

مستقبل الطاقة في عالمنا



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م



www.alamrigeo.com



ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٤هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

مستقبل الطاقة في عالمنا . / عبدالله بن محمد سعيد العمري - ط ١ -

الرياض، ١٤٤٤هـ

٢٠٢ ص ، ٢١،٥ × ٢٨

ردمك: ٤-٢٥٦٢-٠٤-٦٠٣-٩٧٨

١ - الطاقة أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٤ / ٢٣٠٨

ديوي ٥٣١،٦

رقم الإيداع ٢٣٠٨ / ١٤٤٤

ردمك: ٤-٢٥٦٢-٠٤-٦٠٣-٩٧٨

حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب. 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَفِي الْأَرْضِ آيَاتٌ لِلْمُوقِنِينَ ﴾

[سورة الذاريات : آية 20]

﴿ And on the Earth are Signs for
Those Whose Faith is Certain ﴾



مستقبل الطاقة في عالمنا



موسوعة العمري في علوم الأرض



Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



موسوعة العمري في علوم الأرض



مَهَيِّدُكَ

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي خمسة أجزاء رئيسية:

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| تقدير عمر الأرض | التركيب الداخلي للأرض |
| شكل الأرض وحركاتها | المعادن والتعدين |
| الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها | المد والجزر |

الجزء الثاني من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- | | |
|---------------------|------------------------|
| موجات التسونامي | البراكين وسبل مجابتهها |
| الزلازل والتفجيرات | جيولوجية القمر |
| تقييم مخاطر الزلازل | الأغلفة المحيطة بالأرض |




الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- المشاكل البيئية وحلولها  الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات 
 التغيرات المناخية والاحتباس الحراري  الأمطار والسيول والسدود 
 التشجير: التحديات والحلول  التصحر والجفاف 

الجزء الرابع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبيياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- مستقبل الطاقة في عالمنا  الجيوفيزياء النووية 
 الطاقة الحرارية الأرضية  الجيولوجيا الطبية 
 هل إنتهى عصر النفط؟  دليل كتابة الرسائل الجامعية والنشر العلمي 

أما **الجزء الخامس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

321 سؤال وجواب في تطور الأرض 
358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد وال GIS 
358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية 
380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية 
303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازلية الهندسية 
300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية 

المؤلف



مقدمة

لطالما كانت الطاقة **Energy** المورد الرئيسي الذي اعتمد عليه البشر للبقاء واستخدامه في الأنشطة الإنتاجية. كان التصنيع والتقدم التكنولوجي للمجتمع الحديث ممكناً أيضاً من خلال الاستخدام الفعال للطاقة.

ويوجد علاقة قوية بين مؤشر جودة الحياة واستهلاك الطاقة. حيث تتحقق القوة الاقتصادية المتزايدة للبلد، والازدهار التكنولوجي للمجتمع، وزيادة الإنتاج الصناعي، وتحسين الموارد المالية للأسرة، وزيادة أنشطة الفرد من خلال الاستخدام الفعال للطاقة.

وقد سيطر عدد من العوامل المهمة تاريخياً على الاتجاه والسوق ونوع استخدام الطاقة. **هذه العوامل هي:** 1. توافر الموارد، 2. ملائمة استخدام الطاقة، 3. كفاءة التحويل، 4. الجدوى التكنولوجية، 5. قابلية النقل وسهولة النقل، 6. الاستدامة، 7. قابلية التجديد، 8. التكلفة والقدرة على تحمل التكاليف، 9. آثار السلامة والصحة، و 10. القبول والتأثير البيئي.

يمكن أن يُعزى النجاح التكنولوجي والازدهار للصناعات البتروكيمياوية في القرن العشرين وأوائل القرن الحادي والعشرين إلى حد كبير إلى الاستخدام الواسع للوقود الأحفوري، وبخاصة البترول، فضلاً عن الاختراقات والابتكارات التكنولوجية في الصناعات العملية.



شهدت الصناعة والمستهلكون مجموعة واسعة من المواد البوليمرية الجديدة والمحسنة وغيرها من المنتجات الكيماوية والبتروكيماوية. ومع ذلك، فإن موارد الوقود الأحفوري التي تعتمد عليها الصناعة بشكل كبير محدودة في الكميات المتاحة ومن المتوقع أن تكون قريبة من النضوب في المستقبل القريب.

قد تضطر الشعبية غير المسبوقة والاستخدام الناجح للموارد البترولية التي لوحظت في القرن العشرين إلى الانخفاض في القرن الحادي والعشرين بسبب نقص توافر الموارد، مما يجعل احتمالات الاستدامة المستقبلية تبدو قاتمة. ومع ذلك، فإن شهية الجمهور لمصادر الوقود الملائمة والمواد عالية الأداء آخذة في الازدياد.

لذلك، فإن المصادر الإضافية والبديلة للوقود والمواد الأولية للبتروكيماويات لا يجب تطويرها فحسب، بل هناك حاجة أيضاً للاستغلال التجاري الفوري لها. لم يعد استخدام أنواع الوقود البديلة مسألة مستقبلية؛ إنها قضية واقعية للحاضر.

تسهم المصادر الإضافية والبديلة للمنتجات الوسيطة والنهائية، سواء أكانت وقوداً أم بتروكيماويات، بشكل مباشر في الحفاظ على الموارد البترولية في العالم من خلال توفير خيارات إضافية للمواد الخام لتوليد المنتجات نفسها للمستهلكين. وقد تشمل الأمثلة كحول الخشب للميثانول، تخمير الذرة للإيثانول، ووقود الديزل الحيوي من فول الصويا أو الطحالب، **BTX** (البنزين، التولوين، والزيلين) من الفحم أو الغاز الحيوي أو السائل الحيوي من النفايات الزراعية، الهيدروجين كوقود نقل، الهيدروجين الحيوي من مجموعة متنوعة من مصادر بيولوجية، ووقود الطائرات من النفط الصخري أو زيت المحاصيل، ووقود فيشر-تروبش من



الفحم أو الكتلة الحيوية **Biomass**، ثنائي الفينول من المصادر الزراعية، وقود النقل السائل من مصدر غاز طبيعي بوساطة الحفاز من نوع **ZSM**، والإيثيلين / البروبيلين عن طريق تحويل الغاز التخليقي، واستخدام الأسيتيلين المشتق من الفحم للإيثيلين المشتق من البترول ككتلة بناء وقود كيميائي وسائل من الإطارات المستهلكة أو النفايات المختلطة، إلخ.

إذا كانت الطاقة القابلة للاستخدام أو الطاقة القابلة للتوصيل هي المنتج النهائي المطلوب، فقد تؤثر المصادر البديلة للطاقة بشكل قوي ومباشر في نمط حياة المستهلكين فضلاً عن أنماط استهلاكهم للطاقة.

يمكن العثور على مثال جيد في السيارات الكهربائية التي تعمل ببطاريات قوية قابلة لإعادة الشحن. لا تستخدم هذه البطاريات القوية أي فائدة لمحركات البنزين التقليدية، في حين أن البنزين الممتاز ليس مطلوباً في هذه السيارات الكهربائية.

مثال جيد آخر هو المنزل الشمسي الذي يوفر التحكم في المناخ داخل المنزل فقط من خلال الطاقة الشمسية. تشمل الأمثلة الأخرى مركبات غاز البترول المسال، وحافلات ثنائي الميثيل (**DME**)، والسيارات الهجينة، ومركبات الإيثانول **E-85**، ومركبات الهيدروجين، والمعدات والمركبات التي تعمل بالطاقة الشمسية، ومعدات طاقة الرياح، والتدفئة والتبريد الحراري الأرضي، إلخ.

خلال العقود العديدة الماضية، كانت هناك زيادة كبيرة في البحث والتطوير في مجالات الوقود البديل المقبول بيئياً. كان الوقود الصناعي ذا أهمية قصوى في السبعينيات، بسبب النقص المفاجئ في إمدادات البترول الذي أشعله الحظر النفطي في عام 1973، فضلاً عن القلق العام بشأن تضاؤل احتياطات النفط.



مع أن الوقود المشترك يبدو أنه حل واعد جداً للحفاظ على الموارد البترولية (أو، على الأقل، الاستخدام المقتصد للموارد) وتطوير مصادر إضافية للوقود السائل التقليدي، فقد جرى تحويل بعض التركيز نحو القبول البيئي لمصادر البترول، لتحقيق ما يدعى الوقود والاستدامة طويلة الأجل للازدهار العالمي في العقد الأخير من القرن العشرين.

بُذلت جهود للحد من انبعاثات ملوثات الهواء المرتبطة بعمليات الاحتراق التي تشمل مصادرها توليد الطاقة الكهربائية ونقل المركبات. تشمل ملوثات الهواء التي جرى استهدافها للتقليل أو التخلص منها أكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة، والجسيمات (PM)، والذئبق، والسيليونيوم. وقد أسهمت هذه الجهود بشكل كبير في تحسين جودة الهواء والتقنيات المرتبطة بها.

أدت المخاوف من ظاهرة الاحتباس الحراري عن طريق غازات الاحتباس الحراري إلى زيادة تكثيف قضية القبول البيئي لاستهلاك الوقود. ينتج عن احتراق الوقود الأحفوري حتماً ثاني أكسيد الكربون نتيجة تفاعل أكسدة الهيدروكربون والمواد الكربونية. يُعرف ثاني أكسيد الكربون بأنه أحد غازات الدفيئة الرئيسية التي يجب تقليلها بشكل كبير.

لذلك، ركزت التطورات الجديدة في أنواع الوقود والطاقة البديلة بشكل أكبر على المصادر غير الأحفورية أو على التخفيف من ثاني أكسيد الكربون وتثبيته في استخدام الوقود الأحفوري. من المؤكد أن مصادر الطاقة المتجددة واعدة جداً بسبب استدامتها على المدى الطويل وملاءمتها للبيئة.



الطاقة الشمسية هي ذات أهمية خاصة (الطاقة الشمسية الحرارية والفولتية الضوئية)، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، والمد والجزر، والطاقة الحرارية الأرضية، بالإضافة إلى الكتلة الحيوية (الخشب، ونفايات الخشب، ومصادر الطاقة المتجددة القائمة على النبات/ المحاصيل، والنفايات الزراعية، ونفايات الطعام، والطحالب) والوقود الحيوي بما في ذلك الإيثانول الحيوي والهيدروجين الحيوي والديزل الحيوي.

وتجدر الإشارة إلى أن الطاقة الكهرومائية تعتبر أيضاً مصدراً تقليدياً للطاقة؛ لأنها وفرت كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية لأكثر من قرن. تدفع التفويضات الحكومية والحوافز الضريبية الأكثر صرامة للوائح البيئية أنواع الوقود البديلة الصديقة للبيئة إلى السوق بمعدل غير مسبق.

من المتوقع أن يزداد عدد المركبات التي تعمل بالوقود البديل والمستخدم في العالم زيادة حادة. يجري تشغيل هذه المركبات التي تعمل بالوقود البديل بوساطة غاز البترول المسال (LPG)، والغاز الطبيعي المسال (LNG)، والإيثانول 85 % (E85)، والميثانول 85 % (M85)، والكهرباء، والميثانول المميز (M100)، والإيثانول 85 % (E95)، وثنائي ميثيل إيثر (DME)، والهيدروجين، من بينها الهيدروجين الذي يمثل القليل جداً حالياً ولكنه واعد أكثر من قبل الكثيرين.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه القائمة من الوقود البديل في المركبات لا تمثل سوى النتائج الناجحة للتطورات السابقة ولا تشمل التطورات والاختراقات الأخيرة في هذا المجال. تكثفت جهود البحث والتطوير في مجال المركبات التي تعمل بالوقود البديل واستخدام مصادر الطاقة المتجددة في السنوات القليلة الماضية.



من المتوقع أن تكتسب المركبات التي تعمل بالوقود البديل والسيارات الخالية من الانبعاثات مزيداً من الشعبية، ويرجع ذلك جزئياً إلى فرض معايير انبعاثات أكثر صرامة، والمصير الواضح لاستنفاد وقود النقل التقليدي، والعديد من الحوافز الضريبية لهذه المركبات.

يقترن هذا الاهتمام المكثف مع الأسعار المرتفعة القياسية للبنزين والمنتجات القائمة على البترول التي تشهدها جميع أنحاء العالم. ربما يكون الاختلاف الرئيسي بين حقبة حظر النفط لعام 1973 والحاضر هو أنه هذه المرة، من المرجح أن تلتصق الجهود بقوة بقائمة الأولويات المستمرة الأكثر إلحاحاً للبشرية.

لا يمكن إهمال الطاقة من النفايات كمصدر قيم للطاقة. إذا تم تسخير الطاقة بشكل فعال، يمكن استخدام الطاقة من النفايات، بما في ذلك النفايات الصلبة البلدية (MSW)، والفضلات الزراعية، والبلاستيك والإطارات المستهلكة، والنفايات المختلطة للتخفيف من العبء الحالي لتوليد الطاقة من مصادر الوقود الأحفوري.

علاوة على ذلك، فإن توليد الطاقة من النفايات له أهمية إضافية في تقليل حجم النفايات، ومن ثم توفير مساحة مكب النفايات واستخدام الموارد التي لا قيمة لها. يجب معالجة الجوانب البيئية التي تتطوي على توليد طاقة النفايات بشكل كامل في الاستغلال التجاري.

يهدف هذا الكتاب إلى تقديم معلومات شاملة فيما يتعلق بعلوم وتكنولوجيا الوقود البديل وتقنيات معالجته. وقد جرى التركيز بشكل خاص على القضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية المرتبطة باستخدام مصادر الطاقة البديلة، مثل: الاستدامة، والتقنيات القابلة للتطبيق، وطريقة الاستخدام، والتأثيرات في المجتمع.



مسيرة الطاقة والمجتمع عبر العصور

الطاقة هي العملة العالمية الوحيدة التي يجب تحويل أحد أشكالها العديدة لإنجاز أي شيء. تتراوح المظاهر العالمية لهذه التحولات من الدورات الهائلة للمجرات إلى التفاعلات الحرارية النووية في النجوم.

وهي تتراوح على الأرض بين قوى الصفائح التكتونية المكونة للقشرة لأرضية والتي تقسم أراضي المحيط وترفع سلاسل جبلية جديدة إلى التأثيرات التآكلية التراكمية لقطرات المطر الصغيرة (لقد عرف الرومان أن القطرة الماء يمكنها أن تجوف الحجر ليس بقوتها ولكن عن طريق التقييط المستمر).

الحياة على الأرض - مع عقود من المحاولات لالتقاط إشارة ذات مغزى من خارج كوكب الأرض، لا تزال الحياة الوحيدة في الكون التي نعرفها - ستكون مستحيلة بدون تحويل التمثيل الضوئي للطاقة الشمسية إلى كتلة نباتية (الكتلة الحيوية النباتية). يعتمد البشر على هذا التحول من أجل بقائهم على قيد الحياة، وعلى العديد من تدفقات الطاقة لوجودهم المتحضر. كما قال ريتشارد آدمز: «يمكننا التفكير في الأفكار بعنف، ولكن إذا لم يكن لدينا ما يكفي لتحويلها إلى أفعال، فستبقى أفكاراً.. يتصرف التاريخ بطرائق غير متوقعة. ومع ذلك، فإن الأحداث في التاريخ تأخذ بالضرورة هيكلًا أو منظمةً يجب أن تتوافق مع مكوناتها النشطة».

لقد أدى تطور المجتمعات البشرية إلى زيادة عدد السكان وزيادة تعقيد الترتيبات الاجتماعية والإنتاجية وتحسين نوعية الحياة لعدد متزايد من الناس. من منظور فيزيائي حيوي أساسي، يمكن النظر إلى كل من التطور البشري في



عصور ما قبل التاريخ ومسار التاريخ على أنهما السعي للسيطرة على مخازن وتدفقات أكبر من أشكال الطاقة الأكثر تركيزاً وتنوعاً وتحويلها، بطرائق أكثر بأسعار معقولة وبتكاليف أقل وبأعلى الكفاءات في الحرارة والضوء والحركة.

لقد عمّم هذا الاتجاه من قبل **ألفريد لوتكا** (1880-1949)، عالم الرياضيات والكيميائي والإحصائي الأمريكي، في قانونه الخاص بالطاقة القصوى: النظام، لزيادة معدل دوران المادة عبر النظام، وزيادة تدفق الطاقة الإجمالي عبر النظام ما دام هناك بقايا غير مستخدمة من المادة والطاقة المتاحة.

وقد اتبع تاريخ الحضارات المتعاقبة، وهي أكبر الكائنات الحية وأكثرها تعقيداً في المحيط الحيوي، هذا المسار. يمكن النظر إلى اعتماد الإنسان على تدفقات الطاقة المتزايدة باستمرار على أنه استمرار حتمي للتطور العضوي.

كان **فيلهلم أوستوالد** (1853-1932)، الحاصل على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1909 عن عمله في الحفز الكيميائي، أول عالم يوسع صراحة «القانون الثاني لعلم الطاقة للجميع وأي فعل وعلى وجه الخصوص لمجموع الأفعال البشرية.. كل الطاقات ليست جاهزة لهذا التحول، فقط بعض الأشكال التي أعطيت اسم الطاقات الحرة.. الطاقة المجانية إذن هي رأس المال الذي تستهلكه جميع المخلوقات على اختلاف أنواعها وتحويلها يُنجز كل شيء». قاده ذلك إلى صياغة أمره الفعال: «لا تضيعوا أي طاقة، اجعلوها مفيدة».

