وهو، في دورة استخراج المياه ومعالجتها وإمداداتها، حيث يتم تطبيق المعيار. تتحكم المعايير المطبقة عند الصنبور في مستوى المياه

المستخدمة للاستهلاك البشري وتسمى معايير جودة مياه الشرب. قام عدد من المنظمات الكبيرة، بما في ذلك الاتحاد الأوروبي ووكالة حماية البيئة الأمريكية ومنظمة الصحة العالمية، بنشر معايير جودة مياه الشرب. يمكن أن يصبح عسر Hardness المياه الجوفية مشكلة تتعلق بجودة المياه خاصة عندما تؤثر على الاستخدامات الصناعية والمنزلية حيث يتم تسخين المياه. كان هناك أيضًا نقاش طويل حول الفوائد الصحية النسبية لشرب الماء العسر. في الواقع، لم يتم اقتراح أي قيمة إرشادية صحية للعسر، حيث يعتبر أن البيانات المتاحة حول العلاقة العكسية بين عسر مياه الشرب وأمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) غير كافية للسماح باستنتاج أن الارتباط سببي (منظمة الصحة العالمية 2002). ومع ذلك، فإن تركيز 500 ملجم لتر هو الحد الأعلى للمقبولية الجمالية.

• نوعيـة ميـاه الـــري

يعتبر ري المحاصيل هو الاستخدام الأكثر شمولاً للمياه الجوفية في العالم، ولذلك من المهم مراعاة متطلبات النباتات فيما يتعلق بنوعية المياه. الآثار الأكثر ضررًا لمياه الري ذات الجودة الرديئة هي التراكم المفرط للأملاح الذائبة (خطر الملوحة) وارتفاع نسبة الصوديوم (خطر الصوديوم).

يزيد خطر الملوحة من الضغط الأسموزي لمياه التربة ويمنع جذور النباتات من امتصاص الماء، حتى لو بدا أن الحقل يحتوي على رطوبة كافية. والنتيجة هي حالة الجفاف الفسيولوجية. يتم تحديد خطر الملوحة عمومًا عن طريق قياس التوصيل الكهربائي للمياه بوحدة $\mu S\ cm^{-1}$ ومن ثم تقييمها وفقًا لنوع المعايير. ويتعلق خطر الصوديوم بتراكم الصوديوم الزائد الذي يتسبب في انهيار البنية الفيزيائية للتربة. يؤدي استبدال الكالسيوم والمغنيسيوم بالصوديوم الممتز على الطين إلى تشتت جزيئات التربة.

تصبح التربة صلبة ومتماسكة عندما تكون جافة وغير منفذة للماء بشكل متزايد بحيث لا تحصل جذور النباتات على كمية كافية من الماء، على الرغم من أن الماء قد يكون متراكمًا على السطح. يتم تقدير خطر الصوديوم في مياه الري بنسبة امتصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio (SAR) التي تربط نسبة Na^{+} إلى Ca^{2+} و Mg^{2+} في الماء على النحو التالي:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

مع التركيزات الأيونية المعبر عنها بـ $meq\ L^{-1}$. بشكل عام، لا ينبغي استخدام مياه الري التي يزيد معدل SAR فيها عن 9 على المحاصيل، حتى لو كان إجمالي محتوى الملح منخفضًا نسبيًا. يمكن تحمل القيم الأعلى لـ SAR إذا كانت التربة تحتوي على كمية ملحوظة من الجبس ($CaSO_4*2H_2O$) أو إذا كان من الممكن إضافة الجبس إلى التربة وبالتالي توفير مصدر للكالسيوم القابل للذوبان لتقليل معدل SAR.

تشمل اعتبارات جودة المياه الأخرى لمياه الري تركيزات البيكربونات والكربونات في الماء والتي تزيد بشكل فعال من خطر الصوديوم عن طريق ترسيب كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم أثناء تجفيف التربة، وبالتالي زيادة معدل الامتصاص النوعي (SAR)، ووجود العناصر السامة، وخاصة البورون والكلوريد. تعد المستويات المفرطة من البورون والكلوريد شائعة في المياه الجوفية وتركيزات B أكبر من 1 مجم L^{-1} والكلوريد أعلى من 70 مجم L^{-1} يمكن أن تؤدي إلى إصابة النباتات الحساسة. وتشمل العوامل الإضافية التي يجب أخذها في الاعتبار عند تحديد مدى فائدة المياه لغرض الري المحدد، نسيج التربة وبنيتها، وظروف الصرف، ومحتوى التربة من الجبس والجير، وطريقة الري وإدارته.

• نقـل الملوثـات في الميـاه الجوفيـة

يؤثـر نـوع التربـة أو الرواسـب أو الصخـور التـي وقـع فيهـا حـدث التلـوث والخصائـص الفيزيائيـة والكيميائيـة للملوثـات الفرديـة أو مخاليـط الملوثـات علـى انتشـار وتخفيـف ملوثـات الميـاه الجوفيـة. العمليـات الفيزيائيـة الأساسـية التـي تتحكـم في نقـل الملوثـات غيـر التفاعليـة هـي التأفـق والتشـتت الهيدروديناميكـي الـذي يخلـق عمـود تلـوث منتشـرًا ويسـبب تخفيفًـا في تركيـز الملوثـات.

بالنسـبة لأنـواع الملوثـات التفاعليـة، يحـدث توهـين نقـل الملوثـات مـن خـلال عمليـات مختلفـة بمـا في ذلـك الترسـيب الكيميائـي، والامتصـاص، وتفاعـلات الأكسـدة والاختزال بوسـاطة الميكروبات، والتحلل الإشـعاعي. بالنسـبة لفئة الملوثات المعروفـة باسـم سـوائل الطـور غيـر المائـي (NAPLs)، يجـب مراعـاة المرحلتـين غيـر القابلـة للامتـزاج والمذابـة مـن المـادة الملوثـة.

لشـرح هـذه العمليـات، مـن المناسـب تقسـيم الأقسـام التاليـة إلـى فئـات ملوثـات عامـة، أي الملوثـات الذائبـة غيـر التفاعليـة والمتفاعلـة وسـوائل الطـور غيـر المائـي.

• مصـادر تلـوث الميـاه الجوفيـة

تتنـوع مصـادر تلـوث الميـاه الجوفيـة بتنـوع نطـاق الأنشـطة الملوثـة. حيـث إنّ المصـادر والفئـات الرئيسـية لملوثـات الميـاه الجوفيـة هـي الملوثـات الحضريـة والصناعيـة، والنفايـات البلديـة والصـرف الصحـي، والملوثـات الزراعيـة، وتسـرب الميـاه المالحـة إلـى طبقـات الميـاه الجوفيـة السـاحلية.

• معالجة تلوث المياه الجوفية وحمايتها

بالمقارنة مع عواقب تلوث المياه الجوفية الموصوفة سابقًا، فإنه بلا شك من الأفضل منع حدوث التلوث في المقام الأول لتجنب تكاليف معالجة طبقة المياه الجوفية الباهظة، والضرر الذي يلحق بالبيئة وضرورة إيجاد إمدادات مياه بديلة.

وبعبارة أخرى، فإنّ الوقاية خير من العلاج. تنقسم استراتيجيات منع تلوث المياه الجوفية عادة بين حماية مصادر المياه الجوفية الفردية وموارد طبقة المياه الجوفية الأوسع. وتظهر الاختلافات أيضًا في التعامل مع مصادر التلوث الثابتة، على سبيل المثال من مواقع التخلص من النفايات، والمصادر المنتشرة مثل المواد الكيميائية الزراعية. يعد تلوث المياه الجوفية مشكلة عالمية ويجب أيضًا الاعتراف بأن الاستراتيجيات التي تم تطويرها في البلدان الصناعية الأكثر تقدمًا من الناحية التكنولوجية ستحتاج إلى التكيف لتطبيقها في البلدان النامية.

تقنيات معالجة تلوث المياه الجوفية

يمكن أن تنطوي معالجة المياه الجوفية على محاولة التنظيف الكامل لطبقة المياه الجوفية الملوثة أو احتواء مصدر تلوث المياه الجوفية.

في ظروف معينة، على سبيل المثال في المناطق ذات المخاطر المنخفضة للتعرض البشري أو البيئي للملوثات، قد يكون هناك خيار آخر يتمثل في ترك طبقة المياه الجوفية للتعافي من خلال عمليات التوهين الطبيعية. إن المعالجة الناجحة للمياه الجوفية الملوثة يجب أن تعالج مصدر التلوث ومعالجة العمود الملوث.

وتستخدم تقنيات المعالجة التقليدية أساليب الضخ والمعالجة، ولكن تبين أنها أقل نجاحاً، لا سيما فيما يتعلق بتنظيف برك الملوثات العضوية المحتبسة

مثل النفط الخام والمذيبات المكلورة التي تعمل كمصادر طويلة الأجل لتلوث المياه الجوفية. وتشمل التقنيات الأحدث استخراج بخار التربة، وإطلاق الهواء، والمعالجة البيولوجية لتحسين إزالة الملوثات العضوية. ومما يثير الاهتمام المتزايد التقنيات السلبية مثل الحواجز التفاعلية النفاذة التي توفر حلاً مبتكرًا وفعالاً من حيث التكلفة ومنخفض الصيانة لتنظيف الأراضي والمياه الجوفية الملوثة.

• استراتيجيات حماية المياه الجوفية

تستخدم المياه الجوفية على نطاق واسع لإمدادات مياه الشرب في البلدان النامية، وخاصة في المدن الصغيرة والمناطق الريفية حيث غالبا ما تكون المصدر الأرخص والأكثر أمانا. يتم التخلص من المياه العادمة في كثير من الأحيان عن طريق مراحيض غير مجاري، توفر التخلص المناسب من النفايات بتكلفة أقل بكثير من أنظمة الصرف الصحي الرئيسية. وفي الحالات التي تنشأ فيها تربة رقيقة على نتوءات طبقات المياه الجوفية، يكون هناك خطر الهجرة المباشرة للميكروبات المسببة للأمراض، وخاصة الفيروسات، إلى موارد المياه الجوفية الأساسية.

وستكون النتيجة الحتمية هي انتقال الأمراض المنقولة بالمياه. هناك مشكلة أخرى تتعلق بالنفايات البشرية وهي محتوى النيتروجين العضوي الذي يمكن أن يسبب مشاكل واسعة النطاق ومستمرة للنترات في الماء، حتى في حالة حدوث عمليات التخفيف والاختزال البيولوجي. وتتفاقم مشاكل تلوث المياه الجوفية في المناطق الأقل نموا التي لا يوجد بها تدفق كبير للمياه الجوفية الإقليمية لتوفير التخفيف، وعن طريق استخدام الأسمدة غير العضوية والمبيدات الحشرية في محاولة لضمان الاكتفاء الذاتي في إنتاج الغذاء. كما أن استخدام الري لتوفير متطلبات رطوبة المحاصيل يشكل خطر ترشيح العناصر الغذائية، خاصة من

التربة الرقيقة والخشنة. وسوف تتجم الزيادات في الكلوريد والنترات والعناصر النزرة عن الاستخدام المفرط لمياه الصرف الصحي، ومياه الصرف الصحي والحمأة، والطين الحيواني.

وتحدث مصادر التلوث الأخرى في المناطق الحضرية حيث توجد أعداد متزايدة من الصناعات الصغيرة، مثل المنسوجات ومعالجة المعادن وصيانة المركبات وصناعة الورق. وبشكل عام، سيتم تصريف كميات النفايات السائلة الناتجة عن هذه الصناعات إلى التربة، خاصة في ظل غياب إجراءات رقابية محددة والتكلفة الباهظة لمعالجة النفايات. عادةً ما يكون للمنشآت الصناعية الأكبر حجمًا التي تولد كميات كبيرة من المياه المعالجة خزانات سطحية غير مبطنة للتعامل مع النفايات السائلة. وما لم تتمتع الآبار المحفورة الضحلة بحماية كافية من جريان المياه السطحية وما لم تكن بعيدة بما فيه الكفاية عن مراحيض الحفر، فإن هذا النوع من مصادر المياه الجوفية يكون عرضة لانخفاض منسوب المياه في فترات الجفاف والتلوث.

ورغم أن التدابير البسيطة مثل الغليان من الممكن أن تساعد في مكافحة الأمراض المنقولة بالمياه، فمن المفهوم أن برامج المساعدات الضخمة في العقود القليلة الماضية ركزت على حفر آبار أعمق وتركيب أجهزة ضخ بسيطة.

ونتيجة لذلك، أصبحت الآبار الأنبوبية التي يتم ضخها يدوياً شائعة جدًا في معظم أنحاء أفريقيا وآسيا، ولكن حتى هذه المصادر أصبحت الآن مرتبطة بالمشاكل، كما يتضح بيانياً من التواجد الطبيعي للزرنيخ في المياه الجوفية في بنجلاديش والبنغال الغربية في الهند. يمكن أن يكون شكل التربة الطبيعي فعالاً في تنقية النفايات البشرية، بما في ذلك القضاء على الميكروبات البرازية، وكذلك في امتصاص العديد من المواد الكيميائية وتكسيرها وإزالتها.

ونظراً لاحتمال تلوث المياه الجوفية في البلدان النامية، فإن حماية إمدادات المياه تتطلب نهجاً واسع النطاق ينبغي أن يتضمن استراتيجية الحد الأدنى من الفصل بين مصدر إمدادات المياه الجوفية ومراحيضها، اعتماداً على الوضع الهيدروجيولوجي، من أجل الحماية الميكروبيولوجية. تتطلب قوانين المياه ومدونات الممارسات في العديد من البلدان حدًا أدنى للمسافة بين مصدر إمدادات المياه الجوفية ووحدة التخلص من النفايات يبلغ 15 مترًا.

ومع ذلك، هناك ضغط كبير لتقليل هذه التباعد المسموح به إلى أقل من 5 أمتار في بعض البلدان النامية مثل بنغلاديش وأجزاء من الهند وسريلانكا، وغالبًا ما يكون ذلك نتيجة لنقص المساحة في المستوطنات ذات الكثافة السكانية العالية.

يوضح هذا المثال للقانون الذي يحكم موقع وحدات التخلص من النفايات أن معايير الحماية من تلوث المياه الجوفية هي معايير تعسفية إلى حد ما، وتستند إلى بيانات فنية محدودة أو معدومة. وتشمل التوصيات العملية الأخرى تحديد مناطق التخفيف من استخدام الأراضي المعدل للتخفيف من تأثير الأنشطة الملوثة واستبدال مكبات النفايات البلدية غير الصحية، أو النصائح، بمدافن النفايات الخاضعة للرقابة باستخدام تكنولوجيا بسيطة بتكلفة مستدامة وواقعية مناسبة للإجمالي الإجمالي. الناتج المحلي الإجمالي.

على سبيل المثال، في تنزانيا وغامبيا، تم اقتراح مدافن النفايات الخاضعة للرقابة ولكن غير المبطنة في مواقع المحاجر الحالية والتي ستعمل على أساس مخفف ومتفرق. وتبين تقييمات المخاطر أن طبقات المياه الجوفية المحلية ليست معرضة للخطر، بحيث يكون بعض تلوث المياه الجوفية المحلية مقبولاً مقابل تحسينات كبيرة في الصحة والنظافة الناتجة عن إزالة مكبات النفايات الحالية.

تنمية الموارد المائية

الموارد المائية هي الموارد الطبيعية للمياه التي يمكن أن تكون مفيدة للإنسان، على سبيل المثال كمصدر لإمدادات مياه الشرب أو مياه الري. يحدث الماء على شكل «مخزونات» و«تدفقات». يمكن تخزين المياه على شكل بحيرات، وبخار ماء، ومياه جوفية أو طبقات مياه جوفية، وجليد وثلج. من إجمالي حجم المياه العذبة في العالم، يتم تخزين ما يقدر بنحو 69 % في الأنهار الجليدية والغطاء الثلجي الدائم؛ و30 % منها موجودة في المياه الجوفية؛ والـ 1 % المتبقية في البحيرات والأنهار والغلاف الجوي والكائنات الحية.

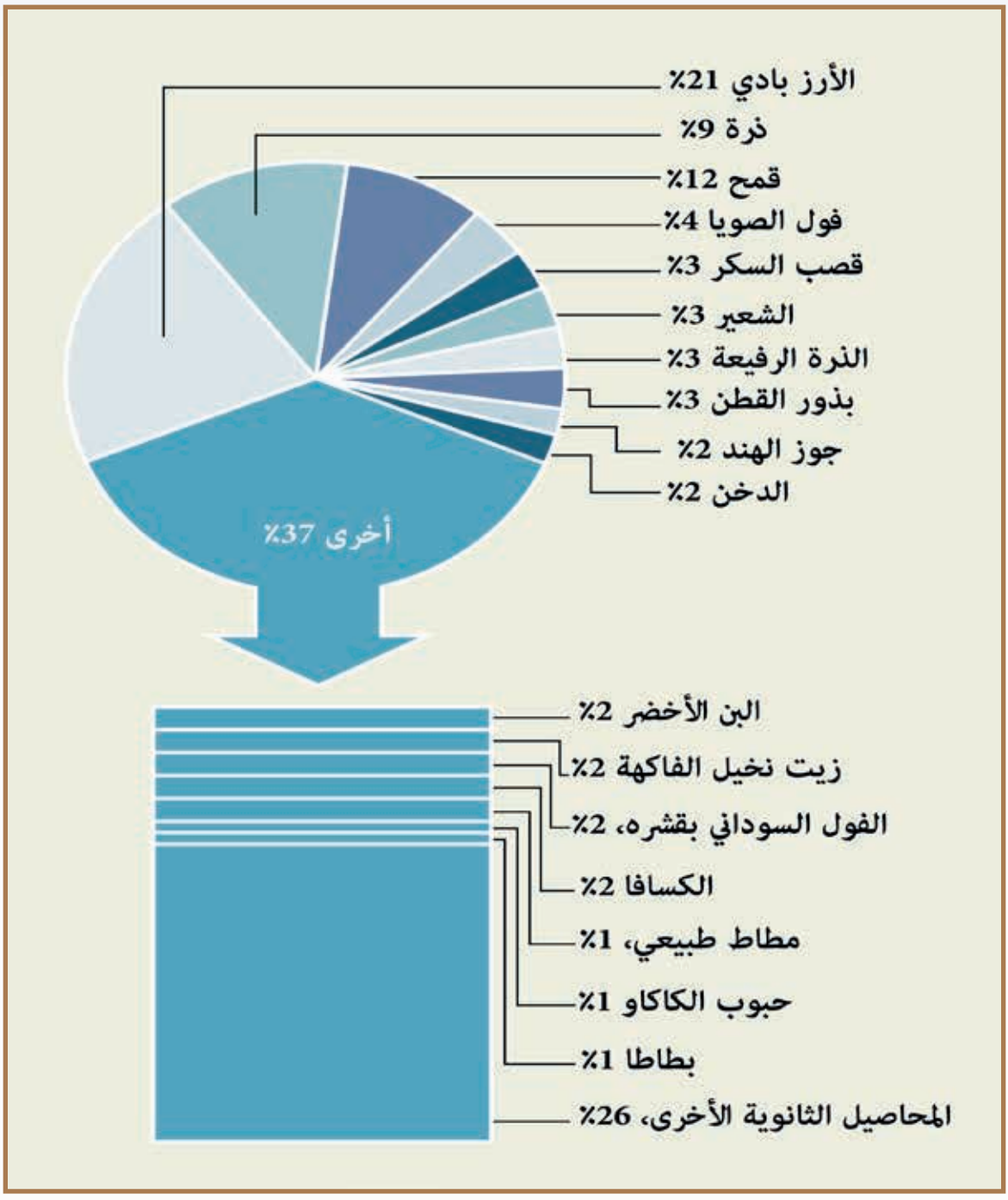
ويتباين طول الفترة الزمنية التي تظل فيها المياه مخزنة بشكل كبير: تتكون بعض طبقات المياه الجوفية من مياه مخزنة على مدى آلاف السنين، لكن أحجام البحيرات قد تتقلب على أساس موسمي، فتتناقص خلال فترات الجفاف وتزداد خلال الفترات الرطبة. ويتكون جزء كبير من إمدادات المياه في بعض المناطق من المياه المستخرجة من المياه المخزنة في المخزونات، وعندما تتجاوز عمليات السحب إعادة التغذية، تنخفض المخزونات. وتشير بعض التقديرات إلى أن ما يصل إلى 30 % من إجمالي المياه المستخدمة في الري يأتي من السحب غير المستدام للمياه الجوفية، مما يؤدي إلى استنزاف المياه الجوفية.

• توافر المياه

يظهر توافر المياه للزراعة كعامل محدد رئيسي لإنتاج المحاصيل في أجزاء كثيرة من العالم. سيؤدي تغير المناخ العالمي إلى تفاقم المشكلة، إلى حد كبير في المناطق التي سيصبح فيها المناخ أكثر جفافاً مما هو عليه حالياً. إلى أقل حد، قد يطرح مشكلات حيث ستزيد كميات هطول الأمطار ولكنها تتساقط مع هطول أمطار غزيرة.

تقديم دراسة مفيدة يتم فيها تعريف البصمة المائية Water Footprint لبلد ما على أنها حجم المياه اللازمة لإنتاج السلع والخدمات التي يستهلكها سكان البلد. كما تتضمن حساباتها توافر المياه المحلية والمياه التي يجري استيرادها من بلدان أخرى. في الفترة 1997–2001، كان متوسط استخدام المياه للفرد 2480 متر مكعب في السنة للولايات المتحدة، و 700 متر مكعب في السنة للصين، و 1240 متر مكعب في العام كمتوسط عالمي.

يأخذ الباحثون أربع حقائق مهمة بعين الاعتبار: (أ) الظروف المناخية المحلية، (ب) الحجم و (ج) نمط الاستهلاك، (د) كفاءة استخدام المياه. إن آثار أقدام زراعة المحاصيل مفيدة: مثلاً، الأرز، الذي يعد العنصر الأساسي لما يقرب من بليوني شخص، يتمتع بأكبر بصمة مائية.



استخدام المياه لزراعة محاصيل مختلفة، يشار إليه أيضاً بالبصمة المائية للمحاصيل. ويدل استخدام المياه من قِبل الناس على نمط استهلاكهم.

• استنفاد المياه السطحية والجوفية

تقسم تقديرات الميزانية العالمية للمياه التهطال العالمي السنوي الذي يسقط على الأرض إلى إجمالي الجريان البري الذي يصل إلى 40700 كيلومتر مكعب في السنة، ويبلغ إجمالي التبخر بالنتح 69600 كيلومتر مكعب في العام.

الجريان السطحي هو مصدر جميع الاستخدامات البشرية، مثل الري للزراعة، والصناعة، والاستخدام المنزلي أو البلدي، والاستخدامات الجارية (مثلاً، ملء الخزانات، ومصائد الأسماك، والترفيه، والملاحة، وتخفيف الملوثات، وتوليد الطاقة الكهرومائية).

يتزايد الطلب البشري على المياه بشكل مطرد على النطاق العالمي على المدى الطويل وفي الولايات المتحدة على المدى القصير نسبياً. تتلقى جميع النباتات، بما في ذلك المحاصيل البعلية، مياهها من الأمطار التي تأتي من بخار الماء في الغلاف الجوي الناتج عن العملية الفيزيائية للتبخر ومن النتح بوساطة النباتات. يمكن أن يكون استخدام الإنسان للمياه في أحد الأشكال الثلاثة الآتية:

- عمليات السحب أو الاستخدامات خارج التيار أو عمليات الاستخراج (المعروفة أيضاً باسم الطلب على المياه أو استخدامها)، والتي تمثل المياه التي جرت إزالتها من الأنهار والبحيرات وخزانات المياه الجوفية.
- الاستهلاك، والذي يشير إلى استخدام المياه بطريقة لا يجري استبدالها على الفور بالجريان السطحي بسبب التبخر، وما إلى ذلك، وبالتالي فهي غير متاحة للاستخدام.
- الحفاظ على التدفق، مثل صيانة القنوات الملاحية، وجودة المياه، والأنهار، ومصائد الأسماك، والحياة البرية، والنباتات النهرية، والتنوع البيولوجي المائي، والأنشطة الترفيهية.

الاستخدام العالمي للمياه للفترة 1900-2000، مع التوقعات حتى عام 2025، مما يشير إلى أن عمليات السحب والتبخر ستستمر في الزيادة.

الري الزراعي هو أكبر نشاط لاستخدام الأراضي، حيث يمثل نحو 70 و93 % من إجمالي سحب المياه واستهلاكها في العالم، على التوالي. وتشكل الأنشطة الصناعية والبلدية على المستوى العالمي نحو 20 و10 % من إجمالي سحب المياه و4 و 3 % من إجمالي الاستهلاك على التوالي.

يعتبر الري والأنشطة التجارية المنزلية أكبر استخدامين استهلاكيين. شكلت 85 و8 % على التوالي من إجمالي استهلاك المياه البالغ 1.41 متر مكعب للفرد في اليوم (379 مليون متر مكعب في اليوم لجميع السكان) في عام 1995، مقارنة بـ 1.28 متر مكعب للفرد في اليوم (231 مليون متر مكعب في اليوم) في عام 1960.

بلغ إجمالي المسحوبات العالمية من المياه في عام 1995 (3750 كيلومتر مكعب في السنة) مع استهلاك 2270 كيلومتر مكعب في السنة (يمثل 61 % سحب). ومن المتوقع أن تنمو هذه الأرقام لتصل إلى (5100 كيلومتر مكعب) في السنة مع استهلاك (2860 كيلومتر مكعب) في السنة بحلول عام 2025. وقد ارتفع استهلاك الإنسان من المياه ستة أضعاف في القرن الماضي، أي ضعف معدل النمو السكاني. يمتلك البشر بالفعل 54 % من الجريان السطحي الذي يمكن الوصول إليه على الأرض ومن المتوقع أن يستخدموا أكثر من 70 % بحلول عام 2025.

الأنشطة البشرية الأساسية التي تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على كمية المياه هي الري الزراعي، والأنشطة الصناعية والبلدية، والتغيرات في استخدام الأراضي وغطاء الأرض (مثلاً، إزالة الغابات، وعكسها، والتشجير، والسدود والخزانات السطحية، وفقدان الأراضي الرطبة) وتلوث المياه والإعانات في غير محله.

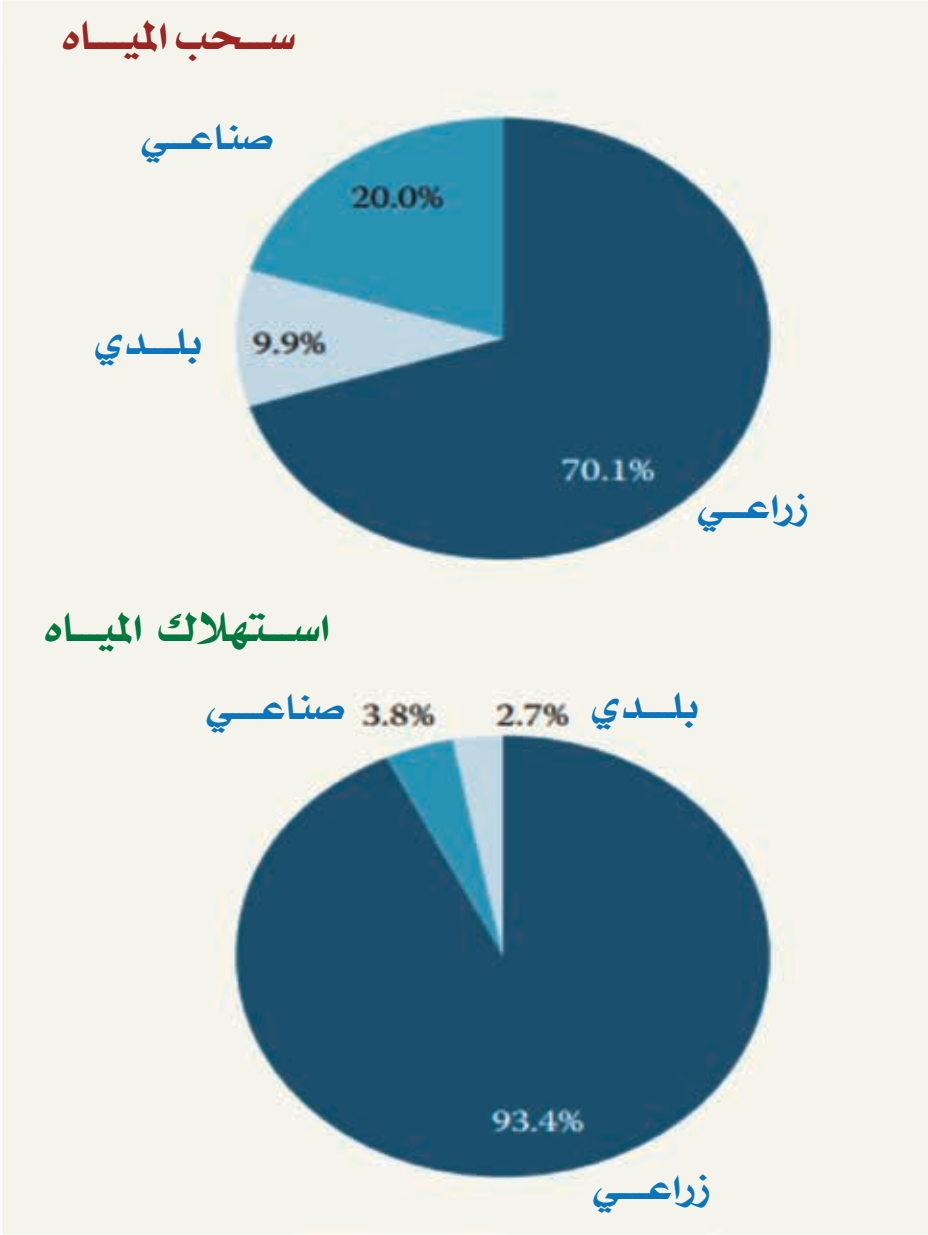
تفرض العديد من الحكومات على مستهلكي المياه تكلفة أقل بكثير من تكاليف شراء المياه عن طريق السدود والضخ وما إلى ذلك، مما لا يعطي أي حافز للمستهلكين للحفاظ على المياه. في أستراليا، ترتبط حقوق المياه بالحصول على أرض مجاورة لنهر مُدار، ولا يمكن لأحد بيع حقوق المياه الخاصة به. لقد اقترح أنه إذا كان بإمكان المرء بيع حقوق المياه الخاصة به، فمن المحتمل أن يدفع الشخص الذي يشتريها ما يقرب من القيمة الحقيقية للمياه، مما يشجع على الحفاظ عليها.

تختلف الكميات النسبية للمياه المسحوبة والمستهلكة والمستخدمة بشكل كبير باختلاف الاستخدامات ومصادر تلك المياه. إجمالاً 77.6 % من المياه المتوفرة

تأتي من التدفق السطحي، و 22.4 % المتبقية يجري ضخها من مصادر المياه الجوفية (طبقات المياه الجوفية). من 9.5 % المستخدمة لإمدادات المياه العامة، يأتي ما يقرب من ضعف تلك الكمية من المياه الجوفية، ويذهب 87.9 % من الإمداد العام إلى الاستخدام المنزلي والتجاري.

يُطلق معظم المياه (المنزلية-التجارية) (80.8 %) في نهاية المطاف على شكل تدفق عائد على شكل مياه صرف صحي. تعيد محطات التوليد الكهروحرارية 97.5 % من المياه التي تستخرجها للتبريد، وتستهلك 2.5 % فقط. ومع ذلك، فإن الاستخدامات الزراعية (الري والماشية) تستهلك 60.7 % من المياه التي تزيلها لأن القليل من مياه الري تعود إلى مصدر الري؛ قد يتحلل الماء العائد بإضافة الملح أو المغذيات أو المبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب.

أجرى الباحثون سلسلة من تحليلات التوازن الشامل للمياه العذبة في العالم، وتقدير كمية الجريان السطحي واستخراج المياه الجوفية من خلال الأنشطة البشرية المختلفة ومقدار ذلك الذي لم يجري إرجاعه وبالتالي يمكن حسابه على أنه استهلاك. يتم التحكم (بالاشتراك) في الكثير من عمليات التبخر النتح التي تعيد المياه إلى الغلاف الجوي من قبل البشر لأنهم يحصدون النباتات التي تنقل المياه، وبالتالي تتداخل مع عملية التبخر. لإجراء هذا الحساب، استخدم الباحثون تقديرات لكمية الإنتاج النباتي مضروبة في لتر واحد من الماء الناتج لكل 2 غرام من الكتلة الحيوية للنبات. لقد قرروا أن 45 % من التبخر بالنتح قد «اختير» من قبل البشر لاستخدامات مختلفة.



سحب المياه واستهلاكها حسب القطاعات. حيث تتم مقارنة الكميات النسبية للمياه المسحوبة من قبل المستخدمين الزراعيين والبلديين والصناعيين في الأعلى والمقادير النسبية لصافي الاستهلاك من قبل نفس القطاعات الثلاثة في الأسفل. لا تقوم الزراعة بسحب أكبر كمية من المياه فحسب، بل تقوم أيضاً بإرجاع أصغر جزء من المياه التي تستخدمها في الجريان السطحي.

تمثّل الخزانات أيضاً استخداماً مرتفعاً للاستهلاك بسبب خسائرها في التبخر. من إجمالي هطول الأمطار الذي جرى التقاطه بوساطة الغطاء النباتي على الأرض (أي إجمالي التبخر النتحي البالغ 69600 كيلومتر مكعب في السنة)، وجرى تخصيص 26 % من قبل الإنسان، ومن إجمالي هطول الأمطار الذي يمكن الوصول إليه بسهولة، خصص البشر 30 %.

كما ذكرنا سابقاً، لا يُوزّع الجريان السطحي على الأرض بشكل متناسب مع السكان المحليين. مثلاً، مع وجود 60.5 % من سكان العالم، تمتلك آسيا 35.8 % فقط من جريان الأنهار العالمي. في المقابل، يوجد في أمريكا الجنوبية 25.6 % من جريان الأنهار العالمي و5.5 % فقط من سكان العالم. بشكل عام، تتأثر الأمة سلباً بندرة المياه والإجهاد المائي عندما تنخفض مستويات الجريان السطحي التي يمكن الوصول إليها إلى أقل من 1700 و1000 متر مكعب للفرد سنوياً، على التوالي.

المتطلبات المتنافسة للصناعات والمدن والأسر المعيشية والزراعة والحياة البرية ووظائف النظام البيئي الأخرى لإمدادات المياه المحدودة تجعل الاكتفاء الذاتي من الغذاء صعباً جداً، إن لم يكن مستحيلاً.

يشكل النمو السكاني البشري في المناطق شبه الجافة والجافة ضغطاً على الكمية الإجمالية للمياه المتاحة في طبقات المياه الجوفية والمجاري المائية، مما يؤدي إلى ما يسمى ندرة المياه الديموغرافية.

ذكر تقرير للأمم المتحدة أن ما يقرب من 2.3 بليون شخص يواجهون نقصاً في المياه. فقط عند المستويات التي تتجاوز 2000 متر مكعب للفرد في السنة تعتبر مناطق ذات إمدادات مياه وفيرة. يُفترض أن نحو 100 لتر من الماء للفرد في اليوم (ما يعادل 36 متراً مكعباً للفرد في السنة) هي المياه المنزلية طويلة الأجل المطلوبة للحفاظ على نوعية حياة واقعية.

إنّ تطوير نظام إنتاج غذائي مكتف ذاتياً في مناخ شبه جاف يتوافق مع 720–800 متر مكعب للفرد سنوياً. هناك حاجة إلى نحو 1 و 5 متر مكعب من المياه لكل 1000 كيلو كالوري بشكل عام لإنتاج المحاصيل والحيوان، على التوالي. بناءً على ذلك، يتطلب الحصول على مستوى غذائي سليم يبلغ 2700 كيلو كالوري للفرد يومياً – 2300 كيلو كالوري من النباتات و 400 كيلو كالوري من الحيوانات – 4.3 متر مكعب من الماء للفرد يومياً (أو 1570 متر مكعب لكل شخص في السنة).

اعتمادًا على المناخ، قد يجري توفير كل هذا من خلال مياه الري في المناخ الجاف، ورطوبة التربة في المناخ الرطب، ومياه الري بنسبة 50 % ورطوبة التربة بنسبة 50 % في المناخ شبه الجاف. وقد تختلف المياه اللازمة للصناعة من 36 إلى 360 متر مكعب للفرد في السنة، اعتماداً على كفاءة استخدام المياه للصناعات ونوعية المياه وكميتها في البلدان.

توسعت المساحة الزراعية المروية بنسبة 107 % من 129.4 مليون هكتار في عام 1961 إلى 267.7 مليون هكتار في عام 1997، وتشكل نحو 18 و33 % من الأراضي الزراعية في العالم والإنتاج الغذائي السنوي، على التوالي. ومن المتوقع أن تنمو لتصل إلى 330 مليون هكتار بحلول عام 2025. تبلغ الكفاءة الإجمالية للري الزراعي في جميع أنحاء العالم 40 % فقط، مما يعني أن 60 % بالكامل من المياه تُهدر في الإنتاج الزراعي بسبب التسرب من أنظمة التوزيع والتبخر من التربة الجرداء.

علاوة على ذلك، تساهم الإعانات الحكومية للإنتاج الزراعي في إهدار إمدادات المياه. مثلاً، في تونس، تُسعّر المياه بسُبع تكلفة ضخها، وبالتالي تتثبط همة الناس في الحفاظ على الموارد المائية واستخدامها بكفاءة. تسبب الاستخدام غير الفعال والمتزايد للمياه في الاستغلال المفرط لإمدادات المياه العذبة في العالم من خلال نضوب الخزان الجوفي، وانخفاض منسوب المياه، وانخفاض معدلات التصريف في الأنهار والأراضي الرطبة والبحار.

• الاستخدام الأمثل للمياه

لقد أصبحت اليوم مشكلة الموارد المائية واستخدامها الفعال مشكلة ملحة في العديد من دول العالم. ونظرًا للخصائص الجغرافية الإقليمية للبلاد، تؤثر هذه المشكلة بشكل كبير على اقتصاد البلاد. وقد زادت ندرة المياه والأراضي بشكل كبير بسبب النمو السكاني، والتحضر، وتلوث الموارد، وتأثيرات تغير المناخ. ويحتاج العالم إلى إنتاج ما يزيد عن 60 % من الغذاء لإطعام نحو عشرة بلايين شخص في عام 2050 باستخدام هذه الموارد الشحيحة.

يمكن تحقيق الهدف المذكور أعلاه من خلال تحسين توزيع موارد المياه والأراضي الموجودة، وهو ما يمكن تحقيقه من خلال نموذج التحسين. طورت هذه الدراسة نموذجًا أمثلًا لتعظيم صافي العائد الزراعي وتقليل مشاكل التشبع بالمياه والتملح الناجمة عن الري في منطقة الدراسة في منطقة جاجار في الهند.

أظهرت النتائج أنه في ظل الظروف المثالية، تقل مساحة الأرز مع زيادة مساحة المحصول الآخر خلال الرياح الموسمية. أما في فصل الشتاء فتزيد مساحة القمح وتقل مساحة الخردل. وتكشف النتائج أيضًا أنه في ظل السيناريو الأمثل، زاد سحب المياه الجوفية، مما أدى في النهاية إلى انخفاض مستوى طبقة المياه الجوفية وبالتالي تخفيف مشاكل التشبع بالمياه والملوحة في المنطقة.

علاوة على ذلك، وفي ظل التخصيص الأمثل، يرتفع صافي العائد الزراعي السنوي لمنطقة الدراسة بأكثر من 17 % إلى 952.63 مليون روبية هندية من 812.21 مليون روبية هندية موجودة. أظهرت نتائج تحليل الحساسية لمعايير النموذج أن سعر السوق للمحصول كان له تأثير أكبر على الإنتاج، يليه مساحة المحصول وتكاليف الزراعة.

بناءً على نتائج النموذج، يوصى بأن تمارس الوكالات الحكومية والمزارعون الزراعيون في العالم الحقيقي زيادة استخدام المياه الجوفية مع مياه القناة بشكل متزامن لزيادة دخل المزرعة إلى الحد الأقصى وتقليل المشكلات المتعلقة بالري في النظم الإيكولوجية الزراعية. نتائج هذه الدراسة لها آثار طويلة المدى في الحفاظ على الإنتاجية الزراعية والحفاظ على الموارد المائية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، والتي ترتكز في المقام الأول على سوء نوعية المياه الجوفية.

النهج المستخدم هو الأول من نوعه في منطقة الدراسة وهو سهل المتابعة ويمكن تكراره أيضًا في مناطق أخرى من العالم تتعامل مع قضايا مماثلة.

الإدارة المتكاملة للموارد المائية

إن الإدارة المتكاملة للموارد المائية (Integrated Water Resources Management) هي - ببساطة - عبارة عن مفهوم منطقي ومميز، باعتبار أن الاستعمالات العديدة والمختلفة للموارد المائية تعتمد على بعضها البعض، وهذا يتضح جلياً للكل لأن احتياجات الري المرتفعة وتدفقات مياه الصرف الزراعي الملوثة تؤدي إلى نقص في كميات المياه العذبة الصالحة للشرب أو للاستعمال الصناعي، كما نجد أيضا أن مياه الصرف الصحي الحضرية والصناعية الملوثة تهدد النظم البيئية (Ecosystems).

إن الإدارة المتكاملة تعنى بجميع الاستخدامات المختلفة للموارد المائية وتعتبرها وحدة واحدة، بحيث أن حصص المياه (Water Allocations) وقرارات الإدارة تأخذ في اعتبارها تأثيرات كل استخدام على الاستخدامات الأخرى، وتراعي أيضا الأهداف الاجتماعية والاقتصادية العامة لغرض تحقيق التنمية المستدامة (Sustainable Development)؛ وهذا ما يعني ضمان وضع سياسة متماسكة تتعلق بجميع القطاعات ومنها تم توسيع مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية البسيط ليشمل وضع قرار مشترك من قبل مختلف المستخدمين (المزارعين، والمجتمعات، وعلماء البيئة، ... الخ) مما يؤثر على استراتيجيات تنمية والإدارة الموارد المائية، وبدورة سيجلب الكثير من المنافع، بما أن المستخدمين المطلعين سيطبقون التنظيم الذاتي المحلي فيما يتعلق بقضايا مثل الحفاظ على المياه وحماية مستجمعات المياه بكفاءة أعلى بكثير مما يمكن أن يحققه النظام المركزي والرقابي.

هنـا يتـم اسـتخدام مفهـوم الإدارة بأوسـع معانيـه، والـذي يشـدد علـى عـدم التركيـز فقـط علـى تنميـة المـوارد المائيـة ولكـن يجـب إدارة تنميـة الميـاه بوعـي وبطريقـة تضمـن الاسـتخدام المسـتدام علـى المـدى الطويـل للأجيـال القادمـة.