توضح ثلاثة اقتباسات كيف أعاد أتباع أوستوالد إعادة صياغة استنتاجاته وكيف جعل بعضهم الصلة بين الطاقة وجميع الشؤون الإنسانية أكثر وضوحاً بشكل حتمي. في أوائل السبعينيات من القرن الماضي، قدم هوارد أودوم (1924-2002) تبايناً في موضوع أوستوالد الرئيسي: «توافر مصادر الطاقة



يحدد مقدار نشاط العمل الذي يمكن أن يوجد، والتحكم في تدفقات القوة هذه يحدد القوة في شؤون الإنسان وفي تأثيره النسبي على الطبيعة».

في أواخر الثمانينيات، اختتم **رونالد فوكس** كتاباً عن الطاقة في التطور من خلال كتابة «حدث تنقيح في الآليات الثقافية مع كل تنقيح لاقتران تدفق الطاقة»، ولا يتعين على المرء أن يكون عالماً للربط بين إمدادات الطاقة والتقدم الاجتماعي. هذا إيريك بليز (الشهير باسم **جورج أورويل** (1903-1950)، كتب عام 1937 في الفصل الثاني من الطريق إلى رصيف ويجان، بعد زيارته لمنجم فحم تحت الأرض: «حضارتنا، بسرعة تشيسترتون، تأسست على الفحم، أكثر مما يدرك المرء حتى يتوقف عن التفكير في الأمر. الآلات التي تبقينا على قيد الحياة، والآلات التي تصنع الآلات، كلها تعتمد بشكل مباشر أو غير مباشر على الفحم. في عملية التمثيل الغذائي في العالم الغربي، يحتل عامل منجم الفحم المرتبة الثانية من حيث الأهمية بعد الرجل الذي يحث التربة. إنه نوع من حجر الكارباتيد الذي يدعم كل شيء تقريباً على أكتافه. لهذا السبب، فإن العملية الفعلية التي يجري من خلالها استخراج الفحم تستحق المشاهدة، إذا سنحت لك الفرصة وكنت على استعداد لتحمل المشكلة».

لكن إعادة التأكيد على تلك الصلة الأساسية (**كما فعل أورويل**) والادعاء بأن التحسينات الثقافية حدثت مع كل تنقية لتدفق الطاقة (**كما يفعل فوكس**) هما شيئان مختلفان. استنتاج **أورويل** لا يُستثنى من ذلك. من الواضح أن صياغة فوكس هي إعادة صياغة لوجهة نظر حتمية عبر عنها **جيلان** سابقاً من قبل عالمة الأنثروبولوجيا **ليزلي وايت** (1900-1975)، والتي وصفتها بأنها أول قانون مهم للتطور الثقافي: «عند تساوي العوامل الأخرى، تختلف درجة التطور الثقافي بشكل مباشر حسب كمية الطاقة للفرد سنوياً التي يجري تسخيرها وتشغيلها».



في حين أنه لا يمكن أن يكون هناك نزاع سواء حول صياغة أوستوالد الأساسية أو حول تأثير الطاقة الشامل على بنية وديناميكيات المجتمعات المتطورة (بوتيرة أورويل)، فإن الربط الحتمي لمستوى استخدام الطاقة بالإنجازات الثقافية هو اقتراح قابل للجدل بدرجة كبيرة.

الطبيعة الأساسية للمفهوم ليست موضع شك. كما قال روبرت ليندسي: «إذا تمكنا من العثور على كلمة واحدة لتمثيل فكرة تتطبق على كل عنصر في وجودنا بطريقة تجعلنا نشعر بأننا نمتلك فهمًا حقيقيًا لها، فقد حققنا شيئًا اقتصاديًا وقويًا. وهذا ما حدث مع الفكرة التي عبرت عنها كلمة طاقة. لا يوجد مفهوم آخر وحد فهمنا للتجربة».

لكن، ما الطاقة؟ والمثير للدهشة أن حتى الفائزين بجائزة نوبل يجدون صعوبة كبيرة في تقديم إجابة مرضية عن هذا السؤال الذي يبدو بسيطًا.

في محاضراته الشهيرة في الفيزياء، أكد **ريتشارد فاينمان** (1918-1988) على أنه «من المهم أن ندرك أنه في الفيزياء اليوم، ليس لدينا معرفة عن ماهية الطاقة. ليس لدينا صورة أن الطاقة تأتي في نقاط صغيرة بكمية محددة». ما نعرفه هو أن كل المادة هي طاقة في حالة سكون، وأن الطاقة تتجلى في العديد من الأشكال، وأن أشكال الطاقة المتميزة هذه مرتبطة بتحويلات عديدة، العديد منها كونية، منتشرة في كل مكان، ومتواصلة، والبعض الآخر محلي جدًا، ونادر وسريع الزوال.

وسرعان ما توسع فهم هذه المخازن، والإمكانات، والتحويلات ونظمت في الغالب خلال القرن التاسع عشر، وقد جرى إتقان هذه المعرفة خلال القرن العشرين عندما - تعليق معبر عن تعقيدات تحويلات الطاقة- فهمنا كيفية إطلاق



الطاقة النووية في وقت أقرب. (نظرياً في أواخر الثلاثينيات من القرن الماضي، وفي عام 1943 تقريباً، عندما بدأ المفاعل الأول في العمل) مما عرفنا كيف تعمل عملية التمثيل الضوئي (كُشف عن تسلسلاتها فقط خلال الخمسينيات من القرن الماضي).

• سيولة الطاقة

جميع أشكال الطاقة المعروفة لضرورة للوجود البشري، وهي حقيقة تمنع أي ترتيب منظم لأهميتها. جرى تحديد جزء كبير من مسار التاريخ وتقييده من خلال التدفقات العالمية والكوكبية للطاقة ومظاهرها الإقليمية أو المحلية. تخضع السمات الأساسية للكون لطاقة الجاذبية، التي تطلب عدداً لا يحصى من المجرات والأنظمة النجمية. تحافظ الجاذبية أيضاً على دوران كوكبنا على مسافة مناسبة تماماً من الشمس، كما أنه يحمل جواً هائلاً بما يكفي يجعل الأرض صالحة للسكن.

كما هو الحال مع جميع النجوم النشطة، فإن الاندماج النووي يمد الشمس بالطاقة، ويصل ناتج تلك التفاعلات النووية الحرارية إلى الأرض كطاقة كهرومغناطيسية (شمسية، مشعة). يتراوح تدفقها عبر طيف واسع من الأطوال الموجية، بما في ذلك الضوء المرئي.

نحو 30% من هذا التدفق الهائل تنعكس على الغيوم والأسطح، ويمتص الغلاف الجوي والغيوم نحو 20%، والباقي، نصف التدفق الكلي تقريباً، تمتصه المحيطات والقارات، ويتحول إلى طاقة حرارية، وتشعها في الفضاء.



تُضاف الطاقة الحرارية الأرضية للأرض إلى تدفق حراري أصغر بكثير: فهي ناتجة عن تراكم الجاذبية الأصلي للكتلة الكوكبية ومن تحلل المواد المشعة، وهي تقود العمليات التكتونية الكبرى، التي تستمر في إعادة ترتيب المحيطات والقارات وتسبب ثورات بركانية والزلازل.

يجري تحويل جزء ضئيل فقط من الطاقة المشعة الواردة، أقل من 0.05%، عن طريق التمثيل الضوئي إلى مخازن جديدة للطاقة الكيميائية في النباتات، مما يوفر الأساس الذي لا يمكن الاستغناء عنه لحياة أعلى.

يعمل التمثيل الغذائي الحيوي على إعادة تنظيم العناصر الغذائية في الأنسجة النامية ويحافظ على وظائف الجسم ودرجة حرارة ثابتة في جميع الأنواع الأعلى. يولد الهضم أيضاً الطاقة الميكانيكية (**الحركية**) لعضلات العمل. في تحويلات الطاقة، تكون الحيوانات مقيدة بطبيعتها بحجم أجسامها وبتوافر التغذية التي يمكن الوصول إليها.

كانت السمة المميزة الأساسية لجنسنا هي امتداد هذه الحدود المادية من خلال الاستخدام الأكثر كفاءة للعضلات ومن خلال تسخير الطاقات خارج أجسامنا.

استخدمت هذه الطاقات خارج الجسم، التي أطلقها العقل البشري، في مجموعة متنوعة متزايدة من المهام، سواء كمحركات رئيسية أكثر قوة أو كوقود يؤدي احتراقه إلى إطلاق الحرارة.

تعتمد محفزات إمدادات الطاقة على تدفق المعلومات وعلى مجموعة هائلة من القطع الأثرية. وقد تراوحت هذه الأجهزة من أدوات بسيطة مثل أحجار المطرقة والرافعات إلى محركات ومفاعلات احتراق الوقود المعقدة التي تطلق طاقة الانشطار النووي.



من السهل تحديد التسلسل التطوري والتاريخي الأساسي لهذه التطورات بعبارات نوعية واسعة. كما هو الحال مع أي كائن حي غير مصطنع، فإن أهم احتياجات الطاقة البشرية الأساسية هي الغذاء.

لقد كان البحث عن الطعام والقمامة من قبل البشر مشابهاً جداً لممارسات اكتساب الطعام لأسلافهم الرئيسيين. مع أن بعض الرئيسيات - بالإضافة إلى عدد قليل من الثدييات الأخرى **(بما في ذلك ثعالب الماء والفيلة)**، وبعض الطيور **(الغريبان والبيغاوات)**، وحتى بعض اللافقاريات **(رأسيات الأرجل)** قد امتلكت مجموعة صغيرة من القدرات الأولية لاستخدام الأدوات، إلا أن البشر فقط هم من صنع الأدوات المتقدمة كعلامة مميزة لسلوكهم.

لقد منحتنا الأدوات ميزة ميكانيكية في الحصول على الطعام والمأوى والملابس. لقد أدى إتقان النار إلى توسيع نطاق سكننا بشكل كبير وجعلنا نبتعد عن الحيوانات. أدت الأدوات الجديدة إلى تسخير الحيوانات الأليفة، وبناء آلات أكثر تعقيداً تعمل بقوة العضلات، وتحويل جزء ضئيل من الطاقات الحركية للرياح والماء إلى طاقة مفيدة. ضاعفت هذه المحركات الأولية الجديدة القوة تحت قيادة الإنسان، ولكن لفترة طويلة جداً كان استخدامها مقيداً بطبيعة وحجم التدفقات التي جرى التقاطها.

من الواضح أن هذا هو الحال مع الأشرعة، والأدوات القديمة والفعالة التي كانت قدراتها مقيدة لآلاف السنين بسبب تدفقات الرياح السائدة وتيارات المحيط المستمرة.

وجهت هذه التدفقات الضخمة الرحلات الأوروبية عبر المحيط الأطلسي في أواخر القرن الخامس عشر إلى منطقة البحر الكاريبي. كما منع الإسبان من



اكتشاف هاواي، مع أن السفن التجارية الإسبانية، **مانبلا غالون (Galeón de Manila)**، أبحرت مرة أو مرتين في السنة عبر المحيط الهادئ من المكسيك (**أكابولكو**) إلى الفلبين لمدة 250 عاماً بين 1565 و1815.

أدى الاحتراق المتحكم فيه في المواقد والأفران إلى تحويل الطاقة الكيميائية للنباتات إلى طاقة حرارية. استخدمت هذه الحرارة مباشرة في المنازل وفي صهر المعادن وطوب الحرق ومعالجة وتشطيب منتجات لا حصر لها.

جعل احتراق الوقود الأحفوري كل هذه الاستخدامات التقليدية المباشرة للحرارة أكثر انتشاراً وأكثر كفاءةً. أتاح عدد من الاختراعات الأساسية تحويل الطاقة الحرارية من حرق الوقود الأحفوري إلى طاقة ميكانيكية.

حدث ذلك أولاً في المحركات البخارية ومحركات الاحتراق الداخلي، ثم في التوربينات الغازية والصواريخ. لقد قمنا بتوليد الكهرباء عن طريق حرق الوقود الأحفوري، وكذلك عن طريق تسخير الطاقة الحركية للمياه، منذ عام 1882، وعن طريق انشطار نظير اليورانيوم منذ عام 1956.

خلق احتراق الوقود الأحفوري وتوليد الكهرباء شكلاً جديداً من الحضارة عالية الطاقة التي يشمل توسعها حالياً الكوكب بأسره والتي تشمل مصادرها الأولية للطاقة الآن حالياً حصصاً صغيرة ولكنها متزايدة بسرعة من المصادر المتجددة الجديدة، وبخاصة الطاقة الشمسية (التي يجري تسخيرها بوساطة الخلايا الكهروضوئية، والأجهزة أو في محطات الطاقة الشمسية المركزة) والرياح (المحولة بوساطة توربينات الرياح الكبيرة).

في المقابل، استندت هذه التطورات إلى سلسلة من التطورات الأخرى. لاستخدام تشبيه نموذج التدفق، يجب إعداد مجموعة من البوابات (الصمامات) وتفعيلها في تسلسل مناسب لتمكين تدفق الإبداع البشري.



تشمل أبرز البوابات المطلوبة: إطلاق إمكانات الطاقة الكبيرة الفرص التعليمية المطلوبة، والترتيبات القانونية التي يمكن التنبؤ بها، والقواعد الاقتصادية الشفافة، والتوافر الكافي لرأس المال، والظروف المواتية للبحوث الأساسية.

ليس من المستغرب، عادة ما يستغرق الأمر أجيالاً للسماح بتدفقات طاقة متزايدة أو محسنة نوعياً أو لتسخير مصادر جديدة تماماً للطاقة على نطاق كبير.

من الصعب جداً التنبؤ بالتوقيت، والطاقة الإجمالية، وتكوين تدفقات الطاقة الناتجة، وخلال المراحل الأولى من مثل هذه التحولات، من المستحيل تقييم جميع التأثيرات النهائية التي سيحدثها تغيير المحركات الرئيسية وقواعد الوقود على الزراعة والصناعات والنقل والمستوطنات والحرب وبيئة الأرض. الحسابات الكمية ضرورية لتقدير قيود أفعالنا ومدى إنجازاتنا، وتتطلب معرفة المفاهيم والمقاييس العلمية الأساسية.

• المفاهيم والمقاييس العلمية

توجد عدة مبادئ أولية تكمن وراء كل تحويلات الطاقة. يمكن تحويل كل شكل من أشكال الطاقة إلى حرارة أو طاقة حرارية. لا تفقد أي طاقة في أي من هذه التحويلات. يعد الحفاظ على الطاقة، القانون الأول للديناميكا الحرارية، أحد أهم الحقائق العلمية الأساسية.

ولكن بينما نتحرك على طول سلاسل التحويل، تتضاءل بشكل مطرد إمكانات العمل المفيد. هذا الواقع الذي لا يرحم يحدد القانون الثاني للديناميكا



الحرارية، والإنتروبية هو المقياس المرتبط بفقدان الطاقة المفيدة. في حين أن محتوى الطاقة في الكون ثابت، فإن تحويلات الطاقات تزيد من الإنتروبية (تقلل من فائدتها).

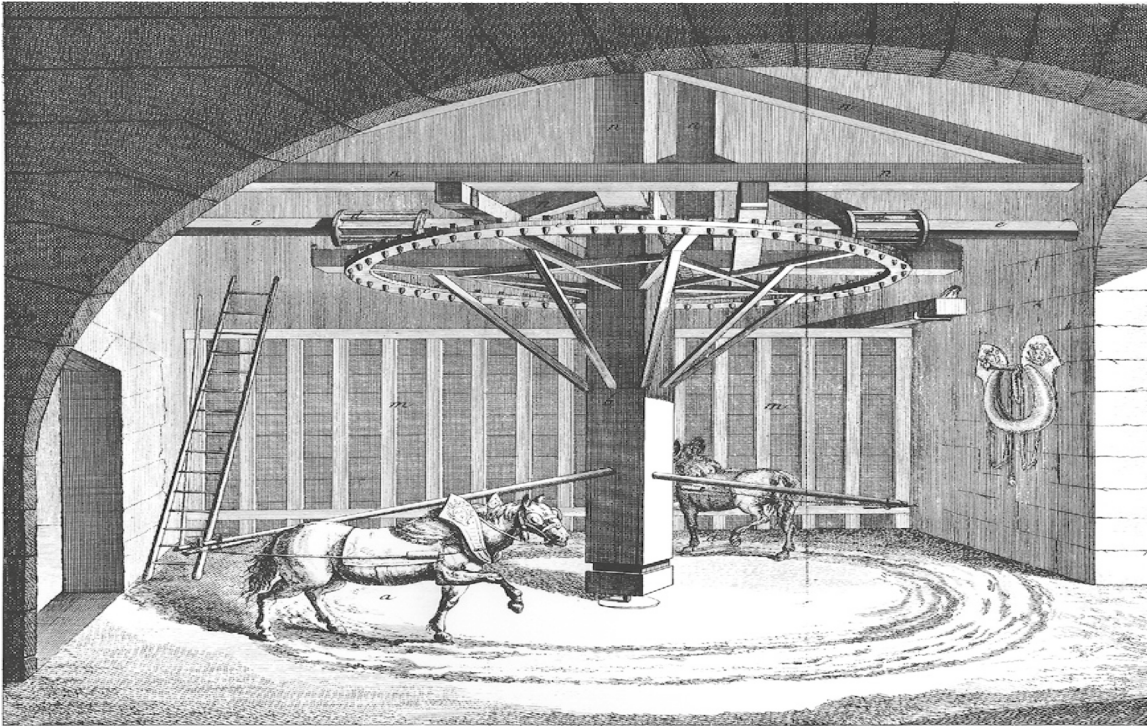
سلة من الحبوب أو برميل من النفط الخام عبارة عن مخزن طاقة منخفض الإنتروبية، وقادر على القيام بالكثير من العمل المفيد بمجرد استقلابه أو حرقه، وينتهي به الأمر كحركة عشوائية لجزيئات الهواء المسخنة قليلاً، وهي حالة غير قابلة للانعكاس عالية الإنتروبية يمثل خسارة لا يمكن تعويضها في المنفعة. يؤدي هذا التبدد الحتمي أحادي الاتجاه إلى فقدان التعقيد وإلى مزيد من الفوضى والتجانس في أي نظام مغلق. لكن جميع الكائنات الحية، سواء أكانت أصغر بكثير أم حضارة عالمية، تتحدى هذا الاتجاه مؤقتاً عن طريق استيراد الطاقة واستقلابها.

هذا يعني أن كل كائن حي يجب أن يكون نظاماً مفتوحاً، يحافظ على التدفق الداخلي والخارجي المستمر للطاقة والمواد. طالما أنها على قيد الحياة، لا يمكن أن تكون هذه الأنظمة في حالة توازن كيميائي وديناميكي حراري. وينتج عن سلوكهم السلبي - نموهم وتجدهم وتطورهم - مزيداً من عدم التجانس وزيادة التعقيد البنيوي والنظامي. كما هو الحال مع العديد من التطورات العلمية الأخرى، ظهر فهم متماسك لهذه الحقائق فقط خلال القرن التاسع عشر، عندما وجدت تخصصات الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا سريعة التطور اهتماماً مشتركاً بدراسة تحولات الطاقة.

كانت هذه الاهتمامات الأساسية بحاجة إلى تدوين للقياسات القياسية. صارت وحدتان شائعتان لقياس الطاقة: السعرات الحرارية **Calorie**، والوحدة



المتريّة **Metric unit**، والوحدة الحرارية البريطانية (Btu). وحدة الطاقة العلمية الأساسية اليوم هي الجول **Joule**، التي سميت على اسم عالم الفيزياء الإنجليزي جيمس بريسكوت جول (1818-1889)، الذي نشر أول حساب دقيق للتكافؤ بين العمل والحرارة. وتشير الاستطاعة **Power** إلى معدل تدفق الطاقة. جرى تعيين أول وحدة قياسية لها، وهي القدرة الحصانية، بواسطة جيمس واط (1736-1819). لقد أراد فرض رسوم على محركاته البخارية على أساس سهل الفهم، ولذا اختار المقارنة الواضحة مع المحرك الرئيسي الذي كان عليهم استبداله، وهو حصان مُسَخَّر يستخدم عادة لتشغيل مطحنة أو مضخة.



حصانان يديران مكبسان موجهاً لضخ مياه الآبار في مصنع سجاد فرنسي في منتصف القرن الثامن عشر. لم يتمكن الحصان المتوسط في تلك الفترة من الحفاظ على معدل عمل ثابت قدره حصان واحد. استخدم جيمس واط تصنيفاً مبالغاً فيه لضمان رضا العملاء عن محركاته البخارية ذات القدرة الحصانية الثابتة.

معدل آخر مهم هو كثافة الطاقة **Power density**، أي مقدار الطاقة لكل وحدة كتلة من المورد. هذه القيمة ذات أهمية حاسمة بالنسبة للمواد الغذائية: حتى في الأماكن التي لا يمكن أن تصبح فيها الأطعمة الوفيرة منخفضة الكثافة الطاقة سلعة أساسية.

على سبيل المثال، كان سكان حوض المكسيك ما قبل الإسبان يأكلون دائماً الكثير من الصبير، الذي كان من السهل جمعه من العديد من أنواع الصبار التي تنتمي إلى جنس التين الشوكي **Opuntia**. ولكن، كما هو الحال مع معظم الفواكه، يتكون لب الثمرة بشكل كبير (نحو 88%) من الماء، مع أقل من 10% كربوهيدرات، و2% بروتين، و0.5% دهون، وبكثافة طاقة تبلغ 1.7 ميغا جول / كغ فقط.

هذا يعني أنه حتى المرأة الصغيرة التي تعيش فقط على الكربوهيدرات من الصبار (بافتراض غير واقعي، لا تحتاج فعلياً إلى المغذيات الكبيرة الأخرى) يجب أن تأكل 5 كغ من الفاكهة كل يوم - لكنها يمكن أن تحصل على القدر نفسه من الطاقة من نحو 650 غرام فقط من الذرة المطحونة المستهلكة على شكل خبز تورتيلا أو التامال المكسيكي.

كثافة الطاقة هي المعدل الذي يكون فيه إنتاج الطاقة أو استهلاكها لكل وحدة مساحة، ومن ثم فهي مُحدِّد هيكلي حاسم لأنظمة الطاقة. على سبيل المثال، كان حجم المدينة في جميع المجتمعات التقليدية يعتمد على حطب الوقود والفحم النباتي، وكان من الواضح أنه محدود بسبب كثافة الطاقة المنخفضة بطبيعتها لإنتاج الكتلة النباتية.





الفحم في إنجلترا في أوائل القرن السابع عشر كما هو موضح في جون إيفلين سيلفا (1607).

كثافة الطاقة لنمو الأشجار السنوي المستدام في المناخات المعتدلة تساوي في أحسن الأحوال 2% من كثافة الطاقة لاستهلاك الطاقة للتدفئة الحضرية التقليدية والطبخ والمصنوعات. ومن ثم، كان على المدن أن تعتمد على المناطق المجاورة 30 مرة على الأقل من حجمها لإمداد الوقود. حدثت هذه الحقيقة من نموها حتى عندما كانت الموارد الأخرى، مثل الغذاء والماء، كافية.

مع ذلك، هناك معدل آخر اكتسب أهمية كبيرة مع تقدم التصنيع، وهو كفاءة تحويلات الطاقة. تصف نسبة (المخرجات / المدخلات) أداء محولات الطاقة، سواء أكانت مواقد أم محركات أم مصابيح. في حين لا يمكننا فعل أي شيء حيال التبيد الحتمي، فإنه يمكننا تحسين كفاءة التحويلات عن طريق



تقليل كمية الطاقة المطلوبة لأداء مهام محددة. توجد قيود أساسية (ديناميكية حرارية، ميكانيكية) على هذه التحسينات، لكننا دفعنا بعض العمليات إلى ما يقرب من حدود الكفاءة العملية، مع أنه في معظم الحالات، بما في ذلك محاولات الطاقة الشائعة مثل محركات الاحتراق الداخلي والأضواء، لا يزال هناك مجال كبير لمزيد من التحسين.

عندما يجري حساب الكفاءات لإنتاج المواد الغذائية (الطاقة في الغذاء / الطاقة في المدخلات لزراعتها)، أو الوقود، أو الكهرباء، فعادة ما يطلق عليها عوائد الطاقة **Energy Returns**. ويجب أن تكون عائدات الطاقة الصافية في كل زراعة تقليدية تعتمد فقط على القوة الحية أكبر بكثير من واحدة: يجب أن تحوي المحاصيل الصالحة للأكل على طاقة أكثر من الكمية المستهلكة كغذاء وعلف لا يحتاجها الأشخاص والحيوانات الذين ينتجون هذه المحاصيل فحسب، بل وأيضاً بسبب عدم عملهم.

تظهر مشكلة مستعصية عندما نحاول مقارنة عائدات الطاقة في الزراعة التقليدية التي كانت تعمل فقط من خلال الطاقات الحية (ومن ثم تضمنت فقط تحويلات الإشعاع الشمسي الذي يجري تلقيه مؤخراً) مع تلك الموجودة في الزراعة الحديثة، والتي تُدعم بشكل مباشر (**وقود للعمليات الميدانية**) وبشكل غير مباشر (الطاقات اللازمة لتصنيع الأسمدة ومبيدات الآفات وبناء الآلات الزراعية) ومن ثم، فإن عوائد الطاقة أقل دائماً من المحاصيل التقليدية.

أخيراً، تقيس كثافة الطاقة تكلفة المنتجات والخدمات وحتى إجمالي الناتج الاقتصادي في وحدات الطاقة القياسية، والطاقة نفسها. من بين المواد المستخدمة بشكل شائع، يعتبر الألمنيوم والبلاستيك كثيف الاستخدام للطاقة،



في حين أن الزجاج والورق رخيصان نسبياً، والخشب المنشور **(باستثناء تكلفة التمثيل الضوئي)** هو أقل المواد المستخدمة على نطاق واسع استهلاكاً للطاقة.

أدت التطورات التقنية في القرنين الماضيين إلى انخفاضات كبيرة في كثافة الطاقة. ولعل الأهم من ذلك هو أن صهر الحديد الخام بوقود فحم الكوك في أفران الصهر الكبيرة يتطلب حالياً أقل من 10% من الطاقة لكل وحدة كتلة من المعدن الساخن مقارنةً بإنتاج الحديد الخام المعتمد على الفحم قبل التصنيع.

تكلفة الطاقة للطاقة (غالباً ما تسمى **Energy Return On Investment (EROI)**، عائد الطاقة على الاستثمار، مع أن **Energy Return On Energy Investment (EROEI)**، عائد الطاقة على الاستثمار في الطاقة، سيكون أكثر صحة) هو مقياس كاشف فقط إذا قارنا القيم التي جرى حسابها بأساليب متطابقة باستخدام الافتراضات القياسية وبوضوح تحديد الحدود التحليلية.

لقد فضلت المجتمعات الحديثة التي تستهلك الطاقة كثيراً تطوير موارد الوقود الأحفوري ذات أعلى عوائد صافية من الطاقة، وهذا هو السبب الرئيسي وراء تفضيلنا للنفط الخام بشكل عام، وحقول الشرق الأوسط الغنية على وجه الخصوص؛ تعد كثافة الطاقة العالية للنفط، ومن ثم سهولة النقل، من المزايا الأخرى الواضحة.

• التعقيدات والمحاذير

يعد استخدام الوحدات القياسية لقياس مخزونات الطاقة وتدفقاتها أمراً بسيطاً فيزيائياً ولا تشوبه شائبة علمياً، ومع ذلك فإن هذه التخفيضات إلى قاسم مشترك مضللة أيضاً. قبل كل شيء، لا يمكنها التقاط الاختلافات النوعية الحرجة بين الطاقات المختلفة. وقد يكون لنوعين من الفحم كثافة طاقة متطابقة، لكن أحدهما قد يحترق بشكل نظيف جداً ولا يترك وراءه سوى كمية صغيرة من الرماد، في حين أن الآخر قد يدخن بكثافة، وينبعث منه قدر كبير من ثاني أكسيد الكبريت، ويترك بقايا كبيرة غير قابلة للاحتراق.

كان من الواضح أن وفرة الفحم عالي الكثافة للطاقة والمثالي لتزويد المحركات البخارية بالوقود (الصفة المستخدمة غالباً «عديم الدخان» يجب أن يُنظر إليها من الناحية النسبية) عاملاً رئيسياً أسهم في الهيمنة البريطانية على النقل البحري في القرن التاسع عشر، حيث لم يكن لدى ألمانيا موارد كبيرة من الفحم ذات جودة مماثلة.

لا يمكن لوحدات الطاقة المجردة التفريق بين الكتلة الحيوية الصالحة للأكل وغير الصالحة للأكل. تحوي كتل متطابقة من قش القمح والقمح الجاف فعلياً على الكمية نفسها من الطاقة الحرارية، لكن القش، الذي يتكون في الغالب من السليلوز، والهيميسليلوز، واللجنين، لا يمكن هضمه بوساطة البشر، في حين أن القمح (يتكون من نحو 70% من الكربوهيدرات النشوية المعقدة وما يصل إلى 14% بروتين) مصدر ممتاز للعناصر الغذائية الأساسية. كما أنها تخفي الأصل المحدد للطاقة الغذائية، وهي مسألة ذات أهمية كبيرة للتغذية السليمة.



العديد من الأطعمة عالية الطاقة لا تحوي، أو لا تحوي أي بروتين أو دهون، وهما عنصران مغذيان مطلوبان لنمو الجسم الطبيعي وصيانتته، وقد لا توفر أي مغذيات دقيقة أساسية مثل الفيتامينات والمعادن.

هناك صفات مهمة أخرى تخفيها المقاييس المجردة. من الواضح أن الوصول إلى مخازن الطاقة أمر بالغ الأهمية. يمتلك خشب جذع الأشجار وخشب الفروع كثافة الطاقة نفسها، ولكن بدون الفؤوس والمناشير الجيدة، لا يمكن للناس في العديد من مجتمعات ما قبل الثورة الصناعية جمع الوقود الأخير فقط.

لا يزال هذا هو المعيار في أفقر أجزاء من أفريقيا أو آسيا، حيث يجمع الأطفال والنساء الكتلة النباتية الخشبية؛ ومن ثم قابليته للنقل، مهم أيضاً لأنه يتعين عليهم حمل الأحمال الخشبية (الفروع) إلى المنزل على رؤوسهم، غالباً لمسافات طويلة.

يمكن أن تكون سهولة الاستخدام وكفاءة التحويل عاملين حاسمين في اختيار الوقود. يمكن تسخين المنزل باستخدام الخشب أو الفحم أو زيت الوقود أو الغاز الطبيعي، لكن أفضل أفران الغاز حالياً تصل كفاءتها إلى 97%، ومن ثم أرخص بكثير في التشغيل من أي خيار آخر.

يتطلب حرق القش في المواقد البسيطة تكثيفاً متكرراً، بينما يمكن ترك قطع الخشب الكبيرة مشتعلة دون رقابة لساعات. ينتج عن الطبخ في الأماكن المغلقة مع الروث الجاف دخاناً أكثر بكثير من حرق الأخشاب في موقد جيد، ولا يزال احتراق الكتلة الحيوية في الأماكن المغلقة مصدراً رئيسياً لأمراض الجهاز التنفسي في العديد من البلدان منخفضة الدخل.



وما لم يحدد أصولها، فإن الكثافات أو تدفقات الطاقة لا تفرق بين الطاقات المتجددة والطاقات الأحفورية، ومع ذلك فإن هذا التمييز أساسي لفهم طبيعة ومثانة نظام طاقة معين.

لقد نشأت الحضارة الحديثة من خلال الاحتراق الهائل والمتزايد للوقود الأحفوري، ولكن من الواضح أن هذه الممارسة محدودة بسبب وفرته في القشرة الأرضية، فضلاً عن العواقب البيئية لحرق الفحم والهيدروكربونات، ويمكن للمجتمعات عالية استهلاك الطاقة ضمان بقائها على قيد الحياة فقط عن طريق الانتقال النهائي إلى المصادر غير الأحفورية.

تنشأ صعوبات أخرى عند مقارنة كفاءات تحويلات الطاقة الحية وغير الحية. في الحالة الأخيرة، هي ببساطة نسبة من مدخلات الوقود أو الكهرباء ومخرجات الطاقة المفيدة، ولكن في الحالة الأولى، لا ينبغي احتساب مدخول الطعام أو (العلف) اليومي كمدخل للطاقة للعمال البشرية أو الحيوانية؛ لأن معظم هذه الطاقة هي مطلوب لعملية التمثيل الغذائي الأساسي - أي لدعم عمل أعضاء الجسم الحيوية والحفاظ على درجة حرارة ثابتة للجسم - ويعمل التمثيل الغذائي الأساسي بغض النظر عما إذا كان الناس أو الحيوانات يستريحون أو يعملون. ربما يكون حساب صافي تكلفة الطاقة هو الحل الأكثر إرضاءً.

ولكن حتى في مجتمعات أبسط بكثير من مجتمعاتنا، كان قدراً كبيراً من العمل دائماً عقلياً وليس جسدياً - تحديد كيفية التعامل مع مهمة، وكيفية تنفيذها بالقوة المحدودة المتاحة، وكيفية خفض نفقات الطاقة - والتكلفة الأيضية للتفكير، حتى التفكير الصعب جداً، صغيرة جداً مقارنة بالجهود العضلي المرهق.



من ناحية أخرى، يتطلب النمو العقلي سنوات من اكتساب اللغة، والتنشئة الاجتماعية، والتعلم من خلال التوجيه وتراكم الخبرة، ومع تقدم المجتمعات، صارت عملية التعلم هذه أكثر تطلباً وأطول أمداً من خلال التعليم والتدريب النظاميين، والخدمات التي أدت إلى تطلب مدخلات طاقة غير مباشرة كبيرة لدعم البنى التحتية المادية والخبرة البشرية المطلوبة.

لقد لاحظنا ضرورة التقييمات الكمية، لكن الفهم الحقيقي للطاقة في التاريخ يتطلب أكثر بكثير من اختزال كل شيء إلى حسابات عددية بالجول والواط ومعاملتها على أنها تفسيرات شاملة.

لقد تركت ضرورات احتياجات الطاقة واستخداماتها بصمة قوية في التاريخ، لا يمكن تفسير العديد من التفاصيل والتسلسلات والعواقب لهذه المحددات التطورية الأساسية إلا من خلال الإشارة إلى الدوافع والتفضيلات البشرية، ومن خلال الاعتراف بتلك المفاجئة، التي غالباً على ما يبدو لا يمكن تفسيرها على أنها الخيارات التي شكلت تاريخ حضارتنا.