عليـه، فـان الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـة هـي عمليـة منهجيـة للتنميـة المسـتدامة وكذلـك لتخصيـص ورصـد اسـتخدام المـوارد المائيـة في سـياق الأهـداف الاجتماعيـة والاقتصاديـة والبيئيـة وهـذا يتناقـض مـع النهـج القطاعـي (Sectorial Approach) الـذي يطبـق في العديـد مـن البلـدان حيـث تقـع مسـؤولية ميـاه الشـرب علـى عاتـق إدارة واحـدة ومياه الـري علـى إدارة أخـرى والبيئـة علـى إدارة ثالثـة، في ظـل غيـاب الروابـط بـين مختلـف القطاعـات ممـا يقودنـا إلـى إدارة غيـر منسـقة لتنميـة وإدارة مـوارد الميـاه، ممـا يـؤدي إلـى نشـوب الصراعـات والهـدر ووجـود أنظمـة غيـر مسـتدامة.

• لمـاذا الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـة؟

يعـد المـاء مهمـا لحيـاة الإنسـان وصحتـه وكرامتـه ومـوردا أساسـيا للتنميـة البشـرية وتتعـرض مـوارد الميـاه العذبـة في العالـم لضغـوط متزايـدة، حيـث العديـد مـن البشـر مازالـوا يفتقـرون إلـى إمكانيـة الحصـول علـى إمـدادات كافيـة مـن الميـاه لتلبيـة الاحتياجـات الأساسـية، حيـث يـؤدي النمـو السـكاني وزيـادة النشـاط الاقتصـادي لتحسـين مسـتويات المعيشـة إلـى زيـادة التنافـس علـى المـوارد المائيـة العذبـة المحـدودة والنزاعـات حولهـا وفيمـا يلـي بعـض الأسـباب التـي تجعـل العديـد مـن النـاس يقولـون إن العالـم يواجـه أزمـة مائيـة وشـيكة:

- ❖ تتعـرض المـوارد المائيـة لضغـوط مزايـدة بسـبب النمـو السـكاني والنشـاط الاقتصـادي وتزايـد المنافسـة علـى الميـاه بـين المسـتخدمين.

- ازدياد الطلب على المياه بمعدل أكثر من ضعف النمو السكاني وفي الوقت الحالي يعيش ثلث سكان العالم في بلدان تعاني من إجهاد مائي متوسط إلى عالي.
- القصور في إدارة المياه يؤدي إلى التركيز على تطوير مصادر جديدة بدلا من إدارة المصادر الموجودة بشكل أفضل، والنهج القطاعي لإدارة المياه من أعلى إلى أسفل يؤدي إلى تنمية وإدارة غير منسقة للمياه.
- زيادة التنمية للموارد الحالية يعني تأثيرات كبيرة على البيئة.
- المخاوف الحالية من تقلب وتغير المناخ تتطلب تحسين إدارة الموارد المائية لمواجهة المزيد من الفيضانات والجفاف الشديدين.

• القضايا الرئيسية في إدارة المياه

• إدارة أزمة المياه

سيطرت المفاهيم القطاعية على إدارة الموارد المائية في الماضي وما زالت سائدة ومؤدية إلى تنمية وإدارة للموارد بشكل مجزأ وغير منسق، وعلاوة على ذلك فان إدارة المياه في الغالب تكون في المؤسسات من أعلى إلى أسفل، ومنها أصبحت شرعيتها وفعاليتها موضع لمزيد من التساؤلات.

أيضا الحوكمة (Governance) الضعيفة تؤدي إلى تفاقم وزيادة المنافسة على الموارد المحدودة، ولذلك تقدم الإدارة المتكاملة للموارد المائية التنسيق والتعاون بين القطاعات الفردية، بالإضافة إلى تعزيز المشاركة بفعالية وشفافية بين أصحاب المصلحة والإدارة المحلية.

• توفـير المـاء للنـاس

رغم أن معظم البلدان تعطي الأولوية القصوى لتلبية الاحتياجات الإنسانية الأساسية من المياه، إلا إن خمس سكان العالم لا يحصلون على مياه الشرب الآمنة, ونصف السكان لا يحصلون على خدمات صرف صحي جيدة، حيث يؤثر القصور في هذه الخدمات –في مقام الأول- على أفقر شرائح السكان في البلدان النامية، وتمثل تلبية الاحتياجات المائية والصرف الصحي للمناطق الحضرية والريفية في هذه البلدان أحد أهم التحديات في السنوات القادمة، حيث كان خفض نسبة السكان الذي يفتقرون إلى خدمات المياه والصرف الصحي إلى النصف بحلول عام 2015 أحد الأهداف الإنمائية للألفية (Millennium Development Goals) ويتطلب القيام بذلك إعادة توجيه كبيرة لأولويات الاستثمار, والتي سيتم تحقيقها بسهولة أكبر في البلدان التي تنفذ الإدارة المتكاملة للموارد المائية.

• توفـير المـاء لإنتـاج الغـذاء

تشير التوقعات السكانية إلى أنه على مدى السنوات الـ 25 القادمة سيكون هناك عجز في توفير الغذاء لأكثر من 2 إلى 3 مليار شخص بسبب عدم توفير العامل الرئيسي وهو الماء، وهو يعادل -اذا لم يكن أكثر أهمية- ندرة الأراضي الزراعية، ومن المعلوم أن الزراعة المروية مسئولة بالفعل عن أكثر من 70 % من استهلاك المياه، ومع الحاجة المقدرة للحصول على 15-20 % إضافية من مياه الري على مدى السنوات الـ25 المقبلة، والتي سوف ترفع النسبة على أقل تقدير إلى أكثر من 90 % من مجمل استهلاك المياه، ومن المرجح أن تنشأ صراعات كبيرة بين استخدام المياه في الزراعة المروية واستخدامات المياه الأخرى للإنسان والنظم البيئية، لذا تقدم الإدارة المتكاملة للموارد المائية إمكانية تحقيق كفاءة

أكبر للحفاظ على المياه والإدارة الطلب بصورة متساوية بين مستخدمي المياه وزيادة إعادة التدوير وإعادة استخدام المياه المستعملة لإكمال عملية تطوير الموارد الجديدة.

• حماية النظم البيئية الحيوية

تعتبر النظم البيئية الأرضية في الطبقة السطحية للتربة مهمة لتسرب مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية والمياه السطحية، وللنظم البيئية المائية عدة فوائد اقتصادية مثل الأخشاب والفحم والنباتات الطبية، كما أنها توفر موطناً للحياة البرية ومناطق التكاثر، كما تعتمد النظم البيئية على كمية المياه وتغير مناسيب المياه الموسمية ورداءة نوعية المياه؛ لذلك يجب أن تضمن إدارة موارد الأراضي والمياه الحفاظ على النظم البيئية الحيوية وأن تأخذ التأثيرات الضارة على الموارد الطبيعية الأخرى بعين الاعتبار بحيث يتم تقليلها كلما أمكن عند اتخاذ قرارات التطوير والإدارة، حيث يمكن للإدارة المتكاملة للموارد المائية أن تساعد في حماية «احتياطي بيئي» (Environmental Reserve) من المياه يتناسب مع قيمة النظم البيئية في التمية البشرية.

• مبـــادئ إدارة الميـــاه

أدى الاجتماع الذي عقد في دبلن في عام 1992 إلى عدة مبادئ تعرف بمبادئ دبلن (Dublin Principles) التي كانت أساساً لكثير من الإصلاحات في قطاع المياه.

❖ **المبدأ الأول**: أن المياه العذبة مورد محدود قابل للنفاذ وهي أساس المحافظة على الحياة والتنمية والبيئة.

فكرة أن المياه العذبة مورد محدود ناشئة من أن الدورة الهيدرولوجية تعطي في المتوسط كمية ثابتة من المياه في كل فترة زمنية، إلا أنه لا يمكن حتى الآن

تغيير هذه الكمية الإجمالية بشكل كبير بتدخل بشري ويعتبر مورد المياه العذبة من الأصول الطبيعية التي يجب الحفاظ عليها لضمان استمرار الاستفادة منها، ويعترف هذا المبدأ بأن المياه مطلوبة للعديد من الأغراض والوظائف والخدمات المختلفة؛ وبالتالي يجب أن تكون الإدارة شاملة (متكاملة) وتضمن النظر في المطالب الموضوعة على المورد والتهديدات التي يتعرض لها، ويتطلب النهج المتكامل لإدارة موارد المياه تنسيق مجموعة من الأنشطة البشرية التي تستهلك المياه وتحديد استخدامات الأراضي وكذلك النفايات التي تنقلها المياه، كما يركز المبدأ على المسقط المائي أو حوض النهر باعتبارها الوحدة المنطقية (Logical Unit) لإدارة موارد المياه.

- **المبدأ الثاني:** ينبغي أن تستند تنمية المياه وإدارتها إلى نهج تشاركي يشمل المستخدمين والمخططين وصناعي السياسات على جميع المستويات.

الماء موضوع يكون فيه الجميع صاحب مصلحة (Stakeholder)، لا تحدث المشاركة الحقيقية إلا عندما يكون أصحاب المصلحة جزءاً من عملية صنع القرار (Decision-Making Process) ويعتمد نوع المشاركة على مدى الصلة بقرارات إدارة المياه والاستثمار، وأيضاً يتأثر ذلك بطبيعة البيئة السياسية التي تحدث فيها مثل هذه القرارات إن النهج التشاركي هو أفضل وسيلة لتحقيق إجماع دائم واتفاق مشترك حيث تتمحور المشاركة حول تحمل المسؤولية والاعتراف بتأثير الإجراءات القطاعية على مستخدمي المياه والنظم البيئية المائية وقبول فكرة الحاجة للتغيير؛ من أجل تحسين كفاءة استخدام المياه وتحقيق التنمية المستدامة للمورد المائي، وغالباً لا تتحقق المشاركة دوماً توافقاً في الآراء لذلك لابد من وضع آليات التحكيم أو غيرها من آليات حل النزاعات، حيث يتعين على الحكومات أن تساعد في خلق الفرص والقدرة على المشاركة، كما يجب الاعتراف بأن مجرد خلق فرص تشاركية لن تفعل شيئا للمجموعات المهمشة حالياً ما لم يتم تعزيز قدرتها

على المشاركة، وإن تحقيق اللامركزية في صنع القرار إلى أدنى مستوى بشكل مناسب عبر إستراتيجية لزيادة المشاركة.

- **المبدأ الثالث:** تتمتع المياه بقيمة اقتصادية في جميع استخداماتها، ويجب الاعتراف بها كسلعة إقتصادية، فضلاً عن كونها سلعة اجتماعية.

ضمن هذا المبدأ من الأهمية - أولاً - الحق الأساسي لجميع البشر في الحصول على المياه النظيفة والصرف الصحي بتكلفة معقولة حيث إنه عندما تعتبر إدارة المياه أن الماء سلعة إقتصادية فإن ذلك مهم لتحقيق الأهداف الإجتماعية مثل الإستخدام الكفء والمنصف، وتشجيع الحفاظ على الموارد المائية وحمايتها، حيث أن الماء له قيمة كسلعة اقتصادية وكذلك سلعة اجتماعية، ويُعزى الكثير من حالات الفشل السابقة في إدارة الموارد المائية إلى حقيقة أن القيمة الكاملة للمياه لم يتم الاعتراف بها، إن (القيمة) و (الرسوم) هما شيئان مختلفان ويجب التمييز بوضوح بينهما، حيث إن قيمة المياه في الإستخدامات البديلة مهمة لإستهلاك المياه بشكل رشيد كمورد نادر سواء بالطرق التنظيمية أو الإقتصادية، بينما فرض رسوم - أو عدم فرض رسوم - على المياه يمثل أداة إقتصادية لدعم المجموعات المحرومة، ويؤثر على السلوك نحو المحافظة وكفاءة إستخدام المياه، ويوفر حوافز لإدارة الطلب، وضمان استرداد التكاليف، وإشارة لاستعداد المستهلكين إلى دفع رسوم إضافية لخدمات المياه، كما أن معاملة المياه كسلعة اقتصادية وسيلة هامة لاتخاذ القرار بشأن توزيع المياه بين مختلف قطاعات إستخدام المياه وبين الإستخدامات المختلفة داخل القطاع وها مهم بشكل خاص عندما لا يكون عرض الإمداد المائي خياراً مُجدياً.

• منافـــع الإدارة المتكاملـة للمـوارد المائيـــة

• منـافع بيئيـــة

يمكن للنظم البيئية أن تستفيد من تطبيق نهج متكامل لإدارة المياه من خلال إعطاء الإحتياجات البيئية صوتاً في مناقشة توزيع المياه في القوت الحاضر، وغالباً ما لا يتم تمثيل هذه الإحتياجات على طاولة المفاوضات. يمكن للإدارة المتكاملة للموارد المائية أن تساعد القطاع من خلال زيادة الوعي بين المستخدمين الآخرين لاحتياجات النظم البيئية والفوائد التي توفرها لهم.

يوفر منهج النظام البيئي إطاراً جديداً للإدارة المتكاملة للموارد المائية، ويركز اهتماما أكبر على نهج النظام لإدارة المياه مثل حماية مستجمعات المياه العليا (مثل إعادة التشجير، وزراعة الأراضي الجيدة، ومكافحة تعرية التربة)، ومكافحة التلوث (على سبيل المثال: تقليل التلوث محدد المصدر، والتلوث غير المحدد المصدر وحماية المياه الجوفية) وتدفق الملوثات للبيئة، كما يوفر بديلاً لمنظور منافسة للقطاع الفرعي يمكن أن ينضم إلى أصحاب المصلحة في تطوير رؤية مشتركة وإجراء مشترك.

• منافـــع زراعيـــة

الزراعة لها صورة سيئة باعتبارها أكبر مستخدم للمياه والملوث الرئيسي غير محدد المصدر (Non-Point Source) لموارد المياه السطحية والجوفية، وإذا ما أخذنا إلى جانبها القيمة المضافة المنخفضة في الإنتاج الزراعي، فهذا يعني في كثير من الأحيان - لاسيما في ظل ظروف ندرة المياه - تغيير إستخدام المياه من الزراعة إلى إستخدامات المياه الأخرى، مع مراعاة أن التخفيض العشوائي في تخصيص المياه لأغراض الزراعة قد يكون له عواقب اقتصادية واجتماعية

بعيدة الندى مع الإدارة المتكاملة للموارد ويتم تشجيع المخططين على النظر إلى ما وراء إقتصاديات القطاع ومراعاة آثار قرارات إدارة المياه على التوظيف والبيئة والدالة والإجتماعية.

خلال جمع كل القطاعات المتخلفة وأصحاب المصلحة في عملية صنع القرار، تستطيع الإدارة المتكاملة للموارد المائية أن تعكس «قيمة» المياه للمجتمع ككل في القرارات الصعبة المتعلقة بتخصيص المياه، وقد يعني هذا على سبيل المثال المساهمة في إنتاج الأغذية الصحية والحد من الفقر، ومنها يمكن تخطي المقارنات الإقتصادية الصارمة لمعدلات العائد على كل متر مكعب من المياه، ويمكن للإدارة المتكاملة للموارد المائية أن تدخل في المعادلة إمكانات إعادة الإستخدام لتدفقات العائد الزراعي لقطاعات أخرى ونطاق إعادة الإستخدام الزراعي لمياه الصرف الصحي الحضرية والصناعية.

تدعو الإدارة المتكاملة للموارد المائية إلى التخطيط المتكامل بحيث يتم إستخدام المياه والأراضي والموارد الأخرى بطريقة مستدامة، بالنسبة للقطاع الزراعي تسعى الإدارة المتكاملة للموارد المائية إلى زيادة إنتاجية المياه (أي زيادة المحاصيل لكل قطرة ماء) ضمن القيود التي يفرضها السياق الإقتصادي والإجتماعي والبيئي لمنطقة ما.

• منافع إمدادات المياه والمرافق الصحية

تؤدي الإدارة المتكاملة للموارد المائية المطبقة على نحو سليم إلى الأمن المائي للفقراء في العالم ويعني ذلك تنفيذ السياسات القائمة على الإدارة المتكاملة للموارد المائية وزيادة الأمن في إمدادات المياه المحلية، فضلا عن خفض تكاليف المعالجة و معالجة التلوث بشكل أكثر فعالية.

إن الاعتراف بحقوق الناس وخاصة النساء والفقراء بحصولهم على حصة عادلة من الموارد المائية للإستخدامات الحضرية والمنزلية على حد سواء، يؤدي بالضرورة إلى ضمان التمثيل المناسب لهه الجماعات بالهيئات المسؤولة عن قرارت تخصيص المورد المائية.

يجب أن يكون التركيز على الإدارة المتكاملة والإستخدام الفعال حافزاً للقطاع للدفع نحو إعادة التدوير وإعادة الإستخدام والحد من النفايات حيث أدت رسوم التلوث المرتفعة المدعومة بالتنفيذ الصارم للقوانين إلى تحسينات مثيرة للإعجاب في كفاءة إستخدام المياه في البلدان الصناعية مما أدى إلى فوائد لإمدادات المياه الداخلية والبيئة.

• تنفيذ الإدارة المتكاملة للموارد المائية

إن القضية الخاصة بالإدارة المتكاملة للموارد المائية قوبة، وقد يقول الكثيرون إنها غير قابلة للجدل والمشكلة بالنسبة لمعظم البلدان هي التاريخ الطويل للتنمية القطاعية.

«الإدارة المتكاملة للموارد المائية تشكل تحدياً للممارسات التقليدية والمواقف والثوابت المهنية، حيث تواجه مصالح قطاعية راسخة وتتطلب أن تنفذ إدارة الموارد المائية بصورة شاملة من أجل مصالح الجميع ولا أحد يدعي أن مواجهة تحدي الإدارة المتكاملة للموارد المائية سيكون سهلاً، لكن من الأهمية بمكان أن يتم البدء الآن لتجنب الأزمة النامية».

الإدارة المتكاملة للموارد - قبل كل شيء - هي فلسفة توفر إطاراً مفاهيميا موجهاً بهدف الإدارة المستدامة وتنمية الموارد المائية، وما تطلبه هو أن يحاول الناس تغيير ممارساتهم العملية والنظر إلى الصورة الأكبر التي تحيط بنشاطاتهم وإدراك أنها لا تحدث بشكل منفرد عن نشاطات الآخرين، كما تسعى

إلى إدخال عنصر الديموقراطية اللامركزية في كيفية إدارة المياه، والتأكيد على مشاركة أصحاب المصلحة وصنع القرار على أدنى مستوى مناسب.

كل هذا يعني التغيير الذي يجلب تهديدات وفرص، هناك تهديدات لقوة وسلطة الناس وتهديدات لإحساسهم بأنفسهم، لذا تتطلب الإدارة المتكاملة للموارد المائية تطوير منصة لأصحاب المصلحة المختلفين، وغالباً هذه الاختلافات لا يمكن التوفيق بينها بسبب الأطر المؤسسية والتشريعية القائمة، أيضا من المحتمل أن يتطلب تنفيذ الإدارة المتكاملة للموارد المائية عملية إصلاح خلال جميع مراحل دورة تخطيط وإدارة المياه مع الحاجة إلى خطة شاملة لتصور كيف يمكن تحقيق التحول ، ومن المحتمل أن يبدأ ذلك بسياسة مائية جديدة تعكس مبادئ الإدارة المستدامة للموارد المائية، كما يتطلب وضع هذه السياسة موضع التنفيذ بإصلاح قانون المياه ومؤسسات مع القطاعات المتأثرة والجمهور. المياه، وهي عملية طويلة وتحتاج إلى إجراء مشاورات مكثفة مع القطاعات المتأثرة والجهور، عليه من الأفضل أن يتم تنفيذ الإدارة المتكاملة للموارد المائية في عملية تدريجية، مع إجراء بعض تغييرات فورية حيث تتطلب بعض التغييرات الأخرى عدة سنوات من التخطيط وبناء القدرات.

• السياسة والإطار القانوني

المواقف تتغير كما أن المسئولين أصبحوا أكثر وعيا بالحاجة إلى إدارة الموارد بكفاءة، ويرون أيضا أن بناء البنية التحتية الجديدة يجب أن يأخذ في الحسبان الآثار البيئية والاجتماعية والحاجة الأساسية لأن تكون النظم مجدية اقتصاديا عند إصلاحها، ومع ذلك قد يثبطون من الآثار السياسية لهذا التغيير وبالتالي فإن عملية مراجعة سياسة المياه هي خطوة أساسية تتطلب إجراء مشاورات مكثفة ومطالبة بالالتزام السياسي، حيث أن تشريعات المياه تحول السياسة إلى

القانون ويجب أن تقوم بما يلي:

- توضيح استحقاقات ومسؤوليات المستخدمين ومزودي المياه.
- توضيح أدوار الدولة فيما يتعلق بأصحاب المصلحة الآخرين.
- إضفاء الطابع الرسمي على نقل مخصصات المياه.
- توفير الوضع القانوني لمؤسسات إدارة المياه الحكومية ومجموعات مستخدمي المياه.
- ضمان الاستخدام المستدام للمورد.

أيضا اتخاذ القرارات سيكون صعبا أيضا، وبالتالي فليس من المستغرب في كثير من الأحيان أن لا يتم تحفيز الإصلاحات القانونية والمؤسسية الرئيسية إلا عند حدوث مشكلات خطيرة في إدارة المياه.

• الإطـــار المؤسســـي

لأسباب كثيرة تنظر حكومات البلدان النامية لتخطيط وإدارة الموارد المائية على أنها جزء أساسي من مسؤولية الحكومة، ويتفق هذا الرأي مع الإجماع الدولي الذي يعزز مفهوم الحكومة كميسر ومنظم وليس منفذا للمشاريع، ويتمثل التحدي في التوصل إلى اتفاق متبادل حول المستوى الذي ينبغي عنده أن تتوقف مسؤولية الحكومة أو أن تشترك مع هيئات إدارة خدمات المياه المحلية و/أو المنظمات المجتمعية، واقترن أيضا مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية بتعزيز حوض النهر كوحدة جغرافية منطقية محققة عمليا، حيث يوفر حوض النهر العديد من المزايا للتخطيط الاستراتيجي، خصوصا في المستويات العليا من الحكومة، وعلى الرغم من أنه لا ينبغي التقليل من شأن الصعوبات، حيث

كثيرا ما تعبر خزانات المياه الجوفية عبر حدود مستجمعات المياه، والأكثر إثارة للمشاكل أيضا أنه نادرا ما تتطابق أحواض الأنهار الكيانات أو الهياكل الإدارية القائمة. مع في الحالة العامة يعزز حوض النهر كوحدة جغرافية منطقية وعملية مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية حيث يوفر العديد من المزايا للتخطيط الاستراتيجي، ولاسيما في المستويات العليا من الحكومة، على الرغم من أنه لا ينبغي التقليل من الصعوبات، فغالبا ما تعبر خزانات المياه الجوفية المشتركة عبر الحدود ومساقط المياه مسببة مشاكل كبيرة، ونادرا ما تتطابق أحواض الأنهار مع الكيانات أو الهياكل الإدارية القائمة، ومن أجل تفعيل الإدارة المتكاملة للموارد المائية، هناك حاجة إلى ترتيبات مؤسسية لتمكين كل من:

- **أداء مجموعة أصحاب المصلحة في صنع القرار، مع تمثيل جميع قطاعات المجتمع وتحقيق توازن جيد بين الجنسين.**
- **إدارة الموارد المائية على أساس الحدود الهيدرولوجية.**
- **الهياكل التنظيمية على مستوى الأحواض والحوض الفرعي لتمكين صنع القرار عند أدنى مستوى مناسب.**
- **لتنسيق الإدارة الوطنية للموارد المائية عبر قطاعات استخدام المياه.**

الفصل التاسع

حالة تاريخية

الوضع المائي في المملكة العربية السعودية

جيولوجية وجيومورفولوجية المملكة	الدرع العربي والغطاء الرسوبي
النشـــاط الزلـــزالـي	مصـــادر الميـاه في المملكـة
التكوينات الحاملة للمياه	تحديات ومشاكل المياه

موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

مُقَدِّمَة

تفتقر المملكة إلى الأنهار الجارية والأمطار الغزيرة المنتظمة وتعاني بحكم طبيعتها القاحلة وموقعها الجغرافي من شح وندرة مصادر المياه وتعتبر ثالث أكبر مستهلك للمياه حيث يشكل النمو السكاني المضطرد وازدياد الطلب على المياه مشكلة كبيرة. تواجه المملكة تحديات كبيرة نظراً للاستخدام غير المستدام لموارد المياه، فضلاً عن محدودية مخزون المياه الجوفية غير المتجددة، التي تشهد استنزافاً متسارعاً. وفي ظل الظروف المناخية القاحلة، تعد المياه المتجددة نادرة، علماً بأن الطلب المرتفع على المياه في القطاعين الزراعي والصناعي يفاقم من مشكلة ندرة المياه. وتمثل المياه وخدمات الصرف الصحي في القطاع الحضري تكلفة مرتفعة على الدولة، كما يتطلب القطاع تحسين الأوضاع المؤسسية وآليات الحوكمة. الإستراتيجية الشاملة للمياه تعمل على دمج التوجهات والسياسات والتشريعات والممارسات في قطاع المياه لمواجهة التحديات الرئيسية وإعادة هيكلة قطاع المياه.

تتمثل مشاكل المياه في التلوث الناشئ عن استخدام الأسمدة الكيماوية والمبيدات وتصريف مياه المجاري في بطون الأودية وحفر الآبار العشوائية التي تؤدي إلى إهدار كميات كبيرة من المياه في الطبقات التي يتم اختراقها أثناء الحفر، علاوة على ذلك ما زالت معظم المزارع التقليدية تعتمد على الري بالغمر وبالتالي تستهلك كميات كبيرة من المياه مقارنة بالمزارع المتخصصة التي

تعتمد على الري بالرش أو بالتنقيط، هذا بدوره أدى إلى ازدياد الطلب على المياه، مما سبب في وجود فجوة واضحة بين الطلب على المياه والكميات المتاحة من المياه السطحية والجوفية ومياه التحلية ومياه الصرف الصحي المعالجة، الأمر الذي أدى زيادة السحب من المخزون المائي الاستراتيجي. وعلى ضوء ماسبق ذكره ، قامت المملكة بإنشاء حوالي 574 سداً حتى نهاية عام 1444 هـ كمحاولة لحماية التجمعات السكانية والطرق الزراعية من السيول وتخفيف أضرارها للتربة ولاستخدامها في زيادة منسوب الطبقات الحاملة للمياه ولتأمين مياه الري للأغراض الزراعية. وسعيا لإيجاد بعض الحلول أطلقت وزارة البيئة والمياه الزراعة برنامج القطرة والذي يهدف إلى ترشيد أستهلاك المياه لتحقيق الحفاظ عليها. وعموما يتمّ تأمين المياه من أربعة مصادر: المياه السطحية وتشمل العيون والأودية والسدود، المياه الجوفية وتشمل القريبة من السطح (المتجددة) و العميقة (الغير متجدد)، مياه الصرف المعالجة، ومياه البحر المحلاة.

ولإلقاء الضوء عن الوضع المائي في المملكة فإن هذا يتطلب إعطاء فكرة مبسطة عن الوضع الجيولوجي والجيومورفولوجيي والحركي لشبه الجزيرة العربية والعمليات البنائية التي مرت بها عبر التاريخ.

جيومورفولوجية المملكة

من المعروف أنَّ المملكة العربية السعودية من أكثر البلدان تنوعًا جُغرافيًا وجيولوجيا وبيئيا؛ ويرجع هذا التنوع إلى اتساع رقعة أراضيها، تقع المملكة في الجزء الجنوبي الغربي من قارة آسيا، وتحتل ما يقارب 70 % من شبه الجزيرة العربية بمساحة تقدر حوالي 2150000 كيلومتر مربع، بين دائرتي عرض ً46 ´16 ˚22 و ً00 ´14 ˚32 شمالاً، وبين خطي طول ً30 ´29 ˚34 و ً00 ´40 ˚55 شرقاً .

تتسم مظاهر التضاريس في المملكة بتنوع الطبيعة الجغرافية، حيث تتنوع بين الجبال والسهول والهضاب والرمال. يتميز مناخ المملكة بتنوع الكبير ويرجع ذلك لوجود الكثير من التضاريس التي تساهم في تغير المناخ من منطقة لأخرى، كما أنها تقع تحت تأثير المرتفع الجوي المداري ، وفي المعتاد يكون المناخ ذات طبيعية قارية وحار في الصيف وبارد في الشتاء بينما تتميز المرتفعات الغربية والجنوبية الغربي بمناخ معتدل.

وجيومورفولوجيًا تتميز المملكة بوجود القمم الصخرية المرتفعة والحادة والهضاب والصحاري ويمكن تمييزها وتصنيفها على النحو التالي:

• المرتفعات الغربية

تمتد المرتفعات الغربية بمحاذاة البحر الأحْمَر وذلك من مدينة العقبة الأردنية شمالاً حتى الحدود اليَمَنِيَّة جنوباً، وذلك بطول 1550 كيلو متر تقريباً. ويتراوح عرضها بين بضعة كيلومترات إلى 140 كيلو متر. وهي إجمالاً أكثر ارتفاعاً في الجنوب والشمال عنها في الوسط. ويوجد فيها عدد من القمم الجبلية العالية التي يتجاوز ارتفاعها 2000م فوق مستوى سطح البحر، وتمثل قمة جبل السُّودَة

في غرب أبْهَا أعلى قممها حيث يبلغ ارتفاعها 3015 متراً فوق مستوى سطح البحر. تنحدر هذه المرتفعات بشكل عمودي سلمي وفجائي نحو البحر الأحْمَر، وتدريجي نحو الداخل. وقد أدت الحركات التكتونية إلى تكوين أودية طولية تتخلل هذه السلاسل من الشمال إلى الجنوب أو العكس، كما تمتد الأودية العرضية إلى السهل الساحلي المحاذي للبحر الأحْمَر، أو إلى المناطق الداخلية حيث تضيع مياهها غالباً في الصحراء.

وتقسم المرتفعات الغربية من الجنوب إلى الشمال على النحو الآتي:

جبال السَّرَوَات: وهي تمثل القسم الجنوبي من هذه المرتفعات وتمتد من حدود المملكة مع اليمن جنوباً، إلى الطَّائِف شمالاً، وهي الأكثر ارتفاعاً، حيث يتراوح ارتفاعها بين 800 إلى 3000م فوق مستوى سطح البحر.

جبال الحِجَاز: وهي تمثل القسم الأوسط من هذه المرتفعات، وتمتد من شمال مَكَّة المُكَرمَة حتى دائرة عرض 28° شمالاً، وهي أقل ارتفاعاً وتكتلاً من جبال السَّرَوَات وجبال مَدْيَن ويسود فيها الحَرَّات والمخاريط البركانية، ويبلغ متوسط ارتفاعها 1200م فوق مستوى سطح البحر.

جبال مَدْيَن: وهي تمثل القسم الشمالي من هذه المرتفعات، وتمتد إلى الشمال من دائرة عرض 28° شمالاً، وتحتوي على بعض السلاسل الجبلية المعقدة والقمم الجبلية العالية التي يزيد ارتفاع بعضها عن 2000 و 2500م فوق مستوى سطح البحر.

وتقسم السَّرَوَات من الغرب إلى الشرق إلى ثلاثة نطاقات رئيسة هي:

نطاق التلال الساحلية: وتعرف محلياً في - بعض أجزائها - بالعِرْضِيَّة وفي أجزاء أخرى بالحَقُو، وهذه المرتفعات تبدأ من السهل على شكل تلال

منخفضة ما تلبث أن يزيد ارتفاعها تدريجيًّا كلمّا تقدمت نحو الشرق حتى تلتقي مع المرتفعات العالية، ومنطقة الالتقاء هذه تسمى في بعض الأجزاء «الحُبَاطَة».

نطاق الأَصْدَار: وهي السفوح الغربيَّة للمرتفعات العالية والتي تنحدر انحداراً سحيقاً نحو الغرب ومع شئ من التجاوز يضاف إلى هذا النطاق الجبال المنعزلة العالية في النطاق السابق. و تمتد الأَصْدَار ما بين خط تقسيم المياه ونطاق التلال الساحلية. ويبدأ منها عدد لا حصر له من الأودية العرضية التي تصب مياهها غرباً نحو البحر الأحمر وهي في هذا النطاق تكون ضيقة وذات جوانب حادة مرتفعة.

نطاق المرتفعات العالية: ويبدأ من خط تقسيم المياه حيث تتجه الأودية غرباً باتجاه تِهَامَة أو شرقاً باتجاه المناطق السهلية الداخلية حيث ينتهي هذا النطاق في الأجزاء الغربية من هذه السهول. و يتراوح ارتفاع هذا النطاق مابين 1800 – 2400 متر فوق مستوى سطح البحر و قد يتجاوز ارتفاع بعض القمم 3000م فوق مستوى سطح البحر.

• الهضـــاب

تغطي الهضاب أكثر من نصف مساحة المملكة العربية السُّعُوديَّة حيث تمتد الهضاب الغربية إلى الشرق من المرتفعات الغربية. أما هضبة نَجْد فتشغل مساحات واسعة من وسط المملكة، بينما تمتد هضبتا الحَمَاد والحَجْرَة في أقصى شمالها كما تمتد هضبة الصَّمَّان في شرقها. وإجمالاً تنحدر هذه الهضاب تدريجياً من الغرب إلى الشرق أو الشمال وتبرز فيها السهول والقمم الصخرية المعزولة. وتقطع هذه الهضاب مئات الأودية الجافة التي تمتد مع الاتجاه العام للانحدار والتي تكونت في فترات سابقة، وهذه الهضاب كما يأتي:

١- الهضـــاب الغربيـــة

- تمتد الهضاب الغربية إلى الشرق من المرتفعات الغربية، وهي جزء من الدِّرْع العربي ذي الصخور الأركية القديمة النارية والمتحولة التي تعود للعصر ما قبل الكَامْبرِي. وهي تتكون من الهضاب الآتية:

هضبة حسْمَى: تمتد هضبة حِسْمَى في شمال غرب المملكة، من حدود المملكة الأُرْدُنِّيَّة الهاشِمِيَّة شمالاً، حتى حَرَّة الرَّحَا جنوباً، ومن منخفض تَبُوك شرقاً حتى جبال مَدْيَن غرباً. وهي تنحدر إجمالاً نحو الشرق والشمال. ويتراوح ارتفاعها بين 800 إلى 1000م فوق مستوى سطح البحر.

هضبة الحِجَاز: تقع هضبة الحِجَاز إلى الجنوب الشرقي من هضبة حِسْمَى. وهي تمتد من جبال الطُّبَيق شمالاً حتى حرة خَيْبَر جنوباً ومن النُّفُود الكَبِير شرقاً حتى المرتفعات الغربية غرباً. وهي تنحدر بصفة عامة نحو حوض تَبُوك في الوسط ونحو الشمال والشرق. ويتراوح ارتفاعها 900 إلى 1100م فوق مستوى سطح البحر.

هضبة عَسِير: تمتد هضبة عَسِير من حرتي النُّوَاصِف والبُقُوم شمالاً حتى هضبة نَجْرَان وجبال السَّرَوَات جنوباً، ومن هضبة نَجْد شرقاً حتى جبال السَّرَوَات غرباً. وهي تنحدر بصفة عامة نحو الشمال والشرق، ويتراوح ارتفاعها بين 1200 - 1600م فوق مستوى سطح البحر.

هضبة نَجْرَان: تمتد هضبة نَجْرَان من هضبتي نَجْد وعَسِير شمالاً حتى وادي نَجْرَان جنوباً، ومن رمال الرُّبْع الخَالِي شرقاً حتى مرتفعات السَّرَوَات غرباً. وهي تنحدر بصفة عامة نحو الشرق. ويتراوح ارتفاعها بين 1100 – 1500م فوق مستوى سطح البحر.

٢ - هضبة نَجْد

هضبة نَجْد أكبر هضاب المملكة. وهي تشغل مساحات واسعة في وسطها وذلك من النُّفُوذ الكَبير شمالاً حتى الرُّبْع الخَالي جنوباً، ومن الدَّهْنَاء شرقاً حتى الهضاب الغربية غرباً. وهي تقسم إلى قسمين مختلفين من حيث التركيب الجيولوجي، الأول الغربي وهو يعرف باسم عالية نَجْد، وهي تمتد من جبال شَمَّر شمالاً حتى جنوب وادي الدَّوَاسر جنوباً، ومن نفوذي السِّر والدِّحي شرقاً حتى الحَرَّات والهضاب الغربية غرباً. وهي تعد جزءاً من الدِّرْع العربي ذي الصخور الأركية القديمة النارية والمتحولة التي تعود للعصر ما قبل الكَامْبرِي والتي تمتاز بصلابتها ومقاومتها لعمليات التعرية، وتبرز على شكل هضاب وقمم صخرية وذلك مثل جبال النِّير وجبال دَهْلاَن وجبال العَلَم. وهي تنحدر بصفة عامة نحو الجنوب والشرق. ويتراوح ارتفاعها بين 800 - 1200م فوق مستوى سطح البحر. ويقطع سطح هذا القسم من هضبة نَجْد عدد كبير من الأودية ومسارب المياه التي تمتد مع الاتجاه العام للانحدار مثل أودية الرُّمة وبَيْشة وتَثْليث ورَنْية وتُرَبَة وغيرها. أما القسم الثاني وهو الشرقي فيعرف باسم نَجْد السفلى، وهو يمتد من النُّفُوذ الكَبير شمالاً حتى الرُّبْع الخَالي جنوباً، ومن نفوذي السِّر والدِّحي غرباً حتى الدَّهْنَاء شرقاً. وتنحدر نَجْد السفلى بصفة عامة نحو الشرق. ويتراوح ارتفاعها بين 600 - 1100م فوق مستوى سطح البحر. وهي جزء من الرَّف العربي، لذلك تتكون من صخور رسوبية تتوالى طبقاتها متتابعة من الغرب إلى الشرق وذلك من العصر الكَامْبرِي حتى عصر الأيوسين. ويبرز في هذا القسم الحافات الصخرية التي تكونت نتيجة لاختلاف صلابة صخوره، والتي تمتد على شكل أقواس من الشمال إلى الجنوب، وأهمها حافة طُوَيْق التي تمتد لما يقارب من 1200 كيلو متر وذلك من شمال مدينة الزُّلْفِي شمالاً حتى رمال الرُّبْع الخَالي جنوباً ويقطع سطح هذا القسم من هضبة نَجْد عدد كبير من الأودية ومسارب المياه التي تمتد مع الاتجاه العام للانحدار مثل أودية الرُّمَّة والدَّوَاسِر ونَجْرَان وحَنِيفَة والسُّلَي ونِسَاح وغيرها.

٣ - هضبتا الحَمَاد والحَجْرَة

تمتد هضبتا الحَمَاد والحَجْرَة في أقصى شمال المملكة وذلك فيما بين الحدود مع الأُرْدُن ا شمالاً والنُّفُود الكَبِير جنوباً، والحدود مع العراق شرقاً وحرة الحَّرة ووادي السِّرْحَان غرباً. ويتراوح ارتفاع هضبة الحَمَاد بين 650 إلى 900م فوق مستوى سطح البحر أما هضبة الحَجْرَة فيتراوح ارتفاعها بين 400 إلى 560م فوق مستوى سطح البحر. وتقطع سطح هاتين الهضبتين الأودية ومسارب المياه، وهي تتجه إجمالاً نحو الشمال الشرقي.

٤ - هضبة الصَّمَّان

تمتد هضبة الصَّمَّان من الحدود مع الكُوَيْت والعِرَاقِ شمالاً حتى صحراء الرُّبْع الخَالِي جنوباً وذلك بطول 1000 كيلو متر تقريباً، ومن السهل الساحلي للخليج العربي شرقاً حتى رمال الدَّهْنَاء غرباً. ويتراوح عرضها بين 80 إلى 250 كيلو متر تقريباً. وهي تنحدر بالتدريج من الغرب إلى الشرق حيث يتراوح ارتفاعها بين 25 متر عند حافتها الشرقية و 400 متر عند حافتها الغربية. وتأخذ بعض أجزائها أسماء مختلفة مثل الدِّبْدَبَه والصُّلْب ورُبَيْدَاء وشَدْقَم وصَمَاء يَبْرِين. ويوجد في هضبة الصَّمَّان بعض السهول الحصوية مثل سهل الدِّبْدَبَه الذي تغطي سطحه الحصى والحصباء كما يتميز سطح هضبة الصَّمَّان خاصة في أجزائها الوسطى والشمالية بوجود الدُّحُول التي يزيد عمق بعضها عن 50 متراً، وهي فجوات تنتج من ذوبان صخورها الجيرية، كما تكثر في هضبة الصَّمَّان الأراضي المنخفضة وكذلك الخباري والروضات وغيرها كما يقطع سطح الهضبة عديد من الشعاب والأودية التي من أهمها البَاطِن والصَّرَار ووادي المياه والسَّهْبَاء.

• التكوينات الرملية

تغطي التكوينات الرملية نحو 36.9 % من مساحة المملكة حيث تغطي نحو 746567 كيلو متر مربعاً. وهي توجد على شكل كثبان رملية تبلغ مساحتها نحو 688852 كيلو متر مربع، وكثبان رملية تتخللها بعض السهول المنبسطة وتبلغ مساحتها نحو 36478 كيلو متر مربع، وفرشات رملية مع دِكَاك وتبلغ مساحتها حوالي 11779 كيلو متراً مربعاً، وفرشات رملية وتبلغ مساحتها نحو 9458 كيلو متر مربع. وتعد التكوينات الرملية خاصة الكثبان الرملية منها مع المرتفعات الغربية من أبرز الظاهرات التضاريسية فيها وأوضحها. وتتألف هذه التكوينات من رمال مفككة تكونت بفعل التعرية السطحية المائية والهوائية التي أدت إلى تجمعها في مناطق حوضية يهبط فيها عن المستوى العام لسطح الأرض، أو في مناطق محمية بموازاة الحافات الصخرية حيث تهبط سرعة الرياح فتلقي حمولتها من الرمال. وتتركز معظم التكوينات الرملية في المملكة بسبب طبيعة تكوينها على الرَّف العربي وفي السهل الساحلي للبحر الأحْمَر إضافة إلى مساحات محدودة جدًّاً على الدِّرْع العربي. ومن أبرز التكوينات الرملية في المملكة ما يأتي:

◆ النُّفُــوذ الكَبير

يقع النُّفُود الكَبير في شمال المملكة، ويحيط بالحوض الذي تشغله رماله مرتفعات هضبتي الحَمَاد والحَجْرَة شمالاً، وهضبة نَجْد وجبلي أجَأ وسَلْمَى جنوباً، وهضبة الحَجْرَة شرقاً، وهضبة الحِجَاز غرباً. وهو يغطي ما يقارب 65504 كيلو متر مربع أي نحو 3.2 % من مساحة المملكة، وهو يمثل بذلك المرتبة الثانية من حيث المساحة بين التكوينات الرملية في المملكة بعد الرُّبْع الخَالي. وتتصل بالنُّفُود الكَبير في الشرق الدَّهْنَاء، وفي جنوبه الشرقي نفوذ

المَظْهُور. ويضم النُّفُود الكَبير أشكالاً متنوعة من الكثبان الرملية ولكن الكثبان الطولية والهلالية والنجمية هي الأكثر شيوعاً فيها. وقد يصل ارتفاع بعض الكثبان خاصة النجمية منها إلى 200 متر فوق مستوى الأراضي المنبسطة المجاورة لها.