نظرة عامة على الطاقة العالمية

مع تزايد استهلاك الطاقة العالمي باطراد لعدة أسباب، من بينها تحسين نوعية الحياة، وزيادة السكان، والتصنيع، والنمو الاقتصادي السريع للبلدان النامية، وزيادة نقل الأشخاص والسلع، وما إلى ذلك. يوجد العديد من أنواع الوقود المتاحة في جميع أنحاء العالم، ويعتمد الطلب عليها بشدة على التطبيق والاستخدام، والموقع والموارد الإقليمية، والتكلفة، وعوامل النظافة والأثر البيئي، وسلامة التوليد والاستخدام، والعوامل الاجتماعية والاقتصادية، والسياسة العالمية والإقليمية، إلخ.

تتكون دورة استخدام الطاقة من ثلاث مراحل: التوليد والتوزيع والاستهلاك، وكلها يجب أن تكون متوازنة بشكل وثيق من أجل بنية تحتية مثالية للطاقة. أي اختناق أو نقص سيؤثر على الفور على الدورة بأكملها كعامل مقيد.

إذا كان هناك انخفاض في إنتاج نوع معين من الوقود، فإن توزيع واستهلاك هذا الوقود المحدد سينخفض أيضاً؛ بحيث يصير تبديل الوقود من هذا النوع إلى آخر، وكذلك الحفظ القسري أمراً لا مفر منه. علاوة على ذلك، بناءً على مبدأ العرض والطلب، سيرتفع سعر المستهلك من هذا النوع من الوقود بلا شك.

حتى انهيار نظام النقل لنوع معين من الوقود سيؤثر على السوق الاستهلاكية بشكل مباشر، وسيكون لذلك عواقب مثل نقص الوقود وارتفاع الأسعار على الأقل لفترة محدودة في المنطقة المتضررة.

من بين أنواع الوقود الأحفوري التقليدية، تجاوز الاستهلاك المتزايد للغاز



الطبيعي أنواع الوقود الأحفوري الأخرى، مثل الفحم والنفط. يُعزى ذلك إلى زيادة الطلب على الغاز الطبيعي في التدفئة الصناعية والسكنية، وزيادة تركيبات محطات الطاقة الكهربائية القائمة على الغاز الطبيعي، والاكتشافات الجديدة لرواسب الغاز الطبيعي الكبيرة. شهد العالم عدة مرات في القرن الحادي والعشرين نقصاً كبيراً للغاز الطبيعي وارتفاعاً في أسعاره، ويرجع ذلك أساساً إلى الاختلالات بين العرض والطلب.

في الواقع تعتمد أنظمة الطاقة العالمية حالياً على النفط بشكل لم يسبق له مثيل في تاريخ البشرية. وهو مصدر الطاقة الأول حيث بلغ نصيبه 35% من ميزانية طاقة الوقود العالمية في عام 2005.

أكبر ثلاثة منتجين في عام 2006 هم: المملكة العربية السعودية والولايات المتحدة وروسيا. نظراً لأن الناس في جميع أنحاء العالم يعتمدون اعتماداً كبيراً على طاقة الوقود لإنتاج الغذاء، والنقل، والتشغيل المستمر للصناعات ونموها، فمن المهم أن نفحص الأبعاد المتعددة لاستخدام الطاقة. وتشمل:

1. الطاقة والسياسة

2. واردات الطاقة والاقتصادات الوطنية.

3. إنتاج الطاقة والغذاء.

4. الطاقة والنقل والبيئة والترفيه.

5. سياسات الطاقة.



1. الطاقة والسياسة

السياسة، وليس القضايا البيئية، كان لها تأثير كبير في أسعار الطاقة وحركتها. مرت الولايات المتحدة بما لا يقل عن ست أزمات نفطية بعد الحرب العالمية الثانية. وشمل ذلك تأمين إيران لصناعة النفط الأنجلو إيرانية (المملوكة لبريطانيا) في عام 1951 وتأمين قناة السويس الفرنسية والمملوكة لبريطانيا في عام 1956، مما أدى إلى فقدان السيطرة على طريق تجارة الشحن هذا من قبل الدول الغربية.

بعد حرب الأيام الستة عام 1967 بين مصر وإسرائيل، جرى إغلاق قناة السويس أمام جميع الشحنات بين عامي 1967 و1975. في عام 1973، أدت حرب أكتوبر إلى فرض حظر نفطي عربي خطير. كانت هذه رابع حرب عربية - إسرائيلية، وأشدّها حدة، وأكثرها أثراً.

كذلك أدت أزمة الرهائن الأمريكيين في إيران خلال الفترة 1979-1981 إلى توقف إمدادات النفط من ذلك البلد وقفزت أسعار النفط من **13 دولاراً** للبرميل إلى ما كان آنذاك إلى **34 دولاراً**. في عام 1990، غزا العراق الكويت، وفرضت الأمم المتحدة حظراً تجارياً، وتوقف تدفق النفط من ذلك البلد.

كما تأثر انقطاع الإمدادات في السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين بحرب العراق في عام 2003 والتوترات المستمرة مع إيران. توضح هذه الأمثلة الوجه المتغير للعلاقات التجارية للنفط وعلاقتها الوثيقة بالسياسات الدولية.



2. واردات الطاقة والاقتصادات الوطنية

باستثناء عدد قليل من البلدان الغنية بالنفط، يتعين على معظم البلدان استيراد النفط لتلبية احتياجاتها. تعتمد المعيشة الأساسية والمرافق الحديثة على توافر طاقة الوقود. وعلى القدر نفسه من الأهمية، فإنها تدعم قدرة الدول على الاستدامة وتوسيع بنيتها التحتية الصناعية وتحسين مستوياتها المعيشية بشكل عام.

العلاقة بين النمو في الناتج القومي الإجمالي واستخدام الطاقة في جميع البلدان هي علاقة وثيقة. أدى النمو الاقتصادي الأخير في الصين والهند، بمعدل نمو سنوي يتراوح بين 7 و12%، إلى ارتفاع الطلب على النفط والغاز الطبيعي في جميع أنحاء العالم، مما أدى إلى ارتفاع الأسعار إلى مستويات غير متوقعة.

لقد أثر السلوك التاريخي لكثافة الطاقة - نسبة استخدام الطاقة إلى الإنتاجية الوطنية الإجمالية (GNP) - بشدة في الروابط بين كفاءة الطاقة والحفاظ عليها، والنمو الاقتصادي، والبيئة. مع احتضان المزيد من الدول للتجارة الحرة، من المرجح أن تؤدي قضايا إمدادات الطاقة والآثار البيئية لاستخدام الطاقة إلى زيادة التوتر بين البلدان الأقل نمواً والبلدان الأكثر تقدماً. للتوضيح، انخفض استهلاك الطاقة بنسبة 2.2% للولايات المتحدة وزاد بنسبة 7.7% للصين في عام 2007.

3. إنتاج الطاقة والغذاء

لقد ناقشنا بالفعل الحاجة الحيوية لمدخلات الطاقة اللازمة لضمان الإنتاجية الزراعية الحديثة. من تحضير التربة للتخصيب، والري، واستخدام المبيدات الحيوية، والحصاد، والمعالجة، والتعبئة، والشحن، تعتمد أنظمة الغذاء على إمدادات الطاقة المستدامة والموثوقة.



في الولايات المتحدة، كما لوحظ، يذهب 20% من ميزانية الطاقة الوطنية إلى القطاع الزراعي من المزرعة إلى المنتج القابل للتسويق. تعتمد الثورة الخضراء في البلدان النامية بشكل كبير على مدخلات الطاقة. أدت السياسات التي جرى سنها مؤخراً لتحويل الحبوب بخاصة (الذرة) إلى وقود، إلى زيادة أسعار المواد الغذائية. وقد أثار هذا القلق في العديد من الدراسات والتعليقات، بما في ذلك من قبل المحافظين والقادة التشريعيين.

4. الطاقة والنقل والترفيه والبيئة

لقد غيرت السيارة نمط الحياة في المجتمعات الغربية، ولا سيما في الولايات المتحدة. وحالياً، صارت السياحة ظاهرة عالمية أكثر من أي وقت مضى.

تم تعزيز إمكانية الوصول إلى الأماكن القريبة والبعيدة بشكل كبير من خلال وسائل النقل المتعددة والرخيصة. يمكن رؤية حجم الحركة «الجماهيرية» للأشخاص في الواقع من خلال مثال أو مثالين. أثناء الاحتفال بيوم الذكرى عام 2000 في عطلة نهاية الأسبوع في الولايات المتحدة، سافر 34 مليون شخص: 2 مليون عن طريق الجو، و32 مليوناً بالسيارات. بالنسبة لعطلة نهاية الأسبوع في عيد العمال عام 2000، قدر عدد المسافرين جواً وبراً عبر السيارات بـ 33 مليوناً. في ولاية أوهايو وحدها، تدر السياحة 15 بليون دولار من النفقات والإيرادات.

إن استخراج الطاقة ومعالجتها ونقلها وأخيراً استخدامها -من تشغيل المصانع والسيارات والطيران في الطائرات إلى الاستخدام المنزلي - جميعها لها تأثير في البيئة.

في الخمسين سنة القادمة، من المتوقع أن يزداد استهلاك الطاقة بنسبة 361% في آسيا، و340% في أمريكا اللاتينية، و326% في إفريقيا، حيث من



المتوقع أن يكون النمو الاقتصادي هو الأعلى. مع أن الانبعاثات السنوية من البلدان المتقدمة تبلغ حالياً ضعف الانبعاثات الصادرة عن البلدان النامية، إلا أن الانبعاثات من البلدان النامية سوف تتضاعف أربع مرات تقريباً، بينما من المتوقع أن تزيد الانبعاثات الصادرة عن البلدان المتقدمة بنسبة 30% على مدار الخمسين عاماً القادمة.

5. سياسة الطاقة

بالنظر إلى الأهمية الهائلة للطاقة في الشؤون الإنسانية في جميع أنحاء العالم، يتوقع المرء أن يكون لدى جميع الدول سياسات في مجال الطاقة. للأسف، ليست هذه هي القضية. قد يبدو من غير المعقول أن الولايات المتحدة، التي يستخدم مواطنوها معظم الطاقة للأفراد، ليس لديها خطة أو سياسة وطنية للطاقة. ولجعل الأمور أسوأ، فإننا نهدر كلاً من الطاقة والموارد الأخرى.

نعتقد أن جدول أعمال القضايا البيئية في القرن الحادي والعشرين ستتصدره المشكلات المتعلقة مباشرة باستخدام الطاقة وتزايد عدد السكان. مشكلة الطاقة هي مشكلة تعتمد حلولها على قدرتنا على مواجهة تحديات لا تصدق، وبالنسبة للكثيرين منا، تلطف أنماط حياتنا. نحن نعرف المشكلات. حالياً نحن بحاجة إلى الإرادة لإيجاد الحلول.

مصادر الطاقة التقليدية

مصادر الطاقة التقليدية مثل الغاز الطبيعي أو النفط أو الفحم أو الطاقة النووية محدودة ولكنها لا تزال تحتفظ بأغلبية سوق الطاقة. ومع ذلك، فإن مصادر الطاقة المتجددة مثل الرياح وخلايا الوقود والطاقة الشمسية والغاز الحيوي / الكتلة الحيوية والمد والجزر والطاقة الحرارية الأرضية، إلخ. نظيفة ومتوفرة بكثرة في الطبيعة، وبالتالي فهي تتنافس مع مصادر الطاقة التقليدية. من بين مصادر الطاقة المتجددة، تمتلك طاقة الرياح إمكانات هائلة لتصير مصدراً رئيسياً للطاقة المتجددة لهذا العالم الحديث.

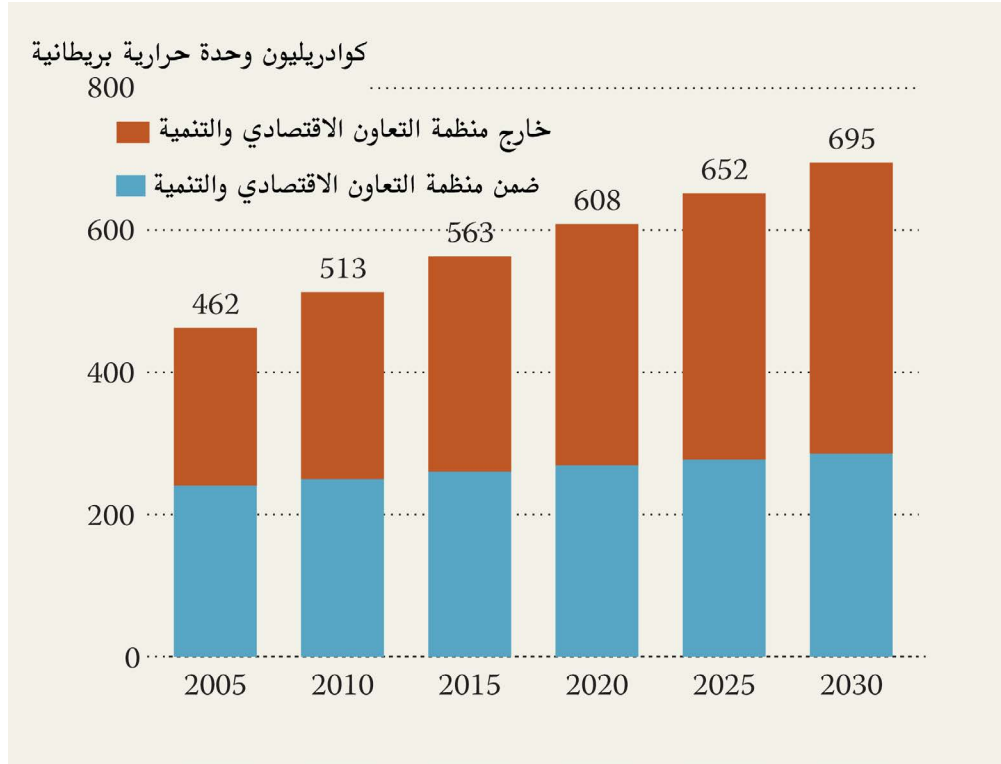
سنتعرف فيما يأتي على أهم أنواع مصادر الطاقة التقليدية:

1. طاقة الوقود الأحفوري

منذ ما يقرب من 60 عاماً، أعلن الجيولوجي الأمريكي إم كينغ هوبرت على أساس دراساته أن إنتاج النفط الأمريكي سيبلغ ذروته في أوائل السبعينيات وسيظهر اتجاهًا هابطاً بعد ذلك. لقد أثبت أنه كان على حق، وقد نالت ذروة هوبرت استحساناً كبيراً.

منذ هذا التوقع، اقترح العديد من خبراء التقيب عن النفط أن إنتاج العالم من النفط بدأ في الذروة عام 2015 أو بعد ذلك بوقت قصير. قلة منا ممن شاركوا في استهلاك النفط أو توريده، لا سيما في الولايات المتحدة وفي الصين والهند سريعة النمو، استجاب لهذه التحذيرات. تشير معظم التوقعات إلى أن استخدام الوقود الأحفوري سيستمر في الزيادة حتى عام 2030.



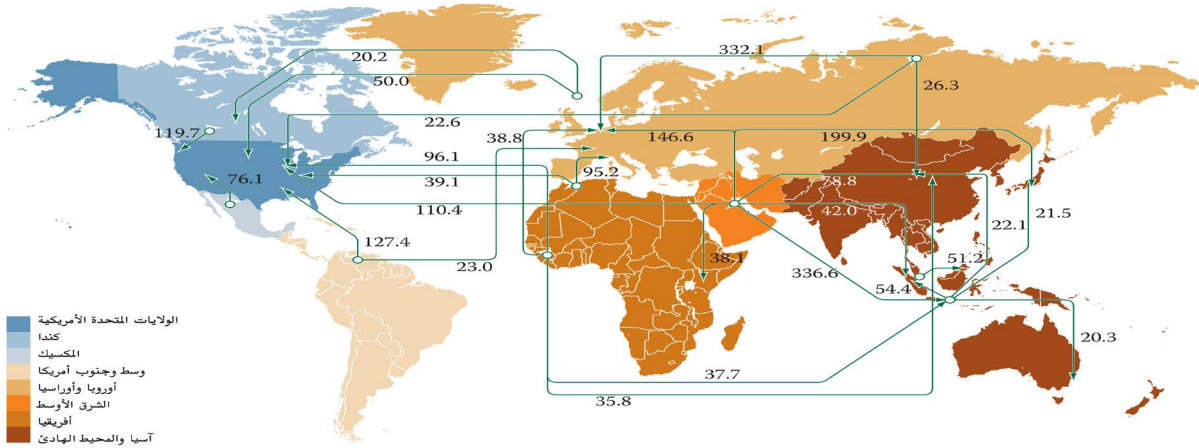


إجمالي استهلاك الطاقة المسوق عالمياً في OECD (منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية) والبلدان غير الأعضاء فيها بين عامي 2005 - 2030.

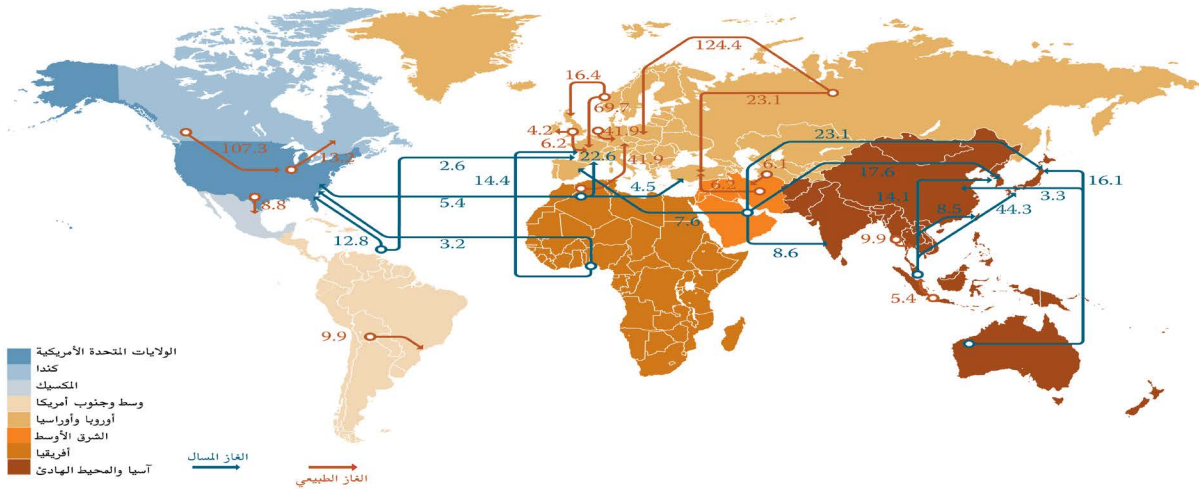
يوجد جانبان لاستخدام الطاقة في جميع أنحاء العالم لهما عواقب وخيمة على استقرار العالم والجغرافيا السياسية:

الأول: هو انتقال النفط والغاز من البلدان الغنية بالموارد إلى البلدان المستهلكة. توضح حركات التجارة الدولية في النفط والغاز الطبيعي وطرائقها الرئيسية بين مناطق مختلفة من العالم الالتزامات التي يتحملها الشركاء التجاريون مع بعضهم بعضاً والتي ربما لم تكن موجودة تاريخياً.





(a)



(b)

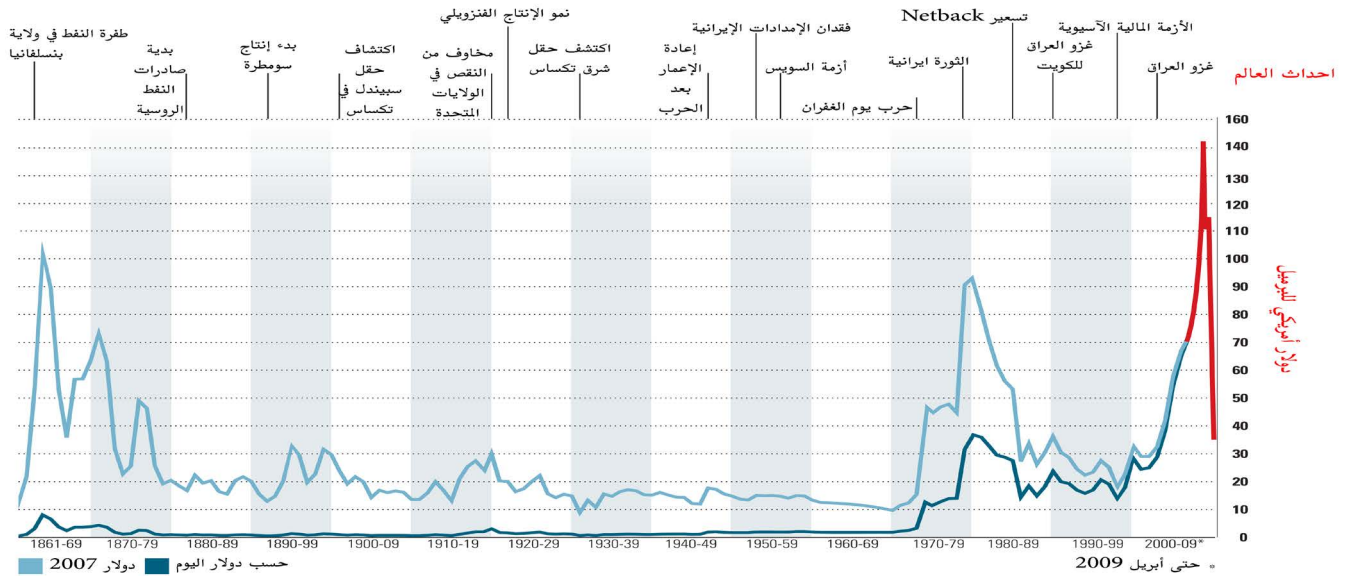
الحركات التجارية الرئيسية في جميع أنحاء العالم عام 2007 لـ (a) النفط ($\times 10^6$ طن) و (b) الغاز الطبيعي (10^{12} متر مكعب).

الثاني: هناك احتمال عدم استقرار الأسعار، كما تبين بشكل صارخ في الأشهر الستة الأولى من عام 2008: ارتفع سعر برميل النفط الأمريكي إلى أكثر من 145 دولاراً، مع توقع أنه سيكون 200 دولار نهاية عام 2008. كان لهذا تأثير



مستقبل الطاقة في عالمنا

هائل على تكلفة المعيشة في جميع دول العالم. مع أن انخفاض العرض وزيادة الطلب من المكونات المهمة لسيناريو تقلب الأسعار، فإن فرصة جني أرباح ضخمة وسريعة من قبل المضاربين وأسواق العقود الآجلة في النظام الاقتصادي الرأسمالي ليست أقل قوة. في البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء، قدمت هذه الجوانب دفعة هائلة للسعي الجاد لتنمية مصادر الطاقة المتجددة.



الاتجاهات التاريخية لأسعار النفط (النفط الخام بين عامي 1861-2009)، وتصاعدها في الأشهر الستة الأولى من عام 2008، ثم انخفاضها اللاحق.

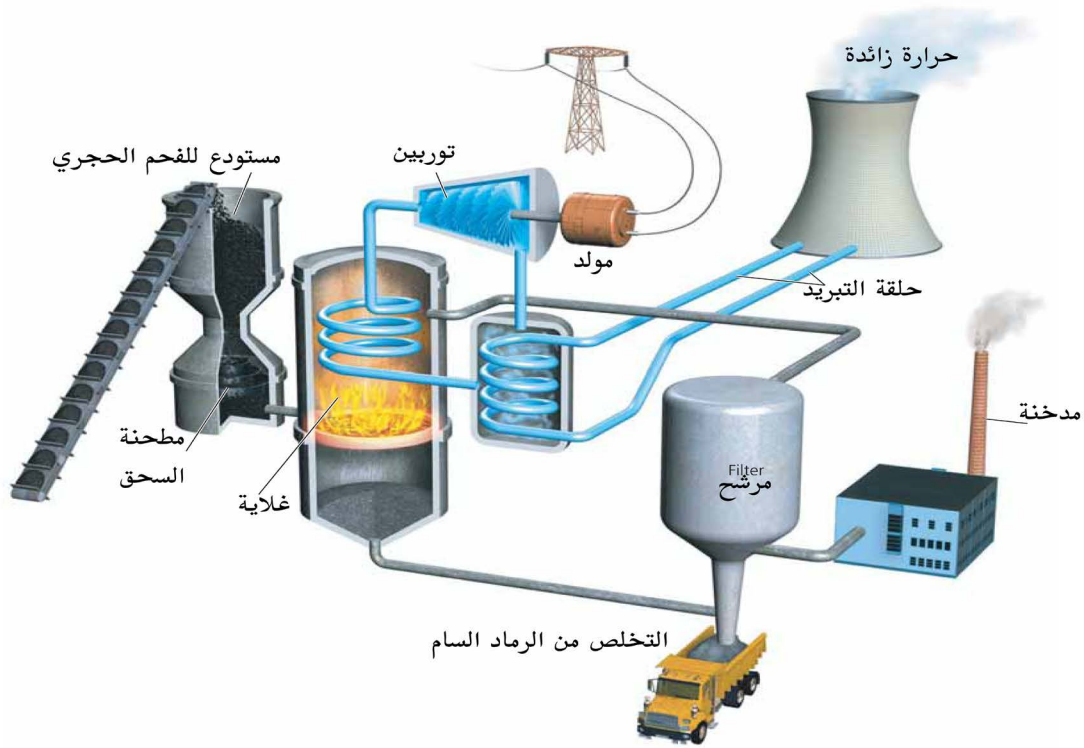
2. الفحم الحجري

يُستهلك الفحم في المقام الأول في توليد الطاقة الكهربائية وفي القطاعات الصناعية. في عام 2002، شكل استهلاك الفحم 24% من إجمالي استهلاك الطاقة في العالم.

استخدم نحو 65% من استهلاك الفحم لتوليد الطاقة الكهربائية، و31%



للمستهلكين الصناعيين مثل مصنعي الصلب ومولدات البخار، وجزء كبير من 4% المتبقية للمستهلكين في القطاعات السكنية والتجارية. لقد كان الفحم في يوم من الأيام وقوداً مهماً للنقل لتشغيل المحركات البخارية؛ ومع ذلك، نادراً ما يستخدم الفحم في الوقت الحاضر في النقل.



محطة لتوليد الطاقة بحرق الفحم. تعمل الحرارة الناتجة عن حرق الفحم المسحوق في الفرن على غلي الماء لإنتاج البخار الذي يدور التوربينات لإنتاج الكهرباء. يجري تبريد البخار وتكثيفه وإعادةه إلى المرجل لإعادة استخدامه. برج تبريد كبير ينقل الحرارة المهذرة إلى الغلاف الجوي. تحرق أكبر محطة لتوليد الطاقة بحرق الفحم في الولايات المتحدة في إنديانا 23 طنناً مترياً (25 طنناً) من الفحم في الدقيقة، أو حمولة ثلاثة قطارات من الفحم ساعة 100 سيارة يومياً.

وفقاً للتنبؤات لعام 2025 من قبل إدارة معلومات الطاقة (EIA) سيبقى الاستهلاك العالمي للفحم لتوليد الطاقة الكهربائية والاستخدام الصناعي مستقراً نسبياً.

تعود الزيادة الطفيفة في الاستهلاك من قبل القطاع الصناعي بشكل رئيسي إلى النمو الصناعي السريع في الصين، التي لديها احتياطي وفير من الفحم، ولكن احتياطي محدود من النفط والغاز الطبيعي. من المتوقع أن تزداد تجارة الفحم الدولية من 714 مليون طن في عام 2003 إلى 969 مليون طن في عام 2025، وهو ما يمثل ما يقرب من 12 إلى 13% من إجمالي الاستهلاك العالمي للفحم خلال هذه الفترة.

يقدر إجمالي الاحتياطيات القابلة للاسترداد من الفحم حول العالم بـ 1001 بليون طن، وهو ما يكفي لاستمرار نحو 184 عاماً إذا تم الحفاظ عليه عند مستوى استهلاك عام 2003 البالغ 5.439 بليون طن.

تم تعديل المقدار الاحتياطي مؤخراً بالخفض بعد تطبيق معايير أكثر تقييداً، أي قابلية استرداد آمنة واقتصادية. مع توزيع رواسب الفحم على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، فإن نحو 57% من احتياطيات الفحم العالمية القابلة للاسترداد تقع في ثلاث دول: الولايات المتحدة (27%) وروسيا (17%) والصين (13%). بعد هذه البلدان الثلاثة، ست دول تمثل 33% من إجمالي الاحتياطيات: الهند وأستراليا وجنوب إفريقيا وأوكرانيا وكازاخستان ودول يوغوسلافيا السابقة. يجري توزيع الفحم أيضاً بشكل غير متساو، تماماً مثل أنواع الوقود الأحفوري الأخرى مثل البترول والغاز الطبيعي.

لقد استهلكت الولايات المتحدة 1066 مليون طن من الفحم في عام 2002. ومن المتوقع أن يرتفع الاستهلاك بشكل مطرد إلى 1505 مليون طن في عام



2025. ومن المتوقع أن يستمر الاعتماد القوي للولايات المتحدة على الفحم لتوليد الطاقة الكهربائية. انخفض الاعتماد على استهلاك الفحم لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة من 56% في منتصف التسعينيات إلى 52% في عام 2002.

ومن المتوقع أن ينخفض بشكل طفيف من 52% في 2002 إلى 51% في 2015 ثم يعود إلى 53% في عام 2025 يأخذ هذا التوقع في الاعتبار الإضافة المتوقعة لمحطات الطاقة الجديدة التي تعمل بالفحم، فضلاً عن الزيادة المتوقعة في متوسط الاستخدام. معدل قدرة توليد الطاقة بالفحم من 70% عام 2002 إلى 83% عام 2025.

جرت دراسة الفحم على نطاق واسع لتحويله إلى وقود غازي وسائل، وكذلك مواد أولية هيدروكربونية. إلى حد كبير بفضل وفرته النسبية وسعر الوقود المستقر في السوق، كان الفحم هدفاً محورياً للتحويل التركيبي إلى أشكال أخرى من الوقود، أي الوقود المركب.

شهدت أعمال البحث والتطوير تقلبات بحثية صعوداً وهبوطاً بسبب عوامل خارجية، بما في ذلك سوق الوقود الأحفوري المقارن، فضلاً عن توقعات الطاقة الدولية في ذلك العصر.

يمكن تحويل الفحم إلى غاز، وتسييله، وتحليله حرارياً، ومعالجته مع أنواع الوقود الأخرى بما في ذلك النفط، والكتلة الحيوية، وإطارات السيارات، والنفايات الصلبة البلدية. يمكن أن ينتج عن التحويل الثانوي للغاز والسوائل المشتقة من الفحم مجموعة واسعة من المنتجات البتروكيماوية، فضلاً عن أنواع الوقود البديلة.

في عام 2003، كان الفحم هو ثاني أكبر مصدر رئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استهلاك وحرق الوقود الأحفوري، وهو ما يمثل 37% من



الإجمالي. كان المصدر الرئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استهلاك البترول، حيث يمثل 42% من الإجمالي. في المرتبة الثالثة كان الغاز الطبيعي بنسبة 21%.

يتشكل الفحم والنفط والغاز الطبيعي ورمال القطران والصخر النفطي من مواد نباتية وحيوانية على مدى مئات الملايين من السنين من التاريخ الجيولوجي. ويشار إليها مجتمعة بالوقود الأحفوري، وبالنظر إلى هذه الفترات الطويلة من الزمن المراد تحويلها، فإنها تعتبر، من منظور إنساني، موارد غير قابلة للتجديد.

يعود استخدام الفحم كمصدر للوقود إلى آلاف السنين. يعود ذكر التاريخ التاريخي لاستخدامه للحرارة وإنتاج الفخار من قبل هنود الهوبي في أمريكا الشمالية إلى 10000 عام. في الصين، لقد استخدم الفحم في صهر النحاس منذ 2000 إلى 3000 سنة وفي صناعة الخزف منذ 600-700 عام. زاد استخدام الفحم في أوروبا، وبخاصة إنجلترا، بشكل مطرد منذ القرن الثالث عشر. ومع تطور القنوات والسكك الحديدية، توسع تعدين الفحم بسرعة في بريطانيا العظمى؛ يقدر الإنتاج بنحو 2.25 مليون طن في عام 1660، و2.5 مليون طن في عام 1700، وأكثر من 10 ملايين طن في عام 1800.

في الولايات المتحدة، ارتفع استخدام الفحم بشكل كبير في أواخر خمسينيات القرن التاسع عشر حيث أدت إزالة الغابات على نطاق واسع إلى نقص في الأخشاب. وقد اكتشفت رواسب الفحم بوتيرة متسارعة في العديد من الولايات، بما في ذلك إلينوي وأوهايو وبنسلفانيا وفيرجينيا وويست فرجينيا.



أدى نقل الفحم بوساطة المراكب في التيارات المائية الرئيسية والسكك الحديدية إلى تسريع النمو الصناعي. من نحو 49000 طن في عام 1822، زاد إنتاج الفحم إلى نحو **342.3 مليون** طن في عام 1929. في ذلك العام أنتجت كل ولاية من الولايات الأربع: كنتاكي، وإلينوي، وبنسلفانيا، وفرجينيا الغربية، قيمة نقدية أكبر للفحم القاري من إجمالي إنتاج الذهب العالمي. أطلق على الفحم لقب **(الملك)**.

مع أن إنتاج الفحم كان أكثر من **342.3 مليون** طن في عام 1929، إلا أن حصة الفحم من استهلاك الطاقة السنوي في الولايات المتحدة كانت **60%** فقط، بعد أن انخفضت من **90%** في عام 1899. ومع ذلك، لاحظ هوبرت (عام 1973) أنه خلال **القرون الثمانية** التي سبقت عام 1860، تشير التقديرات إلى أن الإنتاج العالمي التراكمي للفحم بلغ **7 بلايين** طن. في عام 1970، بلغ الإنتاج التراكمي **140 بليون** طن متري. ومن ثم، فإن الفحم المستخرج خلال فترة **110 سنوات** بين 1860 و1970 كان نحو **19** ضعف ما كان عليه في **القرون الثمانية** السابقة. كان الفحم المنتج خلال فترة الثلاثين عاماً من عام 1940 إلى عام 1970 مساوياً تقريباً لتلك التي تم إنتاجها خلال كل التاريخ السابق.

أقدم رواسب الفحم التجارية في الولايات المتحدة هي من العصر الكربوني ويبلغ عمرها أكثر من **300 مليون** سنة. من حيث محتوى الطاقة، فإن الأنثراسايت **(الفحم الصلب)**، الذي يحوي على أعلى محتوى كربون وأقل محتوى مائي، يطلق أكبر كمية من الحرارة لكل وحدة وزن عند الاحتراق **(ومن ثم، يستخدم في صناعة الصلب)**، يليه القار **(الفحم اللين)** والفحم شبه القار والليجنيت.



الفحم الذي يحوي على أقل محتوى من الطاقة (من العصر الباليوسيني منذ ما يقرب من 60 مليون سنة) هو الليجنيت (ويسمى أيضاً الفحم البني). يتشكل الكبريت الموجود في الفحم مع المركبات العضوية التي يحويها أو يرتبط بالجزء غير العضوي.