◆ الدَّهْنَـــاء

تمتد الدَّهْنَاء على شكل قوس لمسافة تقارب 1200 كيلو متر وذلك من النُّفُود الكَبير في الشمال حتى الرُّبْع الخَالِي في الجنوب. وتبلغ مساحتها نحو 35466 كيلو متر مربع أي نحو 1.8 % من مساحة المملكة. وتتكون الدَّهْنَاء من سلاسل من الكثبان أو العروق الرملية الطولية المتوازية التي تمتد من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي شمال دائرة عرض 24° ومن الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي جنوبه. وتفصل هذه العروق أراض منبسطة يطلق على الواحد منها اسم خَب أو جَو. ويختلف عرض هذه الكثبان وارتفاعها عن الأراضي المجاورة لها من مكان إلى آخر. ويتراوح عرض عروق الدَّهْنَاء والأراضي المنبسطة فيما بينها بين 20 إلى 80 كيلو متر، وقد يصل ارتفاع بعضها إلى 170 متر فوق مستوى الأراضي المنبسطة المجاورة لها. وتضم الدَّهْنَاء أشكالاً متنوعة من الكثبان الرملية ولكن الكثبان الطولية هي الأكثر شيوعاً فيها.

◆ الرُّبْـــع الخَـــالِي

يشغل الرُّبْع الخَالِي مساحة واسعة في جنوب شرق المملكة وذلك فيما بين هضبتي نَجْد والصَّمَّان، ورمال الدَّهْنَاء والجَافُورَة شمالاً، والحدود مع عُمَان واليمن جنوباً، والحدود مع عُمَان والإمَارَات شرقاً وهضبة نَجْرَان غرباً. وهو

يغطي ما يقارب 486245 كيلو متر مربع من أراضي المملكة أي نحو 24 % من مساحتها. ويصل طوله إلى 1200 كيلو متر أما عرضه فيصل إلى 640 كيلو متر. ويغطي سطح الرُّبْع الخَالِي أشكال متعددة من الكثبان الرملية بعضها ثابت والآخر متحرك وبعضها هلالي وبعضها الآخر طولي قبابي أو مركب، كما يوجد في الرُّبْع الخَالِي بعض السباخ مثل سبخة أبي الرُّوس وأم السَّمِيم.

◆ نفوذا الجَافُورَة والبَيْضَاء

تبلغ مساحة نفوذي الجَافُورَة والبَيْضَاء نحو 53637 كيلو متر مربع أي نحو 2.7 % من مساحة المملكة. ويمتد نفوذ الجَافُورَة على شكل لسان رملي وذلك إلى الشرق من هضبة الصَّمَّان من العُقَيْر في الشمال حتى أطراف الرُّبْع الخَالِي الشمالية قرب يَبْرِين في الجنوب. ويضيق هذا اللسان في الشمال بحيث لا يتجاوز اتساعه 30 كيلو متر ولكنه يتسع باتجاه الجنوب حتى يتصل برمال الرُّبْع الخَالِي حيث يصل إلى حوالي 100 كيلو متر. وتتكون رمال الجَافُورَة من أشكال مختلفة كالهلالية والقبابية والفرشات الرملية، كما توجد بين الكثبان هنا وهناك السباخ. أما نفوذ البَيْضَاء فتمتد من الشمال الغربي للجُبَيْل حتى العُقَيْر حيث تتصل برمال الجَافُورَة، ولعل تسميتها بالبَيْضَاء يعود إلى لون رمالها الضارب إلى البياض، وهي تماثل رمال الجَافُورَة من حيث الأشكال السائدة والحجم.

علاوة على ذلك، يوجد بعض التكوينات الرملية الصغيرة تبلغ مساحتها مجتمعة نحو 105715 كيلو متر مربع أي نحو 5.2 % من مساحة المملكة. ومن أهم هذه التكوينات الرملية الصغيرة المَظْهُور، والثُوَيْرات، والمَلحَاء، وقُنَيْفِذَة، والدِّحِي والسِّر، والعرَيْق وعُرُوق سُبَيْع.

• السهـــول الساحليـــة

يمتد في المملكة العربية السُّعُودِيَّة سهلان ساحليان الأول في غربها بمحاذاة البحر الأحْمَر من الشرق، والآخر في شرقها بمحاذاة الخليج العربي من الغرب وتبلغ المساحة التي يغطيها هذان الساحلان نحو 15765 كيلو متر مربع أي نحو 0.8 % من مساحة المملكة.

- سهول تهامة تعرف بـ **السهل الساحلي** وتنقسم تهامة الشمالية والجنوبية، تكون الشمالية في صورة شريط ضيق يبدأ من المنطقة الساحلية المتموجة التي ما بين البحر الأحمر من الجانب الغربي ومن الشرق سلسلة جبال الحجاز، كما أنها تعتبر منطقة رملية وبها طمي ممتد بطول 1080 كم يبدأ من جدة جنوباً وحتى مدينة الحقل شمالاً كما أن هذا الشريط متواجد في مستوى سطح البحر بالجنوب وقد يرتفع قليلاً من جهة الشرق بسبب الطمي الذي يأتي من جبال الحجاز. تمتد سهول تهامة على طول ساحل البحر الأحمر من العقبة شمالا وحتى حدود اليمن جنوبا وهي عبارة عن شريط ضيق أقصى عرض له يبلغ حوالي 40 كم عند مدينة جازان. تكثر في هذا السهل الشعاب والرواسب المرجانية والرؤوس والخلجان ومصبات الاوديه والسبخات الساحلية والمراوح الفيضية والحرات والكثبان الرملية، يحد السهل من الناحية الشرقية سلاسل الجبال الغربية (جبال السروات). كذلك في تهامة يوجد الكثير من الحرات والتي تعتبر مناطق سوداء تشتمل على كميات من الحجارة المحرقة بالنار، ويعد هذا النوع من الحجارة مكون من سائل بركاني كان تكوينه نتاج البراكين، ومن الممكن استخراج الأحجار الكريمة والمعادن من تلك الأحجار. يشكل السهل الساحلي للبحر الأحمر الحد الشرقي لانخساف كبير تحده الجروف القارية والتي اتسعت

خلال انفصال قاع البحر، ويتكون هذا الساحل من نطاق ضيق من تتابعات سميكة من الصخور الرسوبية التابعة لعصر الأوليجوسين. حيث ترسبت عدة رواسب قارية فتاتيه فوق الرواسب البحرية القديمة التابعة لمحيط التيثس في عصر الميوسين وتحت أول الطبقات البحرية التي نشأت مع انفتاح البحر الأحمر في وسط عصر الميوسين وهذه الصخور القارية الفتاتية غير معروفة نظرا لوجودها على هيئة بقع تقع على طول السهل الساحلي للبحر الأحمر وتأثرها بصدوع الانخساف.

- أما السهول الساحلية الشرقية فهي تطل على الخليج العربي، وخليج عمان، وتمتد من الكويت شمالا إلى رأس الحد في عمان جنوبا، وتنقسم إلى: سهول الأحساء وهي السهول الشمالية وأراضيها خصبة، ويتخللها بعض السبخات الملحية والآبار الجوفية. يبلغ طول السهل الساحلي السعودي على الخليج العربي نحو 500 كم ويبلغ معدّل عرضه 60 كم. ويتميّز بأنه منخفض ولا يرتفع كثيرًا عن مستوى سطح البحر، ولذلك تكثر فيه السبخات والأراضي الملحية والتلال الرملية. وتتسم المياه المجاورة لساحل الخليج بأنها ضحلة، الأمر الذي أدى إلى بروز الخلجان والرؤوس وتكوّن الشعاب المرجانية، ويلي السهل الساحلي باتجاه الداخل سهول الأحساء المتكوّنة من الرمال والحصى الغنية بمياه العيون والآبار التي تروي مساحات زراعية مهمة.

جيولوجية المملكة

تعود أقدم الصخور في المملكة إلى عصر ما قبل الكمبري، أي قبل حوالي 3 مليار سنة. وتشكل الجزء الغربي والشمال الغربي من الصفيحة العربية التي تشمل شبه الجزيرة العربية. ومع ذلك، فإن الجزء الاكبر من مساحة المملكة مغطاة بصخور أحدث عمرا (عمرها بين 1000 إلى 540 مليون سنة). وهذه الصخور تعود إلى حقبة الحياة القديمة والمتوسطة، وعصور الحياة الحديثة، والتي يطلق عليها مجتمعة الغلاف الصخري لدهر الحياة الظاهرة (الفانيروزية Phanerozoic).

تغطي صخور ما قبل الكمبري الجزء الغربي من المملكة، و تشكل ما يسمى بالدرع العربي والذي يمتد من جنوب الأردن شمالا إلى بحر العرب جنوبا، والمساحة الأكبر منه تقع في المملكة. يحد الصفيحة العربية من الغرب صدع البحر الأحمر وصدع البحر الميت التحويلي، ومن الشرق منطقة اندساس زاغروس ومنطقة صدع أوين، ومن الشمال منطقة صدع الأناضول الشرقية، ومن الجنوب منطقة صدع عدن.

يحد صخور الدرع العربي المكشوفة الصخور الرسوبية التي تعود إلى دهر الحياة المتوسطة والحديثة في الأجزاء الوسطى والشرقية من المملكة، وفي الجزء الشمالي الشرقي والجنوبي الشرقي من الدرع العربي تظهر منكشفات الصخور الرسوبية التي تعود الى حقبة الكمبري (دهر الحياة القديمة). كما يحد الدرع العربي من الجزء الغربي وعلى طول ساحل البحر الاحمر صخور رسوبية التي تتبع دهري الحياة المتوسطة والحديثة والمترسبة في حوض البحر الاحمر. تغطي الطفوح البركانية الحديثة (التابعة لحقب الحياة الحديث) مناطق عدة من الدرع العربي مغطية صخور ما قبل الكمبري والتي تعود لانفتاح البحر الاحمر.

تشكل حوض البحر الاحمر بالتزامن مع انفصال شبه الجزيرة العربية عن شمال شرق أفريقيا منذ حوالي 25 مليون سنة، مما أدى إلى تكوين الصفيحة العربية وبدء انفتاح البحر الأحمر وخليج العقبة مكونا خسف (فالق) البحر الاحمر. وأدى ارتفاع حواف هذا الفالق إلى تكوين تضاريس مائلة للصفيحة العربية الى الشرق، والتي كانت إلى حد كبير العامل المسؤول في تآكل صخور دهر الحياة القديمة وانكشاف الدرع العربي.

تتكون صخور الدرع العربي من الصخور النارية والمتحولة والصخور النارية المتداخلة وهي في الغالب عبارة عن تجمعات صخرية من حقبة الحياة القديمة (ماقبل الكمبري) والتي تكونت في نظام القوس البركاني المحيطي الى القاري والذي ينتج عنه تتابع صخري من الصخور البركانية والرسوبية التي ترسبت بشكل غير متطابق مع تسلسل القوس مع تدخلات للصخور الجوفية واسعة النطاق. وتعرضت هذه الصخور الى تحولا اقليميا ونطاقي (لتداخل الصخور الجوفية). فأصبحت صخور الدرع العربي (تتابع صخري من الصخور الرسوبية والبركانية المتحولة وما صاحبها من صخور جوفية). يمتد الدرع العربي من شرق البحر الاحمر غربا الى وسط شبه الجزيرة العربية شرقًا. ويظهر على شكل انتفاخ ممتدا من خليج العقبة شمالا إلى نقطة تبعد أقل من 200 كيلومتر غرب الرياض ثم يتراجع باتجاه جنوب شرق البحر الأحمر. يحتوي الدرع على العديد من البراكين الخامدة المحاطة بطبقات من الحمم والطفوح البركانية.

يعطي الدرع العربي تناسقًا لجغرافية المملكة، حيث تتبع محيطه العديد من المنحدرات والصحاري الرملية. ويعتبر كتلة مستقرة Cratonic منذ تكونه في أواخر حقبة ما قبل الكمبري ويظهر بارزا من تحت الرمال التي تغطي معظم الثلث الغربي من المملكة.

تغطي الصخور الرسوبية الجزء الاكبر من الجزيرة العربية وتكمن اهميتها في احتوائها على اكبر مخزون نفطي عل سطح الكرة الارضية تتمثل هذه الصخور الرسوبية والتي يمتد عمرها من حقب الحياة القديمة الى حقب الحياة الحديث في رواسب للبيئات البحرية تغطي جزءًا كبيرًا من شمال الجزيرة العربية وشرقها وجنوب شرق ، بينما تحتل التراكمات البحرية والقارية أحواضًا ضيقة موازية للخليج العربي شرقا والبحر الأحمر غربا لأعماق تصل الى 6100 مترا . يمتد ساحل البحر الأحمر من خليج العقبة شمالا الى باب المندب جنوبا موازيا لسلسلة جبال السروات والتي تمثل الدرع العربي مكونة هضبة تمتاز بارتفاعها كلما اتجهنا الجنوب حيث ترتفع عن البحر الأحمر بحوالي 1500 متر شمالا وتصل الى ما يقرب من ، 3000 متر جنوبا . كما ان هذه الهضبة تنحدر تدريجيا شرقًا نحو الخليج العربي مكونة منطقة ما يسمى بالرف العربي والذي يمثل الغطاء الرسوبي لشبة الجيرة العربية.

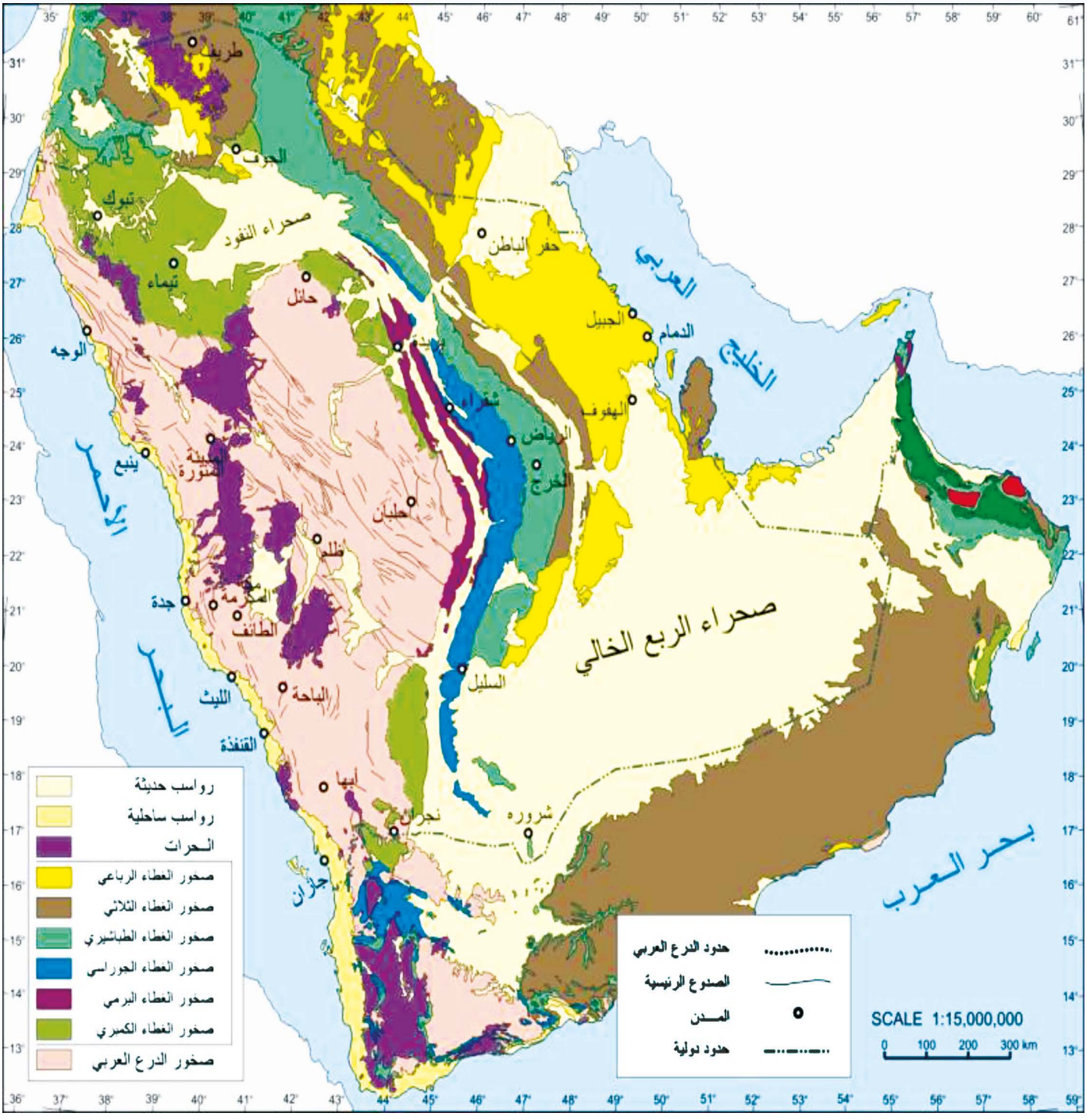
يحيط الغطاء الرسوبي الدرع العربي من الشرق والشمال الشرقي والجنوب الشرقي ، ويشغل نحو ثلثي مساحة أراضي المملكة العربية السعودية، أي حوالي 68 %، وتقدر مساحته الإجمالية بـ 1,320,000 كم^2. يعد الغطاء الرسوبي ككل جزءًا متبقيًا من بحر التيثي والذي غطى جزء كبيرا من الجزيرة العربية من شمالها الى جنوبها مغطيا للدرع العربي ، والذي نتج عن التأثيرات العامة والمجمعة للعمليات الرسوبية والحركات التكتونية حول الدرع العربي. ترسبت الرواسب ذات المنشأ القاري والبحري (في الغطاء الرسوبي) بشكل متقطع وتجمعت في سلسلة سميكة تميل باتجاه الشرق ويصل سمكها إلى حوالي 7000 متر في حوض الخليج العربي وفي الربع الخالي. وميلها التدريجي يتمثل في درجة واحدة في التسلسلات الرسوبية القديمة والسفلى إلى أقل من نصف درجة في التسلسلات الحديثة العليا. تشكلت هذه التسلسلات الرسوبية على مدى فترة

541 مليون سنة تقريباً، من نهاية عصر البروتيروزيك الى الحديث، وتتجلى في المناطق الوسطى من المملكة على شكل حزام منحني يتجه انحناءه نحو الحافة الشرقية والجنوبية الشرقية والشمالية الشرقية من الجزيرة العربية.

يضم الغطاء الرسوبي في المملكة أكبر مخزون للرواسب الهيدروكربونية في العالم ومخازن المياه الجوفية والرواسب المعدنية الصناعية اللافلزية والتي تشمل رواسب البوكسيت والفوسفات والمعادن الطينية والحجر الجيري والدولوميت والجبس ورمال السيليكا والحجر الرملي، والرمال السوداء. كما تحتوي هذه الصخور الرسوبية أيضًا على بعض رواسب العناصر المشعة، مثل اليورانيوم، والعناصر الأرضية النادرة التي ترتبط برواسب الفوسفات.

وعموما تنقسم المملكة جيولوجياً إلى أربعة نطق متميزة هي :

- الدرع العربي وهو يتبع دهر طلائع الحياة (حقبة ماقبل الكمبري) ويتمثل في التتابعات البركانية الرسوبية والمتحولة التي يتداخل فيها ماتبعها من الصخور الجوفية (كالجرانيت و الجابرو).
- الرصيف القاري العربي وهو يتبع دهر الحياة الظاهرة ويحتوي على تتابعات رسوبية فتاتية وجيرية ومتبخرات تميل بدرجات خفيفة نحو الشرق مبتعدة عن الدرع العربي.
- حرات العصر الثلاثي البركانية وهي في الغالب تعلو صخور الدرع العرب وتعود لانفتاح البحر الاحمر.
- رواسب السهول الساحلية على شواطئ البحر الأحمر والخليج العربي.



خارطة جيولوجية وحركية مبسطة لشبه الجزيرة العربية تظهر فيها صخور الدرع العربي والحرات البركانية والرف (الرصيف) العربي

الـــدرع العربـــــي

يعتبر الدرع العربي في شبه الجزيرة العربية والدرع النوبي في مصر والسودان جزءً من كتلة شرق أفريقيا والمكونة قلب قارة جوندوانا الكبيرة في نهاية عصر ما قبل الكمبري، وقد انفصل الدرع العربي عن نظيره الدرع النوبي بواسطة أخدود البحر الأحمر منذ عصر الميوسين حوالي 25 مليون سنة وظهر الدرع العربي على شكل شبه منحرف تبلغ مساحته حوالي (660000 كم^2) حيث يمثل الجزء الغربي من الجزيرة العربية ويحده من الغرب أخدود البحر الأحمر والسهول الساحلية المسماة سهول تهامة ويحده من الشمال والغرب صخور الغطاء الرسوبي التابعة لدهر الحياة الظاهرة ويبلغ طول الدرع العربي بما في ذلك الامتدادات الموجودة في الشمال الغربي والجنوب الشرقي حوالي (1,800 كم) وعرضه كحد أقصى حوالي (700 كم). يوجد حوالي (81,000 كم^2) من الدرع العربي في المملكة مغطى بحقول بازلتية تابعة لدهر الحياة الحديث . يتكون الدرع من عدة أنواع من الصخور التابعة لعصر ما قبل الكمبري يقابلها أحزمة من الصخور المتحولة المختلفة والصخور المشوهة ويصل عمر هذه الصخور إلى أكثر من 1600 مليون سنة للدرع العربي أهمية أساسية في دراسة التاريخ الجيولوجي للمملكة العربية السعودية والارض عموما . فهو من أكبر المناطق على وجه الأرض التي تحتوي على قشرة شابة نسبيا من الطلائع الحديثة المحفوظة والتي تشكلت مباشرة من الصهارة. وهو مكشوف بشكل جيد، وقد شهدت تجمعاته الصخرية تحولات وتشوهات معتدلة.

يُعد الدرع مثالًا ممتازًا لقشرة شابة كبيرة تطورت خلال 300 مليون سنة من قشرة محيطية يبلغ سمكها 8 كيلومترات إلى قشرة قارية يبلغ سمكها حوالي 45 كيلومترًا . وعلى هذا النحو، يعد الدرع العربي مختبرًا طبيعيًا فريدًا لدراسة التاريخ الجيولوجي الغني للأرض وتبرد وتجلد الصخور النارية وتمايزها .

يعود تاريخ أقدم صخور الدرع في المملكة العربية السعودية إلى ما قبل 1.8 إلى 2.6 مليار سنة. وهي تتكون من الجرانيت والنيس والشست، وتنتشر في منطقة محدودة في الحافة الشرقية للدرع، على الرغم من أنها قد تكون موزعة سابقًا على نطاق واسع كما يتضح من التوقيعات النظائرية المميزة المحفوظة في الصخور الأقل انتشارًا. تتراوح أعمار التجمعات الصخرية البركانية من 850 إلى 700 مليون سنة في المناطق الجنوبية والغربية من الدرع، إلى قبل 690 إلى 615 مليون سنة في المناطق المجاورة الشرقية. تشكلت هذه الصخور من التمايز المنصهر المرتبط بانجراف العصر الحديث في محيط موزمبيق.

تعتبر صخور الدرع العربي موطنا مناسبا لتمعدن الخامات المعدنية نظرا لتاريخها الجيولوجي وتطورها وموقعها على هامش الصفائح المتقاربة خلال 300 مليون سنة من تكوين ونمو القشرة الأرضية. نظرًا لهذه الظروف المواتية للتمعدن، تم تمعدن صخور الدرع العربي بالذهب والنحاس والزنك والرصاص والحديد والنيكل والرواسب المعدنية الأخرى المرتبطة بالهوامش التكتونية النشطة والأنظمة الجبلية المتطورة تدريجيًا. لقد تم استغلال الموارد المعدنية للدرع العربي تاريخياً لأكثر من 3000 عام. حتى الآن، ينشط تعدين الذهب في مناطق الدرع بشكل كبير. ويجري الآن أيضًا استكشاف الكبريتيدات الضخمة المتعددة المعادن ذات الأصول البركانية والرواسب التي تكونت بواسطة المحاليل الحرارية. تميل تواجد الرواسب المعدنية في الدرع إلى أن تكون محصورة في الأحزمة المعدنية بسبب الخصائص الجيولوجية والتكتونية والهيكلية للدرع.

النشأة : نشأ الدرع العربي من (التحام) خياطة حزام الجبال الذي تطور قبل 850–550 مليون سنة، والذي كان يقع في الطرف الشمالي لجبال شرق إفريقيا. يتألف هذا الأوروجين Orogenies (الحركات البانية للجبال) من حزام عريض من الصخور المتحولة والمشوهة، وقد تشكل من التقارب والتحام الكتل القشرية

في شرق وغرب جندوانا. يتكون الدرع بشكل رئيسي من صخور فتية ذات أصل منصهر، تتكون التضاريس التكتونية من مجموعات صخرية شديدة التنوع لها بصمات كيميائية تتعلق بالإعدادات التكتونية المتداخلة التي تشير إلى كل من أقواس الجزر وأنظمة الحواف القارية مع الصخور الرسوبية القارية والبحرية المرتبطة بها. تحدد تسلسلات الأفيوليت في الدرع مناطق الالتحام والحدود بين هذه التضاريس التكتونية. تعرضت صخور الدرع العربي للتحول إلى سحنة الشيست الأخضر والأمفيبوليت خلال عدة حلقات متتالية من التشوه. وينقسم الدرع الآن إلى عدة أراضي وأراضي تحتية، وهي من الشمال إلى الجنوب: أراضي مدين، وحولية، وحائل، والحجاز، وعفيف، والدوادمي، والرين، وعسير، وتثليث، وأراضي الخضاع Khoda. تفصل بين هذه الاراضي مناطق التحام قد تحوي او لا تحوي صخور الافيوليت الذي يدلل على تصادم والتحام هذه الارضي في فترات تكون الدرع العربي.

التطـــور: عموما يعتقد أن الدرع العربي تطور من خلال عدة عوامل:

- ترسب الصخور البركانية والرسوبية على هيئة سلسلة من الأقواس المجماتية تشبه الجزر القوسية الحالية على اطراف المحيط الهادي والذي يحدد بجزر اندونيسيا واليابان وغيرها من الجزر القوسية .
- الطي والتصدع وإعادة التبلور للصخور على هيئة سلسلة من الأحداث البنائية.
- انهيار وتمدد الحزام الحركي المصاحب لترسب صخور رسوبية حديثة وأحواض بركانية وحقن لصخور الجوفية (الجرانيت والجابرو).

تعتبـر الصخـور البركانيـة والرسـوبية والسـحيقة والتـي معظمهـا صخـور جرانيتيـة والصخـور المتحولـة التـي تشـمل صخـور النيـس والشسـت الناشـئة مـن تحـول الصخـور الرسـوبية والصخـور البركانيـة السـيليكاتية ومعقـدات الامفيبولايت المتحولـة عـن الصخـور القاعديـة مـن أقـدم وأهـم أنـواع صخـور الـدرع العربـي. وقـد تعرضـت الصخـور الرسـوبية والمتحولـة لعـدة مراحـل مـن التشـوه والتحـول والتحليـل خـلال تطـور الـدرع العربـي، وحقنـت هـذه الصخـور بكميـات كبيـرة من الصخـور النارية السـحيقة التـي تشـكل حوالـي 55 % مـن صخـور الـدرع العربـي (63 % صخـور جرانيتيـة و6 % صخـور قاعديـة وفـوق قاعديـة) صخـور الافيـــولايت (و 31 % صخـور متوسـطة). أدت هـذه العمليـات الـى تحـول الصخـور الرسـوبية والبركانيـة الـى صخـور متحولـة نتيجـة التحـول النطاقـي النـاتج عـن تداخـلات الصخـور الجوفيـة او التحـول الإقليمـي الـذي مـر بـه الـدرع العربـي .

الأقاليـم : تم تقسـيم الـدرع العربـي الـى سـتة (أقاليـم) أو أكثـر تفصلهـا عـن بعضهـا خطـوط تصـادم أو (التحـام) وتتألـف هـذه الأقاليـم في الجـزء الغربـي مـن الـدرع العربـي مـن أقـواس محيطيـة وغالبـاً يكـون مصاحبـاً لهـا معـادن الأسـاس (النحـاس والزنـك والرصـاص) وفي الشـرق مـن صخـور ذات طبيعـة قاريـة تكـون في الغالـب مصاحبـة للمعـادن النفيسـة (الذهـب والفضـة). وقـد نشـأت هـذه الأقاليـم في البدايـة منفصلـة عـن بعضهـا البعـض ولكـن بعـد التصـادم والاندمـاج أصبـح لهـا نفـس التاريـخ الجيولوجـي .وتمتـاز خطـوط التصـادم (أو الالتحـام) بوجـود معقـدات إفيوليتيـة شـديدة التشـوه تتميـز بوجـود الصخـور القاعديـة وفـوق القاعديـة ويمثـل نطاقـي التصـادم في غـرب الـدرع العربـي في (صـدع ينبـع) (وصـدع بئـر عمـق) انصهـار أقـواس الجـزر، أمـا نطاقـات التصـادم الموجـودة في الشـرق فإنهـا تمثـل التصـادم المحيطي-القـاري (صـدع نبيتـة) أو التصـادم القاري (صـدع الأمـار. وقـد حـدث الاندمـاج لأقاليـم الـدرع العربـي مـن حوالـي 715 مليـون سـنة إلـى 630 مليـون سـنة واسـتمر بعـده التشـوه وتداخـل للصخـور النارية المصاحبـة للتصـادم وتكونـت رواسـب سـميكة مـن الصخـور الرسـوبية والمتحولـة وحقنـت الصخـور الجرانيتيـة خـلال الفتـرة مـن 640 مليـون سـنة إلـى 570 مليـون سـنة كمـا أزاحـت صـدوع

نجد الالتوائية المتكونة في الفترة من 640 مليون سنة إلى 550 مليون سنة أجزاء من الأحزمة إلى الشمال الغربي من الدرع العربي حيث تميزت هذه الفترة بزيادة الجزء العربي من قارة جوندوانا خلال الحدث الحركي للدرع النوبي. وتعرضت الصخور الموجودة في نطق التصادم لتحول وتشوه شديدين وخصوصاً الصخور القاعدية وفوق القاعدية (الأفيولايت) وهذه العملية تظهر بشكل واضح في نطاق التصادم الموجود بين عفيف وإقليم الحجاز حيث أدى تطور البحار في حزام الطي المصاحب لانهيار وتمدد الكتل إلى تكوين رسوبيات ضحلة إلى قارية وتميز النشاط القطري الرئيسي خلال هذه الفترة بتداخل صخور جرانيتية سحيقة وقذف صخور بركانية ريوليتية (سليكاتية) وفي نهاية هذه الفترة المجماتية تناوبت لابة بازلتية ومتوسطة مع الرسوبيات في التكوين الأحواض القارية المتكون نتيجة الحركة على طول صدوع نجد العرضية المتجهة شمال إلى شمال غرب. وأظهرت نتائج تقديرات عمر الصخور في الأقاليم الشرقية من الدرع العربي وجود قشرة قارية أقدم من 1200 مليون سنة. وترسبت في الفترة ما بين 850 مليون سنة و 700 مليون سنة في الأقاليم الغربية من الدرع العربي وحدات رسوبية بركانية مصاحبة للصخور السحيقة تظهر في (مدين و الحجاز، وعسير) وأصبحت في الفترة ما بين 700 مليون سنة و600 مليون سنة ملتحمة مكونةً حزام حركي. ويظهر الجزء الحديث من الدرع العربي مدفوناً تحت صخور الغطاء التابعة للرصيف القاري العربي حيث تبعه حركة رفع وتعرية أدت إلى ظهور الدرع العربي بشكله الحالي الجوفي الذي كون صخور بلوتونية تتراوح في تركيبها بين الجابرو والجرانيت. حدثت بعد ذلك تطورات عديدة أدت الى بناء الجيولوجية الحالية للدرع العربي والتي يمكن تصورها على هيئة أحزمة من الصخور المتتالية التي تبدا من الجنوب الغربي وتتسلسل بانتظام ناحية الشمال الشرقي وهي:

1. مجموعة حلي 2. مجموعة بيش 3. مجموعة الباحة 4. مجموعة جدة 5. مجموعة عبله 6. مجموعة حلبان 7. مجموعة المردمه 8. مجموعة شمر 9. مجموعة الجبيله.

خارطة جيولوجية مبسطة للدرع العربي توضح التضاريس التكتونية الطبقية الرئيسية وأحزمة الأفيولايت ونطق الالتحام (الدرز) ومناطق الصدوع وأحواض مابعد التراكم (تم تعديلها وترجمتها من جونسون ١٩٩٨ م)

الأقاليم التكتونية والجيولوجية في الدرع العربي المحيطية النشأة Oceanic Nature

م	اسم الاقليم	الأصـل والنشـأة والصخـور
1	إقليم عسير المحيطي Oceanic Asir Terrain	يحتوي على مجموعتين من الصخور تكونت في بيئة الجزر القوسية المحيطية الأقدم تشمل مجموعات بيش والباحة وجده، يغلب على احزمتها اتجاه شمال جنوب تشمل صخور التوبليت المنخفضة البوتاسيوم - بازلت انديزيت جريويك والمحقونات ديوريت وتوناتيت عمرها بين 9500 إلى 8110 مليون سنة
2	إقليم الحجاز المحيطي Oceanic Hijaz Terrain	يحتوي ثلاث مجموعات من الصخور الصهارية اقدمها جزر محيطي يمثل مجموعه البرك جنوب الاقليم قدر عمرها با 805 مليون سنه مجموعة فارع شمال الأقليم في الجزء الجنوبي الغربي من الأقليم صخور بازلتية والديزينية مجموعتي فريح و هدية في الشمال الشرقي صخور بركانية فلسية ريوليت مجموعة شعر يقدر عمر أقواس جزر الحجاز بـ 750 الى 740 مليون سنه
3	إقليم مدين المحيطي Oceanic Madyan Terrain	أقل الأقاليم وضوحًا نظرًا للتهشم الشديد والازاحات التي صاحبت نظام صدوع نجد نظرًا لذلك تمت مقارنتها بصخور دخان في صحراء مصر الشرقية والتي عمرها 639 الى 6002 مليون التي صاحبت نظام صدوع نجد

الاقاليم التكتونية والجيولوجية في الدرع العربي القاري النشأة Continental Nature

م	اسم الاقليم	الأصـــل والنشـــأة والصخـــور
1	إقليم عفيف القاري Continental Afif Terrain	مابعد التجبل Post Orogenic يحوي صخور جرانيتية ما بعد تجبلية حديثة عمرها أقل من 640 – 580 مليون سنة وتحوي صخور بركانية متوسطه وفلسية عمرها 660 – 600 مليون سنة تتكون صخور القاعدة من صخور جوفية متوسطة التركيب من نيس وشيست اعطيت صخور هذا الاقليم عمرا بين 800 و 670 مليون سنة
2	اقليم الرين القاري Continental Rayn Terrain	هو أقل الأقاليم مساحة بين الخمسة الاقاليم يقع في الطرف الشرقي للدرع العربي حيث تغطيه الصخور الرسوبية الفانيروزوية يحوي الاقليم صخورا جوفية متزامنة مع التجبل Synorogenic ومجموعتي صخور متطبقة مجموعة الامار البركانية الكلسقلوية قوس الامار الجزري الدلائل الجيولوجية المختلفة تظهر أن اقليم الرين يسبق باقي الاقاليم في الدرع العربي من ناحية تطور قشرته. قدرت صخور في غربه بعمر 2000 مليون سنة وبدا يكون أقدم عمر وجد في الدرع العربي

الرصيف القاري العربي

يقع الرف أو الرصيف العربي إلى الشرق من الدرع العربي ويحيط به من الجزء الشمالي الشرقي والجزء الجنوبي الشرقي. ويشكل نحو ثلثي مساحة شبه الجزيرة العربية. وقاعدته هي صفيحة الدرع العربي نفسها، التي ترجع إلى زمن ما قبل الكمبري. والرف العربي هو تتابع من الصخور الرسوبية، التي ترسبت على اليابسة والمياه الضحلة، وتتراوح أعمارها من الزمن الكمبري (حقب الحياة القديمة) الى والبلايوسين (حقب الحياة الحديث. وبصفة عامة يكون ميل هذه الطبقات الصخرية في اتجاه الشرق بعيداً عن الدرع العربي، ويكون ميلاً خفيفاً، ويتراوح سمكها من عدة أمتار في الطرف الشرقي من الدرع العربي، وعشرة آلاف متر في حوض الخليج العربي والربع الخالي. وتتكون الصخور الأقدم التي ترسبت خلال حقب الحياة القديمة، أي بين عصريَ الكمبري والبرمي- من الحجر الرملي والطفل. أما الصخور التي ترسبت في الحقب المتوسطة والحديثة، فتتألف إجمالا من الحجر الجيري. وقد تكون النفط في الطبقات الرسوبية العميقة، بفعل الضغط والحرارة الواقعين على الرواسب المطمورة، الغنية بالمواد العضوية. ثم انتقل إلى طبقات أخرى من خلال الصخور المسامية، حيث انحبس في مكامن مثل الطبقات المحدبة، التي تعلوها صخور غير مسامية، مثل الطفل. إضافة إلى النفط، فإن طبقات الصخور المسامية في الرف العربي تحتوي على مكامن مهمة للمياه الجوفية، أهمها مكمن الوسيع في المنطقة الوسطى من المملكة ومكمن أم رضمة في الجزء الشرقي من شبه الجزيرة العربية؛ ومكمن ساق في وسط شبه الجزيرة العربية وشماليها.

كانت الجزيرة العربية حتى حوالي 60 مليون سنة مضت جزء من حافة الجزء الجنوبي الشرقي من محيط التيثيس القديم الذي كان يحتل منطقة

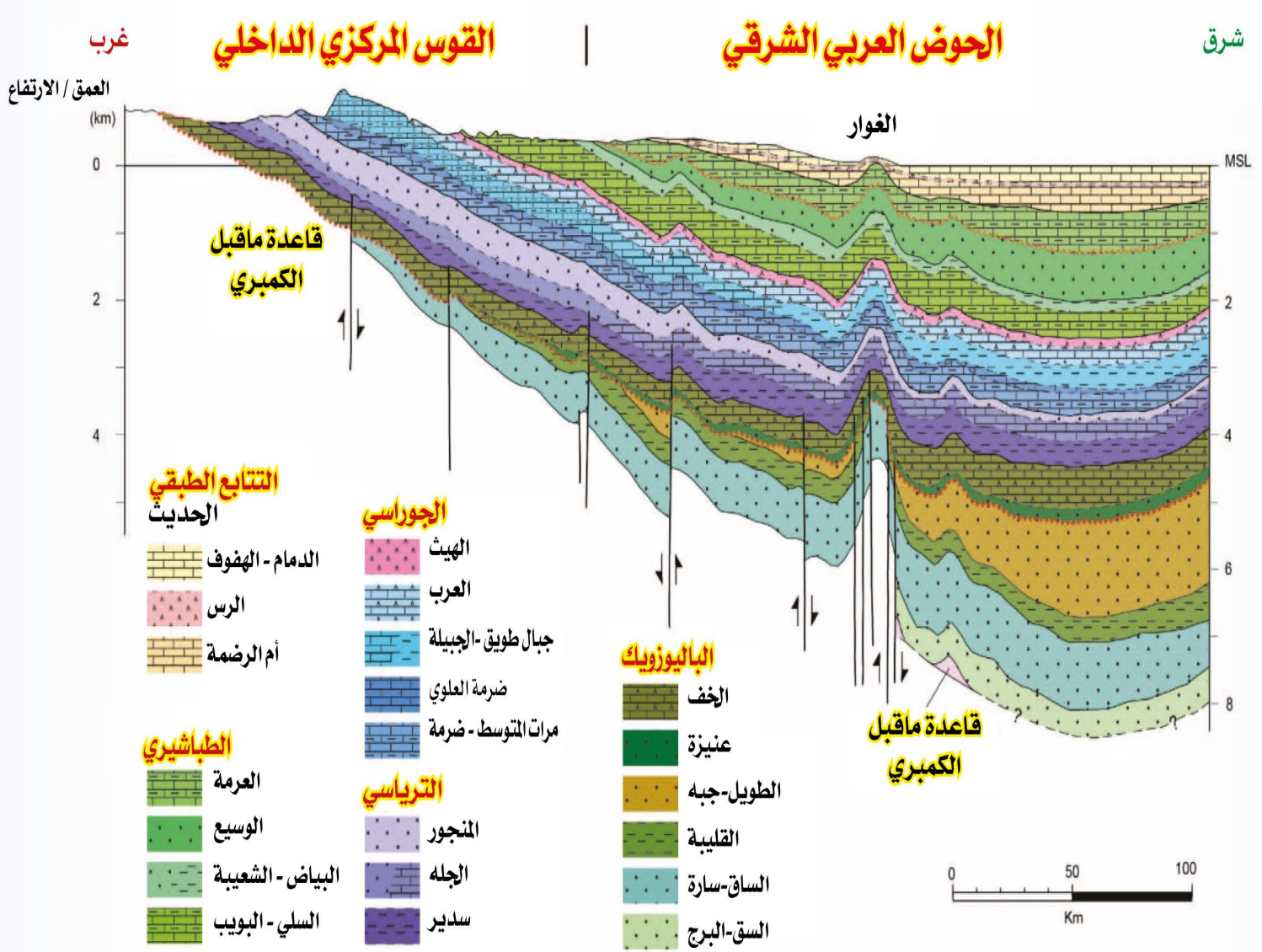
حـزام جبـال الألـب – الهملايـا الحالـي وفاصـلا قـارة جوندوانـا القديمـة (إلـى الجنـوب) ولوراسـيا (إلـى الشـمال).