يمكن لتقنيات الغسل البسيطة وعمليات تحضير الفحم الأخرى قبل الاحتراق أن تزيل معظم الكبريت غير العضوي ولكن لا يمكنها إزالة الكبريت العضوي، الأمر الذي يتطلب طرائق إزالة باهظة الثمن بعد الاحتراق مثل أجهزة إزالة الكبريت من غاز المداخن. في الولايات المتحدة اليوم، يجري تعدين جميع أنواع الفحم الأربعة لتوليد الطاقة الكهربائية.

يُحرق معظم الفحم في جميع أنحاء العالم مباشرة لإنتاج البخار الذي يدفع المولدات الكهربائية. يمكن أيضاً حرق الفحم من أجل تحويله إلى أشكال غازية وسائلة. التحويل إلى غاز بوساطة «عملية لوغري Lurgi» هو تحويل الفحم إلى شكل غازي (تغويز) في تفاعل مع البخار والأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

يحدث تسييل الفحم عن طريق التقطير المدمر للفحم لصنع هيدروكربونات سائلة تنتج منتجات مثل البنزين وزيت الديزل والكحوليات والشموع ومنتجات أخرى. استخدمت هاتان العمليتان على نطاق واسع؛ مثلاً، حافظوا على إمدادات الوقود للألمان خلال الحربين العالميتين الأولى والثانية. وبالمثل، استخدمت جنوب إفريقيا منتجات تغويز وتسييل الفحم خلال الثمانينيات عندما فرض العالم حظراً اقتصادياً على سياسات الفصل العنصري في جنوب إفريقيا.

نوقشت احتمالات تحويل الفحم إلى غاز أو سائل على نطاق واسع في غرب الولايات المتحدة بعد أزمة الطاقة عام 1973. بعد ربع قرن، ظهرت تكنولوجيا



تحويل الفحم الجديدة و «النظيفة» مرة أخرى في المقدمة. اتخذ هذا شكل «مفهوم FutureGen»، الذي بدأ في عام 2003.

بعد ما يقرب من 30 شهراً من المناقشة، اختير موقع لتصميم محطة الفحم التجريبية في إلينوي. بينما كان الابتهاج قد بدأ للتو من قبل الأشخاص في موقع المصنع (ماتون، إلينوي)، تحالف FutureGen الصناعي (شراكة بين القطاعين العام والخاص من 12 شركة أمريكية ودولية مع وزارة الطاقة الأمريكية)، والمتحمسين للطاقة المتجددة، وزارة الولايات المتحدة وسحبت شركة الطاقة تمويلها وألغت المشروع في 30 يناير 2008 بسبب ارتفاع التكاليف. ومن ثم، مع انتشار استخدام النفط والغاز الطبيعي، لا يزال الفحم مصدراً رئيسياً للطاقة في العالم اليوم.

يملك العالم احتياطات مؤكدة كبيرة من رواسب الفحم مقارنة بالاحتياطات المؤكدة من النفط. من بين المصادر الرئيسية للطاقة في المائة وخمسين عاماً الماضية، كان الفحم هو السائد عالمياً، وبخاصة لتوليد الكهرباء. على الصعيد العالمي، استحوذ الفحم على 26% من إجمالي استهلاك الطاقة العالمي في عام 2004، في المرتبة الثانية بعد النفط كمصدر للوقود الأحفوري وكمصدر لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

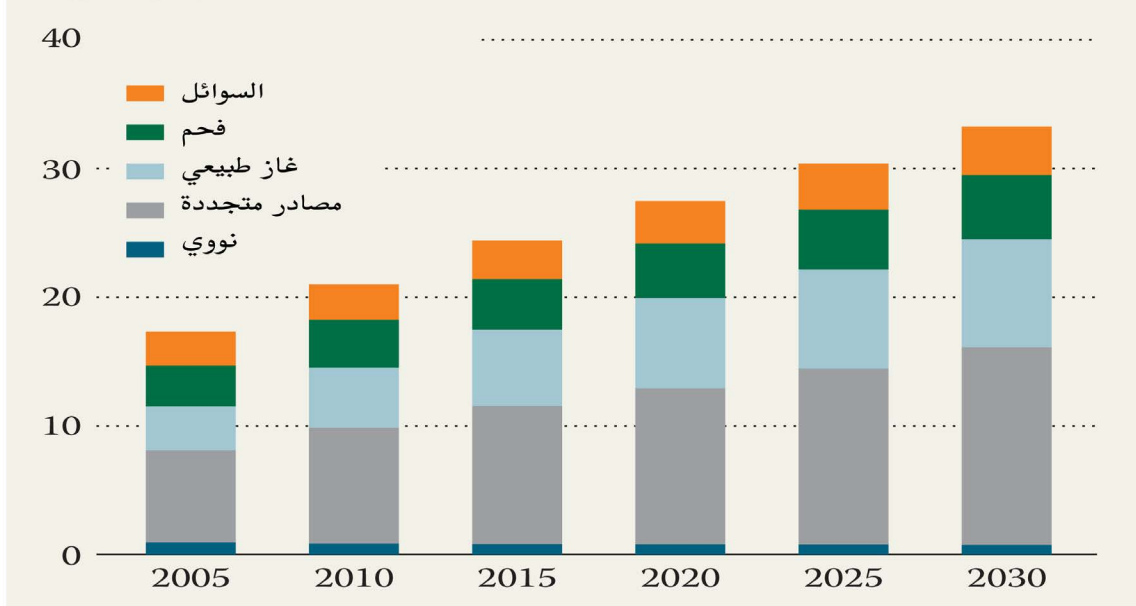
في عام 2006، بلغ إنتاج الفحم العالمي 5.37 بليون طن، وكانت الصين والولايات المتحدة والهند المنتجين الرئيسيين. في عام 2007، كان الفحم المنتج في الولايات المتحدة أكثر من بليون طن (الفحم الصلب نحو 990 مليون طن والفحم البني نحو 76 مليون طن).



يمكن وضع هذه الكميات في سياق ميزانية الطاقة الوطنية السنوية للولايات المتحدة من أجل فهم أفضل لمساهماتها النسبية. في عام 2005، أنتجت الولايات المتحدة 68% (2154 تيراواط ساعة) من الكهرباء من الفحم. أدت أساليب استخراج الفحم الأحداث، ولا سيما التعدين السطحي، إلى زيادة كبيرة في استعادة الفحم من الأرض وخفضت بشكل كبير المخاطر الصحية التي ينطوي عليها التعدين تحت الأرض.

على الصعيد الدولي، يعد الفحم أكبر مصدر منفرد لتوليد الكهرباء في جميع أنحاء العالم، ويتزايد استخدامه. تقدر التقارير الإخبارية الأخيرة أن محطة طاقة تعمل بالفحم كافية لتلبية احتياجات مدينة بحجم سان دييغو يجري بناؤها كل 10 أيام في الصين وكل 14 يوماً في الهند.

تريليون كيلوواط / ساعة

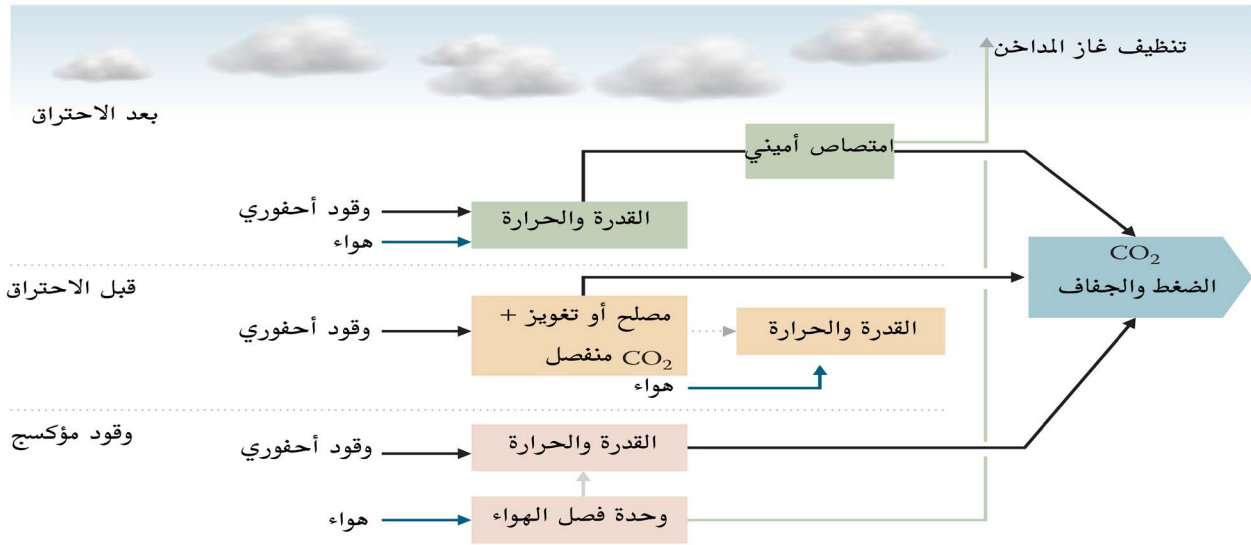


توليد الكهرباء في العالم حسب نوع الوقود بين عامي 2005-2030.



التركيب الكيميائي الأساسي للفحم - كما ذكرنا سابقاً - هو نفسه لجميع أنواع الوقود الأحفوري. يتكون في الغالب من الكربون (55-90% بالوزن) والهيدروجين بكميات صغيرة من مركبات النيتروجين والكبريت، بالإضافة إلى العناصر النادرة الأخرى. عند الاحتراق، يتحد الكربون والنيتروجين والكبريت مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والكبريت وأول أكسيد الكربون.

تبعث في الغلاف الجوي، حيث تتحول إلى أشكال مختلفة، مما يتسبب في هطول حمضي؛ تلوث الهواء والماء والتربة؛ والزيادات في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. مع أهميته الحالية، فإن مستقبل الفحم يعتمد على مدى جودة امتصاص ثاني أكسيد الكربون من محطات الطاقة.



نظرة عامة على الخيارات التقنية الرئيسية لالتقاط ثاني أكسيد الكربون من محطات الطاقة.

3. البترول

ما الذي أخذ 30% من حصة الطاقة الأمريكية من الفحم في الثلاثين عاماً ما بين 1899 و1929، ولماذا يمثل الفحم 28% فقط من ميزانية الطاقة الوطنية حالياً؟ هذه هي قصة كيف بدأ «عصر الهيدروكربونات» وعصر التجارة الدولية وكيف غير كلاهما حياتنا.

إنها أيضاً قصة كيف سيطر البترول على إمدادات الطاقة في العالم والتي جرى توثيقها بأناقة من قبل **دانيال يرغين** في كتابه (الجائزة: البحث الملحمي عن النفط والمال والقوة (1991)). إن الكثافة التي بدأ بها التقيب عن النفط في جميع أنحاء الولايات المتحدة هي أسطورة. فيما يأتي صورة مصغرة للاكتشاف التاريخي كما التقاطها بوساطة **جورج ف. ويل** (2001): «منذ مائة عام، نحو الساعة 10:30 صباحاً يوم 10 يناير 1901، بالقرب من بومونت، تكساس، على تل يسمى **سبيندلتوب**، كان أول تدفق كبير لحقول النفط في شرق تكساس يسيل. وقبل مضي وقت طويل، كان عدد سكان **بومونت** بحيث جرى بيع المياه مقابل **6 دولارات للبرميل**، في حين كان النفط يُباع بثلاثة سنتات للبرميل».

في الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضي، كان للولايات المتحدة نصيب كبير من احتياطات النفط العالمية، لكنها استخدمت احتياطاتها بسرعة كبيرة بحيث انخفضت هذه الحصة في عام 1970 إلى 6%. هنا نجد أن كلمات **هوبرت** (1973) مفيدة للنفط كما كانت بالنسبة للفحم: «بلغ الإنتاج العالمي التراكمي من النفط الخام حتى عام 1970 إلى **233 بليون برميل**».

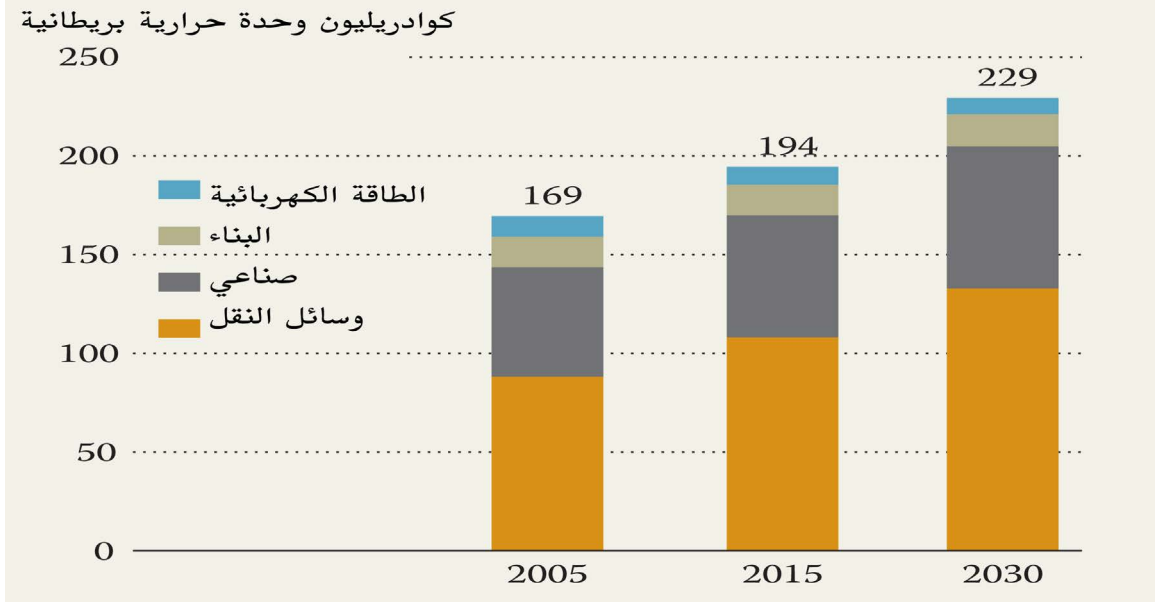
من هذا، تطلب النصف الأول فترة **103 سنوات** من 1857 إلى 1960 للإنتاج، والنصف الثاني فقط فترة **10 سنوات** من 1960 إلى 1970. لقد تضاعف إجمالي



كمية النفط الخام المنتج في فترة 113 عاماً فقط في فترة الـ 12 عاماً اللاحقة ووصل إلى نحو **594 بليون** برميل في عام 1998. في عام 2006، أنتجت المملكة العربية السعودية وروسيا والولايات المتحدة **32.9%** من الخام العالمي. النفط، والإنتاج من إيران والصين والمكسيك يمثل **14.8%** إضافية.

مع اكتشاف المزيد والمزيد من آبار النفط في الشرق الأوسط وفنزويلا والمكسيك وإندونيسيا ودول أخرى، كانت الدول الصناعية تستهلك كميات هائلة من النفط، مما يجعل تجارة النفط شريان الحياة لاقتصادات العالم. مع أنّ الولايات المتحدة تستخدم الطاقة من العديد من المصادر، إلا أن حصتها من استهلاك النفط في جميع أنحاء العالم في عام 2007 كانت أكثر بقليل من **24%**.

وإدراكاً منها للاعتماد على الدول الصناعية وأهميتها الخاصة بها، شكلت الدول الغنية بالنفط في العالم منظمة الدول المصدرة للنفط (**أوبك**) لإدارة أسعار النفط.



استهلاك السوائل في العالم حسب قطاع الاستخدام النهائي بين عامي 2005-2030.

يمكن تكرير النفط الخام إلى مجموعة متنوعة من المنتجات - من البنزين إلى نواتج التقطير المتوسطة (الكيروسين، وزيوت التدفئة، وزيت الديزل، ووقود الطائرات) وزيت الغاز العريض (الشموع وزيوت التشحيم) والزيوت المتبقية (الأسفلت)؛ ومع ذلك، فإن جميع عمليات الإنتاج هذه لها تأثيرات بيئية.

ينتج التكرير الجسيمات والهيدروكربونات وأكاسيد النيتروجين والكبريت، ويطلق عناصر مثل الكروم والنحاس والرصاص والزنك. يُنقل النفط عن طريق خطوط الأنابيب (مثلاً، خط أنابيب النفط في ألاسكا) أو بوساطة الناقلات (مثلاً، من الشرق الأوسط إلى الولايات المتحدة)، وقد أدت حوادث الناقلات والتسريبات الأخيرة في خط أنابيب ألاسكا إلى تلويث البيئة بالنفط الخام.

مع أن عدد الناقلات التي تحمل النفط داخل القارات وفيما بينها قد لا يكون قد زاد بشكل كبير (من 3500 في عام 1954 إلى 4024 في عام 2007)،



فقد زادت القدرة الاستيعابية القصوى لهذه السفن بشكل كبير (46000 طن لكل سفينة في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي حتى الوقت الحالي إلى طاقات تزيد على 555000 طن لكل سفينة). لكن بالمقابل كلما زادت القدرة الاستيعابية للسفينة، زادت عواقب الانسكابات النفطية.

لقد نما الاستهلاك العالمي للبتروول بمعدل 1.04% سنوياً في الفترة من (1980 إلى 2003). مع أن معدل الزيادة هذا قد يبدو معتدلاً، إلا أنه يجب ملاحظة أن الموارد البترولية محدودة ويمكن استنفادها على مدى سنوات. غالباً ما جرى تقدير السنوات التي يمكن فيها توفير البتروول واستهلاكه وفقاً لمعدل الاستهلاك الحالي من قبل المتخصصين وصانعي السياسات، لكن الأرقام كانت غير متسقة ومتقلبة من سنة إلى أخرى.

جاء عدم اليقين هذا من صعوبة تقدير المقدار المستقبلي القابل للاسترداد للنفط من جميع الاحتياطات المؤكدة وغير المؤكدة. وقد قامت جمعية مهندسي البتروول (SPE) ومجلس البتروول العالمي (WPC) بتطوير واعتماد العديد من التعريفات للمصطلحات المتعلقة باحتياطي البتروول لتسهيل الاتساق بين المهنيين باستخدام هذه المصطلحات:

✓ **الاحتياطات المؤكدة:** هي كميات البتروول التي يمكن، من خلال تحليل البيانات الجيولوجية والهندسية، تقديرها بدرجة معقولة من اليقين لتكون قابلة للاسترداد تجارياً، من تاريخ معين فصاعداً، من الخزانات المعروفة وفي ظل الظروف الاقتصادية الحالية وطرائق التشغيل واللوائح الحكومية. يمكن تصنيف الاحتياطات المؤكدة على أنها مطورة أو غير مطورة.



✓ **الاحتياطات غير المؤكدة:** تستند إلى بيانات جيولوجية وهندسية مماثلة لتلك المستخدمة في تقديرات الاحتياطات المؤكدة، لكن عدم اليقين الفني أو التعاقدى أو الاقتصادي أو التنظيمي يحول دون تصنيف هذه الاحتياطات على أنها مثبتة. يمكن تصنيف الاحتياطات غير المؤكدة على أنها احتياطات محتملة واحتياطات ممكنة.

✓ **الاحتياطات المحتملة:** هي تلك الاحتياطات غير المؤكدة التي يشير تحليل البيانات الجيولوجية والهندسية إلى أنه من المرجح أن تكون قابلة للاسترداد أكثر من عدمها. في حالة تقديم تفسير احتمالي، يجب أن يكون هناك احتمال بنسبة **50%** على الأقل أن الكميات المستردة فعلياً سوف تساوي أو تتجاوز مجموع الاحتياطات المؤكدة المقدر بالإضافة إلى الاحتياطات المحتملة.

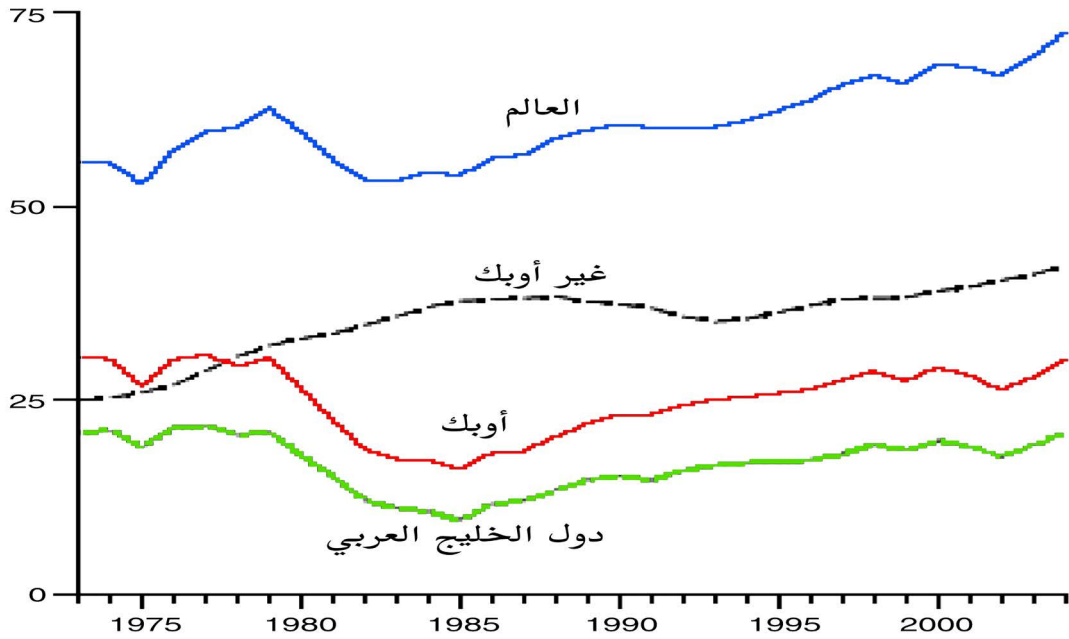
✓ **الاحتياطات الممكنة:** هي تلك الاحتياطات غير المؤكدة التي يشير تحليل البيانات الجيولوجية والهندسية إلى أنها أقل قابلية للاسترداد من الاحتياطات المحتملة. في حالة تقديم تفسير احتمالي، يجب أن يكون هناك احتمال بنسبة **10%** على الأقل أن الكميات المستردة بالفعل سوف تساوي أو تتجاوز مجموع المقدر المؤكدة بالإضافة إلى الاحتياطات المحتملة بالإضافة إلى الاحتياطات المحتملة.

تقدر مجلة النفط والغاز (OGJ) أنه في بداية عام 2004، بلغ احتياطي النفط العالمي **1.27 تريليون برميل**. هذا التقدير هو **53 بليون برميل** أعلى من العام السابق (2003)، مما يعكس اكتشافات إضافية، وتحسين التكنولوجيا،



وتغير الاقتصاد. وإذا استخدمنا معدل الاستهلاك العالمي للبتترول لعام 2003 كمعدل ثابت، فسيكون احتياطي البترول العالمي قادراً على الحفاظ على المستوى الحالي للاستهلاك لمدة 43.4 سنة إضافية.

تعتمد صناعات النقل والوقود والبتروكيماويات حالياً بشكل كبير على المواد الأولية القائمة على البترول. لذلك، يجب تطوير واستخدام أنواع الوقود البديلة التي تحل محل المواد الأولية البتروكيماوية والمواد المكملة للبتترول. تحتاج البنية التحتية الضرورية أيضاً إلى التطوير والتغيير لإجراء انتقال من الاقتصاد البترولي الحالي.



يُظهر الشكل بيانات إنتاج النفط الخام النفطي العالمي بمليون برميل يومياً. كما يُظهر انهيار إنتاج النفط الخام البترولي بين دول منظمة البلدان المصدرة للنفط (أوبك OPEC) والدول غير الأعضاء في أوبك. وتجدر الإشارة إلى أن اتجاهات الإنتاج بين المجموعتين خلال الفترة من 1979 إلى 1993 كانت معاكسة تماماً، بينما كانت متوازية منذ عام 1993.



4. الغاز الطبيعي

الغاز الطبيعي هو الخليط الغازي الموجود في الخزانات البترولية. يتكون في الغالب من الميثان. على غرار البترول والفحم، يُشتق هذا الغاز من بقايا النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة التي عاشت منذ ملايين وملايين السنين.

يمكن اعتبار الغاز الطبيعي، في حد ذاته، غير مُهمّ جداً لأنه عديم اللون والرائحة في شكله النقي. هذا الغاز عبارة عن خليط قابل للاشتعال من غازات الهيدروكربون، ومع أن المكون الرئيسي هو الميثان (CH_4) والإيثان (C_2H_6) والبروبان (C_3H_8) والبوتان (C_4H_{10}) والبنتان (C_5H_{12}) موجودة أيضاً.

الغاز الطبيعي قابل للاحتراق وينتج الطاقة عند حرقه. على عكس أنواع الوقود الأحفوري الأخرى، فإن حرق الغاز الطبيعي نظيف وتبعث منه مستويات أقل من المنتجات الثانوية التي قد تكون ضارة في الهواء.

يمكن أيضاً استخدام الغاز الطبيعي لإنتاج أنواع وقود بديلة. يشمل مصطلح الوقود البديل: الميثانول والإيثانول والكحولات الأخرى؛ والمخاليط الحاوية على الميثانول والكحولات الأخرى مع البنزين أو أنواع الوقود الأخرى؛ وقود الديزل الحيوي. والوقود (بخلاف الكحول) المشتق من المواد البيولوجية؛ وأي وقود آخر ليس منتجاً بترولياً إلى حد كبير.

في السنوات الأخيرة، اكتسب الغاز الطبيعي شعبية بين العديد من القطاعات الصناعية. يحترق أنظف من الفحم أو البترول، ومن ثم يوفر فوائد بيئية. يجري توزيعه بشكل أساسي عبر خطوط الأنابيب وفي مرحلة سائلة (تسمى الغاز الطبيعي المسال [LNG]) تنقله عبر المحيطات بواسطة الناقلات.



الغاز الطبيعي هو ثالث أكثر مصادر الطاقة استخداماً في الولايات المتحدة (23%) بعد البترول والفحم. المستهلكون الرئيسيون للغاز الطبيعي هم: المصنعون، والمرافق العامة، والمستهلكون السكنيون (تدفئة المنازل والطهي)، والمستخدمون التجاريون، وبشكل أساسي لتدفئة المباني.

يساعد الغاز الطبيعي في تصنيع مجموعة متنوعة من السلع بما في ذلك البلاستيك والأسمدة وأفلام التصوير الفوتوغرافي والأحبار والمطاط الصناعي والألياف والمنظفات والمواد اللاصقة والميثانول والإيثرات وطارادات الحشرات وغير ذلك الكثير.

كما أنه يستخدم في توليد الطاقة الكهربائية لأنه يحترق أنظف وأكثر كفاءة من الفحم، ولديه مشكلات تتعلق بالانبعاثات أقل من أنواع الوقود الأحفوري الشائعة الأخرى. ومع ذلك، فإن حصة السوق محدودة للغاز الطبيعي كوقود للنقل، مع أنه يمكن استخدامه في محركات الاحتراق الداخلي العادية.

يرجع هذا بشكل أساسي إلى كثافة الطاقة المنخفضة لكل حجم ما لم تُضغَط تحت ضغط مرتفع جداً. يستخدم أكثر من نصف منازل الولايات المتحدة الغاز الطبيعي كوقود التدفئة الرئيسي.

أي انقطاع كبير في إمدادات الغاز الطبيعي من شأنه أن يؤدي إلى عواقب فريدة ولكنها خطيرة جداً في إدارة الطاقة في البلاد، على الأقل على المدى القصير وفي منطقة معينة متأثرة، حيث يستخدم الغاز الطبيعي بشكل كبير من قبل كل من مرافق توليد الطاقة الكهربائية والمنازل.

خفت مشكلة الاعتماد الإقليمي على الطاقة إلى حد ما عن طريق تحرير المرافق، مما أدى إلى تغيير الممارسات التجارية للمرافق الكهربائية وصناعة



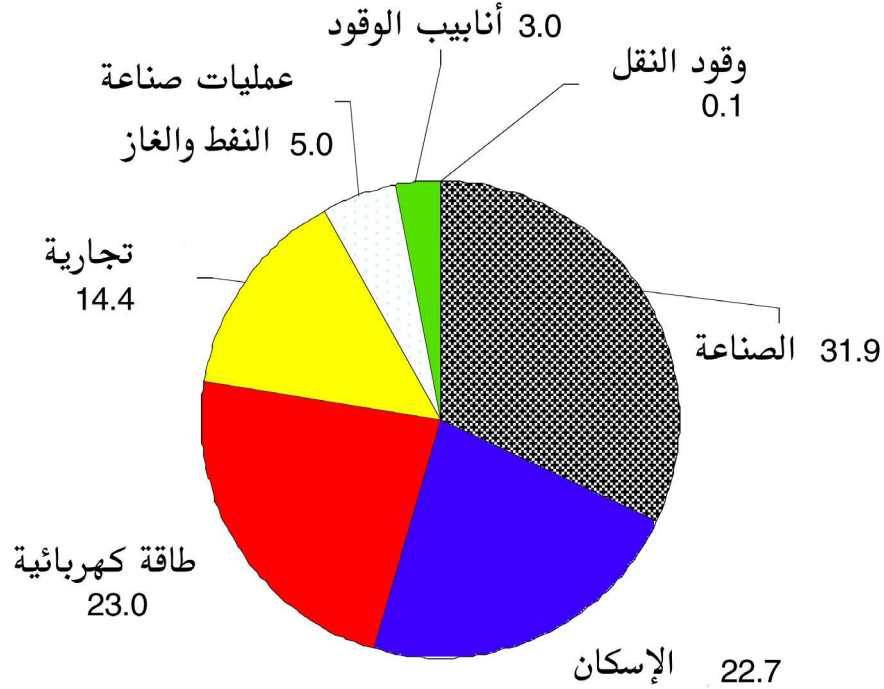
الغاز الطبيعي. يسمح إلغاء القيود للعملاء بشراء الغاز الطبيعي من الموردين بخلاف مرافقهم المحلية، مما يوفر خيارات للمستهلكين ويؤدي في النهاية إلى قيمة أفضل لهم.

يجري توزيع الغاز الطبيعي بشكل رئيسي عبر خطوط الأنابيب. في الولايات المتحدة، يُربط أكثر من مليون ميل من خطوط الأنابيب تحت الأرض بين حقول الغاز الطبيعي والمدن الكبرى. يمكن تسهيل هذا الغاز عن طريق التبريد إلى (162 درجة مئوية)، ويصير أكثر كثافة في الحجم (615 مرة) مقارنة بالغاز الطبيعي في درجة حرارة الغرفة، مما يسهل تخزينه أو نقله.

يمكن نقل الغاز الطبيعي المسال في صهاريج خاصة بوساطة الشاحنات أو السفن حيث إنَّ الغاز الطبيعي المسال لديه سيولة وانضغاط الحجم مقارنة بأنواع الوقود السائل الأخرى. في هذا الصدد، لديها بعض الصفات اللازمة لوقود النقل. نتيجة لذلك، يجري حالياً تشغيل أكثر من 100 منشأة لتخزين الغاز الطبيعي المسال في الولايات المتحدة ولا يزال العدد في ازدياد.

مثل جميع أنواع الوقود الأحفوري الأخرى، يولد الغاز الطبيعي أيضاً ثاني أكسيد الكربون (أحد غازات الدفيئة الرئيسية) عند الاحتراق. كما أن الغاز الطبيعي في حد ذاته من غازات الدفيئة. لذلك، في جميع مراحل التوليد والتخزين والنقل، يجب اتخاذ تدابير وقائية لضمان عدم حدوث تسرب عرضي للغاز الطبيعي بسبب أي تسرب.





الاستخدامات الرئيسية للغاز الطبيعي في الولايات المتحدة الأمريكية. يحتل الغاز الطبيعي المرتبة الثالثة عالمياً وفي الولايات المتحدة على حد سواء كمصدر للطاقة. عادةً ما يكون الغاز الطبيعي خليطاً من الميثان (80-85%) والإيثان (10%) والنيتروجين (5%) والبروبان (4%) والبيوتان (1%). إنه عديم اللون والرائحة وقابل للاشتعال. نظراً لأنه عديم الرائحة، يصعب اكتشاف التسريبات، لذلك تضيف شركات الغاز مركبات التتبع (مركبتان) الذي من السهل شمه.

يعتبر الغاز الطبيعي وقوداً نظيفاً نسبياً ومن ثم فهو مستخدم على نطاق واسع، بما في ذلك لتوليد الكهرباء. توجد المخزونات بشكل طبيعي، في أعماق سطح الأرض، وغالباً ما ترتبط بالترسبات البترولية. في عام 2007، بلغت الاحتياطات المؤكدة المعروفة من الغاز الطبيعي في جميع أنحاء العالم نحو $10^{15} \times 177.36$ متر مكعب.

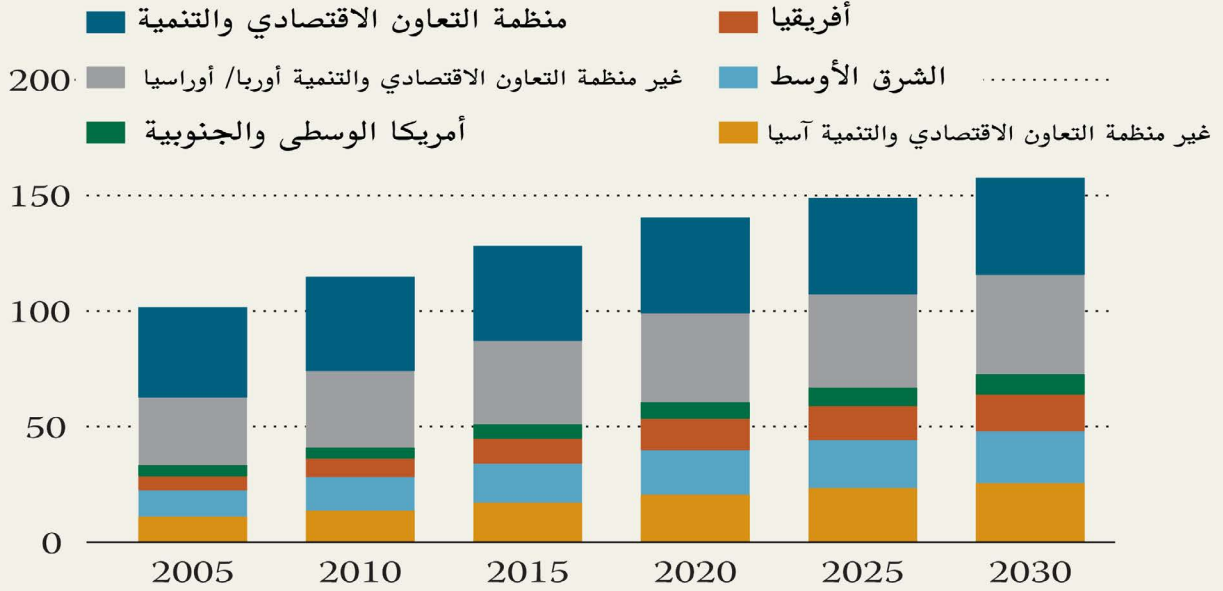


تنتج روسيا 52.4% من الإجمالي العالمي، وهي المنتج الرئيسي، تليها الولايات المتحدة وكندا وإيران والنرويج. كما هو الحال مع النفط، من المتوقع أن تكون معظم الزيادة في استهلاك الغاز الطبيعي في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية.