وأدت الاجتياحـات البحريـة المتكـررة مـن الشـمال والشـمال الغربـي بشـكل دوري إلـى حـدوث ترسـيب دوري للصخـور. وكان التغيـر الجغـرافي القـديم نـاتج مـن الالتـواء البنائـي الـذي كان أسـاس لتكـون أخـدود البحـر الأحمـر. وقـد أدى ميـلان الجزيـرة العربيـة للشـرق والتوائهـا لأسـفل نتيجـة للأنشـطة البنائيـة علـى طـول حـزام الطـي بجبـال زاجـروس وجبـال عمـان إلـى تكـوّن منخفـض الخليـج العربـي والسـماح باجتياحـات بحريـة مـن المحيـط الهنـدي وأدى الهبـوط المتباين المحلي لتكون عدة أحواض ثانوية منها الربع الخالي. كما أدى ضعف القشرة في وسط الزمن الثلاثي إلى تكون أخدود البحر الأحمر وإعادة تكون القباب على طول الحافة الشرقية للأخدود والتي خلالها ارتفعت الحافة الغربية للصفيحة العربية حوالي 3كم لتكون جرف البحر الأحمر. وقد صاحب تكون القباب تدفق كميات كبيرة من البازلت أدت إلى تكون الحرات الموجودة في غرب الجزيرة العربية.

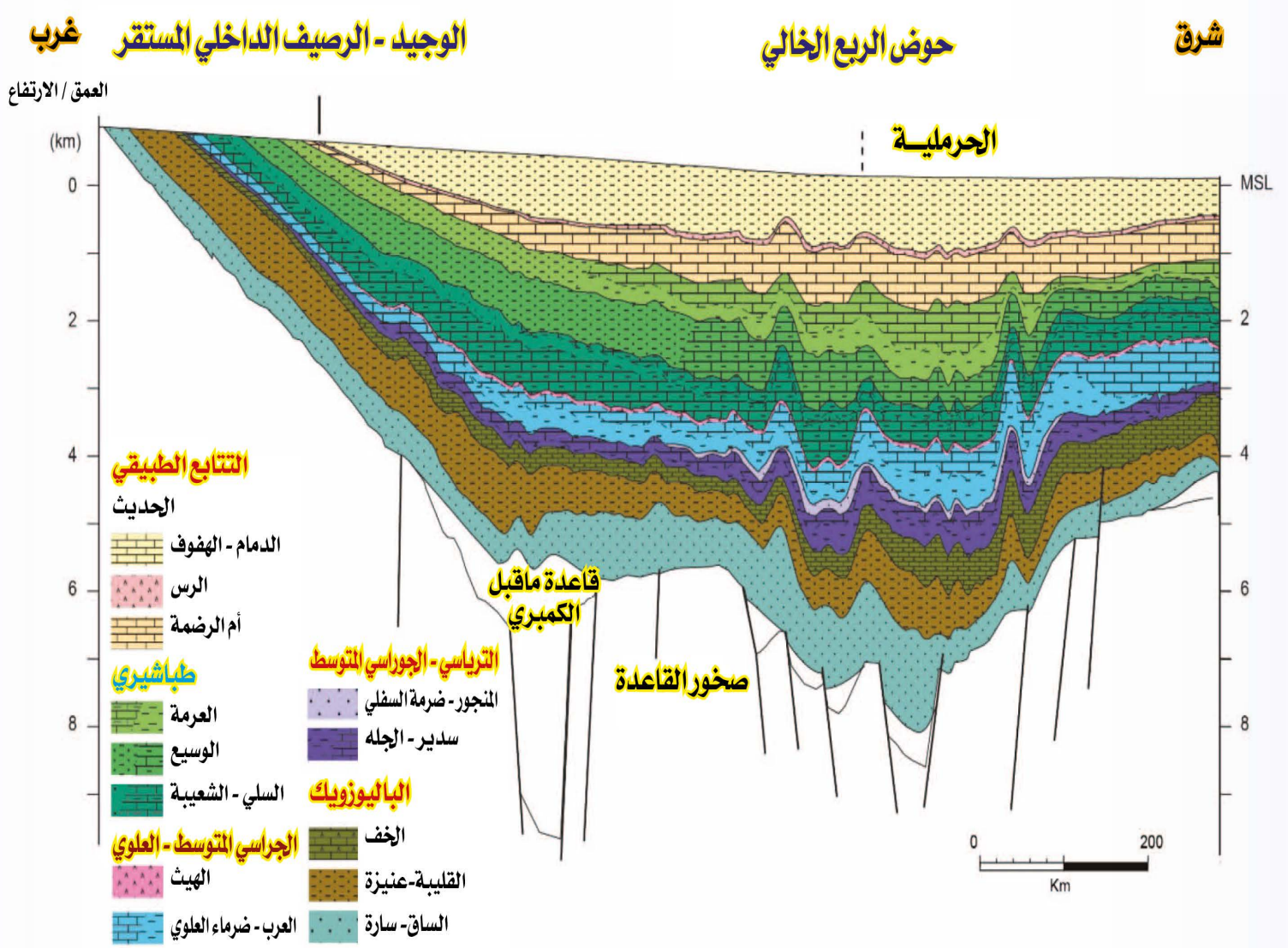
يوجد نحو ثمانية وعشرون تكوينا رسوبيا تغطي الرصيف الرسوبي القاري وتنتشر في المناطق الوسطى والشمالية والشرقية للمملكة، وتتكون من صخور رسوبية ذات اصول قارية وبحرية من صخور الحجر الرملي والجيري والطفل وحجر الطين والدلوميت والجبس والانهيدريت الى غير ذلك. تميل صخور الرصيف ميلاً لطيفاً ناحية الشرق والشمال الشرقي والجنوب الشرقي لتكون عدداً من الأحواض الرسوبية العميقة. تتكشف الصخور الرسوبية التابعة لدهر الحياة القديمة في وسط شبة الجزيرة على هيئة حزام عظيم مقوس ينحني على طول الحافة الشرقية للدرع العربي.

هناك أربعة أحواض رسوبية رئيسية كبرى داخل الرصيف العربي ملاصقة لبعض أجزاء الرصيف الداخلي وتحتوي على تتابع سميك من الصخور الرسوبية وهي:

- **حوض الربع الخالي:** يمتد باتجاه الشمال الشرقي ومن وسط الربع الخالي عرضه 3000 كم، يحوي على رواسب العصر الثلاثي.
- **حوض شمال الخليج العربي:** يغطي المنطقة الموجودة عند رأس الخليج العربي ويحتوي على صخور تابعة للعصر الكريتاوي.
- **حوض الدبدبة:** شمال حوض الخليج العربي ويحوي صخور رسوبية تابعة للكريتاوي ويتخلله رواسب حديثه (حصى وزلط) تابعه لأودية الباطن والرمة.
- **حوض السرحان - طريف:** ويوجد شمال غرب المملكة وهو مملوء بصخور متتابعة من رواسب الكريتاوي العلوي والايوسين ومغطى بجزء كبير من الصخور البركانية



مقطع عرضي جيولوجي عبر وسط وشرق المملكة العربية السعودية يوضح الطبقات والبنية للقوس المركزي الداخلي المتجانس والحوض العربي الشرقي. تظهر قمة المتكونات غير المؤكدة بخطوط منقطة. (تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye واخرون 2023).



مقطع عرضي جيولوجي عبر جنوب وشرق المملكة العربية السعودية يوضح الطبقات والبنية الداخلية المتجانسة لمتكون الوجيد وحوض الربع الخالي. تتم الإشارة إلى قمة التكوينات غير المؤكدة بخطوط منقطة. (تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye واخرون 2023).

مقطع عرضي جيولوجي عبر شمال وشرق المملكة العربية السعودية يُظهر طبقات وبنية حوض تبوك ومنخفض وادي السرحان وحوض الوديان. تتم الإشارة إلى قمة التكوينات غير المؤكدة بخطوط منقطة.

(تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye وآخرون 2023).

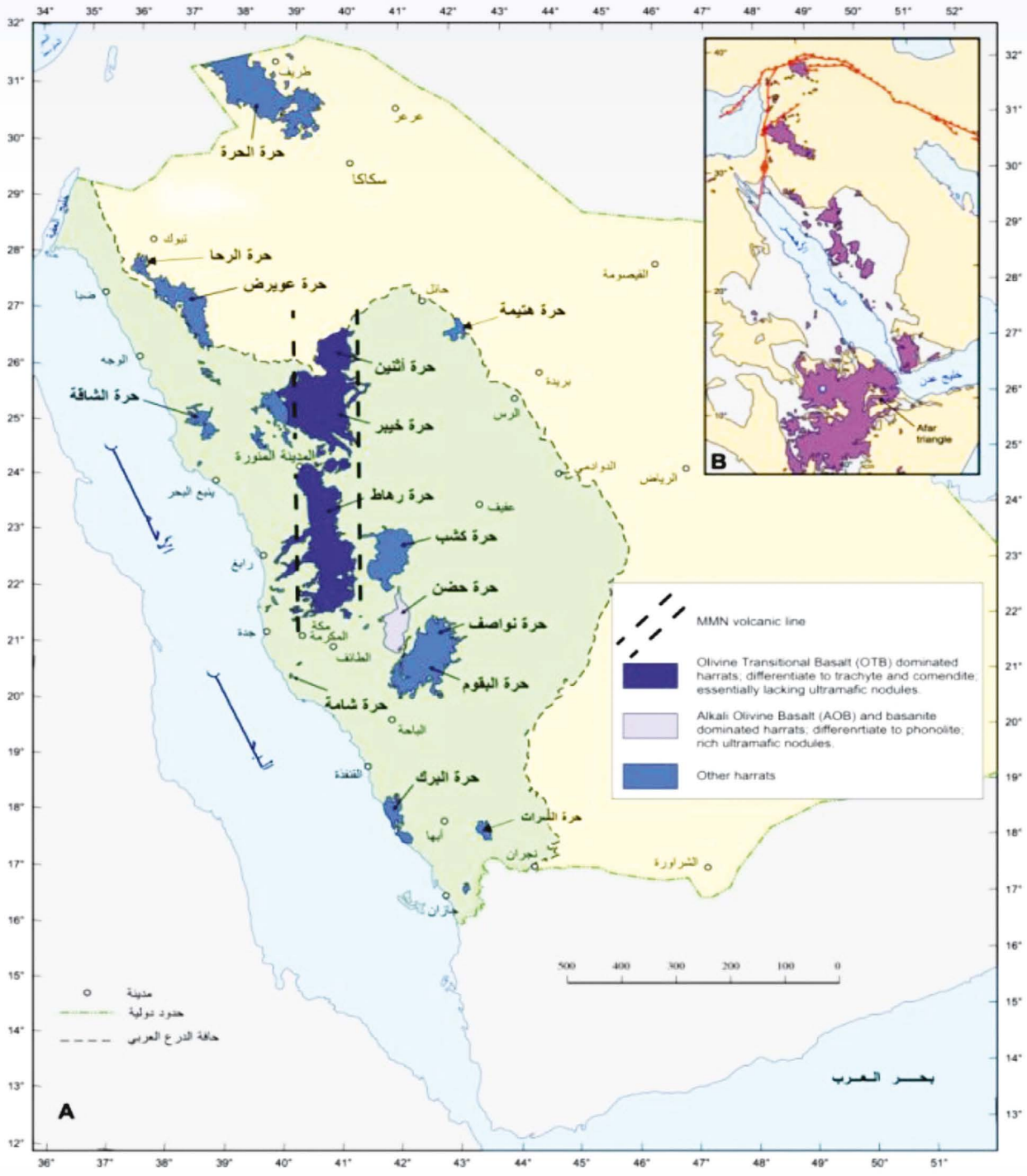
الحـــرات البركانيـــة

تغطي الحرات جزءاً كبيراً من الصفيحة العربية حوالي (180،000كم2) وتتكون من حقول بازلتية تابعة للعصر الثلاثي والرباعي وتمتد على هيئة حزام واسع متقطع ذو اتجاه شمالي من اليمن جنوباً حتى سوريا شمالاً، ويعود هذا النمط من الانتشار إلى حركات التكسر (التشقق و الصدوع) المصاحبة لتكون البحر الأحمر، والتي بدأت في نهاية عصر الأوليجوسين أو بداية عصر الميوسين (حوالي 25 مليون سنة) فترة انفصال الدرع العربي عن الدرع النوبي الذي أدت إلى انخفاض على طول محور البحر الأحمر وحوافه حيث أصبحت الشقوق ممرا للصهارة البازلتية وتكونت قواطع الجابرو والدولوريت المتجه بمحاذاة محور البحر الأحمر في الحافة الغربية من الدرع العربي على هيئة شقوق مملؤة بالصهارة القاعدية والتي قد تبلورت في الأعماق وظهرت في الوقت الراهن نتيجة للتعرية الجوية التالية لتكوينها .

وقد وصلت معظم الصهارة إلى سطح الأرض وكونت انسيابات سطحية أدت إلى تكوين الحرات (الهضاب البازلتية) والتي تغطي حوالي 10،000كم^2 من الدرع العربي وساحل البحر الأحمر والجروف وحدثت الثورات البركانية منذ عصر الميوسين (25 مليون سنة) إلى الوقت الحاضر حيث تم تسجيل عدة ثورات بركانية في التاريخ الجيولوجي للمنطقة . وتتميز حرات المملكة الواقعة بين الكيلو 50 والكيلو 500 شرق ساحل البحر الأحمر (ماعدا حرة البرك على ساحل البحر الأحمر) بجنوب غرب المملكة بشكل عام بخصائص بركانية وصخرية وتركيبية. ويعكس ظهور الانسيابات القاعدية والحمضية والمخاريط والقباب وجود نشاط بركاني في الماضي الجيولوجي القريب والتي تم تأكيدها من خلال تحديد العمر الجيولوجي بواسطة الإشعاع والسجلات الجيولوجية والتي أظهرت بان آخر ثوران بركاني كان بحرة رهط عام 1256م.

أن الحرات يوجد بها عدد كبير من البراكين الصغيرة، والفوهات البركانية بأشكالها المختلفة، وتحتوي على عدد من الصخور البركانية التي تنتج من ثوران البراكين، ودفعها لمواد صهيرية (لابات وفتات)، والصخور البركانية السائدة في المملكة هي البازلت، وتكون على هيئة لابات، وبأحجام أقل فتات بركاني بازلتي، وتوجد بعض الصخور تسمى تراكيت، أو ريولايت فاتحة اللون، ويستخرج من هذه الصخور الفتات البازلتي، ويستخدم في مواد البناء (البلوك البركاني)، والفتات البركاني (البوزولان)، وتستخدم اللابات البازلتية بعد تقطيعها كبلوكات في المباني، ومصدات بحرية على الشواطئ؛ لمتانة هذه الصخور، كما يمكن استخراج بعض المعادن، وتستخدم في صناعة الحلي، والمجوهرات. ومن أبرز الحرات: حرة رهاط تقع في المدينة المنورة، حرة خيبر تقع في خيبر شمال المدينة المنورة، حرة عويرض تقع غرب محافظة العلا، حرة جبل يار تقع بالقرب من الحدود مع اليمن، حرة كشب تقع شمال شرق الطائف، حرة الرحا تقع في تبوك، حرة إثنين تقع بين المدينة المنورة وحائل، حرة لونير تقع في محافظة العيص، و حرة البرك، و حرة البقوم، و حرة نواصف، و حرة حضن، و حرة الحارة (الشام) في المملكة العربية السعودية؛ علماً بأن حرة الحارة تمتد شمالاً عبر الأردن إلى جنوب سوريا.

ومن أهم أنواع الصخور النارية: الجرانيت يستخدم في مواد البناء وفي الاستخدام الزخرفي وفي صناعة التماثيل، **البازلت** يستخدم كعازل للمفاعلات النووية وفي تكوين الخرسانة للبناء وتسقيف الأبنية، **الكوارتز** يستخدم في مواد بناء الطرق والسكك الحديدية، **البيومس** يستخدم في إزالة الجلد الميت وفي مواد التنظيف، **الأويسيديان والبيريدوتاتيت** يستخدمان في صناعة الحلي والمجوهرات.



مواقع الحرات البركانية في الدرع العربي وعلى ساحل البحر الأحمر

النشـــاط البركانـــــي

لا يوجد في المملكة أي نشاط بركاني في الوقت الحاضر وليس هناك أي دلائل تشير إلى قرب حدوث أي ثوران بركاني - والله أعلم في المستقبل القريب رغم حدوث بعض الهزات الأرضية الخفيفة في الجزء الشمالي الغربي والجنوب الغربي من المملكة. أما النشاط البركاني السابق فآثاره واضحة وكثيرة وينحصر في صورتين:

- **النشاط البركاني** القديم الذي جرت أحداثه منذ بداية تكوين الأرض خلال عصر ما قبل الكمبري وما بعده الذي نتج عنه تكوين الصخور البركانية والمتحولة من أصل بركاني التي تنتشر على الدرع العربي.
- **النشاط البركاني** الذي جرت أحداثه خلال العصر الثلاثي والرباعي والذي يتمثل في الحقول مرتبطة إلى حد كبير بتكوين منخفض البحر الأحمر وانفتاحه منذ بداية عصر الإيوسين.

ومن الجدير بالذكر أن معظم هذه الحقول عبارة عن فيوض من البازلت الأوليفيني القلوي والانديزايت تتخللها بعض الفوهات البركانية ومخاريط الرماد والتوفه البركانية ويتراوح عمرها بين الايوسين والهولوسين وقد استمر هذه النشاط البركاني حتى الماضي القريب.

وتاريخيا حصل ثوران بركاني في حرة رهط بالمدينة المنورة عام 654هـ الموافق 1256م ويعتبر هذا من أهم الأحداث البركانية في شبة الجزيرة العربية. بدأ خروج الصهارة قرب المدينة ولم يعرف أحد موقع فوهة البركان على وجه الدقة وقد شوهدت سحب كثيفة من الدخان واستمرت عدة أيام وكانت تشاهد في كل من مكة وينبع وتيماء وقد قيل أن توهج خروج الصهير شوهد من أماكن بعيدة تصل إلى سوريا وإلى مسافة 900 كيلومتر إلى الشمال. ولم يستطع أحد الاقتراب من مكان البركان بسبب شدة توهج البركان. وقد تدفقت الصهارة في اتجاه الشمال وتوقفت في جبل العويرى في وادي الشاشات الذي يقع بالقرب من جبل أحد الذي يبعد عن المدينة 4 كيلومترات كما تدفق الصهير مسافة 19 كيلومتر طولاً و 6 كيلومترات عرض و 2.5 كيلومتر سمك وحدث لها توابع لمدة 3 أشهر.

الزلازل في شبه الجزيرة العربية

لقد كان الاعتقاد سائداً بأن شبه الجزيرة العربية خالية من أي نشاط زلزالي أو بركاني على مر العصور، ولكن الواقع هو العكس، حيث دلت الدراسات التاريخية والحديثة على أن المنطقة سبق وان تعرضت لبعض الهزات الأرضية والبراكين إن هذا الاعتقاد السائد كان مصدره أولا عدم وجود أجهزة رصد زلزالية في المنطقة علاوة على أن مراكز الهزات في مواقع ذات كثافة سكانية قليلة – والله الحمد – وفي مناطق متباعدة، وهذا بدوره أدى إلى عدم الإحساس بأثرها. على الرغم من قلة النشاط الزلزالي في معظم مناطق المملكة وخاصة الدرع العربي والمسطح العربي إلا أن قربها من المناطق النشطة زلزاليا في إيران وتركيا من ناحية الشمال الشرقي والبحر الأحمر والدرع العربي من جهة الغرب والجنوب الغربي وصدع البحر الميت التحولي شمالا يتطلب دراسة مواقع الزلازل بدقة عالية للاستفادة منها في تحديد مناطق الخطر الزلزالي المحتمل. عموما يتركز النشاط الزلزالي في شبه الجزيرة العربية على امتداد حدود الصفيحة العربية في ثلاث مناطق هي: منطقة خليج العقبة ؛ منطقة جنوب غرب المملكة وجنوب البحر الأحمر واليمن ومنطقة مكة أما وسط شبه الجزيرة العربية وشرقها والدرع العربي فتعتبر اقل المناطق نشاطا.

قمنا في عام 1998م بإصدار أول قاعدة بيانات زلزالية لشبه الجزيرة العربية والدول المجاورة (SAED) واشتملت تلك القاعدة على الأحداث الزلزالية التاريخية والحديثة للفترة من 112 – 2023م بمختلف المقادير الزلزالية والواقعة بين خطى طول 30 – 60 درجة شرقاً وخطى عرض 10 – 35 درجة شمالاً. يجري تحديث قواعد البيانات الزلزالية سنويا بما يستجد من الأحداث الزلزالية.

• النشـــــاط الزلـــزالـــي

بالرجوع إلى السجلات التاريخية لمنطقة خليج العقبة أمكن تدوين أكثر من 31 زلـزالاً في المنطقة تـراوح قدرهـا مـا بـين 4-6.5 خـلال الفتـرة مـا بـين 747-1964م، أي بمعـدل زلـزال قـوي كل 25 سـنة تقريبـاً، 70 % مـن تلـك النشـاطات تركزت في منطقة البحر الميت و 30 % في منطقة خليج العقبة. تعرضت المنطقة في الأعـوام 641،1068،1212،1293،1588م إلـى هـزات عنيفـة نتـج عنهـا أضـرار جسـيمة. فزلـزال 1068 دمـر مدينـة أيلـة تمامـاً والتـي تقـع شـمال خليـج العقبـة مباشـرة ونشـأت ينابيـع ميـاه في تبـوك وهـي المعروفـة بـ الكـور ، وسـبب أضـرار بسـيطة في تيمـا وخيبـر والمدينـة المنـورة . أمـا زلـزال المدينـة المنورة عـام 1256م الذي يعتقـد أنـه مـن أصـل بركانـي، فقـد غطـت حممـه المدينـة المنـورة لمسـاحات شاسـعة أمكن رؤيتها من مكة المكرمة و ينبع وتيماء، ولقد غطت الحمم البركانية منطقة طولها 19كم وعرضها 6 كم وعمق يصل إلى 2.5م واستمرت تلك التتابعات لمدة ثلاثة أشهر . في عام 1927م حصل زلـزال مدمـر في وادي الأردن بلـغ قـدره 6.2 درجـة، وحصلت أضـرار ماديـة وبشـرية ونتـج عنهـا وفـاة 342 شـخص.

وقـد و خـلال الفتـرة 1983 - 2020م رصـد أكثـر مـن 8000 زلـزال بقـدر يتـراوح مـا بـين 3-6 في خليـج العقبـة فقـط ، ومـن أهـم التتابعـات الزلزاليـة تلـك التـي حدثـت في ينايـر 1983م واسـتمرت لمـدة أربعـة أشـهر، وبلـغ قـدر أعلاهـا 5.2 درجـة، ودلـت هـذه التتابعـات علـى تركـز النشـاط في الجـزء الشـمالي مـن الخليـج. وفي ديسـمبر 1985م سُـجلت عاصفـة زلزاليـة في وسـط الخليـج بلـغ قـدر أكبرهـا 4.9، أمـا في أبريـل 1990م ومايـو 1991م، فقـد تم تسـجيل أعلـى زلـزال بلـغ 4.3 درجـات إلـى الجنـوب تقريبـاً مـن موقـع العاصفـة الزلزاليـة التـي حدثـت في عـام

1983م. وفي 1995/11/22 م سجل زلزال قوي قدره 7.2 درجة بالقرب من نويبع بدون سوابق وقد أمكن تسجيل ما ينوف على 5000 هزة لاحقة منها أكثر من 90 هزة محسوسة تتراوح في قدرها ما بين 3.8 – 5.5 استمرت لمدة 3 أشهر. ولذا يتضح من هذا السجل التاريخي أن النشاط الزلزالي في خليج العقبة يغلب عليه الطابع التتابعي للهزات التي تستمر من شهرين إلى أربعة أشهر تقريبا، وان المنخفض الحركي (ايلات-ارجون- داكار) يمر عبر دورة زلزالية يكون من ضمنها عدد من التوابع الزلزالية التي قد يعقبها حدوث زلزال قوي يجب الاستعداد له.

دلت الدراسات الزلزالية والحركية الحديثة لمنطقة مكة المكرمة أن معظم الزلازل التاريخية والحديثة في المنطقة يعود سببها إلى الصدوع العرضية وهي صدوع تأخذ الاتجاه الشمال الشرقي ومن أمثلة هذه الصدوع العرضية النشطة «صدع الدام» الممتد بين مكة والطائف، الذي تحدث عليه زلازل ضعيفة يتراوح قدرها بين 1 إلى 3.4 درجة. سجل 12 زلازل على خلال الفترة من 112-1964م. هذه الزلازل كانت كلها محسوسة في منطقة مكة المكرمة أو الطائف فيما عدا الزلزال الذي حدث في عام 1121م فعلى ما يبدو أنه كان قوياً حيث تسبب في ضعضعة الركن اليماني وتهدم بعضه.

من أكبر العواصف الزلزالية التي حدثت في منطقة مكة تلك التي حصلت على الصدع الرئيسي في البحر الأحمر خلال الفترة من 10 مارس إلى 17 مايو 1967م وأمكن تسجيل 68 هزة تتراوح قدرها من 3 إلى 6.7 حيث اشتملت العاصفة على خمس زلازل تجاوز مقدارها 6 وحدات على مقياس ريختر ووصل قدر الزلزال الرئيسي 6.7 والذي يعتبر أقوى زلزال حصل بالمنطقة تاريخياً

وحديثاً. ولم يكن لأي من هذه الزلازل أي تأثير على المدن الواقعة في منطقة الدراسة بما فيها مكة وجدة والطائف والتي تراوح بعدها عن مركز العاصفة مابين 100–270كم. وفي 13 مارس 1993م عايشنا حقيقة مماثلة حينما وقعت عاصفة زلزالية أخرى شملت عشرات التوابع الزلزالية على صدع البحر الأحمر الرئيسي على بعد 133كم من منطقة مكة المكرمة وجنوب غرب جده ب 70 كم وبلغ مقدار الزلزال الرئيسي فيها 6.4. وتجدر الإشارة إلى أن هاتين العاصفتين لم يتم الإحساس بهما بالرغم من كبر قدرهما وهذا يعود إلى طبيعة الصخور البركانية من العصر الثالث والموجودة على ساحل البحر الأحمر حيث تعمل على تشتيت موجات القص وتعتيمها وكذلك أدى وقوعها داخل البحر الى قيام البحر بامتصاص وتعتيم هذه الموجات ومن ثم إلغاء تأثيرها وعدم الإحساس بها.

الأحداث الزلزالية التي وقعت في منطقة مكة المكرمة خلال الفترة من 112-1964م

الموقع	السنة الميلادية			السنة الهجرية		
	سنة	شهر	يوم	سنة	شهر	يوم
مكة / صاعقة في البيت الحرام	801	1	20	185	1	1
اليمن / تأثرت لها الحجاز (غارت عين مشاش في مكة)	859	4	8	245	1	1
وقعت زلازل في كثير من المناطق من بينها مكة	859	12	1	245	9	1
الحجاز / تأثرت لها مكة والمدينة /تأثر لها الركن اليماني وتهدم بعضه وتهدم شئ من مسجد الرسول	1121	3	23	515	1	1
مكة	1191	1	29	587	1	1
ريح سوداء / تأثر لها البيت الحرام والركن اليماني	1195	12	6	592	1	1
الطائف	1269	8	31	668	1	1
مكة	1408	12	30	811	8	10
مكة والحجاز	1481	3	18	886	1	17
مكة	1630	7	1	1039	11	19
مكة	1710	3	2	1122	1	1
مكة	1710	8	27	1122	7	2

وفي يوم الأحد 1414/4/17هـ الموافق 1993/10/3م وقعت هزة أرضية بمنطقة الشرائع بمكة المكرمة بلغ مقدارها 4.1 درجة. وكان الإحساس بها على نطاق واسع في كل من شرائع المجاهدين وشرائع النخل والجموم ولحيان وجبل المعيصم وجبل النور. وتم تسجيل 45 من التوابع الزلزالية الصغيرة

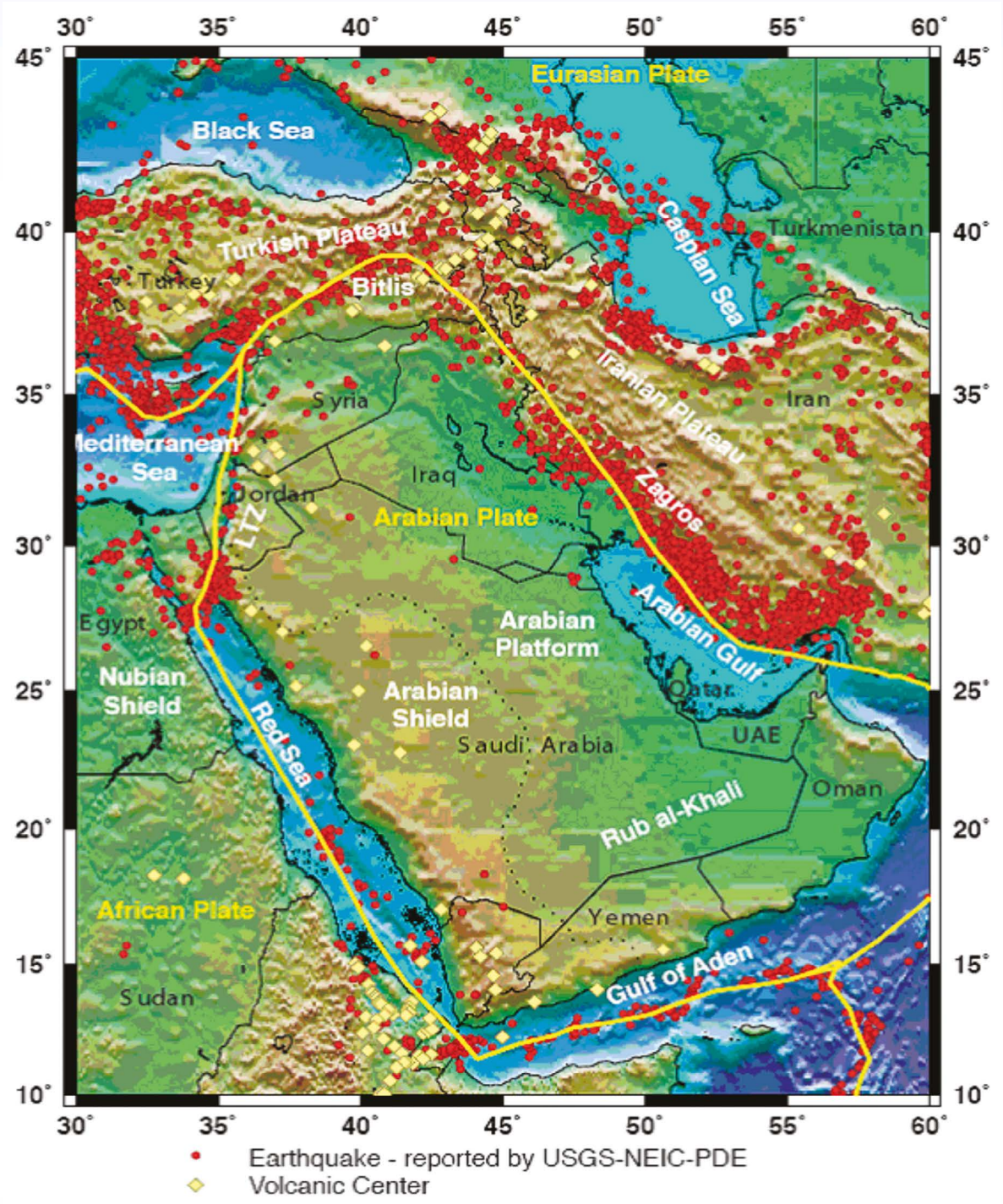
للزلـزال الرئيسـي بلـغ أعلـى قـدر لهـا 3.4 درجـة خـلال الثلاثـة أشـهر اللاحقـة للهـزة الرئيسـية. وفي السـاعة الثامنـة مـن مسـاء السـبت الموافـق 1415/1/9هـ تم تسـجيل هـزة أرضيـة أخـرى في منطقـة مدركـة الواقعـة شـمال مكـة المكرمـة بحوالـي 40كـم وأمكـن تحديـد موقعهـا بدقـة وبلـغ مقدارهـا 4.1 وتـم الإحسـاس بالهـزة لمـدة لحظـات مـع سـماع صـوت قـوي مـدوي، وشـمل الشـعور بهـذه الهـزة كل مـن مدركـة ومسـحة ورهـاط ومفـرق البـرزة وكانـت قريـة رهـاط أشـد المناطـق إحساسـاً بالهـزة. الحمـد للّه لـم تحـدث أي أضـرار بشـرية، إلا أنـه لوحـظ تسـاقط بعـض الأحجـار مـن مقطـع جبلـي علـى بعـد كيلومتـر شـمال قريـة مدركـة .

إن دراسـة مسـتوى النشـاط والخطـر الزلزالـي في المنطقـة الجنوبيـة الغربيـة مـن المملكـة وجنـوب البحـر الأحمـر لا يقـل أهميـة ونشـاطا عـن منطقـة خليـج العقبـة وتقـع في نفـس النطـاق الزلزالـي. وبالرجـوع إلـى السـجلات التاريخيـة القديمـة فـإن المنطقـة سـبق وأن تعرضـت إلـى زلازل عنيفـة في الأعـوام 859م، 1121م، 1191م، 1269م، 1481م، 1630م، 1710م ومـن أعنفهـا وسـببت خسـائر بشـرية ومادية كانـت في الأعـوام 1941م، 1955م، وزلازل شـمال اليمـن في الأعـوام 1982، 1991، 1993م والتـي نتـج عنهـا خسـائر بشـرية ومادية جسـيمة وخاصـة زلـزال ذمـار عـام 1982م، ومـن الملاحـظ أن معظـم الخسـائر نتجـت عـن سـقوط المنـازل الحجريـة مـن أعالـي رؤوس الجبـال وكذلـك تبعهـا انزلاقـات صخريـة وانهيـارات. في عـام 1993م تم رصـد زلـزال مقـداره 4.5 إلـى الشـرق مـن جيـزان وتم الإحسـاس بـه علـى نطـاق واسـع نظـرا لأن منطقـة جـازان تقـع علـى رواسـب مـن القبـب الملحيـة السـميكة والتـي بدورهـا تسـاعد علـى انتشـار الموجـات الزلزاليـة بسـرعة عاليـة ممـا يـؤدى إلـى الإحسـاس بالهـزات بسـهولة كمـا حـدث أيضـا في عـام 1995م حيـث تم رصـد زلـزال بمقـدار 4.7 بالقـرب مـن سـد جيـزان. وخـلال الفتـرة مـن 2011-2015م تم رصـد أكثـر مـن 54 زلـزالا تـراوح قرهـا بـين 4-5 درجـات بالقـرب مـن سـد بيـش.

وإذا أخذنا في الاعتبار نتائج الدراسات الزلزالية التاريخية والحديثة فإن أكبر زلزال متوقع في المنطقة لا يتعدى مقداره 7 في البحر أو 6 على اليابسة. أما تكرارية الزلازل القوية فتدل على أن المنطقة قد تتعرض إلى زلزال قدره 7 درجات كل 60 سنة والله أعلم.

لا يختلف مستوى النشاط الزلزالي في المنطقة الشرقية عنه في المنطقة الوسطى نظراً لعدم وجود صدوع حركية نشطه ومعروفة في المنطقتين كما في خليج العقبة مثلا. إن معظم الهزات التي تم تسجيلها مؤخراً في المنطقتين الوسطى والشرقية ناجمة عن انهيارات صخرية تحت سطحية نتيجة تفاعل المياه مع الصخور الجيرية مما أدى إلى حدوث انهيارات أرضية وارتفاع منسوب الماء أو قد تكون الهزات ناجمة عن اختلال في طبقات القشرة الأرضية في المناطق البترولية بسبب سحب البترول بكميات كبيرة خلال فترة زمنية قصيرة بدون تقنين وتعويض وهذه الظاهرة شائعة في مناطق كثيرة من العالم.

إن الإحساس بالزلازل في مدن المنطقة الشرقية قد يرجع إلى أن المسار الموجي للحركة الأرضية للزلازل التي تقع في منطقة الخليج العربي تتميز بأنها ذات فترة دوريه طويلة. والدراسات الحديثة التي أُجريت على المنطقة الشرقية دلت على أن سُمك القشرة يصل إلى 48 كم ويصل عُمق صخور القاعدة 8.5 كم. بالرغم من أن مستوى النشاط الزلزالي منخفض في المنطقة الشرقية إلا أن قربها من المناطق النشطة زلزاليا في جبال زاجروس بإيران يستوجب أخذها بالاعتبار هندسيا. إن هذا يتطلب دراسة الخواص الديناميكية للتربة ومعرفة معدلات تعتيم الحركة الأرضية وتأثير الموقع والمعاملات الزلزالية والهندسية الأخرى للمنطقة.



النشاط الزلزالي والحرات البركانية في شبه الجزيرة العربية. تقع معظـم الزلازل على حدود الصفيحة العربية

الوضع المائي في المملكة

تعد المملكة العربية السعودية أكبر دولة في العالم لا توجد بها مياه سطحية جارية، ولديها أحد أعلى معدلات استهلاك المياه في العالم. إن توفير مصادر جديدة لمياه الشرب للعدد المتزايد من سكان المملكة وتوسيع الصناعة كان منذ فترة طويلة مسألة ذات أهمية وطنية للدولة الصحراوية.ومع استهلاك يومي للمياه يبلغ 263 لترًا للفرد (في عام 2019م)، تجاوز إجمالي استهلاك المياه 8 ملايين متر مكعب يوميًا، ومن المتوقع أن يصل إلى 12.3 مليون متر مكعب يوميًا بحلول عام 2040م.

اعتمدت المملكة على المياه المحلاة منذ خمسينات القرن الماضي، وأصبحت منذ ذلك الحين المنتج الرائد للمياه المحلاة في العالم، حيث يتم إنتاج 7.6 مليون متر مكعب يوميًا، وهو ما يمثل 22 % من الإنتاج العالمي. اعتبارًا من عام 2019م، يأتي 60 % من المياه في البلاد من تحلية المياه، حيث تستحوذ المياه الجوفية غير المتجددة (أقل من 40 %) على معظم الحصة المتبقية، وتزود المياه السطحية والمياه العادمة المستصلحة وإمدادات المياه السطحية الباقي. ويقدر إجمالي الطلب على المياه في المملكة بـ 25.29 بليون متر مكعب سنويًا، ولكن من المتوقع أن ينمو بشكل طفيف إلى 25.79 بليون متر مكعب بحلول عام 2025م.

تأتي المملكة ضمن الدول الخمس الأولى التي تواجه ندرة في مصادر المياه، لذلك أطلقت وزارة البيئة والمياه والزراعة «الاستراتيجية الوطنية للمياه 2030م»، وتُعد الاستراتيجية نظام عمل شامل، يضمن استدامة قطاع المياه

في المملكة ، وينمي المصادر المائية ويحافظ عليها، ويقدم خدمات ذات جودة عالية، ويُسهم في التنمية الاقتصادية والاجتماعية. وتهدف الاستراتيجية إلى المحافظة على الموارد المائية الحالية وحسن استخدامها، ورفع جودة خدمات المياه والصرف الصحي، وتحقيق الأمن المائي، من خلال الوصول إلى كميات كافية من المياه، في الحالات العادية، وحالات الطوارئ، وتمثّل هذه الاستراتيجية خطة متكاملة للمياه تضع الأسس لمنظومة تقوم بتطوير البنية التحتية، وتتصدى لجميع التحديات الرئيسة في قطاع المياه والصرف الصحي في المملكة، وذلك بوضع أطر مؤسساتية هيكلية شاملة، وتوفير آليات تمكينية، ورسم خطط تنفيذية فعالة.

وفي عام 2019م، أطلقت وزارة البيئة والمياه والزراعة «**برنامج قطرة**» للحفاظ على المياه واقتراح الطرق التي يمكن من خلالها ترشيد الاستهلاك سواء الزراعي أو الصناعي أو السكني، حتى تصل المملكة بحلول عام 2030م إلى الاكتفاء الذاتي للمياه. ويتمثل هدف قطرة في خفض متوسط استهلاك الفرد اليومي من المياه في الدولة بنسبة 43 % أو 150 لترًا بحلول عام 2030م. فالبرنامج يهدف إلى تغيير السلوك الفردي من خلال زيادة الوعي بمشاكل المياه. بالإضافة إلى ذلك، يقوم البرنامج بترشيد مصادر المياه لحماية الموارد الطبيعية وجميع جوانب الحياة التي تعتمد على المياه وتشارك المبادرة مع القطاعين العام والخاص من خلال برامج لتقليل الاستهلاك وسد تسربات المياه ببنية تحتية محدثة وتكنولوجيا كشف التسرب.

وعلى الرغم من أن المملكة ضمنت حصول أكثر من 97 % من سكانها على مياه صالحة للشرب بشكل موثوق، إلا أن التحدي المتمثل في زيادة الاستهلاك وانخفاض العرض ظل يمثل أولوية الأهداف التنموية للمملكة. وعلى الرغم

من التحديات الكبيرة التي تواجهها المملكة في مجال المياه، إلا أنها ترقى إلى مستوى الحدث من خلال مجموعة متنوعة من أهداف التنمية التي تم تحديدها بموجب رؤية 2030م. وتهدف إلى تحقيق أهدافها من خلال مزيج دقيق من الخصخصة، والتقدم التكنولوجي، وبناء البنية التحتية، والإصلاحات التنظيمية. إن الابتكارات التي طورها قادة الصناعة والمؤسسات البحثية في المملكة ستساعد المملكة ليس فقط على تحقيق أهدافها الخاصة، بل ستساعد أيضًا بقية العالم في مواجهة تحديات المياه الجديدة في هذا القرن.

وعموما يتمّ تأمين المياه في المملكة من أربعة مصادر : المياه السطحية وتشمل العيون والأودية والسدود، المياه الجوفية وتشمل القريبة من السطح (المتجددة) والعميقة (الغير متجدد)، مياه الصرف المجددة، ومياه البحر المحلاة.

مخطط تمثيلي يوضح مصادر المياة السطحية والمحلاة والمجددة في المملكة ومجال استعمالاتها

المياه السطحية

هي المياه الناتجة عن جريان الأودية والشعاب الناشئة من هطول الأمطار والتي تتجمع في بحيرات خلف السدود التي يتم إنشاؤها، ويمكن أن تتجمع في منخفضات طبيعية أو صناعية على سطح الأرض. وتنقسم أحواض التصريف بصفة رئيسية في المملكة إلى **قسمين**: أحواض تصريف خارجية يتم تصرف مياهها خارج منطقة تساقط الأمطار تجاه البحر و أحواض تصريف داخليه حيث تصرف مياهها في أحواض داخليه في اتجاه الشرق. وعموماً فأن المياه السطحية تفقد أما بفعل البخر الشديد أو التسرب إلى باطن الأرض، ويمثل هذا الجزء نسبه بسيطة من كميات مياه الأمطار التي تتحول في الغالب إلى مياه جارية على شكل فيضانات بعد فتره وجيزة من هطول الأمطار والتي تفقد أما في البحر أو إلى رمال الصحراء.

إن متوسط حجم الجريان السطحي (السيول) في المملكة يبلغ نحو 8 مليارات متر مكعب سنوياً، وأن الحد الأقصى للاستفادة من السيول هو في حدود (5 مليارات متر مكعب سنوياً)، والباقي يهطل على صحراء الربع الخالي وعلى أودية الرف الرسوبي. أنشأت وزارة البيئة والمياه والزراعة العديد من البرك لحصاد مياه الأمطار في المواقع التي لا يمكن إنشاء سدود بها.

عموما تنقسم المياه السطحية في المملكة إلى ثلاثة أقسام:

- **المياه الدائمة:** وهي المِياه التي تتواجد على سطح التربية طيلة أيام العام، وهي مصادر المِياه المتجددة، وتتجدد من خلال الأمطار التي تهطل على الأرض، وتغذي المياه الجوفية، وهذا نحو البحار والبحيرات والمحيطات والعيون والينابيع

❖ **الميـــــاه ســـريعة الزوال:** أما المياه سريعة الزوال أو شبه الدائمة فهي التي تكون موجودة في جزء من السنة فقط، وتشمل الجداول والبحيرات والفتحات المائية.

❖ **الماء التي يجمعها الإنسان:** وهي المياه التي يجهزها الإنسان خلف السدود، والتي تنتج عن مِياه الأمطار، أو من تحلية البحر، ولهذه المِياه عدة فوائد فتستخدم في الشرب، والزراعة والصناعة وتوليد الطاقة الكهربائية.

إن معدل هطول الأمطار منخفض (30 – 300 ملم) وتختلف كمية الأمطار بين المناطق والسنوات، الأمر الذي يؤدي إلى انتشار ظاهرة الجفاف في معظم مناطق المملكة، عدا منطقة جبال الحجاز وعسير.

• العيـــــون

تضم المملكة العديد من العيون المائيَّة والتي تُعد مصدرًا للمياه السطحيّة، إذ تمّ تدفقها بشكل طبيعي دون تدخُّل من باطن الأرض وتنقسم إلى مياه عذبة صالحة للشرب وللاستخدام البشريّ، ومياه كبريتيّة حارّة صالحة للاستعمال العلاجيّ. عموما توجد المياه السطحية بشكل أكبر في المنطقتين الجنوبية والغربية، وبشكل أقل في المناطق الأخرى من المملكة.

ومن أهم العيون تحديدًا: عيون الأحساء حيث بها ما يزيد عن 30 عينًا مائيّة طبيعيَّة وحارة، أشهرها: عين نجم، عين أم سبعة، عيون بني معن، عين علي، عين الحويرات وعين الجوهرية، عين الحارة، عين اللويم وعين الخدود. وهناك عيون أخرى لا تقل أهمية: عيون الخرج، عين الضلع، وعيون الأفلاج وعيون الطائف وعين قرية ذي عين بالباحة وعين زبيدة بين مكة والطائف. وفي جيزان هناك عيون طبيعية وحارة ومنها: العارضة، بني مالك، الخوبة.

• الينابيع

تتمركز عدد من الينابيع في الدرع العربي لاحتوائه على رسوبيات وطبقات من مياه جوفية، ومن أبرزها ستة ينابيع في الجزء الشرقي من المملكة، من وادي قرقير ووادي غمرة، ويوجد ينبوعان في وادي غمرة ونبع واحد في هضبة حسمى. هنالك تسعة ينابيع في المنطقة الشمالية الغربية للمملكة العربية لسعودية، نبعان على خليج العقبة (نبع عين موسى، ووادي الطيب)، وستة داخل حوض الديسة، وواحد في قرية الزيتة. ومن الينابيع التاريخية المهمة نبع ماء زمزم و يقع على بعد 18 مترًا من الحجر الأسود في مكة المكرمة ونبع مياه زبيدة يقع في جبل طاد بين الطائف ومكة وكذلك نبع عين الجوبة ويقع في وادي الدواسر ويتميز بمياه ساخنة.

تتبع أغلب الينابيع الساخنة غرب المملكة من بحيرات بركانية، تتميز بعضها بالسخونة؛ وذلك لتسرب مياه الأمطار إلى باطن الأرض من حول الصهارة مما يؤدي لسخونة الماء وتدفقه لأعلى بسبب الضغط ومنها نبع جازان ويقع في وادي ضمد في مدينة جازان وينابيع وادي الخلاب وتتميز بمياهها الساخنة التي ترتفع 137 مترًا فوق مستوى سطح البحر، ويقع على بعد 70 كم شرق محافظة جازان.

ومن الينابيع المشهورة نبع مياه الدلعة ويقع جنوب غرب منطقة السيح وعمقه 30 مترًا، ويتميز بصفائه، إذ يمكن رؤية الصخور من خلال الماء وكذلك نبع قرية زيعين في منطقة الباحة، ونبع الجوهرية في محافظة الإحساء، ونبع عين نجم.

• الأوديـــــة

تعد الأودية من أكثر أشكال التضاريس انتشارًا على سطح كوكبا الأرض، ويعرف الوادي بأنه منفرج بين جبال أو تلال (منطقة ضيقة وعميقة أحياناً) يكون منفذاً للسيل ومسلكاً أي يجري فيه السيل أو جدول مائي، وقد يكون ضحلاً أو عميقاً أو ضيقاً أو واسعاً، ويحوي عادة عدة مجاري ومجرى رئيسي. ويكون الوادي عادةً ذو سطح أرضي مستوٍ أو مائل وجدران جبلية شاهقة على الجوانب. ويعرف الوادي بان كل حوض تكوّن بفعل الطبيعة على سطح الأرض، وهو منخفض، تجري فيه الأنهار والسيول. كما ويمتد بين السهول والهضاب والجبال. بينما تنحدر معظم الأراضي التي تخترقها، باتجاه مجرى النهر، حيث تتميز بخصوبة تربتها الصالحة للزراعة. كذلك وتتشابه جميعها من حيث الشكل، ويطلق على الجزء السفلي منه تسمية أرضية الوادي.

تمر نشأة الأودية بعدة مراحل وهي (مرحلة الطفولة ومرحلة الشباب ومرحلة النضج). مما سبق يتضح أن توالي عمليات التعرية الشديدة السريعة على طول المنحدرات الشديدة التي تساعدها عمليات الرفع التكتونية في فتح مجال لتكون أنهار عديدة تشق مجاريها على طول اتجاه مضرب الطبقات وتشق الصخور فوق سطح الأرض. ويمكن تقدير قيم التعرية المائية بتحديد قيم القطاعات العرضية على مجاري الأودية في النموذج المرفق. فإن المقطع العرضي يعكس كل من تنوع الصخر، والاضطراب التكتوني، والتغيرات المُناخية، التي تعرضت لها مساحة الوادي الحوضية، والذي أدى إلى عدم انتظام انحداره وتجزئته.

تتميز المملكة بالمناخ والتضاريس الصحراوية المختلفة من الجبال والهضاب والتلال، وبالتالي فهي بيئة خصبة لوجود الأودية، تخترق صخور الدرع العربي

والمسطح العربي العديد من الأودية وتختلف مساحات مناطق تجمع تلك الأودية. توجد مناطق تغذية الأودية عادة في مناطق مرتفعة في جبال السروات وتصب مياه الأودية أما في البحر الأحمر غربا أو في نفوذ ورمال الصحاري وسط المملكة.

لا تملك المملكة أنهار، ولكنها تملك عدد هائل من الأودية التي تشكلت معظمها خلال العصور المطيرة في الأزمنة القديمة وفي أواخر العصر الباليوسيني وأوائل العصر البلايستوسيني منذ حوالي (1.5 – 3.5) مليون سنة تقريباً وتأثرت خصائصها بعمليتي النحت والتآكل النهري بالأحوال الجوية خلال هذه العصور، ونتج وعن هذا في الأجزاء العليا من الأودية رسوبيات على هيئة أشرطة ضيقة لا تتجاوز عرضها 100 متر ولا يزيد سمكها عن 10 أمتار. تشكل الأودية شبكة تصريف طبيعية لمياه الأمطار عند حدوثها بالرغم من جفافها وعدم سريان الماء فيها معظم أيام السنة، وقد تكون جافة لمدة تزيد عن السنة، وتدل هذه الأودية على وجود أنهار حفرت مجاريها في السابق بين الجبال مع عدم وجود أنهار أو جداول جارية حالياً. هذه الأودية تجري عند تساقط مياه الأمطار والسيول، فهي تشكل أهمية كبرى في حياة الإنسان لكونها أماكن لتغذية الطبقات الجوفية بمياه الأمطار والفيضانات حين حدوثها. وتنتشر في أراضي المملكة آلاف من مجاري السيول على شكل: الأودية، والشعبان (جمع شعيب)، والتلاع وغيرها، وتتوزع على جميع مناطقها إلا أنها تكاد تنعدم في الجزء الجنوبي من المنطقة الشرقية وكذلك تنعدم في الربع الخالي، وتختلف خصائص هذه الأودية من منطقة إلى أخرى، إذ تتميز الأودية التي تنحدر من الجبال الغربية (الدرع العربي) باتجاه الغرب بشدة الانحدار وضيق المجاري المائية وتكون عميقة وكثافة الأشجار وضخامتها وجريان مياهها معظم السنة وينتهي معظمها في البحر الأحمر. بينما الأودية التي تنحدر من الجبال الغربية باتجاه الشرق

تتميز بطولها وسعة مجاريها وانحدارها المتوسط والخفيف. أما أودية هضبة نجد (الرصيف العربي) تتميز بسعة مجاريها وقلة الأشجار الكبيرة فيها. فيما تتميز أودية الهضاب الشمالية وشعابها بالمجاري القصيرة وقلة الانحدار وندرة الأشجار وتنتهي هذه الأودية في أحواض وسهول داخلية مكونة الفياض والخباري والرياض (جمع روضة)، (الراشد،1438). مما سبق تعد المرتفعات الغربية أو سلسلة جبال السروات خطاً لتقسيم المياه غرباً وشرقاً. فمن هذه المرتفعات تنحدر أودية عديدة ناحية البحر الأحمر غرباً، ومجموعة أخرى تتجه شرقاً أو شمالاً إلى داخل البلاد. ومن أهم أودية المملكة: وادي الرمة، وادي بيشة، وادي الحمض، وادي السهباء، وادي الحنيفة، وادي الدواسر، وادي تثليث، وادي تربة، وادي رنية، وادي الباطن، وادي حبونا، وادي نجران، وادي جيزان، وادي صبيا، وادي فاطمة، وادي الليث وغيرها. وفيما يلي وصف لبعض الأودية الهامة في المملكة تظهر توقيع أحواض تصريف لبعض الأودية على نماذج الارتفاعات الرقمية.

◆ أودية تهامـــــة

يتجه نحو 90 وادياً من المرتفعات الغربية إلى ساحل البحر الأحمر ومن أهمها 36 وادياً تقع في الجنوب الغربي وتحمل ما مقداره حوالي 95 % من مجموع سيول تلك الأودية، ومن الأودية الهامة في تهامة ومنطقة غرب البحر الأحمر (من الجنوب إلى الشمال) ما يلي: وادي حرض، وادي تعشر، وادي ليه، وادي خلب، وادي خمس، وادي جيزان، وادي ضمد، وادي صبيا، وادي شهران، وادي أبها، وادي بيش، وادي عتود، وادي رملان، وادي حلي، وادي تيه، وادي قنونة، وادي الأحسبة، وادي الليث ووادي رابغ.

◆ أوديـــة المرتفعـــات الغربيـــة

توجد أودية أخرى تتجه إلى البحر الأحمر غرباً وأهمها من الجنوب إلى الشمال ما يلي: وادي فاطمة ورافده في أعلاه (وادي الحورة، وادي الشامية،

وادي اليمانية، وادي خليص)، وادي الحمض وروافده ويبلغ طوله نحو 400 كم، وادي الجزل ويبلغ طوله 280 كم ، وادي عفال، وادي تربة. يمتد من جبال الحجاز حتى حدود صحراء نجد، يبلغ طوله 330 كم.

◆ وداي السرحان

عبارة عن مجموعة أودية في منطقة الجوف تقع في منخفض حوضي على الحدود الأردنية في أقصى الشمال الغربي للمملكة.

◆ الأودية الشرقية

هي تلك الأودية المتجهة شرقاً من المرتفعات الغربية إلى داخل البلاد لتنتهي في الرمال أو الصحراء ومن أهمها ما يلي:

◆ وادي الرمة - الباطن

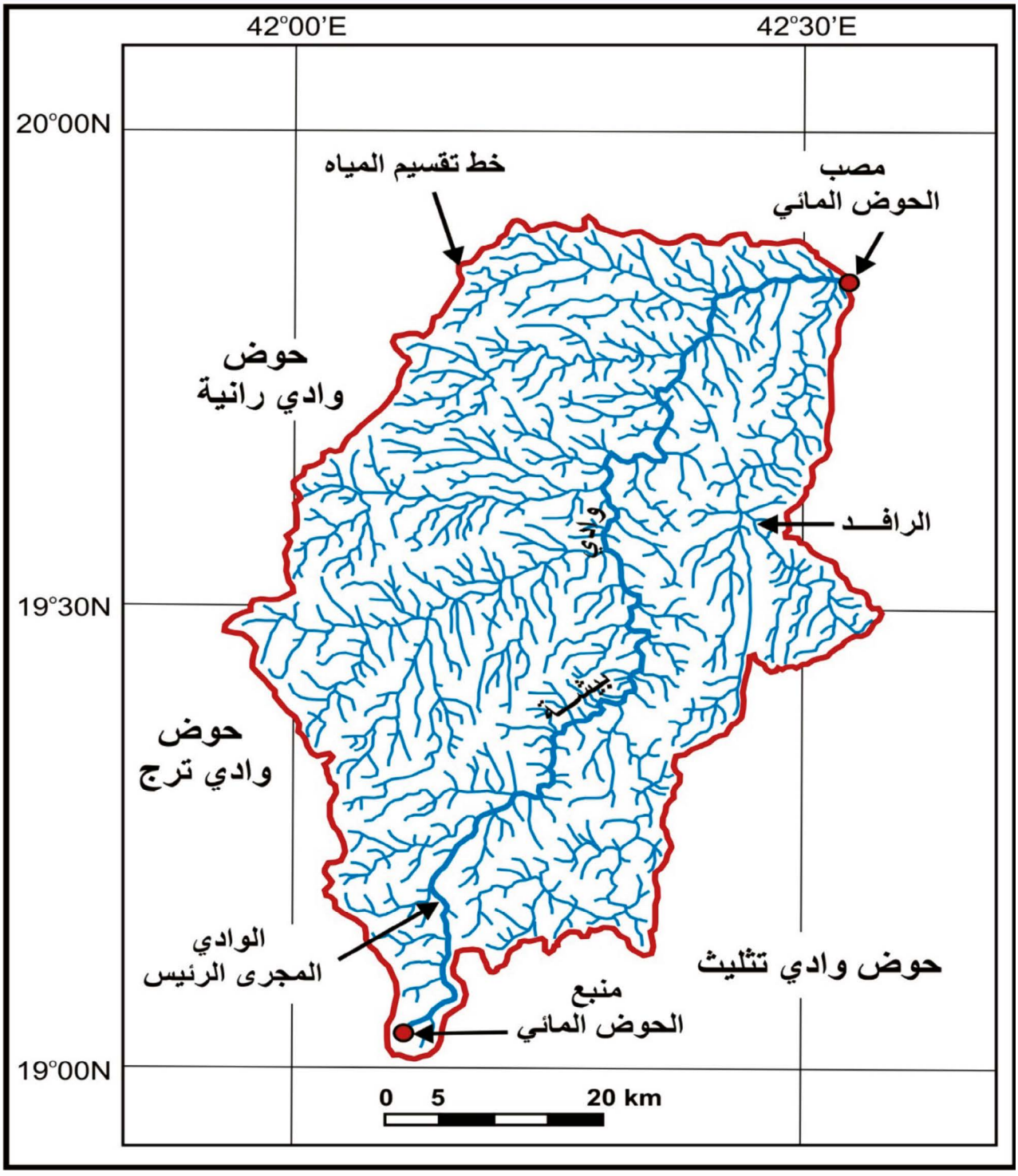
يعد أطول الأودية في شبه الجزيرة العربية ويبلغ طوله 510 كم، ويبدأ من سفوح الشرقية للجبال الواقعة شرق المدينة المنورة ومن الحرات المجاورة ويتجه شرقاً ليخترق منطقة القصيم من غربها إلى شرقها حتى يعترضه نفوذ الثويرات. كان وادي الرمة عبارة عن نهر تجري مياهه في العصور المطيرة وامتداده كان وادي الباطن الذي يأخذ مجراه في الاتجاه الشمالي الشرقي (دلتا الدبدبة) ويتجه وادي الباطن إلى الشمال الشرقي لينتهي في مياه الخليج العربي بالقرب من البصرة عند شط العرب. ويتصل بوادي الرمة عدة أودية ومنها: وادي وايد القهد، وادي الشعبة، وادي المحلاني، وادي الجرير، وادي ثادج، وادي الرقب، وادي الجفن، وادي الساحوق، وادي الأجرى.

◆ وادي حنيفـــة/ الســـهباء

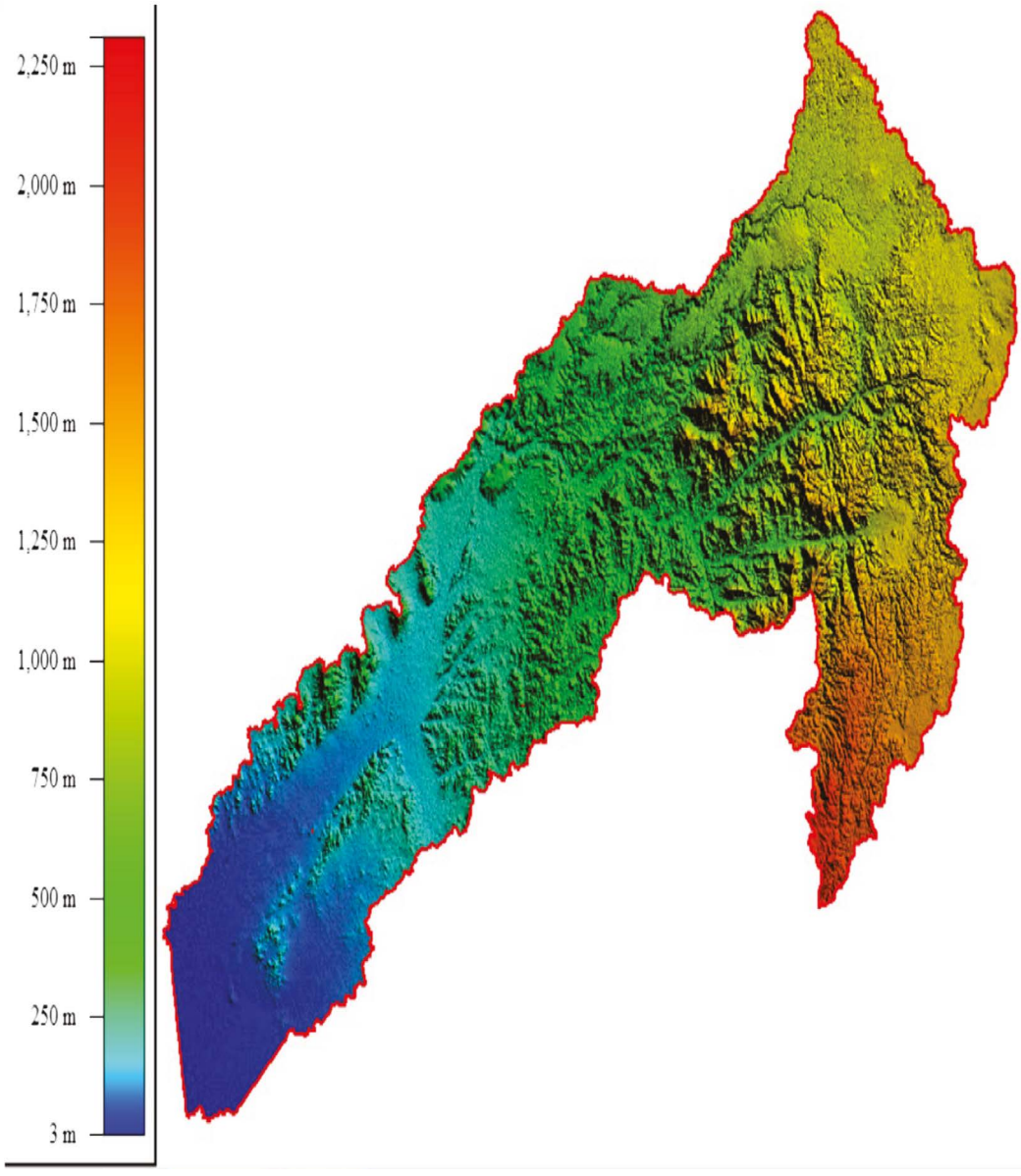
يبدأ حنيفة من جبال طويق شمال غرب مدينة الرياض ويتجه من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي ما بين حافة طويق الوسطى وهضبة العرمة وجب هبت في الشرق، وتتصل عدة أودية وروافد بوادي حنيفة منها: وادي الجبيلة، وادي العمارية، وادي نمار، شعيب لحا، شعيب بعيجة، وادي ليسن، وادي البطحاء. وينتهي كل من وادي حنيفة ووادي السلي ووادي نساح في السيح بالخرج وتقف نفوذ الدهناء معترضة مجاري هذه الأودية إلا أنها تظهر ثانية شرق الدهناء بمسمى وادي السهباء الذي يتجه ناحية الشرق ويبلغ طوله نحو 380 كم وتختفي معالمه ثانية تحت رمال الجافورة.

◆ وادي الدواســـر وروافـــده

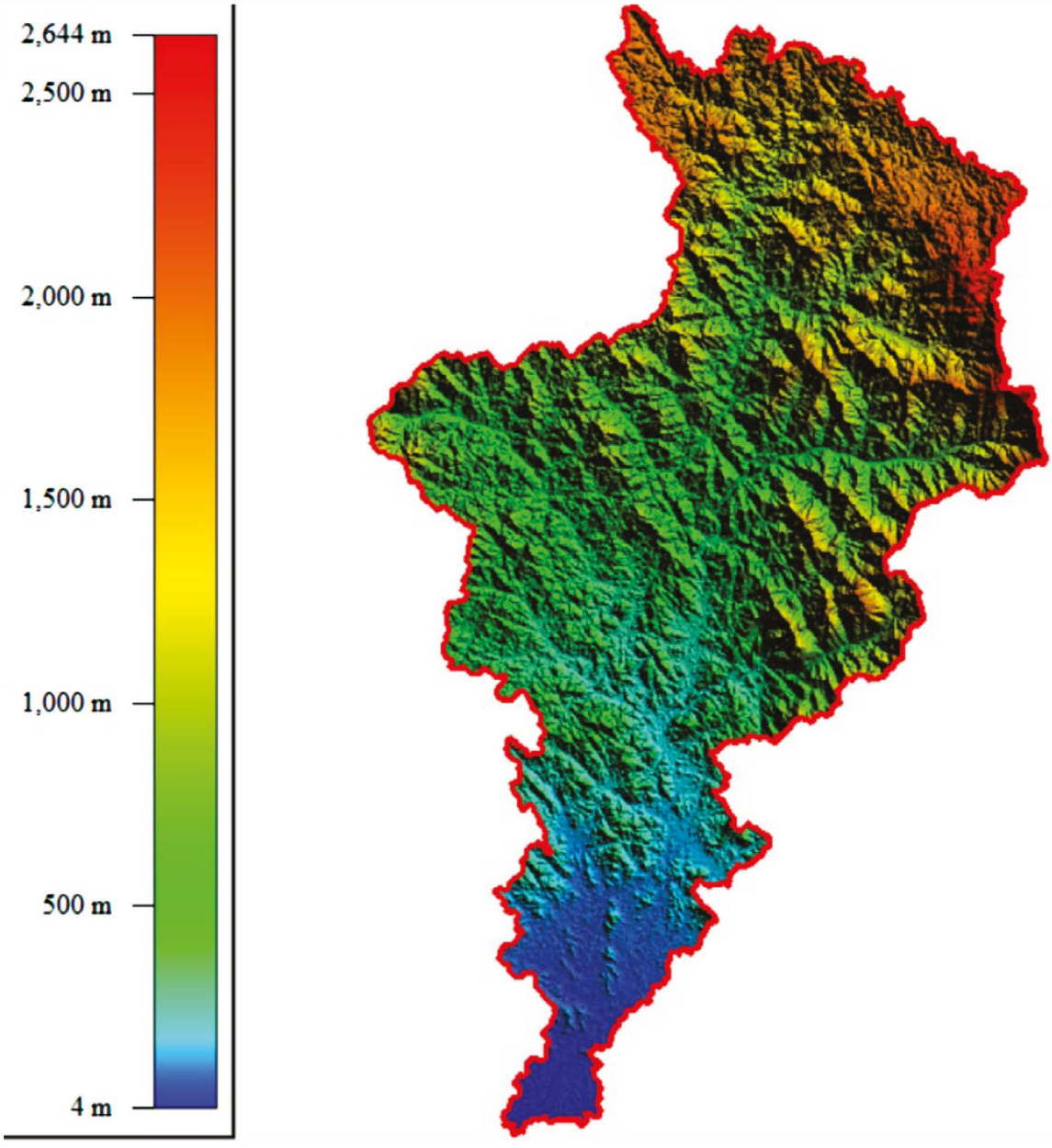
تعتبر من الأودية الهامة في المملكة وينحدر شرقاً مخترقاً جبال طويق من الجهة الجنوبية وينتهي عند رمال الربع الخالي. وهو من الأصل يتكون من مجموعة أودية هامة وكثيرة تعتبر روافده العليا إلا أن الرمال قطعت اتصاله بتلك الروافد، ومن هذه الروافد وادي تثليث ويبلغ طوله 350 كم، وادي بيشة ويبلغ طوله نحو 460 كم، ويقع عليه سد الملك فهد ، وادي الرَّكا، ينشأ من جبال الدخول وحومل في منطقة الرياض، يصل طوله إلى 280 كم، وادي رنية، يبلغ طوله نحو 275 كم.



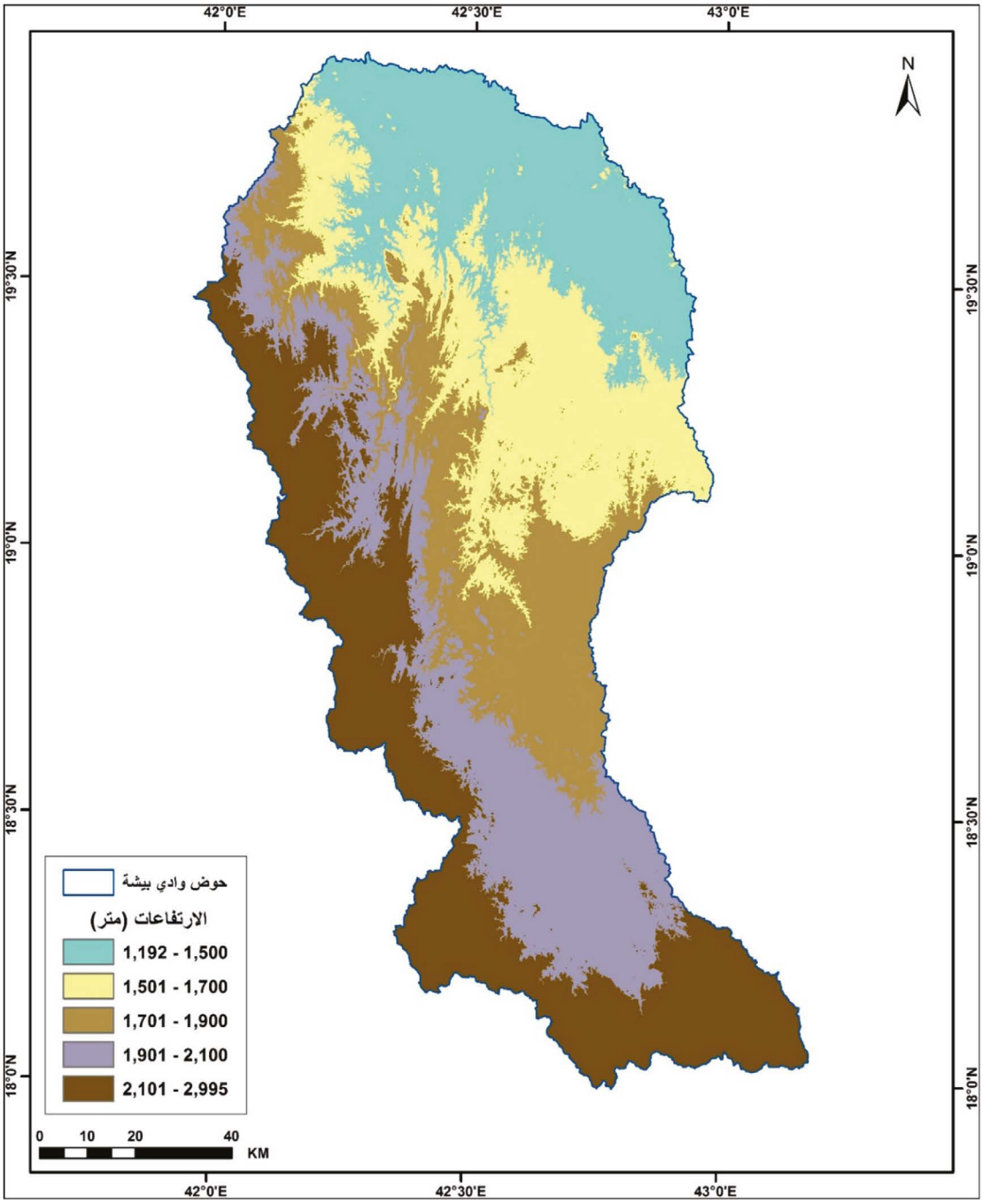
عناصر الحوض المائي موضحة على حوض وادي بيشة (بوروبة، 2023)



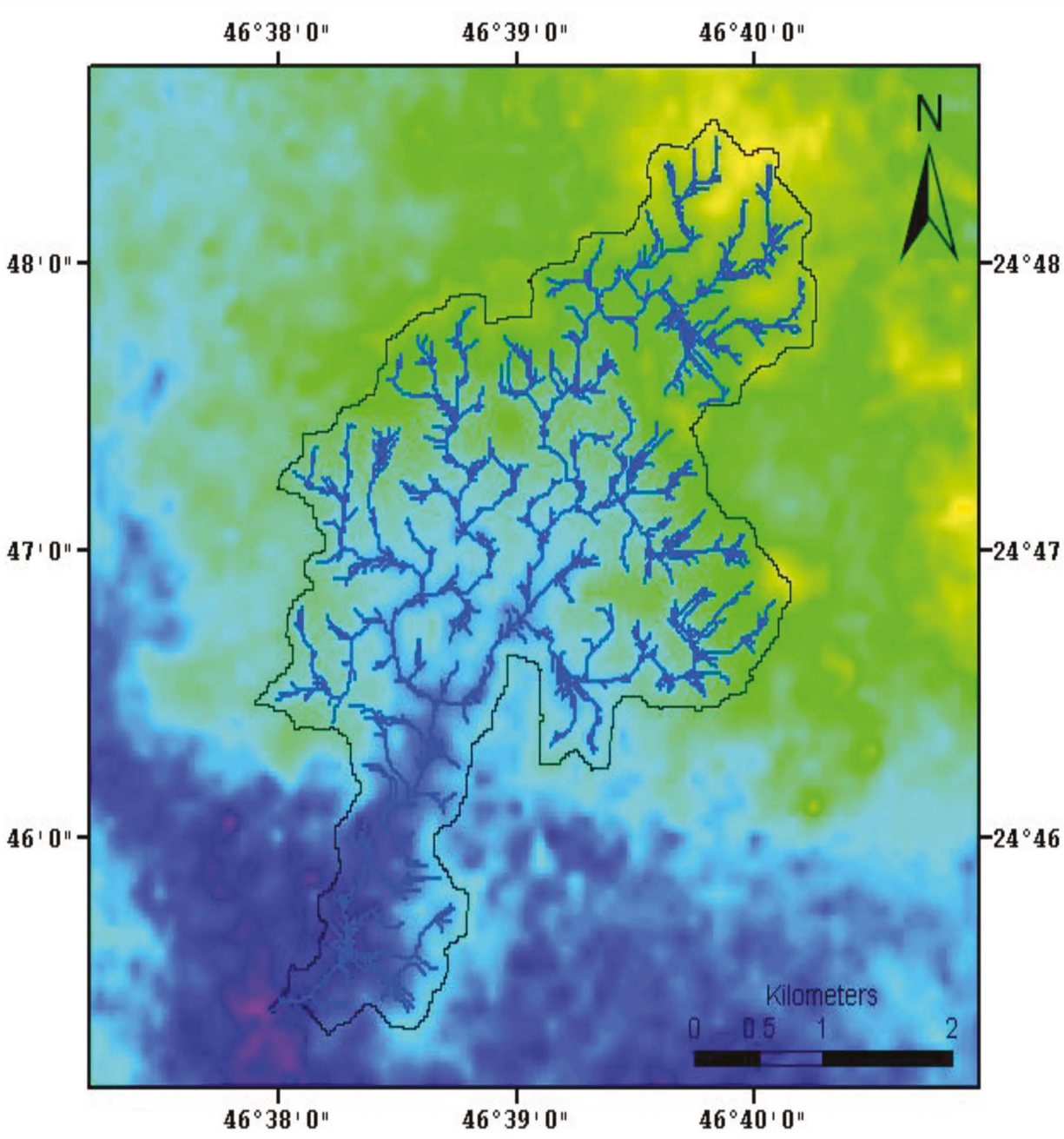
حوض تصريف وادي فاطمة على نماذج ارتفاعات رقمية.



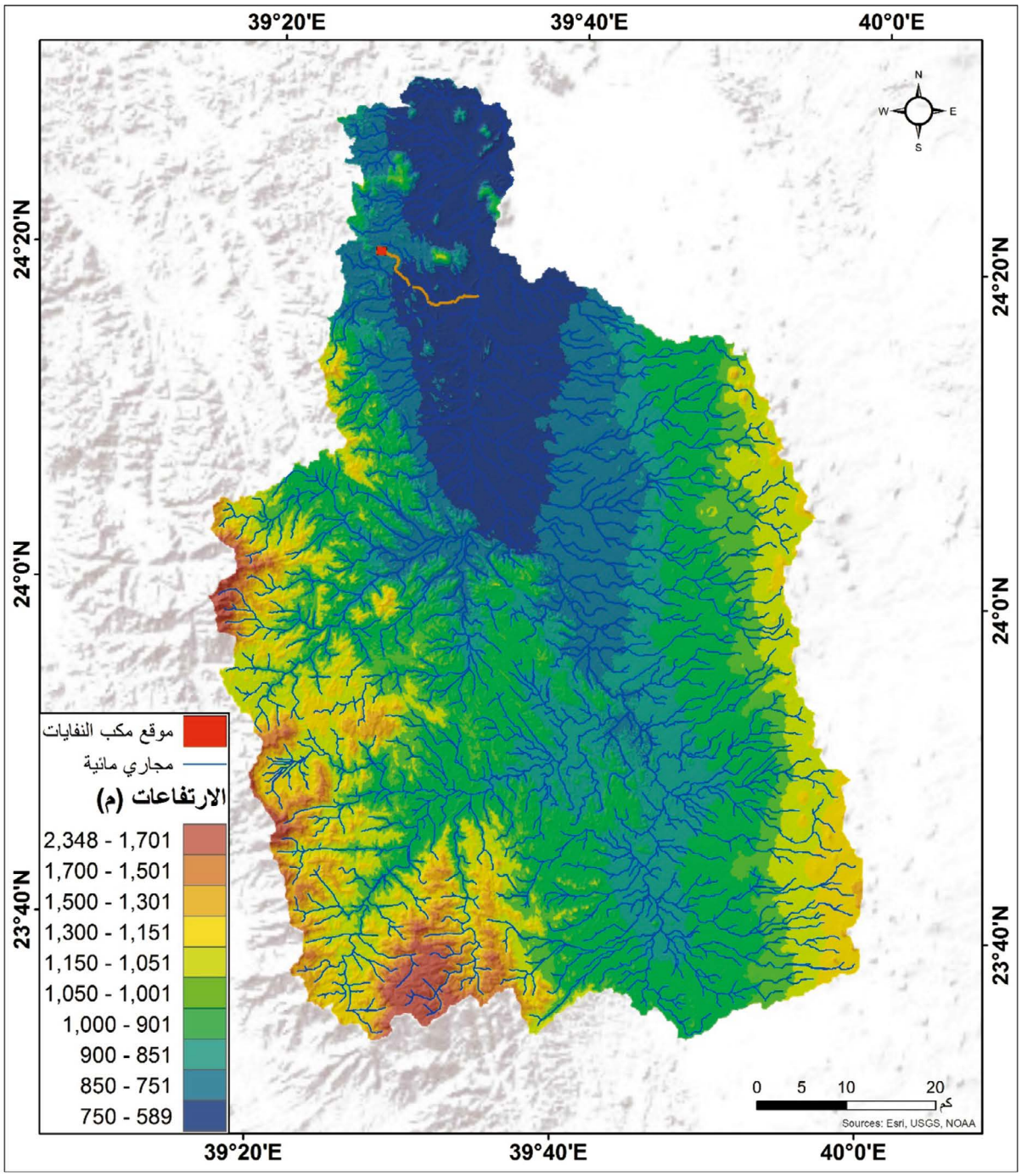
حوض تصريف وادي الليث على نماذج ارتفاعات رقمية.



حوض تصريف وادي بيشة على نماذج ارتفاعات رقمية



حوض تصريف لروافد وادي حنيفة على نماذج ارتفاعات رقمية



حوض تصريف لوادي العقيق بالمدينة المنورة على نماذج ارتفاعات رقمية

السدود

تقام السدود في المملكة لتغذية الطبقات الجوفية، توفير المياه للآبار في المناطق الزراعية حولها، تأمين مياه الشرب لبعض المناطق من خلال محطات التنقية المقامة عليها، تأمين مياه الري للأغراض الزراعية، وحماية المدن والقرى من أخطار السيول وكوارث الفيضانات. أما عدد السدود في المملكة فيبلغ 574 سداً بإجمالي طاقة تخزينية نحو 2.6 مليار متر مكعب موزعة على كافة المناطق ومن أهمها سد الملك فهد في بيشة و سد وادي حلي بمكة المكرمة وسد وادي رابغ بمكة المكرمة وسد وادي بيش بجازان وسد الليث بمكة المكرمة وسد المضيق بنجران وسد جازان وسد قاع حظوظا بالمدينة المنورة.

يعد **سد الملك فهد** في بيشة من أكبر السدود في المملكة من حيث الحجم والطاقة التخزينية للمياه، حيث تبلغ طاقته التخزينية 325 مليون م^3، ويصل ارتفاعه إلى 103م، «**سد وادي حلي**» ثاني أكبر السدود بالمملكة من حيث الحجم والطاقة التخزينية للمياه ، يقع في الناحية الغربية من المملكة، وتحديدًا في محافظة القنفذة التابعة لمنطقة مكة المكرمة، تبلغ سعته التخزينية نحو 254 مليون م3، ويصل ارتفاعه نحو 57م، ويخزن نحو 36.5 مليون م^3 بالمعدل السنوي، «**سد وادي بيش**» ثالث أكبر سدود المملكة، يقع جنوب غربي المملكة، وتحديدًا في الناحية الشمالية الشرقية لمنطقة جازان، ويبلغ طوله نحو 340م، وارتفاعه نحو 106م، فيما تصل سعته التخزينية إلى 193.6 مليون م^3.

السدود السطحية والجوفية (القائمة وتحت التنفيذ) بجميع مناطق المملكة (1 يناير 2024م)

تتلخـص الأهــداف الأساسية من إقامة السدود في المملكة فيما يلي:

- الاستعاضة للمياه الجوفية في منطقة السد وتوفير المياه للآبار في المناطق خلف السدود.
- تأمين مياه الشرب لبعض المناطق من خلال محطات التنقية المقامة على السدود.
- تأمين مياه الري للأغراض الزراعية بالري المباشر للمناطق الزراعية خلف السدود عن طريق مشاريع الري المنظمة لذلك.
- حماية المدن والقرى من اخطار السيول وغوائل الفيضانات والحفاظ على ارواح المواطنين وممتلكاتهم .

ونظراً لاختلاف تضاريس المملكة وحجم الأودية فيها فقد تم تنفيذ عدة انواع من السدود من الناحية الانشائية تبعاً للدراسات الفنية لتتلاءم مع طبيعة وتضاريس الوادي المقام عليه السد وتنحصر أنواع السدود المقامة في المملكة في أربعة انواع: السدود الترابية، السدود الخرسانية، السدود الركامية، السدود الجوفية. وتتم الاستفادة من السدود بتشغيلها طبقاً للبرامج التي يتم إعدادها لكل سد لتحقيق الأهداف التي شيدت من أجلها وتبعاً لما تمليه الحاجة في منطقة كل سد.

يبلغ عدد السدود السطحية والجوفية (القائمة وتحت التنفيذ) بجميع مناطق المملكة 574 سداً لمختلف الأغراض تقدر سعتها التصميمة حوالي (2.611.201.154) م^3. شُيد معظمها فوق الدرع والمسطح العربي.

■ تصنيف السدود:
❖ حسب تصميم الســد:
♦ سدود السطحية وعددها (559) سد. ♦ سدود جوفية وعددها (15) سد.
❖ حســب نـــوع السد :

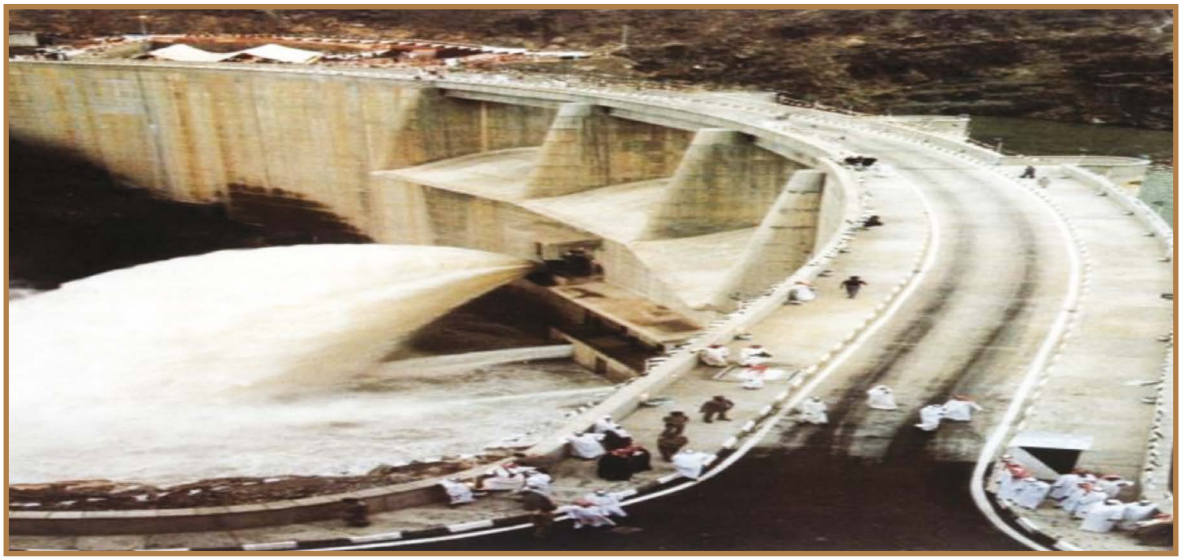
◆ سدود ترابية وعددها (281) سد

- ♦ هي أكثر السدود المنفذة.
- ♦ يتم فيها دك المواد الترابية المناسبة على طبقات.
- ♦ يتم تغطية الواجهة الأمامية بالخرسانة المسلحة، والخرسانة العادية من الخلف.

◆ سدود خرسانية وعددها (217) سد

ويتم تنفيذها من الخرسانة وهى على أنواع:

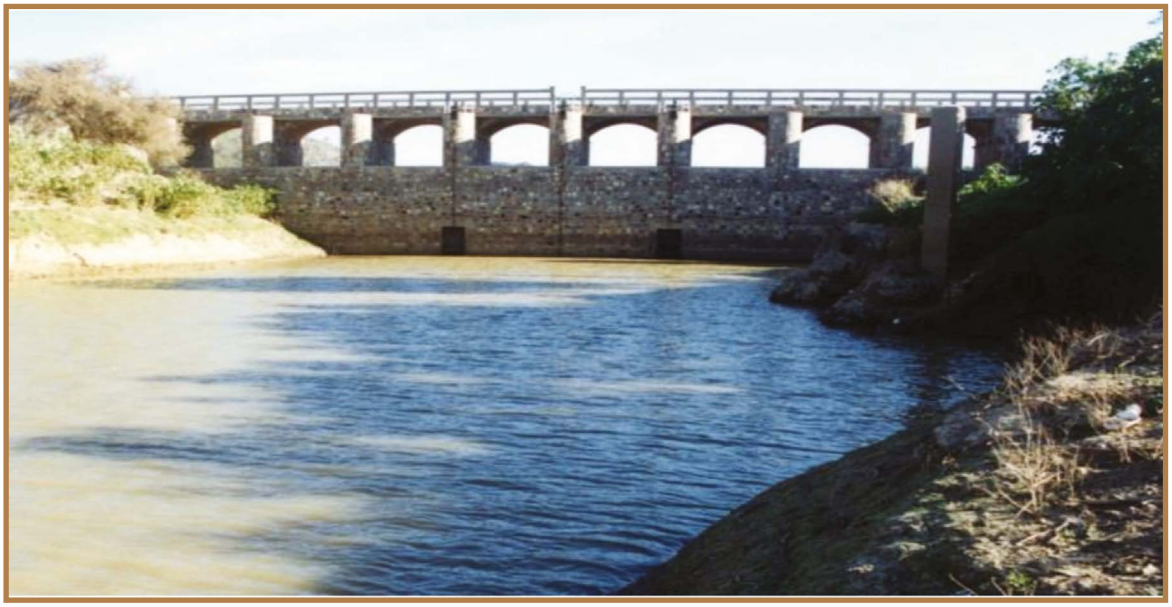
- سدود خرسانية ثقلية وتعتمد في ثباتها على وزنها الكلي حيث يتم توزيع الأحمال على الأساسات.
- سدود خرسانية مقوسة وتعتمد في ثباتها على توزيع الضغوط على الجوانب (الأكتاف).



◆ سدود ركامية وعددها (61) سد

♦ يتم تشييدها عن طريق رص الأحجار الصخرية مختلفة الأحجام على هيئة طبقات.

♦ يتم تغطية الواجهة الأمامية بالخرسانة لمنع تسرب المياه.



◆ سدود جوفية وعددها (15) سد

♦ يتم تنفيذها من الخرسانة اللدنة على هيئة حائط يقطع الوادي تحت سطح الأرض.

♦ هذا النوع يناسب الاودية المنبسطة ذات الطبقة الرسوبية العالية في المناطق المطيرة.

❖ حسب الغرض من السد :
♦ سدود حماية وعددها (246) سد، الهدف منها حماية المدن والقرى من السيول.
♦ سدود استعاضة وعددها (282) سد، الهدف منها تغذية الطبقات الجوفية.
♦ سدود شرب وعددها (46) سد، الهدف منها تأمين مياه الشرب.
❖ حسب تواجد منطقة السد :
♦ سدود منطقة الرياض عددها (117) سد.
♦ سدود منطقة مكة المكرمة عددها (78) سد.
♦ سدود منطقة المدينة المنورة عددها (40) سد.
♦ سدود منطقة القصيم عددها (18) سد.
♦ سدود منطقة الشرقية عددها (2) سد.
♦ سدود منطقة عسير عددها (122) سد.
♦ سدود منطقة تبوك عددها (26) سد.
♦ سدود منطقة حائل عددها (46) سد.
♦ سدود منطقة الحدود الشمالية عددها (12) سد.
♦ سدود منطقة جازان عددها (16) سد.
♦ سدود منطقة نجران عددها (29) سد.
♦ سدود منطقة الباحة عددها (57) سد.
♦ سدود منطقة الجوف عددها (11) سد.

الميـــاه الجوفيـــة

وهـي عبـارة عـن الميـاه التـي جـرى تسـريبها عبـر مسـام الصخـور الرسـوبية إلـى جـوف الأرض وتنقسـم إلـى نوعـين مـن الميـاه الجوفيـة: ميـاه جوفيـة قابلـة للتجديـد (غيـر عميقـة): وهـي ميـاه الآبـار التـي يجـري حفرهـا علـى أعمـاق 100 متـر أو أقـل. وهـي ميـاه جوفيـة غيـر عميقـة وقابلـة للتجـدد مـن ميـاه الأمطـار. وميـاه جوفيـة غيـر قابلـة للتجديـد (عميقـة): وهـي ميـاه تكوينـات (طبقـات) رسـوبية ذات أعمـاق مختلفـة تختـزن المـاء بـين مسـاماتها.

ويجـري في الوقـت الحاضـر اسـتعمال الجانـب الأكبـر مـن الميـاه الجوفيـة القابلـة للتجديـد في الزراعـة التقليديـة وللأغـراض المنزليـة. وهـذا النـوع مـن الميـاه موجـود بشـكل عـام في طبقـات جوفيـة تتكـون مـن طبقـات رسـوبية تتبـع مسـارات مجـاري الوديـان وتغطـي الميـاه الجوفيـة القابلـة للتجديـد 31.5 % مـن احتياجـات المملكـة أمـا الميـاه الجوفيـة غيـر القابلـة للتجديـد فتشـكل حوالـي 68.5 % مـن احتياجـات المملكـة للميـاه مـن عـام 1445هـ. تصنـف تكوينـات الصخـور الرسـوبية الحاملـة للميـاه في المملكـة إلـى **خزانـات رئيسـية**: السـاق، تبـوك، الوجيـد، المنجور،البيـاض، الوسـيع، أم الرضمـه، الدمـام، النيوجـين **وأخـرى ثانويـة**: الجـوف، بـرواث، الخـف، الجلـه، ضرمـا، سـكاكا والعرمـه.

مياه الصرف الصحي المعالجة (المياه المجددة)

لقد أسهم تقدم تقنيات المعالجة وتحسين شبكات المجاري في إمكانية استغلال هذا المصدر لأغراض الري والاستعمالات الصناعية وليس للاستهلاك البشري. وتغطي حوالي 21 % من إجمالي احتياجات المياه بالمملكة. حيث وصل ما يستغل منها حاليا حوالي 286 مليون متر مكعب سنويا.

منذ عام 2019م يوجد في المملكة العربية السعودية 204 محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي، مع استخدام الكثير من مياه الصرف الصحي غير الصالحة للشرب لأغراض مفيدة مثل «المياه الرمادية»، أو سقي المساحات الخضراء في المدن، أو ري المحاصيل، أو إعادة استخدامها في الصناعة. تقدر سوق إعادة استخدام المياه في المملكة بأنه ثالث أكبر سوق في العالم بعد الصين والولايات المتحدة.

يعتبر الخمرة أكبر موقع لمعالجة مياه الصرف الصحي، ويقع جنوب مدينة جدة ويتكون من 4 مراحل بسعة مشتركة تقريبًا. 250,000 م3 /د.

إن إنتاج مياه الصرف الصحي المعالجة والمعاد استخدامها أرخص في المتوسط من إنتاج المياه المحلاة؛ ولهذا السبب، تعتبرها المملكة مصدرًا حيويًا للمياه لاستخدامات معينة، وحددت هدفًا لتحقيق إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بنسبة 100 % بحلول عام 2025م.

وفي عام 2012م، وضعت شركة المياه الوطنية خططًا لإشراك القطاع الخاص في مشاريع معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدام البنية التحتية حتى عام 2030م، بما يتماشى مع أهداف الخصخصة الأوسع للمملكة. لقد حددت المملكة هدفًا لزيادة القدرة الوطنية على معالجة مياه الصرف الصحي إلى 8.4 مليون متر مكعب يوميًا بحلول عام 2023م من أجل تلبية الطلب المتزايد و بحلول عام 2030م، سيصل إجمالي كمية مياه الصرف الصحي المجمعة إلى 10.3 مليون متر مكعب في اليوم بعد إضافة 11 محطة كبيرة و150 محطة صغيرة الحجم. كما وفرت زيادة القدرة على معالجة مياه الصرف الصحي حلاً جديدًا لنقص المياه في المملكة. لقد حددت المملكة هدفًا لزيادة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة إلى 70 % (نحو 4 ملايين متر مكعب في اليوم) بحلول عام 2030م في إطار الاستراتيجية الوطنية للمياه في المملكة.

ميـــاه البحـــر المحـــلاّه

تمتلك المملكة أكبر شبكة من محطات التحلية في العالم بقدرة إنتاجية تصل إلى حوالي 18 % من إجمالي المياه المحلاة في العالم وتغذي أكثر من 40 مدينة ومحافظة وقرية بمياه الشرب والطاقة الكهربائية ومعدل إنتاج نحو 70 % من احتياجات المياه بالمملكة، وتعتبر هذه المياه حاليا المصدر الرئيس لمياه الشرب والأغراض المنزلية والصناعية. لقد ساعدت التكنولوجيا الحديثة

على إمكانية الاستفادة من هذه المياه عن طريق محطات التحلية الحديثة ويبلغ عدد محطات التحلية بالمملكة 14 محطة منها 11 على الساحل الغربي وثلاثة على الشرقي، من أهم محطات الساحل الغربي محطة جدة، الشعيبة وينبع ومن أهم محطات الساحل الشرقي محطة الخبر والجبيل . تمتلك المملكة اليوم شبكة منظومات نقل مياه ضخمة تربط عدداً من المناطق ببعض تصل سعاتها إلى 12.5 مليون متر مكعب في اليوم، تبدأ شرقاً من سواحل الجبيل ورأس الخير لتصل إلى منطقة الرياض ومنها إلى منطقة القصيم ، وتزيد سعاتها على 3.3 مليون متر مكعب في اليوم. أما في الغرب فترتبط منطقة مكة المكرمة مع منطقة الباحة بشبكة نقل واحدة ويجري الإعداد لربطهما شمالا مع منطقة المدينة المنورة وجنوبا مع منطقتي عسير وجازان المرتبطتين بشبكة واحدة حالياً.

وفي عام 2022م تم تدشين أكبر محطة عائمة لتحلية المياه في العالم، قرب ميناء الشقيق على الساحل الغربي للمملكة، تتمتع هذه المحطة بقدرة إنتاجية تبلغ 50 ألف متر مكعب من المياه يومياً، باستخدام تقنية التناضح العكسي.

ومع ذلك، فإن تحلية المياه وحدها قد لا تكون قادرة على تلبية الطلب المستقبلي، الذي ينمو بنحو 7 إلى 8 % سنويًا . اتخذت المملكة العربية السعودية عدداً من الإجراءات لتقليل الاستهلاك من خلال زيادة الكفاءة، والقضاء على الهدر، وإنهاء الممارسات غير المستدامة.

التكوينات الرئيسية الحاملة للمياه

توجد المياه الجوفية في بعض التكوينات الجيولوجية التي تسمح فيها النفاذية والمسامية بمرور الماء وتخزينه في مسامات الصخور أو المواد الصخرية المفككة، وتسمح أيضاً بخروجه منها ودخوله إلى الآبار بكميات اقتصادية، وتسمى هذه التكوينات الجيولوجية بخزانات المياه الجوفية (AQUIFERS) التي قد تتكون من مواد صخرية مفككة مثل رواسب الأودية أو تتكون من صخور منفذة كالصخور الرملية. وتقسم خزانات المياه الجوفية وفقاً لعمق المياه الجوفية فيها إلى نوعين هما: خزانات المياه الجوفية الضحلة وخزانات المياه الجوفية العميقة كما تصنف خزانات المياه الجوفية إلى نوعين حسب ضغط الماء فيها، هما: الخزان الحر (Unconfined) في التكوين الجيولوجي الذي ينكشف على السطح ويقع إلى الأسفل منه تكوين غير منفذ، والخزان المحصور (Confined) في التكوين الجيولوجي الذي يقع بين تكوينين غير منفذين أحدهما يعلوه والآخر إلى الأسفل منه. وفي الغالب تكون خزانات المياه الجوفية العميقة من النوع المحصور. وبشكل عام تكون المياه الجوفية غير عميقة ومتجددة في الخزانات الحرة وتكون عميقة وغير متجددة (قديمة/حفرية (FOSSIL)) في الخزانات المحصورة.

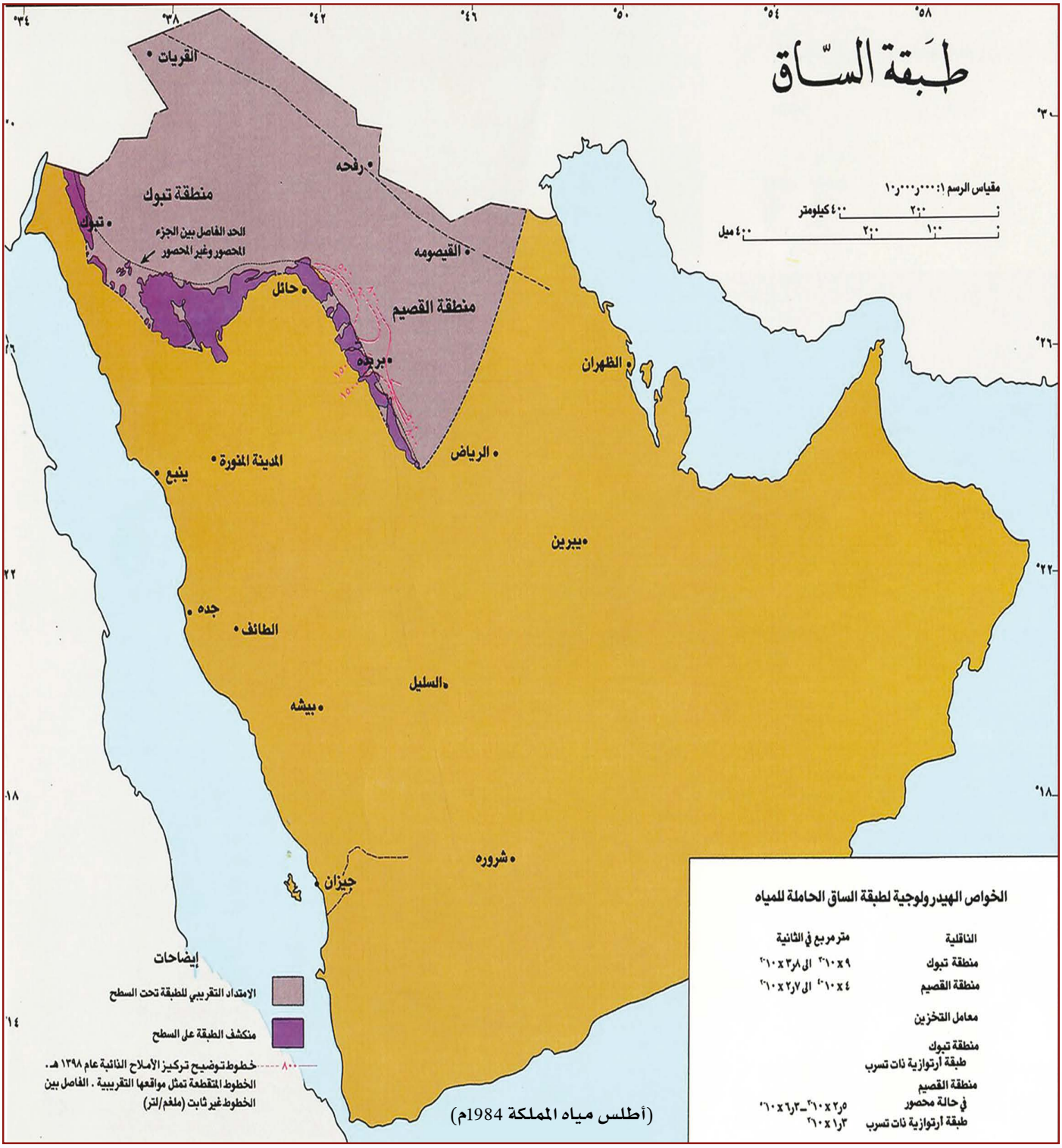
تصنف تكوينات الصخور الرسوبية الحاملة للمياه في المملكة إلى **خزانات رئيسية**: الساق، تبوك، الوجيد، المنجور، البياض، الوسيع، أم الرضمه، الدمام، النيوجين **وأخرى ثانوية**: الجوف، بروات، الخف، الجله، ضرما، سكاكا والعرمه، وتمتد منكشفات معظم تكوينات الصخور الروسوبية إلى مسافات طويلة قد تصل إلى أكثر من 1000 كيلو متر وقد يصل امتداد هذه الطبقات إلى عشرات الكيلومترات تحت السطح. تحتوي هذه الخزانات التي تتعاقب من الأقدم في الغرب إلى الأحدث في الشرق على مياه جوفية قديمة (غير متجددة) تختلف كمياتها باختلاف نوع صخور التكوين وسمكها وخواصها الهيدروليكية (النفاذية ومعامل التخزين) وفيما عدا الأجزاء المنكشفة من التكوينات الرسوبية فإن خزانات المياه فيها من النوع المحصور الذي تكون المياه فيه تحت ضغط إرتوازي.

الطّبقات الرّئيسيّة الحامِلة للمياه
منكشف الطبقات على السطح
مقياس الرسم ١ : ٦٬٠٠٠٬٠٠٠
٢٠٠ كيلومتر
١٠٠
٥٠
٠
٢٠٠ ميل
١٠٠
٥٠
القريات
رفحه
تبوك
حائل
القيصومه
بريده
الظهران
المدينة المنورة
الرياض
بيشه
جده
الطائف
السليل
شروره
جيزان
الطبقات الرئيسية الحاملة للمياه
توجد إمدادات من المياه كافية ويعتمد عليها . وتوفر إمدادات المياه هذه واحدة على الأقل من مجموع طبقات المياه الجوفية الرئيسية التسع في المملكة . ويتراوح العمر الجيولوجي لهذه الطبقات من العصر الكمبري إلى العصر الثلاثي ، وتعتبر ست طبقات من بين هذه الطبقات الجوفية التسع طبقات من الأحجار الرملية ، تعود إلى الحقبتين القديمة ، والوسطى . وهذه الطبقات الست هي الساق ، وتبوك ، والوجيد ، والمنجور ، والمنجور/ضرما ، والوسيع ــ البياض . أما الطبقات الجوفية الثلاث الباقية فهي ذات صخور كربونية ، وتعود إلى الحقبة الحديثة . وهذه الطبقات الجوفية هي : أم رضمه ، الدمام (العلاة ، والخبر) ، والنيوجين .
وتختلف مساحة كل من هذه الطبقات الجوفية ، كما تختلف جيولوجيتها ، وخصائصها الهيدرولوجية ، ونوعية المياه فيها وإنتاجها ، وكذلك تطويرها . وتعتبر طبقة الساق أكثر تجانساً من طبقة تبوك المتنوعة ، والتي تحتوي على صخور رملية ناعمة الحبيبات . وهما معاً تشكلان المصادر الرئيسية للآبار في المناطق الشمالية والوسطى ، والشمالية الغربية .
وفي الوقت الحالي توفر طبقة الوجيد المياه للأغراض المنزلية ، والري في وادي الدواسر ، وشروره . وتتوفر في هذه الطبقة أكبر إمكانية للتطوير من بين كافة الطبقات المائية في المنطقة الوسطى الجنوبية .
وتعتبر طبقات المنجور ، والمنجور/ضرما ، والوسيع ــ البياض طبقات هامة في المنطقة الوسطى من المملكة . ولكن إرتفاع الأملاح في مياه الجزء الأسفل من المنجور يحد من تطويرها في بعض المناطق التي يقوم بخدمتها . ولكن الجزء الأعلى من هذه الطبقة ، الذي تقل فيه نسبة الأملاح في الماء ، يعتبر المصدر الرئيسي لامداد الرياض العاصمة بالمياه .
ويشكل الوسيع مصدراً جديداً إضافياً للمياه بالنسبة لمدينة الرياض . وهو أيضاً يوفر إمدادات المياه لأغراض الزراعة ، وحقن مكامن الزيت ، كما يعتبر الأهم بين طبقات العصر الكريتاسي . ويشار إلى طبقة الوسيع في الشمال الغربي باسم طبقة سكاكا . وفي المنطقة الوسطى الجنوبية يتصل الوسيع هيدروليكياً بالبياض . وفي المنطقة الجنوبية الوسطى تشكل طبقات الوسيع ــ البياض ــ العرمه (الأخيرة تعتبر طبقة ثانوية) ، وحدة هيدروليكية مستقلة تعرف باسم طبقة رمال العصر الكريتاسي ، والتي تعتبر غير مطورة على نطاق واسع . وتتوفر في هذه الطبقة إمكانيات كبيرة للتنمية في منطقة الربع الخالي .
وتتوفر في طبقات أم رضمه ، والدمام ، والنيوجين الكربونية مسامية رئيسية ، ونفاذية عالية ناجمة عن طريق التوصيل ، والانحلال (التكهف) . وتوفر هذه الطبقات الجوفية كميات كبيرة من مياه الشرب في كثير من أنحاء المنطقة الشرقية . وتعتبر طبقة أم رضمه أوسعها إنتشاراً وأكثرها إنتاجاً ، وهي تغذي طبقة الدمام التي تعلوها ، وكذلك الينابيع في منطقتي الأحساء والقطيف . وتعتبر طبقة النيوجين مصدراً محلياً وفيراً وهي تعمل محلياً كطبقة محصورة لطبقتي أم رضمه والدمام .
إيضاحات
الطبقة الحاملة للمياه
العمر الجيولوجي
النيوجين
الميوسين والبليوسين
الدمام
الأيوسين المبكر إلى الأيوسين الأوسط
أم رضمه
الباليوسين والأيوسين المبكر
البياض والوسيع
الكريتاسي المبكر إلى الكريتاسي الأوسط
المنجور وضرما
الترياسي المتأخر والجوراسي الأوسط
تبوك
الأوردوفيشي إلى الديفوني
الوجيد
الكمبري والأوردوفيشي
الساق
الكمبري والأوردوفيشي
(أطلس مياه المملكة 1984م)

تكويـــن الســـاق

يمتد من شمال غرب المملكة (الحدود الأردنية) حتى نفوذ السر جنوبا، ويبلغ امتدادة 1200 كيلومتر، وهو يتكون من الأحجار الرملية التي تعو إلى العصر الكمبري، ويقدر عمر مياة الساق بين 22 الف إلى 28 الف سنة، ويتراوح عمق المياه في تكوين الساق بين 100م في منطقة الجنوب إلى 1850م في القصيم. يستفيد من الجزء الشرقي من التكوين منطقة القصيم مثل بريدة وعنيزة ومنطقة السر والأسياح وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء.

يعتبر أهم مكامن المياه في المملكة على الإطلاق، وذلك لأن متكون ساق يعلو صخور الدرع العربي المصمتة مباشرة بسمك متوسط يزيد على خمسمائة متر، ويغلب على تركيبه الصخور الرملية عالية المسامية و النفاذية، وإن تخللتها في أجزائها العليا بعض راقات من الطفل (الصلصال الصحفي). ويتبع متكون ساق في عمره عصر الكمبري المتأخر/ الأوردو فيشي المبكر - وتغطي صخور المتكون مساحة تقدر بمئات الآلاف من الكيلومترات المربعة من أرض المملكة، وتتغطى مباشرة بتتابع من الطفل المعروف باسم عضو الحنادر الطفلي، وتبلغ مساحة الجزء المنكشف من متكون ساق أكثر من 65000 كيلومتر مربع، وتقدر تغذية هذا الجزء المنكشف بمياه الأمطار بحوالي 260 مليون متر مكعب في السنة. ويمتاز الخزان المائي في متكون ساق بوفرة إنتاجه بصفة عامة، وتتراوح ملوحته في شمال المملكة بين 500 و 1500 ملليجرام / لتر. يتغذى الساق بواسطة هطول الامطار على منكشفه الواقع شمال المملكة وقدرت كمية التغذية بحوالي 230 مليون متر مكعب /سنة ومن السيول حوالي 20 مليون متر مكعب/سنة، وتعد مياه الساق من النوعية الجيدة (أطلس مياه المملكة 1984م).



(أطلس مياه المملكة 1984م)

تكويـــن تبـــوك

يمتد تكوين تبوك جنوب وشرق الحدود الأردنية والى وادي الرمة جنوبا، حيث تبلغ مساحتة 100 ألف كيلومتر مربع، كما ينفصل التكوين عن بعضة البعض بالحزام الرملي لصحراء النفوذ الكبرى، هذا ويظهر تكوين تبوك الى الغرب من النفوذ الكبير في ثلاث مناطق وهي تبوك والطويل والجوف، وتستفيد منه المناطق السابقة في تكوين الساق عدا منطقة السر. ترجع مجموعة تبوك إلى العصرين الأوردو فيشي المتوسط / السيلوري ، وتتكون المجموعة من ثلاث وحدات من الصخور الرملية المتبادلة مع ثلاث وحدات من الصخور الطفلية. ويبلغ متوسط سمك الوحدات الرملية الحاملة للمياه في هذه المجموعة حوالي 200 متر وإن كان سمك المجموعة يتجاوز الألف متر في بعض الأماكن. ويغطي الجزء المنكشف منها مساحة تقدر بأكثر من مائة ألف كيلو متر مربع ، ومياه تلك المجموعة جيدة إذ تتراوح ملوحتها بين 400 إلى 600 ملليجرام / لتر في المتوسط وتزداد الملوحة في الاتجاه الجنوبي، وتعتمد مناطق تبوك والقصيم على مياه تلك المكامن بالإضافة إلى مياه مكمن متكون ساق. ويختلف سمك تكوين تبوك من منطقة لاخرى تبعا لوجود جميع اجزائه او بعضا منها، ويبلغ سمكة 1070م ويوجد منكشفه في مناطق تبوك وتيماء وحائل والقصيم ويعتبر من أغنى التكوينات الحاملة للماء بالمملكة . ويبلغ عمر المياه في متكون تبوك اكثر من ثلاثين الف سنة وتم تقدير المخزون بحوالي 1300 مليون متر مكعب (أطلس مياه المملكة 1984م).

الخصائص الهيدرولوجية لطبقة تبوك الحاملة للمياه

الناقلية	متر مربع في الثانية
تبوك السفلي	
العسافية	١ × ١٠^٤
فجر	٥ × ١٠^٥
منطقة تبوك	٢ × ١٠^٤ الى ٨ × ١٠^٤
القصيم	٤ × ١٠^٤ الى ١.٥ الى ٦٠^٤
تبوك الأوسط	
منطقة تبوك	١.٧ × ١٠^٣
ذات الحاج	١٠١.٢^٤
القصيم	١ × ١٠^٣ الى ١.٦ × ١٠^٣
تبوك العلوي	
تربه	٧ × ١٠^٤

تكويـــــن الوجيـــد

يوجد في جنوب ووسط المملكة، وتستفيد منه منطقة وادي الدواسر. يمتد مابين وادي نجران وشرورة في الجنوب و وادي الدواسر في الشمال لمسافة 300كم ولا يزيد عرضة عن 100 كم، ويتكون من الاحجار الرملية ذات الحبيبات الخشنة والناعمة ترجع إلى حقب الحياة القديمة، كما تقع الصخور الرملية لتكوين الوجيد على الصخور النارية والمتحولة ويتراوح سمك تكوين الوجيد من 200 إلى 900 متر. تغطي صخوره مساحة في جنوب غربي المملكة تقدر بحوالي عشرين ألف كيلو متر مربع، بسمك متوسط في حدود 400 متر، وإن كان ذلك السمك يزداد تدريجيا كلما اتجهنا شرقاً ليصل إلى قرابة الألف متر. وتتراوح أعماق مياهه من 100 إلى 1100 متر كما يقدر عمر مياهه بحوالي 300 ألف سنة أو أكثر. وتقل الملوحة في مياه تكوين الوجيد عن 1000 ملليجرام / لتر، وقدرت كمية مياه الأمطار التي تغذي المتكون بنحو 500 مليون متر مكعب سنوياً. وتستغل مياه الوجيد في وادي الدواسر منذ 1966م حيث تتدفن صخوره تحت متكونات أحدث عمراً بين وادي الدواسر ووادي نجران، وتتدفع شرقاً تحت الأجزاء الغربية من الربع الخالي إلى مسافة كبيرة محتفظة بتركيبها الرملي، مما يزيد في إمكانية تلك المكامن المائية التي تشبه مياهها في خواصها الكيميائية والطبيعية مياه مكمن متكون ساق (أطلس مياه المملكة 1984م).

(أطلس مياه المملكة 1984م)

تكويـــــن المنجـــور

يقـع تكويـن المنجـور وسـط المملكـة والـى الشـرق مـن تكويـن السـاق وتبلـغ مسـاحتة نحـو 6500 كيلومتـر مربـع، وهـو يتكـون مـن الاحجـار الرمليـة ذات الاصـل القـاري المتعـددة الطبقـات وتوجـد عليهـا طبقـات رقيقـة مـن الصخـور الجيريـة والطفـل والجبـس. وهـو يعتبـر مـن التكوينـات العميقـة نسـبياً حيـث يوجـد علـى أعمـاق تصـل لأكثـر مـن 1800م، وتسـتفيد منـه منطقـة الريـاض وسـدير والوشـم والخـرج والأفـلاج والسـليل. يرجـع متكـون المنجـور في العمـر إلـى الترياسـي المتأخـر/ الجوراسـي المبكـر ويتكـون مـن الرمـل الخشـن عالـي المسـامية والنفاذيـة، ولذلـك فهـو مشـبع بالميـاه. وقـد درسـت عينـات مـن ميـاهـه مـن بئـر الشميسـي في الريـاض فوجـد أن عمرهـا يرجـع إلـى مـا بـين 35 و 40 ألـف سنـة، بينمـا يرجـع عمـر متكـون ضرمـا إلـى الجوراسـي المتوسـط ويغلـب علـى تركيبـه الطفـل والطفـل الكلسـي والحجـر الجيـري، وتتحـول تلـك الصخـور في الجـزء الجنوبـي مـن المملكـة إلـى صخـور رمليـة ممـا يسـمح بتشـبعها بالميـاه فتشـكل مـع متكـون المنجـور- الـذي تعلـوه بصـورة لا توافقيـة- خزانـاً مائيـاً واحـداً يطلـق عليـه مكمـن المنجـور / ضرمـا وذلـك جـنوب خـط عـرض 20° شـمالاً، وتتـراوح نسـبة الأمـلاح في ميـاه ذلـك الخـزان المائـي بـين 400 و 1500 ملليجـرام / لتـر. وتـزداد الملوحـة باتجـاه الشـرق وكذلـك مـع زيـادة العمـق. وتبلـغ مسـاحة منكشـف المنجـور حوالـي 2500 كيلومتـر مربـع كمـا تصـل سماكـة التكويـن إلـى 400 متـر تشـمل طبقتـين حاملتـين للميـاه تحـت السطحيـة. يعتبـر المنجـور واحـد مـن الخزانـات الجوفيـة المهمـة ذات الميـاه الغزيـرة في المملكـة حيـث تخترقـه الكثيـر جـدا مـن الابـار في منطقـة الريـاض ومـا حولهـا وهـو ذو مسـامية ونفاذيـة عاليـة جـدا. وتختلـف خصائصـه الهيدروليكيـة بدرجـة كبيـرة مـن مـكان لاخـر يتغـذى المنجـور بواسـطة هطـول الامطـار علـى منكشـفه وقـدرت كميـة التغذيـة بحوالـي 85 مليـون متـر مكعـب سـنويا علـى امتـداد منكشـفه.

طبقة المنجور وضرما
مقياس الرسم ١: ١٠٠٫٠٠٠٫٠٠٠
٢٠٠ ٤٠٠ كيلومتر
١٠٠ ٢٠٠ ٤٠٠ ميل
رفحه
تبوك
حائل
القيصومه
الظهران
الحد التقريبي الفاصل بين
اجزاء الطبقة المحصورة
وغير المحصورة
الرياض
المدينة المنورة
ينبع
الأخدود
الحد التقريبي الغربي
للآبار المتدفقة تلقائيا
بيرين
الحد التقريبي الشمالي
للسحنة الرملية لطبقة ضرما
جده
الطائف
السليل
بيشه
شروره
جيزان
الخواص الهيدرولوجية لطبقتي
المنجور وضرما الحاملتين للمياه
الناقلية
مترمربع في الثانية
المنجور العلوي
١٫٧ × ١٠^٣ الى ٢٫٧ × ٦٠^٣
المتوسط ٤ × ٦٠^٣
معامل التخزين
المنجور العلوي
الجزء المحصور
١٫٣ × ٦٠^٤
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف طبقة ضرما على السطح
منكشف طبقة المنجور على السطح
خطوط توضيح تساوي تركيز الأملاح الذائبة عام
١٣٩٨هـ . والخطوط المتقطعة تمثل مواقعها التقريبية .
الفاصل بين الخطوط هو ٥٠٠ و١٠٠٠ و٣٠٠٠ (ملغم/لتر)
(أطلس مياه المملكة 1984م)

تكويـــــن البيـــاض

يمتـد تكويـن البيـاض علـى شـكل شـريط هـلالـي مـن وادي الدواسـر جنوبـا حتـى وادي العتـش شـمالا لمسـافة 650 كلـم ويبلـغ عـرض منكشـفة 50 كلـم في وادي الدواسـر. وتوجـد أجـزاءه المحصـورة المغطـاه بمختلـف الرسـوبيات في المنطقـة الشـرقية والشـمالية الشـرقيه والربـع الخالـي وتمتـد داخـل حـدود قطـر والكويـت والعـراق، ومعظـم أجزائـه المحصـورة مغطـاه بالاحجـار الرمليـه لتكويـن الوسـيع وفي معظـم المناطـق خاصـة في المنكشـفات لا يمكـن الفصـل بـين البيـاض والوسـيع حيـث يكونـان وحـدة مائيـة واحـدة، يحـد البيـاض مـن الأسـفل تكويـن البويـب المكـون مـن الأحجـار الجيريـة مـع الأحجـار الرمليـة والطفـل. تكويـن البيـاض قـاري الاصـل مـن العصـر الطباشـيري الاسـفل ويتكـون أساسـا مـن حبيبـات الرمـل والأحجـار الرمليـة مـع طبقـات رقيقـة مـن الطفـل والمـارل والدلومايـت والحجـر الحديـدي وتتغيـر السـحنة في اتجـاه الشـرق مـن أحجـار رمليـة الـى رمليـه طفليـة الـى احجـار جيريـه. يبلـغ اقصـى سـمك للمتكـون 625 متـر ويقـل سـمكة كلمـا اتجهنـا شـمالا. نوعيـة الميـاه في المتكـون مالحـة إلـى شـديدة الملوحـة وتبلـغ كميـة الامـلاح الذائبـة قـرب المنكشـف حوالـي 1500 ملجم/لتـر بينمـا تصـل الـى اكثـر مـن 6000 ملجـم/لتـر في المنطقـة الشـرقية، أمـا في منطقـه الخـرج فـإن الميـاه ذات نوعيـه جيـده وتبلـغ الأمـلاح الذائبـه حوالـي 550 - 900 ملجـم / لتـر. يسـتغل تكويـن البيـاض في مناطـق الخـرج ووادي السـهبا ووادي نسـاح وخريـص.

تكويـــن الوســـيع

تتألف صخور تكوين الوسيع، من صخور رملية رقيقة نسبيا ، وطفل وعدسات من الكربونات. ويمتد منكشف الوسيع حوالي 1450 كم من الربع الخالي في اتجاه الشمال على شكل قوس ضخم يمر تحت الطرف الغربي من النفوذ الكبير. يوجد منكشف الوسيع في شكل مقطع كامل في خشم الوسيع الواقع شمال وادي السهبا، يمتد منكشف الوسيع مسافة 1460 كم على شكل شريط هلالي من شمال وادي الدواسر حتى النفوذ الكبير بالشمال حيث يختفى تحت كثبانه ثم يظهر على سطح الارض ثانية وينكشف بالقرب من سكاكا حيث يعرف بحجر رمل سكاكا، ويعلوه أحجار جيرية تابعة لتكوين العرمة. يشكل متكونا البياض والوسيع وحدة مائية واحدة ويعتبر من خرانات المياه الجوفية الممتازة في المملكة. متكون الوسيع قاري الاصل ترسب في العصر الطباشيري الاوسط ويتكون من حبيبات رملية غير متماسكه متوسطة الى خشنة. يتراوح سمك التكوين بين 200 و 230 ويزداد سمكه تجاه الشمال حتى يبلغ 285 بالقرب من سكاكا . ويبلغ اقصى سمك له في الجنوب 600 تحت الربع الخالي. يغذى المتكون مع متكون البياض منطقة الرياض و حفر. الباطن وقدر مجموع ما يستخرج من هذه التكوين بواقع 75 مليون متر مكعب. يقدر حجم المخزون في تكون الوسيع تقريبا حوالي 57000 مليون متر مكعب. قدرت كمية التغذية السنوية للتكوين من مياه الامطار والسيول حوالي 419 مليون متر مكعب. تغذي طبقة الوسيع – البياض جبال طويق، ويقدر عمر الماء عند المنكشف بالقرب من خريص بنحو 16 الف سنة ويرجع متكونا البياض والوسيع إلى العصر الطباشيري المبكر والمتوسط، وعلى الرغم من ذلك فإن كلا المتكونين يغلب عليهما الصخور الرملية عالية المسامية والنفاذية، التي يمتد ظاهرها لمسافات كبيرة تتعدى الألف كيلومتر في الطول وعشرات الكيلومترات في العرض، ولذا فكلاهما مشبع بالمياه، وغالباً ما يتصل الخزانان ليكونا مكمناً مائياً واحداً يعرف باسم مكمن البياض – الوسيع، الذي يعتبر من أوفر مكامن المياه بالمملكة، وتتراوح نسبة الأملاح في مياه هذا المكمن المائي بين 550 و 6000 ملليجرام/ لتر. ويقدر عمر المياه عند المنكشف بالقرب من خريص بنحو 16 ألف سنة.

طبقات الوسيع ـ البياض والأحجار الرملية الكريتاسية
مقياس الرسم ١: ١٠٠ر٠٠٠ر١٠
٤٠٠ كيلومتر
٤٠٠ ميل
القريات
رفحه
تبوك
حائل
القيصومه
بريده
الرياض
المدينة المنورة
ينبع
الحد التقريبي الفاصل بين الجزء المحصور وغير المحصور لطبقة الوسيع ـ البياض الحاملة للمياه
الحد الغربي التقريبي لتكوين الشعيبه
جدة
الطائف
السليل
الحد الشرقي التقريبي لطبقة الكريتاسي الرملي الحاملة للمياه
بيشه
شروره
جيزان
الخصائص الهيدرولوجية لطبقة الوسيع ـ البياض الحاملة للمياه
الناقلية
متر مربع/ثانية
الوسيع
٢ر٥ × ٢٠١٠ الى ٧ر٩ × ٢٠١٠
البياض
المتوسط ٥ر١ × ٢٠١٠
معامل التخزين
الوسيع
الجزء المحصور
٢ × ٤٠١٠
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة على السطح
خطوط توضيح تساوي تركيز الأملاح الذائبة عام ١٣٩٨ هـ، والخطوط المتقطعة تمثل مواقعها التقريبية. الفاصل بين الخطوط (ملغم/لتر).
(أطلس مياه المملكة 1984م)

تكوين أم الرضمة

يمتد من الحدود العراقية والاردنية في الشمال الى جنوب وادي الدواسر لمسافة 1200 كم، ويتكون من الحجر الحبيبي الطباشيري والدولومايت وبعض الطفل الذي ينتمي الى الاصل الحجري، ويتفاوت سمك التكوين بشكل عام من الغرب الى الشرق ومن الشمال الى الجنوب، وتختلف نوعية مياهه تبعاً لبعده عن المناطق الساحلية. وتستفيد منه الظهران وشدقم والخبر والدمام وحرض وبعض المناطق في الإحساء ووادي المياه. يتبع متكون أم الرضمة عصري الباليوسين المتأخر / الإيوسين المبكر ويتكون أساساً من صخور جيرية تتحول بدورها إلى صخور رملية في الأجزاء الجنوبية الغربية من أرض المملكة. ويمتد ظاهر متكون أم الرضمة في حزام يبلغ طوله 1200 كيلومتر، ويتراوح عرضه بين 60 و 120 كيلومتراً (من وادي الدواسر جنوباً إلى الحدود الشمالية للمملكة)، ثم يظهر مرة أخرى بتركيب صخري مغاير قليلاً في حوض وادي السرحان (حوض سكاكا- تبوك) من غرب عرعر إلى الحدود السعودية- الأردنية، ويمتد جنوباً من تلك الحدود إلى منطقة الطبيق. ويبلغ متوسط سمك متكون أم الرضمة في قطاعاته الظاهرة فوق سطح الأرض حوالي 250 متراً، ويزداد ذلك إلى حوالي 700 متر تحت سطح المنطقة الشرقية. والمتكون ملئ بحفر الإذابة التي مكنته من تخزين كميات من مياه الأمطار على الرغم من قلة مسامية ونفاذية صخوره بصفة عامة. ونوعية المياه في متكون أم الرضمة جيدة بالقرب من طبقاته حيث يبلغ مجموع الأملاح الذائبة بها حوالي 1000 ملليجرام / لتر، إلا أن ذلك يزداد شرقاً وشمالاً ليصل إلى 4000 ملليجرام / لتر. وتتدهور خصائص مياهه في المناطق الساحلية تدهوراً ملحوظاً وذلك نظراً لتسرب بعض مياه الخليج إليه مع وجود ألسنة من المياه قليلة الملوحة. وتقدر كمية مياه الأمطار التي تغذي هذا المكمن بنحو 2405 متر مكعب سنوياً. يعتبر تكوين أم الرضمة من أهم الخزانات الجوفية العذبة في المملكة حيث أن حجر الجير النقي ذو خصائص

هيدروليكية لا مثيل لها في غيرها من التكاوين المائية فمساميته عالية ونفاذيته جيدة جدا إضافة ألي وجود العديد من الشقوق والكهوف اتحت سطحية التي تكونت بسبب إذابة الصخور الجيرية. تؤثر عوامل عديدة على نوعية مياه أم رضمة منها نوعية مياه التغذية المتسربة والمعادن القابلة للذوبان في الصخور اضافة الى الى تداخل مياه البحر في المناطق الساحلية . ويبلغ متوسط مجموع الأملاح الذائبة حوالي 1000 ملجم/ لتر في المنكشف إلا أنها تسوء في المنطقة الساحلية لتصل إلى اكثر من 4000 ملجم/لتر. قدرت كمية اتغذية بحوالي 2406 مليون متر مكعب بعضها من مياه الأمطار والسيول والباقي يأتي من تسرب الخزانات الجوفية.

طَبَقَة أم رضمه
مقياس الرسم ١: ١٠٫٠٠٠٫٠٠٠
٤٠٠ كيلومتر
٢٠٠
١٠٠
٢٠٠ ٤٠٠ ميل
القريات
تبوك
حائل
بريده
المدينة المنورة
ينبع
الرياض
جده
الطائف
بيشه
السليل
شروره
جيزان
الحد التقريبي الغربي للآبار المتدفقة تلقائيا
الحد التقريبي الفاصل بين أجزاء الطبقة المحصورة وغير المحصورة
(أطلس مياه المملكة 1984م)
الخواص الهيدرولوجية لطبقة أم رضمه الحاملة للمياه
الناقلية
متر مربع في الثانية
٤ × ١٠^-٣ الى ١ر١ × ١٠^-٢
معامل التخزين
الجزء المحصور
٥ × ١٠^-٣ الى ٥ × ١٠^-٢
المعدل ٤ × ١٠^-٤
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة على السطح
خطوط توضيح تركيز الأملاح الذائبة عام ١٣٩٨هـ.
الخطوط المتقطعة تمثل مواقعها التقريبية . الفاصل بين الخطوط متغير (ملغم/لتر)
٦٠٠٠
٣٠°
٢٦°
٢٢°
١٨°
١٤°
٤٦°
٥٠°
٥٤°
٥٨°

تكويـــــن الدمـــام

يمتد تكوين الدمام في مناطق متفرقة حول ساحل الخليج العربي، و يتكون من خمسة طبقات (صخور ذات اصل بحري)، غير ان هناك طبقتين فقط حاملتين للمياه وهما طبقة العلاة وطبقة الخبر، تتكون طبقة العلاة من الحجر الجيري الدلوميتي المسامي وفي أسفله طبقة مارل بينما تتكون طبقة الخبر من الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي، وتسفله طبقة مارل، وقد تعرضت الطبقتان لعوامل تعرية كيميائية ونتج منها شقوق وفجوات في كلتا الطبقتين مما أدى إلى زيادة نفاذيتها، وهناك اتصال مائي طبيعي بين الطبقتين وصناعي ناتج عن حفر الآبار خلال الطبقتين دون حجب إحداهما عن الأخرى ، ويتراوح سمك تكوين الدمام من 50 إلى 75 متر ويعتبر من أهم التكوينات المائية اقتصادياً نظراً لقلة عمقه وسهولة الحفر فيه ونوعية مياهه، وتستفيد منه الخبر والدمام والقطيف والهفوف. يظهر هذا المتكون في شرق المملكة ويرجع إلى عصر الإيوسين المتوسط ويتكون أساساً من الحجر الجيري مع بعض راقات من الصلصال الكلسي والصفحي. ويعتبر متكون الدمام المكمن المائي الرئيس لشرقي الجزيرة العربية، وتظهر صخوره في حزام غير متصل يبلغ طوله حوالي 180 كيلومتراً، وعرضه من حوالي خمسة كيلومترات إلى مائتي كيلومتر (من وادي السهباء في الجنوب إلى الحدود الشمالية للمملكة حيث يصل عرض الحزام إلى حوالي 200 كيلومتر). وتظهر صخور المتكون حول قبة الدمام بسمك يبلغ 30 متراً تقريباً حيث ينتهي بكسر هائل في تتابع الطبقات أدى إلى تعرض صخور ذلك المتكون للمزيد من أعمال التعرية التي أكسبت ما تبقى من صخوره نفاذية ومسامية ثانويتين، بالإضافة إلى العديد من حفر الإذابة التي زادت من قدرة تلك الصخور الجيرية على خزن مياه الأمطار. مياه متكون الدمام غزيرة وهي مياه متوسطة النوعية حيث تقل الأملاح الذائبة فيها عن

2000 ملليجرام / لتر، إلا أن ملوحتها تزداد كلما اتجهنا شرقاً أو جنوباً حتى تصل إلى أكثر من 6000 ملليجرام / لتر في المناطق الساحلية بسبب تداخل مياه الخليج العربي في صخور ذلك المكمن. ويقدر عمر المياه في متكون الدمام بنحو 25 ألف سنة ويتراوح سمك التكوين من 50 إلى 75 متراً. ويبلغ معدل التغذية السنوية من مياه الأمطار 1601 مليون متر مكعب. ويستغل تكوين الدمام في المنطقة الشرقية والبحرين لأغراض الشرب الزراعية وتتراوح نوعية مياه التكوين من متوسطة إلى رديئة، وتسوء نوعيتها كما اتجهنا شرقاً أو جنوباً، ففي الغرب تبلغ 1000 ملجم/لتر، بينما في المناطق الساحلية تصل 6000 ملجم/لتر، وقدرت كمية المخزون في الأجزاء غير المحصورة بحوالي 5000 مليون متر مكعب بينما قدرات التغذية السنوية بحوالي 200 مليون متر مكعب.

الخصائص الهيدرولوجية لطبقة الدمام الحاملة للمياه

الناقلية	متر مربع في الثانية
عضو الخبر	
بالقرب من التابلاين	٢٫٧٥ × ٢٦٠
وادي حفر الباطن	٢٫٧٥ × ٢٦٠
وادي المياه	١٫٤ × ٤٦٠
الأحساء	٧٫٥ × ٦٠ إلى ٥ × ٤٦٠
المنطقة الساحلية	٩٫٠ × ١٦٠
عضو العلات	
القطيف	٦٫٣ × ٢٦٠
وادي المياه	٦٫٢ × ٥٦٠
منطقة رأس تنوره	١٫٣ × ٦٠ إلى ٢٫٣ × ٢٦٠
الأحساء	٢ × ٦٠ إلى ٧٫٩ × ٢٦٠
منطقة وادي المياه	١٫٧ × ٦٠ إلى ٩ × ٢٦٠
المنطقة الساحلية	٢٫٩ × ١٦٠
معامل التخزين	
عضو العلات	
رأس تنوره	١٫٣٢ الى ٥٫٣٤ × ٤٦٠
عضو الخبر	
ابقيق	١٫٣ × ٦٦٠

تكويـــن النيوجـــين

ينتشر هذا التكوين في شرق المملكة بدءاً من وادي الدواسر جنوباً إلى وادي السرحان شمالاً، وهو يمتد ايضا تحت رمال الربع الخالي، ويتكون هذا التكوين من رسوبيات العصر الرباعي من الحجر الجيري وهو ذو اصل بحري، وتعتمد الزراعة في وادي المياه ومنطقة الإحساء بشكل رئيس على هذا التكوين حيث تستمد معظم العيون الموجودة هناك مياهها منه. ينقسم التكوين إلى أربع طبقات وهي : **متكون الهدروخ** ويتكون من الطفل الطيني الأخضر وحجر الرمل الغريني الجيري والمارل الرمادي وبعض الجبس وحجر الجير الرملي، وهو يرتكز دون توافق على متكون الدمام ويبلغ سمكه حوال 85 كم، وعمره يتبع المبوسين المبكر. **متكون الدام** ويتكون من حجر الجير الرملي والمارل والطفل وقليل من حجر الرمل، ويعلو متكون الهدروخ وسمكه حوالي 90 م ويتبع عصر الميوسين الأوسط . **متكون الهفوف** ويتركب من حجر رملي ومارل رملي وحجر جيري رملي وكونجلوميرات ويصل سمكه إلى 95 م ويعلو متكون الدام، ويتبع عصر الميوسين المتأخر والبليوسين. **متكون الخرج** ويتركب من حجر الجير والجبس وطبقات من الكونجلوميرات والحصى والرمل الجبسي، ويصل سـمكه إلى 28م ويتبع عصر البليوسين. يزيد سمك هذه المتكونات عن 250م في المنطقة الشرقية ويقل كلما اتجهنا إلى الغرب. ويعد تكوين النيوجين من التكوينات الهامة في منطقة الهفوف إذ يختزن كميات من كبيرة من المياه ومعظم مياه العيون والآبار في الإحساء تأتي من متكون النيوجين. تحوي هذه المكامن بين طبقاتها الكثير من أسطح التعرية التي زادت من مساميتها ونفاذيتها الثانويتين فأصبحت تشكل أهم الخزانات المائية في منطقة الأحساء حيث تتدفق العيون وتكثر الآبار. والخزان المائي في صخور هذه المجموعة هو في غالبيته خزان غير حبيس، وإن كانت المياه تُحبَس في بعض أجزائه حبساً موضعياً نظراً لوجود بعض الراقات غير المنفذة بين تتابع طبقاته. وتختلف نوعية مياه خزانات صخور النيوجين من مكان إلى آخر باختلاف تركيب الصخور التي تحتويها، ويتراوح مجموع الأملاح المذابة فيها بين 1000 و 4000 ملليجرام / لتر. وتقدر كمية التغذية بحوالي 328 مليون متر مكعب سنوياً.

طَبقة النيوجين
مقياس الرسم ١: ١٠٫٠٠٠٫٠٠٠
٤٠٠ ٢٠٠ ٠ ٤٠٠ كيلومتر
٤٠٠ ٢٠٠ ١٠٠ ٠ ٤٠٠ ميل
القريات
رفحه
تبوك
القيصومه
حائل
بريده
الظهران
الرياض
المدينة المنورة
ينبع
ابرين
جده
الطائف
السليل
بيشه
شروره
جيزان
٣٤° ٣٨° ٤٢° ٤٦° ٥٠° ٥٤° ٥٨°
٣٠° ٢٦° ٢٢° ١٨° ١٤°
الخصائص الهيدرولوجية لطبقة النيوجين الحاملة للمياه
الناقلية
وادي المياه
منطقة التابلاين
متر مربع في الثانية
٥٫١ × ١٠-٤
٧ × ١٠-٥
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة على السطح
(أطلس مياه المملكة 1984م)

التكوينات الثانوية الحاملة للمياه

■ تكويـــن الجـــوف

يتبع عصر الديفوني السفلى وتتكون طبقاته من صخور الطفل الغريني وحجر الرمل وحجر الجير والدلوميت. ويقع فوق متكون تبوك. وينكشف شمال شرق النفوذ ويمتد حتى الأردن. ويبلغ طول المنكشف 100 كم، ويحتفظ هذا التكوين بكميات متوسطة من الماء. يستغل المتكون في منطقة الجوف، ويبلغ معامل النقولية له 95م /يوم، وملوحة مياهه 1200 ملجم/لتر. تغلب الصخور الرملية ذات الحبيبات الناعمة والمتوسطة على محتويات تكوين الجوف ويبلغ سمكه في المنطقة بين سكاكا وعرعر 431 متر إلا أن سمكه يصل في سكاكا إلى 700 متر وتتراوح إنتاجيته من المياه بين 16 – 24 لتر / ثانية كما تختلف الناقلية في الخزان حيث تتراوح بين 0.0011 و 0.002 م/ ثانية ويصل تركيز الأملاح في مياهه بالجوف إلى 700 ملجم/لتر.

■ تكويـــن الخـــف

يتبع عصر البرمي العلوي ويتركب أساساً من حجر الرمل وحجر الجير والطفل، وينكشف على طول حزام ضيق يحاذي الحافة الشرقية للدرع العربي ويبلغ سمكه حوالي 171م. يغطي الخف تكوين الساق في القصيم وصخور الدرع العربي في الوسط. تتراوح نوعية مياهه ما بين 2000 – 3000 ملجم/لتر في القويعية، وتستغل مياهه في مناطق الدوادمي والقويعية والقصيم ووادي الدواسر.

■ تكويـــن الجلـــه

يتبع العصر الترياسي ويتكون من الأحجار الرملية والطفل وبعض الأحجار الجيرية، ويمتد منكشفه على هيئة شريط ضيق عرضه يتراوح بين 8 إلى 12 كم ويعلو الجله تكوين المنجور ويعلوه طفل سدير. يصل سمك الجله إلى 326 م.

حفرت عدة آبار في مدينة الرياض تخترق منكتشف الجله إلا أن مياهها رديئة حيث بلغت ملوحته أكثر من 6000 ملجم/لتر في القصيم.

■ تكويـــن ضرمـــاء

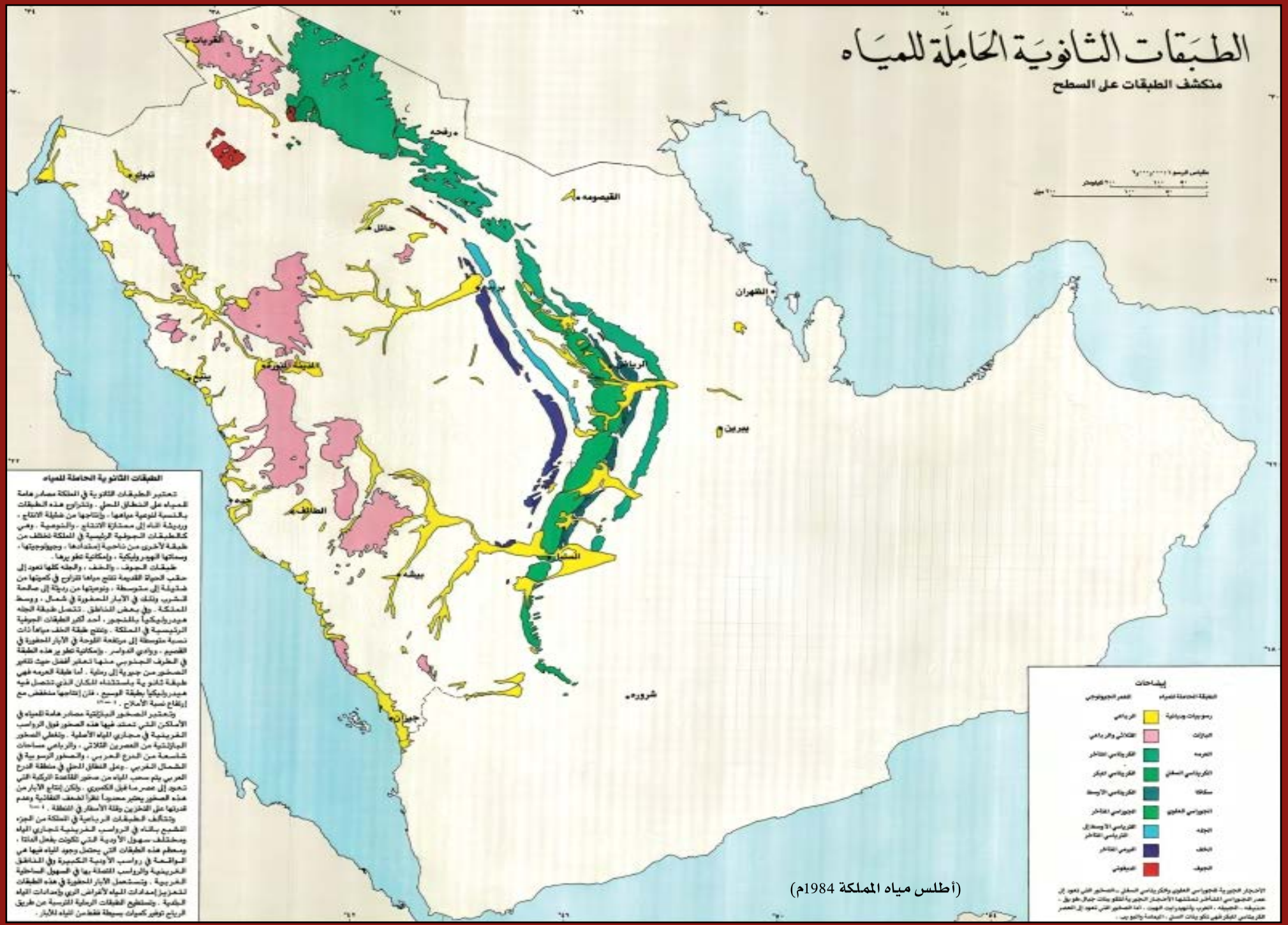
يتبع الجوراسي الأوسط ويتكون من حجر الجير والطفل وتتغير سحنته إلى حجر رملي كلما اتجهنا إلى الشمال أو الجنوب. يمتد منكشفه لمسافة 900 كم، ويصل سمك التكوين إلى 375م. وهو يعلو متكون مرات ويسفل متكون طويق، ويعتبر من التكاوين المائية الجيدة حينما تسود السحنة الرملية. يستغل المتكون في وادي الدواسر والزلفى وتتراوح ملوحة مياهه بين 400-500 ملجم/لتر.

■ تكويـــن ســـكاكا

يتبع العصر الكريتاوي (الطباشيري) الأوسط وله أهمية كبيرة في منطقة سكاكا . يتألف تكوين سكاكا من صخور رملية ويبلغ سمكه في سكاكا نحو 285 متر وإنتاجه في إقليم سكاكا 18 لتر / ثانية ويتراوح الناقلية فيه عند المنكشف بين 0.0003 و 0.0028م/ ثانية ويصل تركيز الأملاح في مياهه بمحافظة سكاكا إلى 600 ملجم/ لتر.

■ تكويـــن العرمـــه

يتبع هذا التكوين العصر الكريتاوي العلوي ويوجد تحت تكوين أم رضمه وفوق الوسيع. ينكشف لمسافة 1600 كم من وادي الدواسر جنوباً حتى الحدود العراقية، ويتكون من الدلوميت والطفل مع بعض حجر الرمل ويصل سمكه إلى 142 م. ويعتبر من التكاوين الجيدة وهو على اتصال بتكوين أم رضمه ولكنه أقل أهمية منه. مياه العرمة جيدة وتستغل في منطقة حفر الباطن وفي أجزاء من المنطقة الشرقية وفي رفحة وبدنه وتتراوح ملوحة مياهه بين 850 – 2100 ملجم / لتر.


الطبقات الثانوية الحاملة للمياه
منكشف الطبقات على السطح
القريات
رفحه
تبوك
القيصومه
حائل
القهران
الرياض
المدينة المنورة
ينبع
بحرين
جده
الطائف
الشرق
بيشه
شروره
جيزان
الطبقات الثانوية الحاملة للمياه
تعتبر الطبقات الثانوية في المملكة مصادر هامة للمياه على النطاق المحلي . وتتراوح هذه الطبقات بالنسبة لنوعية مياهها . وإنتاجها من ضئيلة الانتاج . ورديئة الماء إلى ممتازة الانتاج . والنوعية . وهي كالطبقات الجوفية الرئيسية في المملكة تختلف من طبقة لأخرى من ناحية إمتدادها . وجيولوجيتها . وسماتها الهيدروليكية . وإمكانية تطويرها .
طبقات الجوف . والخف . والجله كلها تعود إلى حقب الحياة القديمة تنتج مياها تتراوح في كميتها من ضئيلة إلى متوسطة . ونوعيتها من رديئة إلى صالحة للشرب وذلك في الآبار المحفورة في شمال . ووسط المملكة . وفي بعض المناطق . تتصل طبقة الجله هيدروليكياً بالمنجور . أحد أكثر الطبقات الجوفية الرئيسية في المملكة . وتنتج طبقة الخف مياهاً ذات نسبة متوسطة إلى مرتفعة الملوحة في الآبار المحفورة في القصيم . ووادي الدواسر . وإمكانية تطوير هذه الطبقة في الطرف الجنوبي منها تعتبر أفضل حيث تتأثر الصخور من جديد إلى رملية . أما طبقة العرمه فهي طبقة ثانوية باستثناء المكان الذي تتصل فيه هيدروليكياً بطبقة الوسيع . فإن إنتاجها منخفض مع إرتفاع نسبة الأملاح .
وتعتبر الصخور البازلتية مصادر هامة للمياه في الأماكن التي تمتد فيها هذه الصخور فوق الرواسب الغرينية في مجاري المياه الأصلية . وتغطي الصخور البازلتية من العصرين الثلاثي . والرباعي مساحات شاسعة من الدرع العربي . والصخور الرسوبية في الشمال الغربي . وعلى النطاق المحلي في منطقة الدرع العربي يتم سحب المياه من صخور القاعدة التركيبية التي تعود إلى عصر ما قبل الكمبري . ولكن إنتاج الآبار من هذه الصخور يعتبر محدوداً نظراً لضعف النفاذية وعدم قدرتها على التخزين وقلة الأمطار في المنطقة .
وتتألف الطبقات الرباعية في المملكة من الجزء الشبع بالماء في الرواسب الغرينية لمجاري المياه ومختلف سهول الأودية التي تكونت بفعل المائة . ومعظم هذه الطبقات التي يحتمل وجود المياه فيها هي الواقعة في رواسب الأودية الكبيرة وفي المناطق الغرينية والرواسب المتصلة بها في السهول الساحلية الغربية . وتستعمل الآبار المحفورة في هذه الطبقات لتعزيز إمدادات المياه لأغراض الري وإمدادات المياه البلدية . وتستخلع الطبقات الرملية المترسبة من طريق الرياح توفير كميات بسيطة فقط من المياه للآبار .
إيضاحات
الطبقة الحاملة للمياه
العصر الجيولوجي
رسوبيات وديانية
الرباعي
البازلت
الثلاثي والرباعي
العرمه
الكريتاسي المتأخر
الكريتاسي السفلي
سكاكا
الكريتاسي الأوسط
الجوراسي المتأخر
الجوراسي العلوي
الجوله
الكريتاسي الأوسط والكريتاسي المتأخر
الخف
الجوراسي المتأخر
المنجور
الديفوني
(أطلس مياه المملكة 1984م)

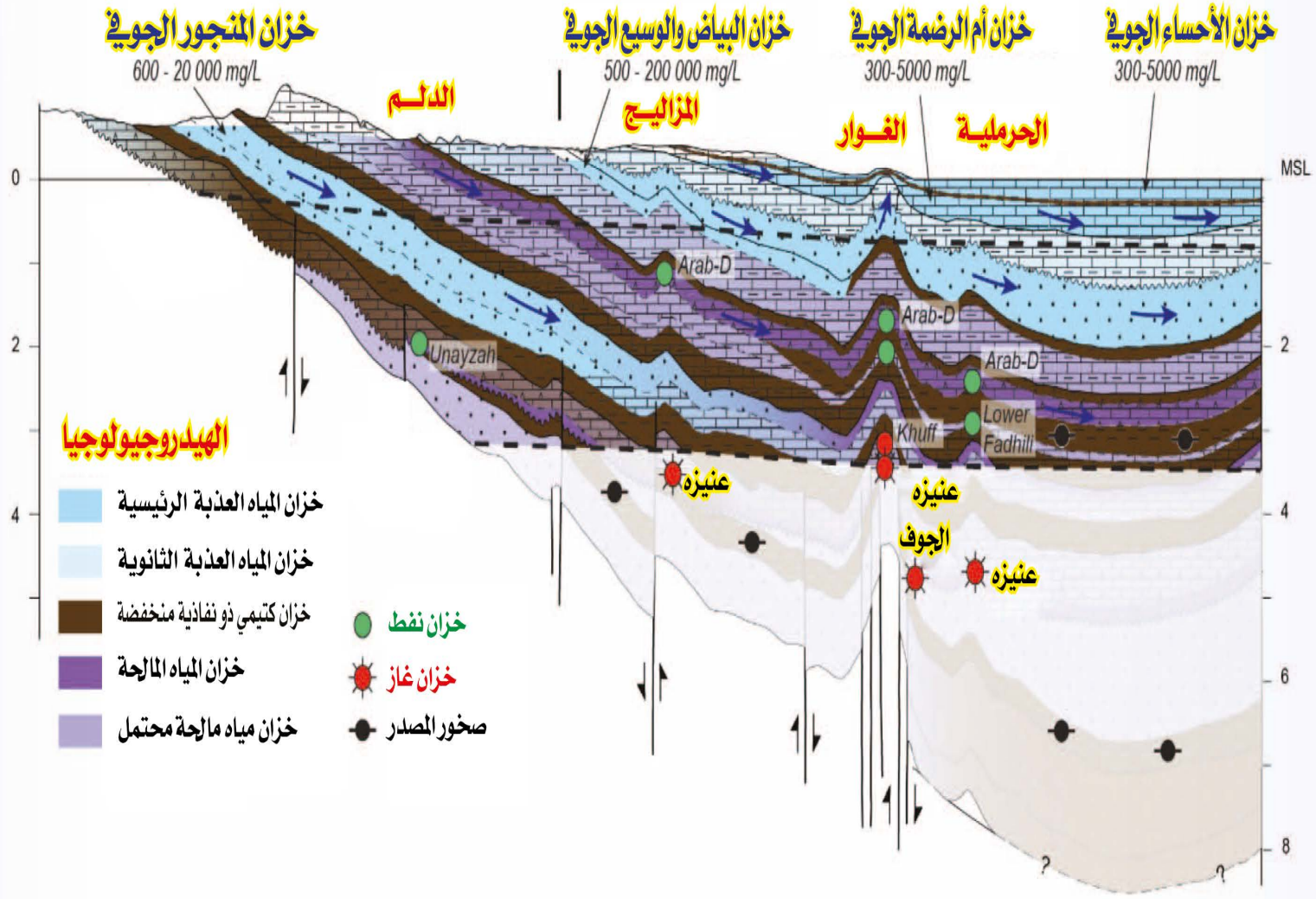
(أطلس مياه المملكة 1984م)

(أطلس مياه المملكة 1984م)

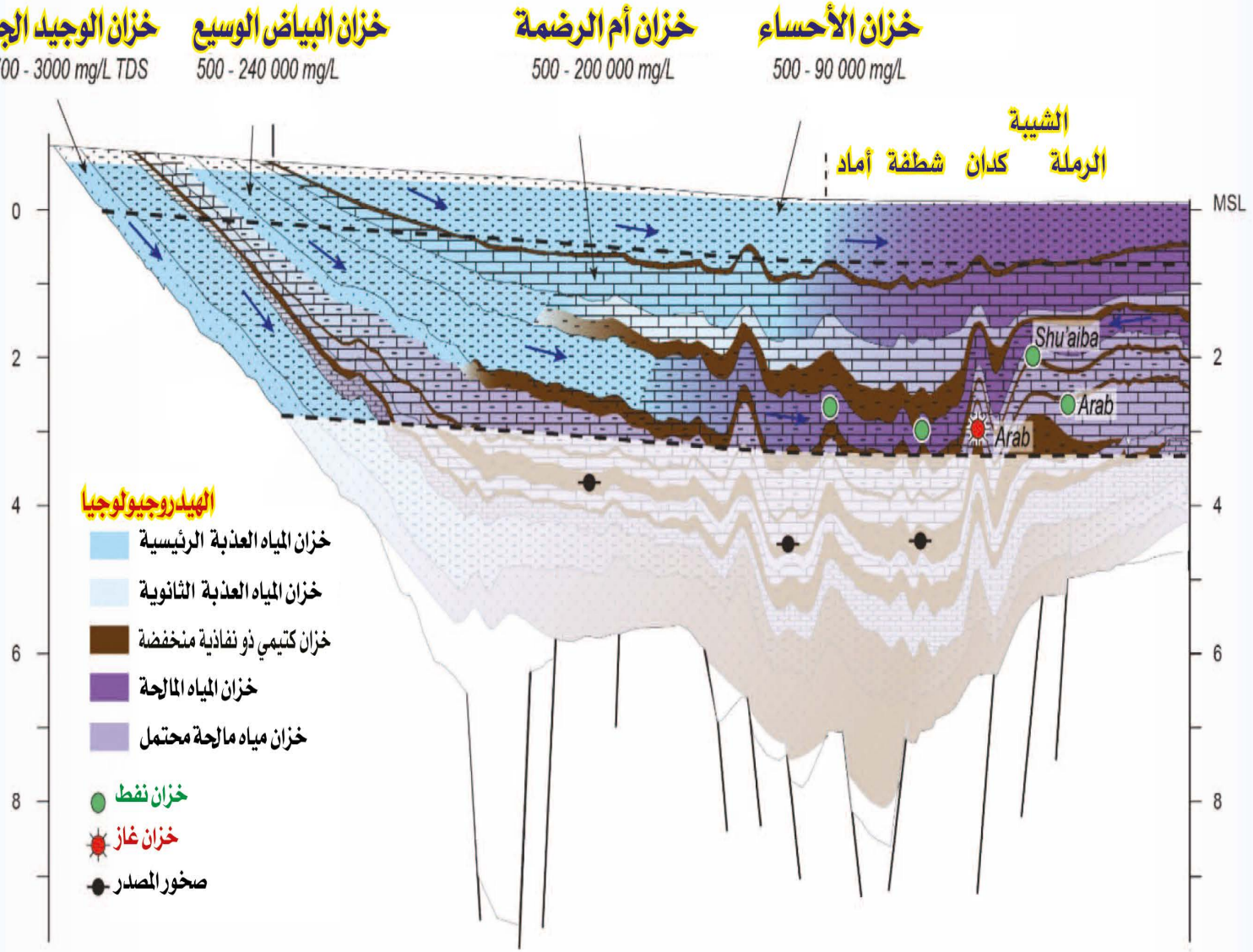
طبقة سكاكا
مقياس الرسم ١: ٥٫٠٠٠٫٠٠٠
٤٠٠ كيلومتر ٢٠٠ ٠
٤٠٠ ميل ٢٠٠ ١٠٠ ٠
القريات
رفحه
تبوك
القيصومه
حائل
بريده
الظهران
المدينة المنورة
ينبع
الرياض
يبرين
جده
الطائف
السليل
بيشه
شروره
جيزان
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة تحت السطح
الخطوط الكنتورية لمستويات الماء ـ توضح ارتفاع منسوب مستوى الماء التقريبي في الآبار المغلفة في عام ١٣٩٨ هـ. المسافة بين الخطوط الكنتورية ٣٠٠ متر، جميع القياسات منسوبة لمستوى سطح البحر.
(أطلس مياه المملكة 1984م)

طبقة الخف
مقياس الرسم ١: ٥٠٠ر٠٠٠ر٥
٤٠٠ كيلومتر ٢٠٠
٤٠٠ ميل ٢٠٠ ١٠٠
القريات
رفحه
تبوك
القيصومه
حائل
بريده
الظهران
المدينة المنورة
ينبع
الرياض
يبرين
جده
الطائف
السليل
بيشه
شروره
جيزان
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة
(أطلس مياه المملكة 1984م)

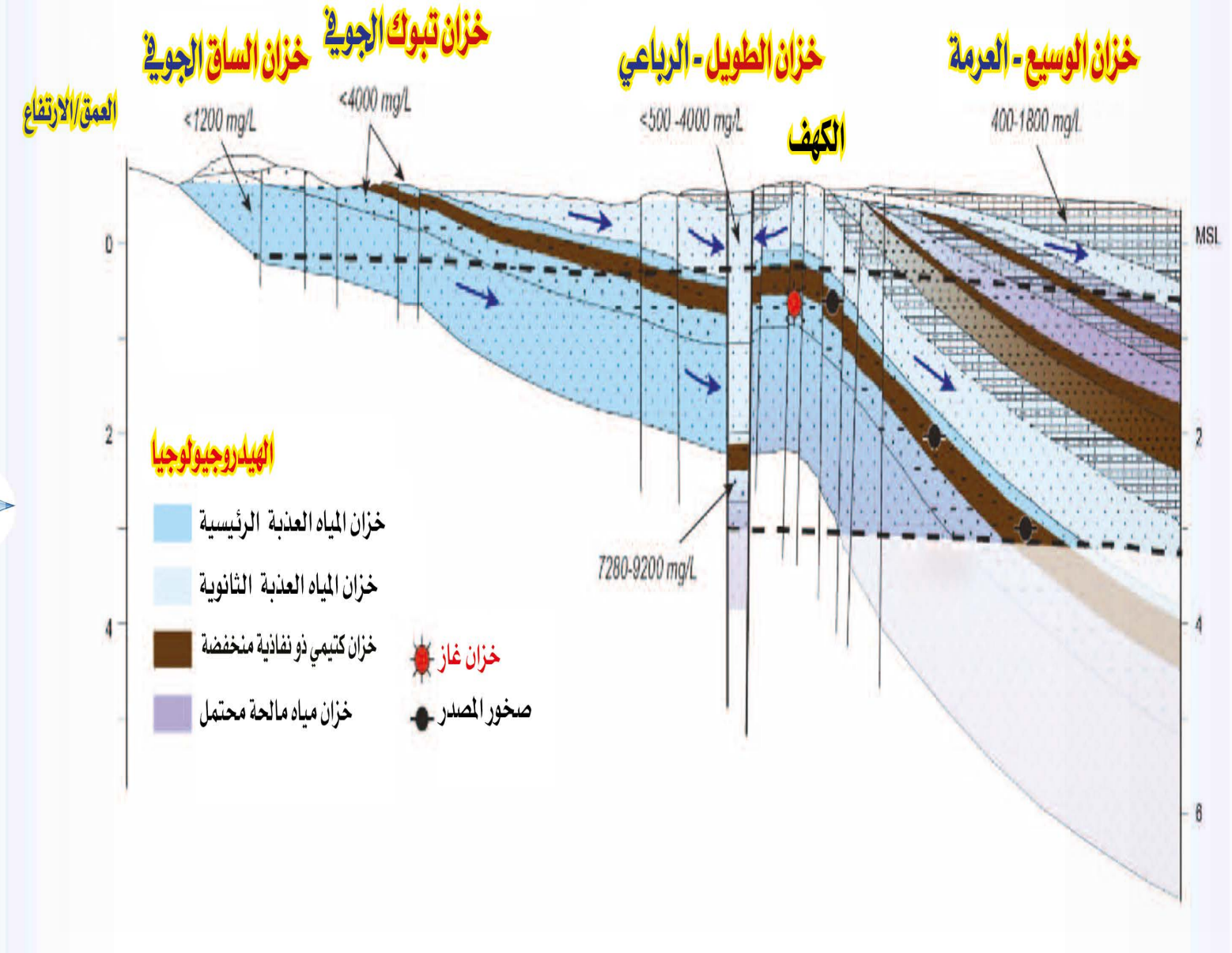
طبقة الجله
مقياس الرسم ١: ٠٠٠ر٠٠٠ر٥
٤٠٠ كيلومتر ٢٠٠
٤٠٠ ميل ١٠٠ ٢٠٠
القريات
رفحه
تبوك
القيصومه
حائل
بريده
الظهران
المدينة المنورة
الرياض
ينبع
يبرين
جده
الطائف
السليل
بيشه
شروره
جيزان
إيضاحات
الامتداد التقريبي للطبقة تحت السطح
منكشف الطبقة
(أطلس مياه المملكة 1984م)



التفسير الهيدروجيولوجي للمقطع العرضي موضحا خزانات المياه الجوفية الرئيسية والثانوية، والخزانات المائية الكتيمة منخفضة النفاذية ، ، وخزانات المياه المالحة، وملوحة المياه، وخزانات المواد الهيدروكربونية، وصخور المصدر. (تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye واخرون 2023).



تفسير هيدروجيولوجي للمقطع العرضي موضحا خزانات المياه الجوفية الرئيسية والثانوية، والخزانات المائية الكتيمة منخفضة النفاذية، وخزانات المياه المالحة، وملوحة المياه، وخزانات الهيدروكربون وصخور المصدر. (تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye واخرون 2023).



تفسيرهيدروجيولوجي للمقطع العرضي يوضح خزانات المياه الجوفية الرئيسية والثانوية، والخزانات المائية الكتيمة منخفضة النفاذية، وخزانات المياه المالحة، وملوحة المياه، وخزانات الهيدروكربون وصخور المصدر. (تم تعديلها وترجمتها بعد J. Ye واخرون 2023).

تحديـــات ومشـــاكل الميـــاه في المملكـــة

إن تحدى ندرة المياه هو أهم التحديات التي تواجه المملكة حالياً ومستقبليا، خاصة مع التغيرات المناخية المتطرفة وتزايد السكان، وهذا التحدي يلزم معه استحداث استراتيجيات متكاملة قادرة على معالجة مشكلة ندرة المياه بشكل فعال لتلبية الطلب المتزايد باستمرار، وترشيد استهلاكنا الحالي. ففي حين أن أكثر من 99 % من المواطنين يحصلون على المياه الصالحة للشرب، تصنف السعودية على أنها واحدة من أكثر الدول التي تعاني من ندرة المياه في العالم، ومن الجدير بالذكر أن مستوى ندرة المياه المطلقة يبلغ 500 متر مكعب للفرد في السنة، والسعودية يبلغ لديها نصيب الفرد في السنة 89.5 متر مكعب، وفقاً لموقع (Fanack Water).

هناك تحديات مائية كبيرة نظراً للاستخدام غير المستدام لموارد المياه، فضلاً عن محدودية مخزون المياه الجوفية غير المتجددة، التي تشهد استنزافاً متسارعاً، وفي ظل الظروف المناخية القاحلة، تعد المياه المتجددة نادرة، علماً بأن الطلب المرتفع على المياه في القطاع الزراعي يفاقم من مشكلة ندرة المياه في السعودية. كما تمثل المياه وخدمات الصرف الصحي في القطاع الحضري تكلفة مرتفعة على الدولة. حيث تستهلك الأعلاف وحدها 67 % من متطلبات المياه في القطاع الزراعي، بينما تبلغ كفاءة الري 50 % في الوقت الحالي مقارنة مع ما يزيد عن 75 % وفقاً لأفضل الممارسات.

◆ الاستخدام غير الفعال للمياه

تمتلك المملكة العربية السعودية ثالث أعلى معدل استهلاك للفرد من المياه العذبة في العالم. لقد أدت برامج التنمية الزراعية المكثفة إلى استنفاد المياه الجوفية غير المتجددة تقريباً وخفضت جودة المياه. يمثل الاستهلاك الزراعي ما يقرب من 72 % من إجمالي استهلاك المياه.

◆ التكاليف المرتبطة بالاعتماد على تحلية المياه

قد اعتمدت المملكة العربية السعودية على المياه المحلاة منذ الخمسينيات وأصبحت المنتج الرائد للمياه المحلاة في العالم. إن لتحلية المياه تأثير بيئي كبير، بما في ذلك الأضرار التي تلحق بالبيئة البحرية بسبب تصريف المحلول الملحي والمواد الكيميائية الأخرى في البحر وكذلك تلوث الهواء بسبب ارتفاع نسب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والغازات الضارة الأخرى.

◆ الفاقد المائي

يُشكل الفاقد المائي في الشبكات أحد اهم تحديات المياه في السعودية. تضع خسائر المياه المقدرة المملكة في مستوى أقل بكثير من أفضل الممارسات الدولية. يتراوح الفاقد المائي بين 25-40 % في المدن الرئيسية.

◆ التلوث بمياه الصرف الصحي

يعتبر تصريف مياه الصرف الصحي غير المعالجة من المشاكل البيئية الرئيسية التي تواجه المملكة، ذلك أن السعة الحالية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي غير كافية.

◆ الافتقار إلى تطوير السياسات والتخطيط وإدارة الموارد المائية

هناك ازدواجية واضحة في وضع السياسات والتخطيط، إلى جانب الافتقار إلى التنسيق بين الفاعلين الرئيسيين والقطاعات الرئيسية. لا توجد خطة شاملة للقطاع الصناعي، مثل تلك الموضوعة لاستهلاك المياه في القطاعات الزراعية والحضرية. بالإضافة إلى ذلك، فإن هناك حاجة ملحة لاعتماد نهج متكامل لإدارة الموارد المائية لتحديد الموارد المثلى المطلوبة لتلبية الطلب المتزايد.

◆ مشاركة القطاع الخاص

تعتبر مشاركة القطاع الخاص في قطاع المياه محدودة. بالإضافة إلى ذلك، يقتصر دور القطاع الخاص في إنتاج المياه المحلاة على محطات الإنتاج المستقلة.

أدى استخدام المياه الجوفية لري المحاصيل ابتداء من السبعينيات إلى استنفاد طبقات المياه الجوفية في المملكة تقريبًا ووضع البلاد على مسار غير مستدام فيما يتعلق بمعدل تجديد مواردها المائية الطبيعية. وقد أدى ذلك إلى قيام المملكة بإنهاء الدعم في عام 2016م للمحاصيل كثيفة الاستهلاك للمياه من أجل تثبيط استخدام المياه الزراعية.

تستورد المملكة الآن معظم غذائها وأوقفت الإنتاج الزراعي للقمح والحبوب الأخرى بشكل كامل. ومع ذلك، تحول القطاع الزراعي إلى محاصيل أخرى كثيفة الاستخدام للمياه، مما يعني أن القطاع الزراعي لا يزال يمثل نحو 83 % من استهلاك المياه في البلاد، حيث تستخدم الصناعة 4 % ويمثل السكن/المنزلي الباقي.

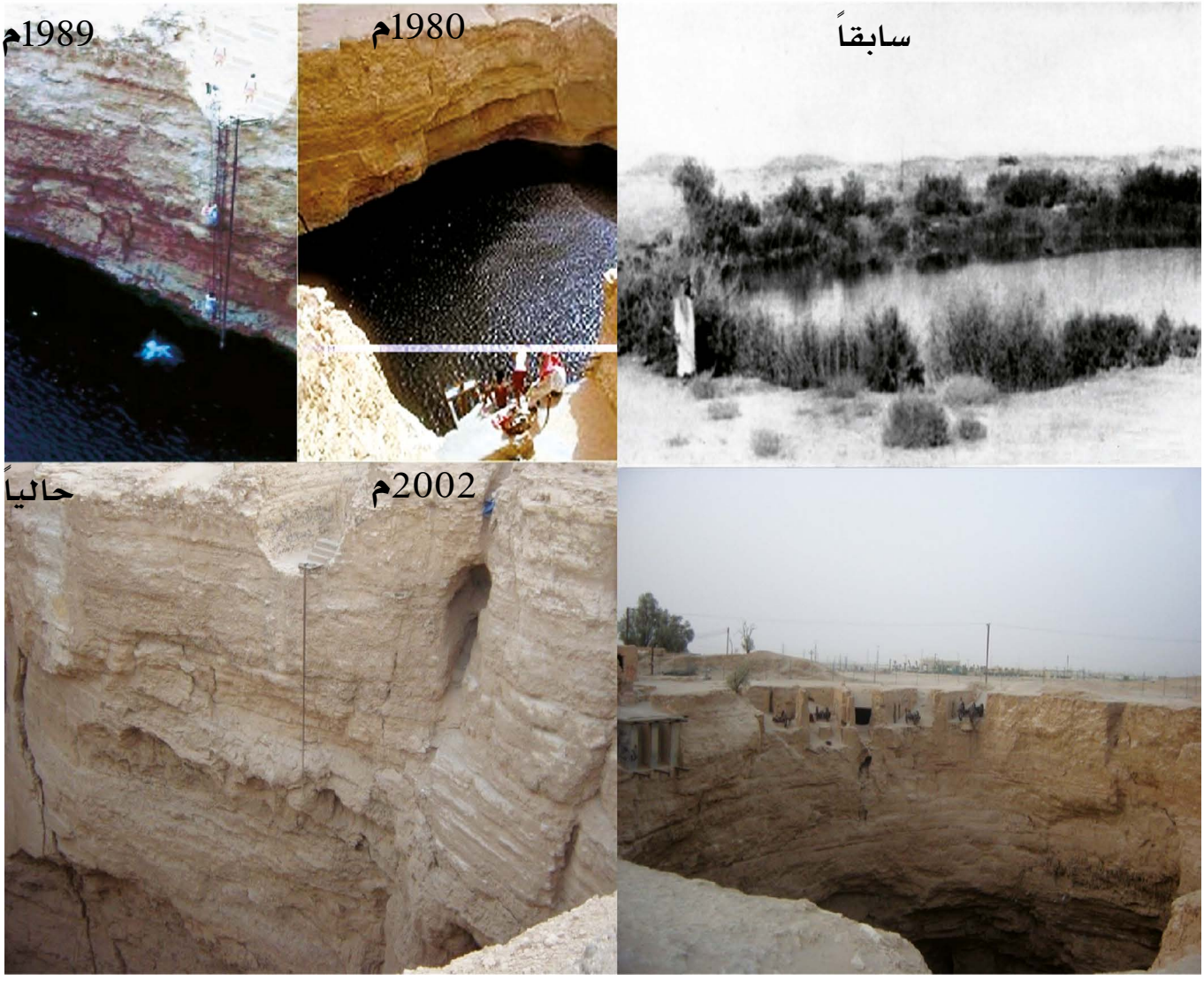
تتمثل مشاكل المياه في المملكة في الندرة النسبية والتلوث ونقل البطحاء والرمال من بطون الأودية، وحفر الآبار العشوائية، واستعمال أساليب الري غير المناسبة، إضافة إلى زيادة الطلب على المياه نتيجة التوسع في الاستخدام الزراعي والصناعي، مما أدى إلى خلل واضح بين الطلب على المياه والكميات المتاحة من المياه السطحية والجوفية ومياه التحلية ومياه الصرف الصحي المعالجة، الأمر الذي أدى زيادة السحب من المخزون المائي الاستراتيجي، ويعزى السبب في ذلك إلى أن القطاع الزراعي هو أكبر القطاعات استهلاكاً للمياه الجوفية.

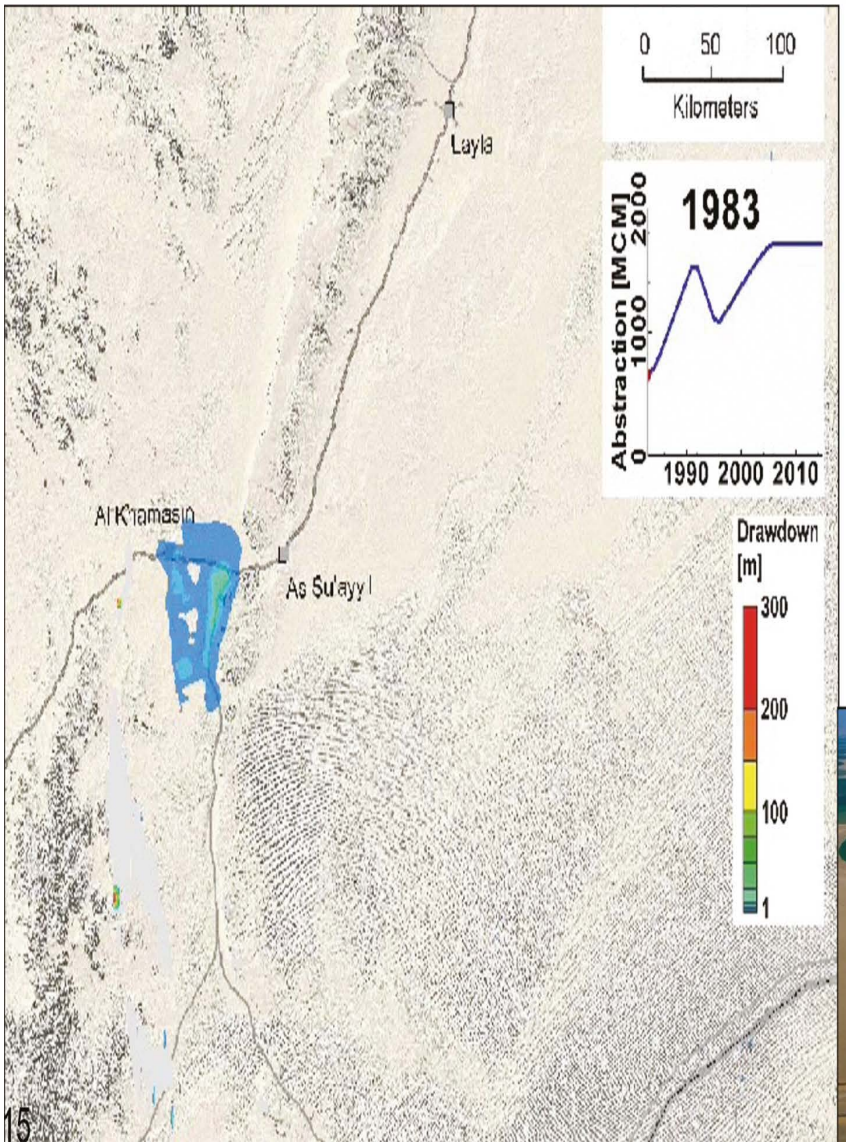
قبل عام 1400هـ
1400هـ

فيلبي 1919م

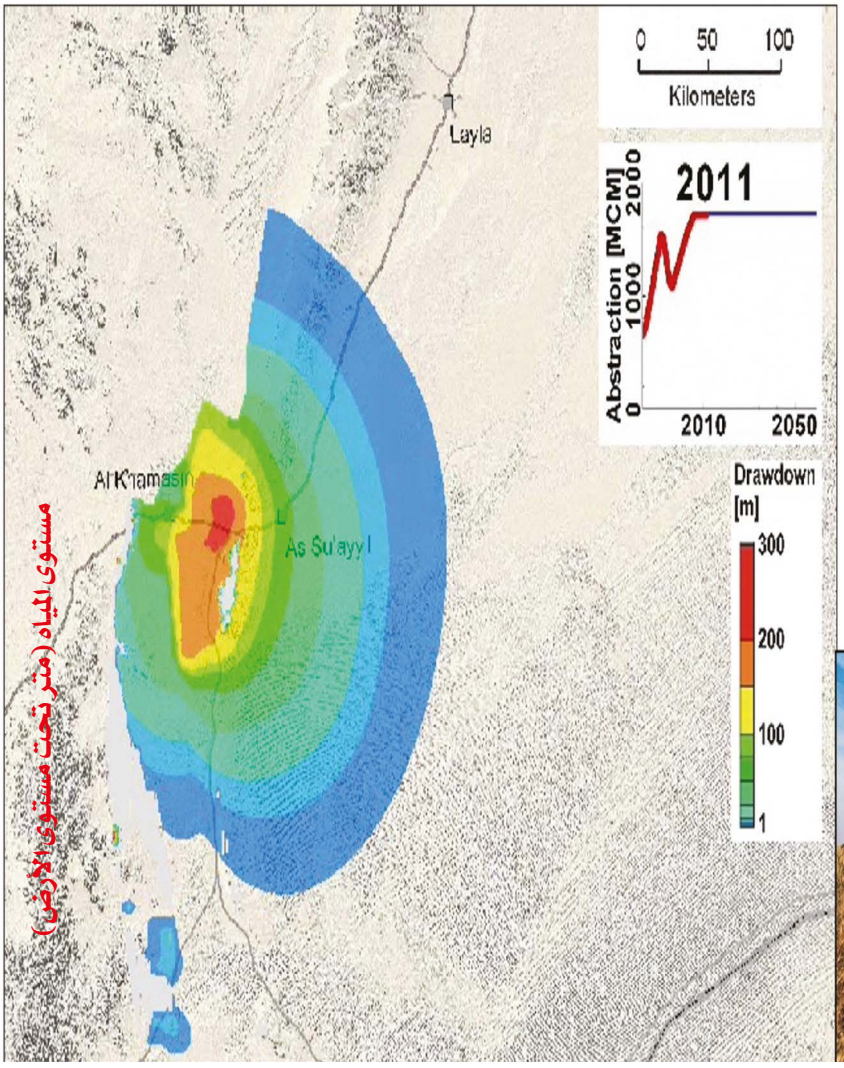
حاليا

حالياً


1989م
1980م
سابقاً
2002م
حالياً

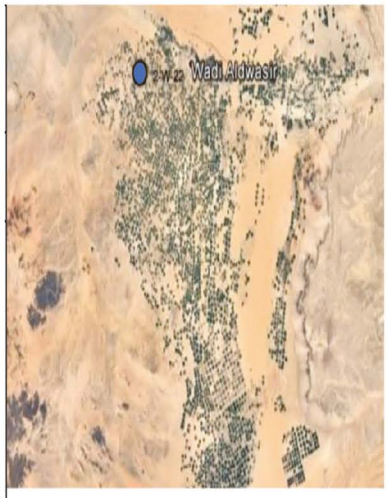


انخفاض منسوب المياه خلال الفترة
2010 - 1983
حيث بلغت كمية المياه
المستخرجة خلالها
38 بليون متر مكعب
مما أدى إلى تكون مخروط
سحب كبير في الطبقة العلوية
لمتكون الوجيد بقطر
150 كيلومتر

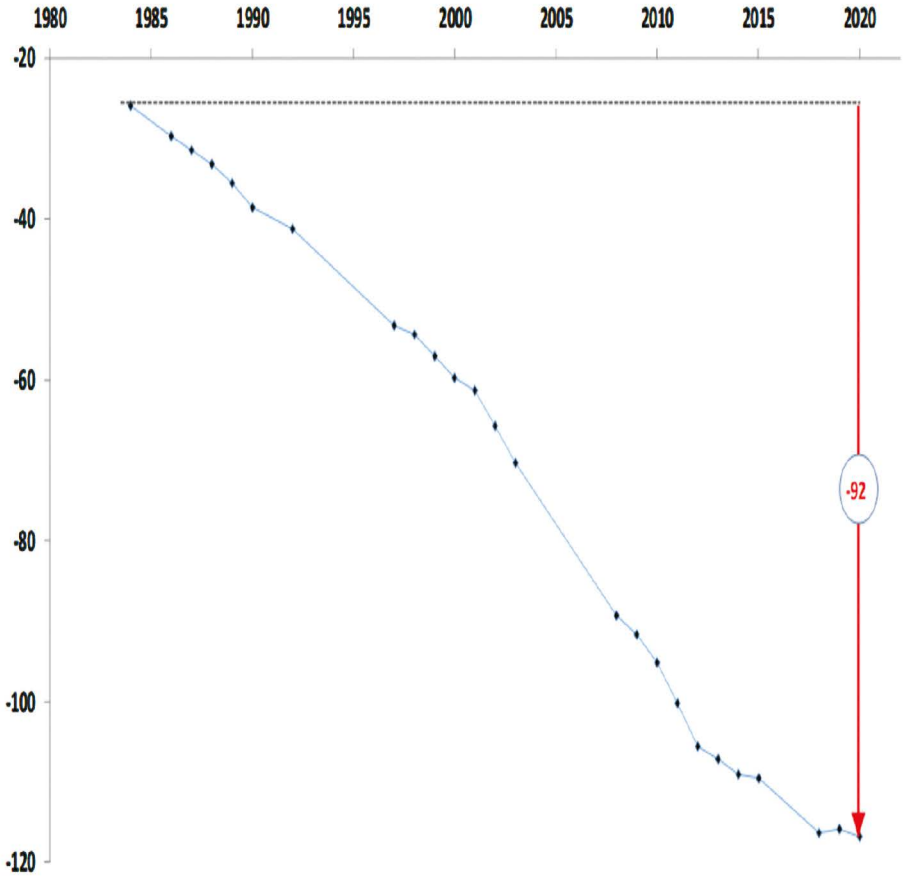


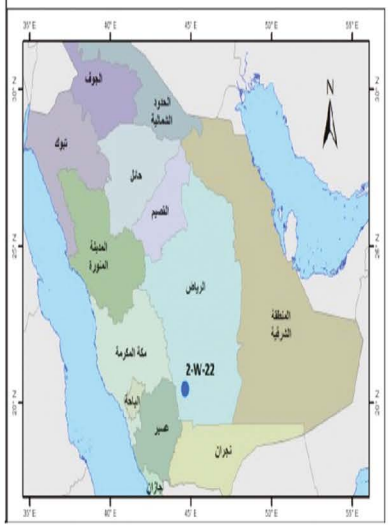
نضـــوب المياه في بعض المواقع مع استمرار استنزاف المياه الجوفية

رقم البئر	المنطقة	الطبقة المائية	ارتفاع البئر (م)	عمق البئر (م)	الهبوط الكلي (م)	الهبوط السنوي (م/السنة)	فترة المراقبة
2-W-22	وادي الدواسر	الوجيد	718	137	92	2.5	1983 - 2020

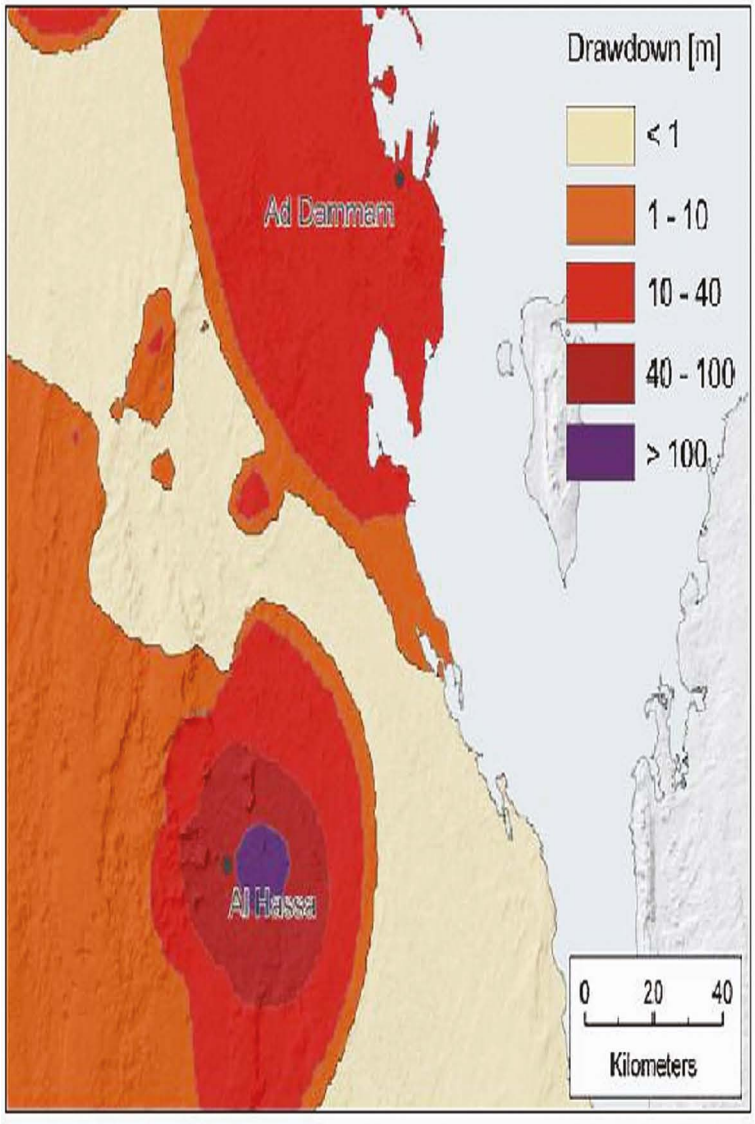


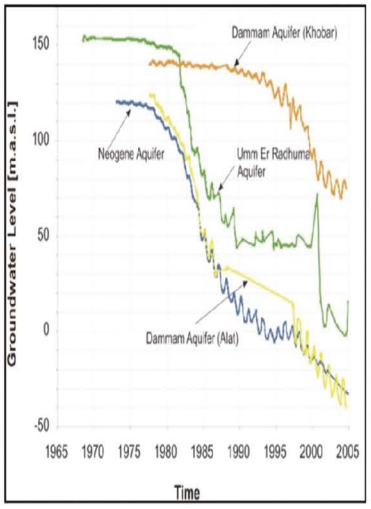
• موقع بئر المراقبة

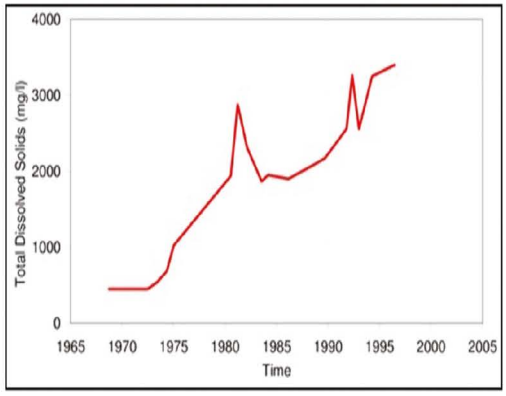




مثال متكون أم رضمة في الأحساء







تكون مخروط انخفاض نتيجة السحب الجائر للمياه في محافظة الأحساء بقطر يصل إلى (100) كيلومتر

المراجـــع

المراجـــع العربيـــــة

أبـو العينيـــــن، حسـن سـيد أحمـد، 1979، أصـول الجيومورفولوجيـا دراسـة الأشـكال التضاريسـية لسـطح الأرض، الطبعـة الخامسـة، دار النهضـة العربيـة للطباعـة والنشـر، بيـروت، لبنـان.

أبـو ســـــعد الآبـي، منصـور بـن الحسـين الـرازي، نثـر الـدر في المحاضـرات، ج6، تحقيـق: خالـد عبـد الغنـي محفـوظ، دار الكتـب العلميـة، بيـروت، 2004م.

إســـــماعيل، علي والمهندس أحمد (1427هـ) المياه في القران الكريم (الدلالات العلمية). مكتبة التوبة، الرياض.

اطلـــس المياه (1984). وزارة الزراعة والمياه- المملكة العربية السعودية- الرياض – 111 صفحة.

آل ســـــعود، مشـاعل، (1436هـ)، الخصائـص اليومورفلوجيـة في الأحـواض والإوديـة المائيـة في منطقـة الريـاض. الهيئـة العليـا لتطويـر مدينـة الريـاض.

الحـــــواس، عسـاف علـي (1427 هـ). المـاء في النظـام الإيكولوجـي. جامعـة الملـك سـعود، 273 صفحـة.

الأحيـــــدب، إبراهيـم بـن سـليمان بـن حسـن، المدخـل إلـى الطقـس والمنـاخ والجغرافيـا المناخيـة، ط1، الريـاض، 2004م.

الوليعـــي عبدالله (1996م) جيولوجية وجيومورفولوجية المملكة العربية السعودية : أشكال سطح الأرض، مكتبة الرشد، الرياض.

الراشـــــد، محمد أحمد،1438، موسوعة أسماء مجاري السيول في المملكة العربية السعودية الموضحة على خرائط ذات مقياس الرسم 1:50000، الطبعة الأولى، الرياض، المملكة العربية السعودية.

المراجـــع

القايـــــــدي، عمـر اللافوزا، بوروبـة، محمـد فضيـل، الدوسـري، علـي عبـد اللّه، مـلا، وليـد أمـين، الحميـزي، عبـد اللّه عبـد الرحمـن، 1434، النمذجـة الهيدرولوجيـة لـدرء الأضـرار الناجمـة عـن الأمطـار ومخاطـر السـيول في المملكـة العربيـة السـعودية، بحـث رقـم 320-30، التقريـر الفنـي النهائـي، مدينـة الملـك عبـد العزيـز للعلـوم والتقنيـة، الريـاض، المملكـة العربيـة السـعودية.

بوروبـــــــة، محمـد فضيـل،2018، كتـاب تمارين محلولـة في الجيومورفولوجيا، الجمعية الجغرافية السـعودية، جامعـة الملـك سـعود، الريـاض، المملكة العربية السـعودية.

خلـــــــف، أحمد بهجت. محاضرات مادة الهيدرولوجيا والموارد المائية. جامعة ديالي، العراق.

كيلـــــــــر، إدوارد، 1433 هـ. الجيولوجيا البيئية. مكتبة العبيكان, 596 صفحة.

محمـــــــد، صباح محمود، الطقس والمناخ، الموسوعة الصغيرة (89)، دار الجاحظ، بغداد، (د. ت).

مشـــــــرف، محمـد عبـد الغنـي، 2013، المعجـم الجيولوجـي المصـور إنجليـزي – عربـي، الطبعـة الأولـى، هيئـة المسـاحة الجيولوجيـة السـعودية، جـدة، المملكـة العربيـة السـعودية.

منديـــــــل، محمـد أمـين، المـاء (مصـادره وخصائصـه ومواصفاتـه). جمعيـة علـوم وتقنيـة الميـاه. البحريـن وزارة الميـاه والكهربـاء، 1433، السـدود في المملكـة العربيـة السـعودية، وكالـة الـوزارة الشـؤون الميـاه، إدارة تنفيـذ المشـروعات، الريـاض، المملكـة العربيـة السـعودية.

المراجـــع الأجنبيـــة

Allaby, Michael, (2009), Atmosphere: a scientific history of air, weather, and climate, Facts On File, Inc. New York.

Bachelet calls for urgent action to realize human right to healthy environment following recognition by UN General Assembly". OHCHR. Retrieved 2022-08-11 – via Press Release.

Bachelet Calls For Urgent Action To Realize Human Right To Healthy Environment Following Recognition By UNGA". www.scoop.co.nz. July 29, 2022. Retrieved 2022-08-11.

Behzadian, k; Kapelan, Z (2015). "Advantages of integrated and sustainability based assessment for metabolism based strategic planning of urban water systems" (PDF). Science of the Total Environment.

Brady, N., and Weil, R. 2010. "Nutrient cycles and soil fertility," in Elements of the Nature and Properties of Soils, 3rd Edn, ed V. R. Anthony (Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.), 396-420.

Britannica Online. "Lake (physical feature)". Archived from the original on 2008-06-11. Retrieved 2008-06-25. [a Lake is] any relatively large body of slowly moving or standing water that occupies an inland basin of appreciable size. Definitions that precisely distinguish lakes, ponds, swamps, and even rivers and other bodies of nonoceanic water are not established. It may be said, however, that rivers and streams are relatively fast-moving; marshes and swamps contain relatively large quantities of grasses, trees, or shrubs; and ponds are relatively small in comparison to lakes. Geologically defined, lakes are temporary bodies of water.

Britto, D. T., and Kronzuker, H. J. 2002. NH4+ toxicity in higher plants: a critical review. J. Plant Physiol. 159:567-84. doi: 10.1078/0176-1617-0774

Chester, Jickells, Roy, Tim (2012). Marine Geochemistry. Blackwell Publishing.

Climate Change". sites.google.com. Archived from the original on 2023-02-17. Retrieved 2019-01-08.

Cowie, Jonathan, (2007), Climate change: Biological and Human Aspects, Cambridge University Press, Cambridge.

Dictionary.com definition". Archived from the original on 2008-06-17. Retrieved 2008-06-25. a body of fresh or salt water of considerable size, surrounded by land.

Distribution of land and water on the planet Archived May 31, 2008, at the Wayback Machine". UN Atlas of the Oceans Archived September 15, 2008, at the Wayback Machine

Duttle, Marsha (January 1990). "NM State greywater advice". New Mexico State University. Archived from the original on 13 February 2010.

Earth Trends (2003). "Biodiversity and Protected Areas-- Tanzania" (PDF). Earth Trends Country Profiles. Vrije Universiteit Brussel. Archived from the original (PDF) on 3 May 2019. Retrieved 10 July 2012.

Earth's Spheres Archived 2007-08-31 at the Wayback Machine. Wheeling Jesuit University/ NASA Classroom of the Future. Retrieved November 11, 2007.

Environmental Law Institute, (2003), Reporting on Climate Change: Understanding the Science, 3Ed, Washington D.C.,

Environmental-protection dictionary definition | environmental-protection defined". yourdictionary.com. Retrieved 21 November 2018.

Forthofer, Ron. "It's Time To Act On Global Warming". Boulder Daily Camera. Archived from the original on 2013-06-16. Retrieved 2013-10-28.

Foth, H. 1990. Chapter 12: "Plant-Soil Macronutrient Relations," in Fundamentals of Soil Science, 8th Edn, ed John Wiley and Sons (New York, NY: John Wiley Company), 186-209.

Franklin J. Agardy & Nelson Leonard Nemerow , Environmental Solutions, Elsevier Science & Technology Books, 2005.

Glasbergen P. and A. Blowers, Butterworth-Heinemann, Perspective, environmental problems, An imprint of Elsevier Science, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 1995.

Goldstein, G., Legal System and Wildlife Conservation: History and the Law's Effect on Indigenous People and Community Conservation in Tanzania, The. Georgetown International Environmental Law Review, 2005. Georgetown University Law Center (Spring).

Goudie, Andrew (2000). The Human Impact on the Natural Environment. Cambridge, Massachusetts: This MIT Press. pp. 203–239. ISBN 0-262-57138-2.

Gross, Amit; Maimon, Adi; Alfiya, Yuval; Friedler, Eran (2015-03-26). Greywater Reuse. CRC Press.

Haddad, S., Zhang, W., Paolini, R. et al. Quantifying the energy impact of heat mitigation technologies at the urban scale. Nat Cities 1, 62–72 (2024). https://doi.org/10.1038/s44284-023-00005-5

Hard water". National Groundwater Association. Retrieved 28 June 2019.

Harding, R., Ecologically sustainable development: origins, implementation and challenges. Desalination, 2006. 187(1-3)

Huq, A; et al. (July 1996). "A simple filtration method to remove plankton-associated Vibrio cholerae in raw water supplies in developing countries". Applied and Environmental Microbiology.

Ingrid, & Kurt Bucher, (2013), Geothermal Energy, Stober, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Iriss Borowy, "Before UNEP: who was in charge of the global environment? The struggle for institutional responsibility 1968–72." Journal of Global History 14.1 (2019).

Jacobson, Mark Z., (2012), Air Pollution and Global Warming, 2ed, Cambridge University Press, Cambridge.

Jas, G. Wood, (1894), Theophrastus of Eresus on Winds and on Weather Signs, Forgotten Books, London.

Jessica Andersson; Daniel Slunge (16 June 2005). "Tanzania – Environmental Policy Brief" (PDF). Development Partners Group Tanzania. Archived from the original (PDF) on 10 July 2012. Retrieved 10 July 2012.

Jing Ye, Abdulkader Afifi, Feras Rowaihy, Guillaume Baby, Arlette De Santiago, Alexandros Tasianas, Ali Hamieh, Aytaj Khodayeva, Mohammed Al-Juaied, Timothy A. Meckel, Hussein Hoteit (2023). Evaluation of geological CO2 storage potential in Saudi Arabian sedimentary basins. Earth-Science Reviews 244 (2023) 104539.

Joe Buchdahl. «Atmosphere, Climate & Environment Information Programme». Ace.mmu.ac.uk. Archived from the original on 2010-10-09. Retrieved 2013-03-09.

Johnson, D. L.; Ambrose, S. H.; Bassett, T. J.; Bowen, M. L.; Crummey, D. E.; Isaacson, J. S.; Johnson, D. N.; Lamb, P.; Saul, M.; Winter-Nelson, A. E. (1997). "Meanings of Environmental Terms". Journal of Environmental Quality. 26 (3): 581–589. Bibcode:1997JEnvQ..26..581J. doi:10.2134/jeq1997.00472425002600030002x.

Julie, Kerr Casper, (2010), Changing Ecosystems: Effects of Global Warming, Facts On File, Inc., New York.

Julie, Kerr Casper, (2010), Global Warming Cycles: Ice Ages and Glacial Retreat, Facts On File, Inc., New York,

Julie, Kerr Casper, (2010), Greenhouse Gases: Worldwide Impacts, Facts On File, Inc., New York.

Karamanos, P., Voluntary Environmental Agreements: Evolution and Definition of a New Environmental Policy Approach. Journal of Environmental Planning and Management, 2001. 44(1)

Kaushik, Anubha & C.P. Kaushik (2010), basics-of-environment-and-ecology, New Age International (P) Ltd., New Delhi.

Klaassen, K.; Bormann, H.; Klenke, T.; Liebezeit, G. (2008). "The impact of hydrodynamics and texture on the infiltration of rain and marine waters into sand bank island sediments — Aspects of infiltration and groundwater dynamics". Senckenbergiana Maritima. Springer Science and Business Media LLC.

المراجـــع

Kozisek F. (1980). "Health risks from drinking demineralised water" (PDF). Nutrients in Drinking Water. World Health Organization.

Kumar, Ashwani, & Shinjiro Ogita & Yuan-Yeu Yau Editors, (2018), Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation, Springer (India) Pvt. Ltd.

Mahmud Hassan (2021), "Surface Water: An Overview", study.

Maslin, Mark, (2004), Global Warming: A Very Short Introduction, Oxford University Press, Oxford,

Maslin, Mark, (2014), Climate Change: A Very Short Introduction, Oxford University Press, 3ed., Oxford.

May, Elizabeth, & Zoë Caron, (2009), Global Warming For Dummies, John Wiley & Sons Canada, Ltd., Mississauga.

Mesosphere- an overview | ScienceDirect Topics". www.sciencedirect.com. Retrieved 2023-07-25.

Mesosphere | NASA Space Place – NASA Science for Kids". spaceplace.nasa.gov. Retrieved (2023).

Metz, Bert et al., (2005), Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, New York.

Michiel, Roscam Abbing , Plastic Soup: An Atlas of Ocean Pollution, Translation, Uitgeverij Lias BV, Translation by Tessera Translations Design by Nico Richter, Island Press, 2019.

Mitchell, R.B., International Environmental Agreements: A Survey of Their Features, Formation, and Effects. Annual Review of Environment and Resources, 2003.

Mohan K. Wali, Fatih Evrendilek, M. Siobhan Fennessy, The Environment: science, issues, and solutions , CRC Press is an imprint of Taylor & Francis, 2010.

National Academy of Sciences, (2010), Adapting to the Impacts of Climate Change, Washington DC.

Neves, Gustavo Zen de Figueiredo & Gallardo, Nuria Pérez & Vecchia, Francisco Arthur da Silva, (2003), A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology, Climate 2017, 5, 23; doi:10.3390/cli5010023.Taub, Liba, Ancient Meteorology, Routledge, London.

NGDC – NOAA. "Volcanic Lightning". National Geophysical Data Center – NOAA. Archived from the original on December 25, 2007. Retrieved September 21, 2007.

Ouahiba, Boumaza, (2017), Recherche et Détermination Structurale des Métabolites Secondaires de Genista tricuspidata (Fabaceae), et Haloxylon scoparium (Chenopodiaceae), Université Mentouri - Constantine.

Page Jaffna | Srilanka's Top Tamil Online News Paper". Archived from the original on 2012-07-14. Retrieved 2012-07-15.". The Columbia Encyclopedia. 2002. New York: Columbia University Press

Pallangyo, D.M. (2007). "Environmental Law in Tanzania; How Far Have We Gone?".LEAD: Law, Environment & Development Journal 3 (1).

Perth W.A. (2016) What is Raw Water?. Vintage Road Haulage.

River {definition} Archived 2010-02-21 at the Wayback Machine from Merriam-Webster. Accessed February 2010.

Steffen et al., 2004. Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. International Geosphere Biosphere Programme Series.

Stumm, W, Morgan, J. J. (1981) Aquatic Chemistry, An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. John Wiley & Sons.

Surface Water", education. National geographic, Retrieved 27/7/2022. Edited.

Sylte, Gudrun Urd (24 May 2010). "Den aller kaldaste havstraumen". forskning.no (in Norwegian). Archived from the original on 6 March 2012. Retrieved 24 May 2010.

Symons, Donald (1979). The Evolution of Human Sexuality. New York: Oxford University Press. p. 31. ISBN 0-19-502535-0.

Tanzania Government. "Environment Tanzania". Tanzania Government. Retrieved 20 September 2011.

Taub, Liba, (2003), Ancient Meteorology, Routledge, London.

Tchobanoglous, George; Burton, Franklin L.; Stensel, H. David; Metcalf & Eddy (2003). Wastewater engineering : treatment and reuse (4th ed.). Boston: McGraw-Hill.

The California Institute of Public Affairs (CIPA) (August 2001). "An ecosystem approach to natural resource conservation in California". CIPA Publication No. 106. InterEnvironment Institute. Archived from the original on 2 April 2012. Retrieved 10 July 2012.

The right to a clean and healthy environment: 6 things you need to know". UN News. 15 October 2021. Retrieved 15 October 2021.

Thermosphere - an overview | ScienceDirect Topics". www.sciencedirect.com. Retrieved 2023-07-25.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Zurbrügg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies (2nd Revised ed.). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Duebendorf, Switzerland.

Tilley, Elizabeth; Ulrich, Lukas; Lüthi, Christoph; Reymond, Philippe; Zurbrügg, Chris (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies (2nd ed.). Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).

Tolksdorf, J.: Cornel, P. (2017-05-19). "Separating grey- and blackwater in urban water cycles – sensible in the view of misconnections?". Water Science and Technology.

Tyler G. Miller & Scott Spoolman, Thomson Higher Education Environmental Science Problems, Concepts, and Solutions, 12 ed, Belmont, 2008.

Tyler Miller & Scott Spoolman , Living in the Environment, 17 ed, G., Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, 2012.

U.S. Office of Naval Research Ocean, Water: Temperature". Archived from the original on 12 December 2007.

United Nations Environment Programme, (2008), Africa- Atlas of our Changing Environment (Malestrom), Nairobi.

United Nations Framework Convention on Climate Change Archived 2018-02-01 at the Wayback Machine Retrieved August 2008.

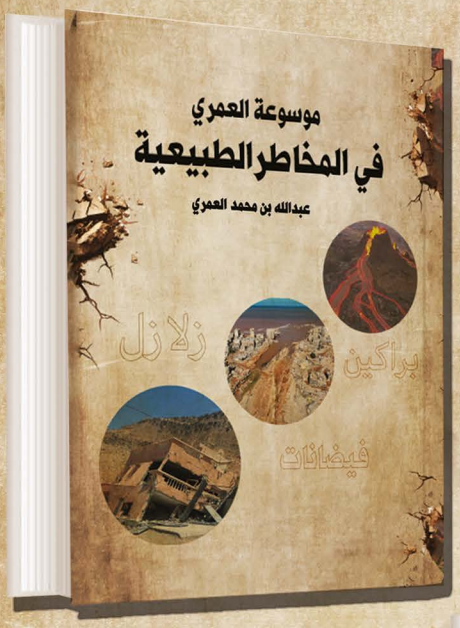
Wali, Mohan K., & Fatih Evrendilek, & M. Siobhan Fennessy, (2010), The Environment: science, issues, and solutions, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis.

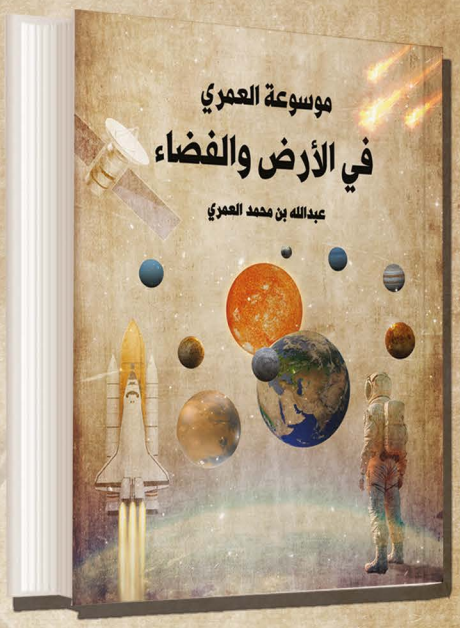
Walton International – Home. Watersystems.walton.com. 2010-11-05. Archived from the original on 2014-09-04.

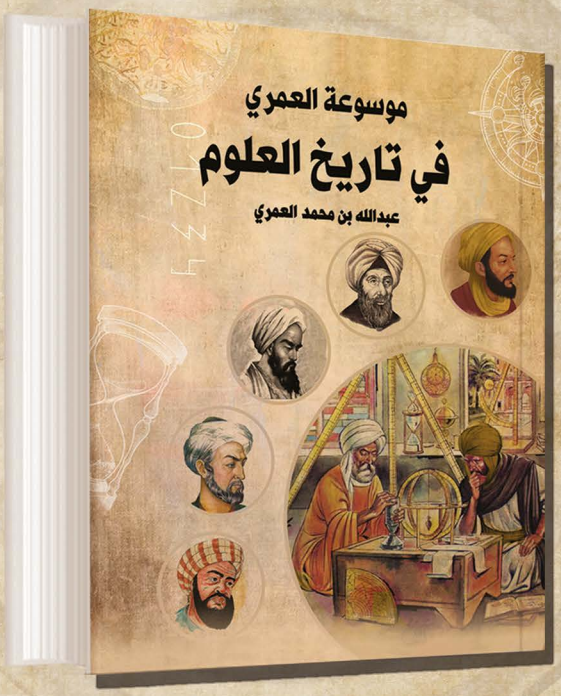
Weathers, K. C., Groffman, P. M., Dolah, E. V., Bernhardt, E., Grimm, N. B., McMahon, K., et al. 2016. Frontiers in ecosystem ecology from a community perspective: the future is boundless and bright. Ecosystems 19:753-70. doi: 10.1007/s10021-016-9967-0

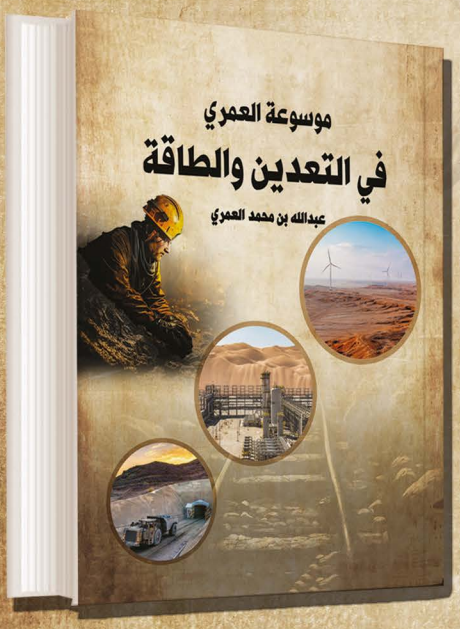
What is brackish water and what effect does a high concentration of ammonia have?". The Laboratory People. 15 June 2012. Retrieved 21 November 2020.

تم بحمد الله







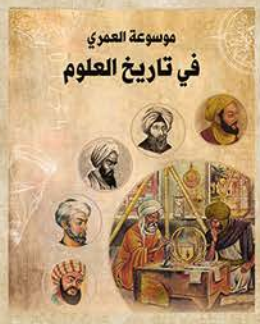


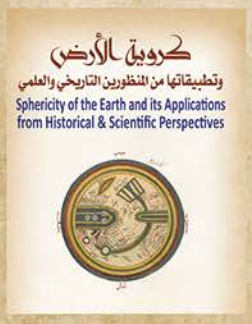
www.alamrigeo.com

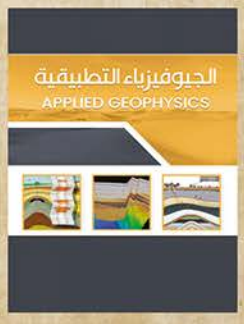
موسوعة البيئة والمياه
Encyclopedia of Environment & Water

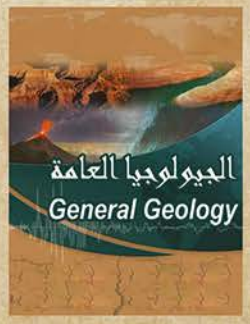
يتمتع الأستاذ الدكتور عبدالله بن محمد العمري بمسيرة علمية حافلة امتدت لأكثر من خمسة وثلاثين عامًا، حيث شغل منصب أستاذ علم الزلازل ورئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء في جامعة الملك سعود بالرياض، ويعمل مشرفاً على مركز الدراسات الزلزالية ورئيساً للجمعية السعودية لعلوم الأرض. يعمل العمري باحثاً رئيساً في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية ومستشاراً محلياً ودولياً في العديد من الجمعيات والهيئات داخل المملكة العربية السعودية وخارجها. أسس ورأس تحرير أول مجلة عربية للعلوم الجيولوجية تحت إشراف الناشر الألمانيSpringer وتمحورت أبحاثه العلمية حول نمذجة ومحاكاة ميكانيكية الزلازل والحد من مخاطرها، واستكشاف المياه الجوفية العميقة وتحديد مكامن الطاقة الحرارية الأرضية إلى جانب أعماله البحثية، يبذل العمري جهوداً حثيثة على نشر المعرفة، إذ ألف موسوعات وكتبًا تعليمية تخصصية تهدف إلى إثراء المكتبة العربية بمواد تعليمية متفردة، ومن أبرز إنجازاته تأسيس أول موسوعة جيولوجية رقمية للمملكة العربية السعودية في عام 2024، حيث اشتملت على جميع الثروات الاقتصادية والظواهر الجيولوجية فيها. ونشر أكثر من 220 ورقة بحثية وأنجز أكثر من 60 مشروعاً بحثياً و 74 تقريراً علمياً، بالإضافة الى تأليفه موسوعة تعليمية من 30 كتاباً و 5 موسوعات علمية تخصصية و 3 كتب أكاديمية في علوم الأرض .حصل على العديد من الجوائز ودروع التكريم المحلية والعالمية نظير إنجازاته العلمية المتميزة.

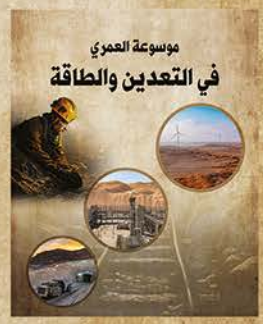
إصدارات المؤلف











العبيكان للنشر
Obeikan Publishing

ردمك: 978-603-04-9952-6

www.alamrigeo.com