يُنقل الغاز الطبيعي بكفاءة عالية بعد ضغطه إلى غاز طبيعي مسال (LNG)، ولكن يجب أولاً إزالة المركبات مثل الكبريت والهيدروكربونات الثقيلة. يُنقل الغاز الطبيعي المسال عن طريق خطوط الأنابيب باستخدام الضواغط أو بوساطة ناقلات متخصصة، وهي معقدة جداً ومكلفة في البناء. كما هو الحال مع ناقلات النفط، زاد عدد ناقلات الغاز الطبيعي المسال بشكل كبير (من 1 في عام 1960 إلى 100 في عام 1995)، مع قدرة تحمل بمتوسط 135000 متر مكعب للناقلات الأحدث.

تتصل الناقلات بخطوط الأنابيب لتفريغ حمولاتها، ويجب إضافة قدر كبير من الحرارة إلى السائل لإعادة تحويله إلى شكل غازي.

تريليون قدم مكعب
250



إنتاج العالم من الغاز الطبيعي بين عامي 2005-2030.

5. الرمل النفطي

يُنتج الوقود السائل من عدة مصادر، وأكثرها شيوعاً هو البترول. ومع ذلك، فإن المصادر الأخرى، مثل: النفط، والرمل النفطي، والفحم، هي أيضاً مصادر قابلة للتطبيق للوقود السائل. يمكن أيضاً استخدام الفحم، بدرجة أقل، كمصدر للوقود السائل.

عندما يجري إنتاج الوقود السائل من مصدر، مثل الرمل النفطي، غالباً ما يشار إلى المنتج الأولي باسم النفط الخام الصناعي أو الخام المتزامن، وهو، في السياق الحالي، وقود سائل لا يحدث بشكل طبيعي.

الرمل النفطي (المعروف أيضاً باسم رمل القطران ورمل القار) عبارة عن رواسب



رملية مشربة بمادة عضوية تسمى البيتومين. يستخدم مصطلح الأسفلت الطبيعي أيضاً للمواد العضوية التي تشرب رواسب الرمل المختلفة، ولكن المصطلح أقل دقة من البيتومين. في الواقع إن مصطلحات مثل الرمل النفطي ورمل القطران غير صحيحة علمياً لأن الرمل النفطي لا يحوي على النفط، وينتج القطران بشكل شائع من الفحم الحجري، إلى جانب الفحم العام للإشارة إلى المنتج من الفحم، مع أنه من المستحسن تحديد قطران الفحم إذا كان هناك إمكانية الغموض.

ومن ثم، من الناحية الفنية، يجب تسمية الرمل النفطي (بالرمل البيتوميني) لأن المادة الهيدروكربونية عبارة عن بيتومين (قابل للذوبان في ثاني كبريتيد الكربون) وليس نفطاً. يستخدم مصطلح الرمل النفطي في إشارة إلى النفط الخام الاصطناعي الذي يمكن تصنيعه من البيتومين.

الرمل النفطي عبارة عن مزيج من الرمل والماء والبيتومين، ومكون الرمل هو في الغالب كوارتز على شكل جزيئات مستديرة أو شبه مستطيلة، كل منها (بقدر ما هو معروف بترسبات أثاباسكا) مبللة بطبقة من الماء. يحيط بحبيبات النفط المبللة ويملاً الفراغ بينهما إلى حد ما فيلم من القار.



بيتومين طبيعي من منطقة البحر الميت.

يتملئ توازن حجم الفراغ بالماء المعبأ وأحياناً بكمية صغيرة من الغاز. يحوي رمل النفط عالي الجودة على نحو 18% من وزن البيتومين، والذي قد يكون مكافئاً في الاتساق (للزوجة) لبقايا البترول الجوية أو الفراغية.

وبشكل أكثر ملاءمة، يعتبر البيتومين الرمل النفطي في رواسب الرمل النفطية مادة هيدروكربونية عالية اللزوجة، ولا يمكن استعادتها في حالتها الطبيعية من خلال بئر بأساليب إنتاج آبار النفط التقليدية، بما في ذلك تقنيات الاستعادة المحسنة المستخدمة حالياً، على النحو المحدد في لوائح الحكومة الأمريكية.

ومن ثم، ليس من المستغرب أن تختلف خصائص البيتومين المستخرج من رواسب الرمل النفطية اختلافاً كبيراً عن خصائص النفط الخام التقليدي (يمكن استعادته بالتقنيات الأولية والثانوية) والنفط الثقيل (يمكن استخراجها من خلال تقنيات الاستخلاص المعزز للنفط).

كيميائياً، ربما ينبغي تسمية المادة بالرمل القاري بدلاً من الرمل النفطي لأن المصفوفة العضوية عبارة عن بيتومين، مادة هيدروكربونية تتكون من الكربون والهيدروجين، مع كميات أقل من النيتروجين والأكسجين والكبريت والمعادن بخاصة (النيكل، والفاناديوم).

يمثل القار الموجود في رواسب رمال النفط المختلفة مصدراً كبيراً محتملاً للطاقة. ومع ذلك، فإن العديد من الاحتياطات متوفرة فقط مع بعض الصعوبة، وستكون سيناريوهات المصفاة الاختيارية ضرورية لتحويل هذه المواد إلى منتجات سائلة بسبب الاختلافات الجوهرية في الطابع بين البترول التقليدي والنفط الثقيل ونفط القار.



من ناحية أخرى، بسبب تنوع المعلومات المتاحة والمحاولات المستمرة لتحديد مختلف رواسب رمال النفط في العالم، فإنه يكاد يكون من المستحيل تقديم أرقام دقيقة تعكس مدى الاحتياطيات من ناحية وحدة البرميل.

في الواقع، تستمر التحقيقات في حجم العديد من الودائع في العالم بمعدل يتفاوت الأرقام من عام إلى آخر. وفقاً لذلك، البيانات الواردة هنا تقريبية.

تتضمن عمليات الاستعادة التجارية الحالية للقار في تكوينات الرمل الزيتي استخدام تقنية التعدين. يتبع ذلك ترقية البيتومين وتكريره لإنتاج زيت خام صناعي. تعتمد الطرائق الأخرى لاستخراج البيتومين من الرمل الزيتي إما على التعدين، جنباً إلى جنب مع بعض المعالجة الإضافية أو التشغيل على الرمال الزيتية في الموقع.

إن لزوجة البيتومين عالية، وتتراوح بين عدة آلاف ومليون سنتيبويس، مع تسجيل لزوجة أعلى. تطاير البيتومين منخفض، وهناك القليل جداً من مكونات النافتا والكيروسين.

يتطلب نقص تنقل البيتومين خطوة تعدين تليها عملية الماء الساخن التي هي، حتى الوقت الحالي، العملية التجارية الناجحة الوحيدة التي يجري تطبيقها لاستعادة البيتومين من رمال النفط المستخرجة. لقد جرى اختبار العديد من خيارات العملية بدرجات متفاوتة من النجاح، وقد يحل أحد هذه الخيارات محل عملية الماء الساخن في تاريخ ما في المستقبل. إضافةً إلى ذلك، يعتبر **البيتومين** فقيراً نسبياً في الهيدروجين ومن ثم يتطلب إضافة كبيرة للهيدروجين أثناء التكرير.



تجري ترقية البيتومين تجارياً حالياً عن طريق الجمع بين (التكويك Coking) ومعالجة المنتج بالهيدروجين. إن عملية التكويك، وهي عملية اختيار البقايا، هي أيضاً العملية المختارة لتحويل البيتومين.

في كل حالة، يحوّل البيتومين إلى زيوت مقطرة وفحم الكوك والغازات الخفيفة. ناتج تقطير التكويك عبارة عن مادة مطورة جزئياً وهي تغذية مناسبة لإزالة الكبريت بالهيدروجين لإنتاج زيت خام صناعي منخفض الكبريت.

على مدى العقود القادمة، كانت إمكانيات إنتاج الوقود السائل من الرمل النفطي عالية، والوقود السائل المنتج من هذه الاحتياطات يوفر وسيلة للتخفيف من النقص في إمدادات الوقود السائل.

تحدث العمليات التجارية الوحيدة لاستعادة القار وتحديثه في شمال شرق ألبرتا، كندا، بالقرب من مدينة فورت ماكموري، حيث يجري تحويل القار من رواسب أثاباسكا إلى نפט خام اصطناعي. لذلك، فإن معظم البيانات المتاحة لفحص البيتومين وتحديد السلوك تنشأ من دراسات هذه الرواسب الكندية. العمل على البيتومين من مصادر أخرى مجزأ ومتقطع. الاستثناء هو البيتومين من مخازن في ولاية يوتا، حيث كانت البرامج الجارية في جامعة يوتا لأكثر من ثلاثة عقود.

أكثر من 80% من المعروض العالمي من البيتومين موجود في مقاطعة ألبرتا في كندا. تقدر الاحتياطات المعروفة من البيتومين بـ 280×10^9 متر مكعب (ما يعادل 1.75 تريليون برميل).

يستخرج القار أو رمال القطران في منطقة التايغا الأحيائية، أو المنطقة الشمالية، بوساطة طرائق التعدين السطحي. تعالج الرمال بهيدروكسيد الصوديوم



والماء الساخن لتحرير ملاط البيتومين. يقلّب الملاط ويرقى إلى النفط الخام؛ نحو 16 طناً ينتج برميل نפט. العديد من الطرائق الأخرى، مثل: تحفيز البخار، واستخراج البخار، والتدفق البارد، تستخدم أيضاً لفصل البيتومين عن الرمال. خط أنابيب كيستون الذي يبلغ طوله 1980 ميلاً يحمل النفط الخام من هارديستي، ألبرتا، إلى بورت آرثر، تكساس. أدى الارتفاع غير المسبوق في أسعار النفط الخام في السوق العالمية إلى جعل تعدين رمال القطران واستخراجها مربحاً جداً. ومن ثم، أنفق أكثر من **7 بلايين** دولار بداية من عام 2008 لمضاعفة استعادة النفط الخام. أحد العوائق هو أن العملية مدمرة جداً للمناظر الطبيعية لأن مخلفات القطران التي خلفتها تحوي على **5-7%** من البيتومين، كما أن استعادة الأرض حتى الوقت الحالي بعيد المنال.

6. الطاقة الكهرومائية

تعد الطاقة المستخرجة من الماء إحدى أقدم مصادر الطاقة، حيث استخدمت عجلات المجذاف لتدوير حجر الرحى لطحن الحبوب. ولا يزال عدد كبير من الطواحين المائية، **200** إلى **500** واط، لطحن الحبوب، قيد الاستخدام في الجبال النائية ومناطق التلال في العالم النامي. حيث يوجد ما يقدر بنحو **500000** في جبال الهيمالايا، مع نحو **200000** في الهند. وما بين **25000** إلى **30000** طاحونة مائية في نيبال، وجرى تحديث **2767** مطحنة بين عامي 2003 و2007. كانت ولا تزال تستخدم عجلات المجذاف والدلاء التي تعمل بالمياه المتحركة في بعض أنحاء العالم لرفع المياه لأغراض الري.

وفرت المياه القوة الميكانيكية لمصانع النسيج والصناعية في القرن التاسع عشر حيث بُنيت سدود صغيرة وعشر على مباني المطاحن على طول حواف الأنهار في جميع أنحاء الولايات المتحدة وأوروبا.



بعد ذلك، وبدءاً من أواخر القرن التاسع عشر، استخدمت المياه المخزنة خلف السدود لتوليد الكهرباء. على سبيل المثال، في سويسرا في عشرينات القرن الماضي، كان هناك ما يقرب من 7000 محطة صغيرة لتوليد الطاقة الكهرومائية.

يمكن أن تكون الطاقة في الماء طاقة كامنة من فرق الارتفاع، وهو ما يعتقد معظم الناس من ناحية الطاقة المائية؛ المثال الأكثر شيوعاً هو توليد الكهرباء (الكهرومائية) من المياه المخزنة في السدود.

ومع ذلك، هناك أيضاً طاقة حركية بسبب تدفق المياه في الأنهار والتيارات المحيطية. أخيراً، هناك طاقة ناتجة عن المد والجزر، والتي ترجع إلى جاذبية القمر والشمس، وطاقة الأمواج بسبب الرياح. في التحليل النهائي، الطاقة المائية هي مجرد تحول آخر من الطاقة الشمسية، باستثناء المد والجزر.

بدلاً من أن يكون الماء على ارتفاع ما، يوجد تدفق للمياه في نهر أو تيار محيطي، مثل تيار الخليج. يشبه تحليل الطاقة لتحريك المياه طاقة الرياح، باستثناء وجود اختلاف كبير في الكثافة بين الماء والهواء.

تتراوح الكفاءة من المدخلات إلى المخرجات (الكهربائية بشكل عام) من 0.5 إلى 0.85. تتمتع توربينات المياه الصغيرة بكفاءة تصل إلى 80%، لذلك عند تضمين خسائر أخرى (الاحتكاك والمولد)، تبلغ الكفاءة الإجمالية نحو 50%. الحد الأقصى للكفاءة هو تدفق التصميم والحمل المقنن، وهو أمر غير ممكن دائماً لأن تدفق النهر يتقلب على مدار العام أو حيث تختلف أنماط الحمل اليومية.



يمكن استخدام الخرج من عمود التوربينات مباشرة كطاقة ميكانيكية، أو يمكن توصيل التوربين بمولد كهربائي. بالنسبة للعديد من التطبيقات الصناعية الريفية، فإن طاقة المحور مناسبة لطحن الحبوب أو استخراج النفط، ونشر الخشب، معدات التعدين على نطاق صغير، وما إلى ذلك.

منذ آلاف السنين، عرف البشر أن القوة الميكانيكية للماء المتساقط يمكن تحويلها إلى طاقة. في تاريخ البشرية الحديث، استخدم هذا المبدأ على نطاق واسع من خلال إنشاء السدود لحجز كميات كبيرة من المياه لتشغيل التوربينات الهيدروليكية. مع كفاءة تحويل إجمالية للطاقة تبلغ **80-90%**، تبلغ إمكانات الطاقة الكهرومائية النظرية في العالم نحو **40000** تيراواط في الساعة في السنة (**1** تيراواط في الساعة = 10^{12} واط في الساعة)، منها نحو **14000** تيراواط في الساعة في السنة يمكن تطويره تقنياً، ونحو **2600** تيراواط في الساعة في السنة الأولى باستخدام التكنولوجيا الحالية. ونحو **700** غيغاواط من الطاقة الكهرومائية تعمل فعلياً في جميع أنحاء العالم، أي ما يعادل **28%** من الطاقة المتاحة اقتصادياً وتولد نحو **19%** من إنتاج الكهرباء في العالم.

الأعاجيب الهندسية مثل السدود الكهرومائية لها تأثير هائل في بيئة منطقة ما، بما في ذلك سكانها من البشر.

زاد توليد الطاقة الكهرومائية من **2088** تيراواط في الساعة في عام 1989 إلى **2994** تيراواط في الساعة في عام 2005؛ الصين (**397** تيراواط ساعة)، كندا (**364** تيراواط ساعة)، البرازيل (**337** تيراواط ساعة)، الولايات المتحدة (**290** تيراواط ساعة)، وروسيا (**175** تيراواط ساعة) كانت أكبر خمسة منتجين. مجتمعة، شكلت هذه البلدان **52%** من الإجمالي العالمي.



يعتبر سد أسوان على نهر النيل في مصر أحد أكبر مشاريع الطاقة الكهرومائية في العالم، حيث تبلغ قدرة توليد الطاقة أكثر من 10 ميغاواط. تشكل المياه المحجوزة بحيرة ناصر بعمق 114 م وطول 550 كم وعرض 35 كم عند أوسع نقطة لها. والبحيرة لديها ما يكفي من المياه لري أكثر من 2809400 هكتار من الأراضي الزراعية. في الولايات المتحدة، يبلغ ارتفاع سد هوفر على نهر كولورادو بين أريزونا ونييفادا 221 متراً وطول 379 متراً، مع قدرة توليد طاقة تبلغ 1.3 ميغاواط. ويبلغ طول الخط الساحلي الناتج عن ذلك، الذي يسمى بحيرة ميد، 885 كيلومتراً، ويبلغ طوله 185 كيلومتراً، ويتراوح عرضه بين 1.6 و12.9 كيلومتراً.

جرى إنشاء سلسلة من السدود في حوض نهر تينيسي، تحت إشراف سلطة وادي تينيسي، للتحكم في الفيضانات؛ ممر مائي صالح للملاحة من نوكسفيل، تينيسي، إلى نهر المسيسيبي؛ وإمدادات الكهرباء الرخيصة.

استكملت لاحقاً بثلاث محطات للطاقة النووية و11 محطة طاقة تعمل بالفحم. كانت التكاليف البيئية لهذه السدود، التي تبلغ مساحتها حالياً 400 ألف كيلومتر مربع من المياه المحجوزة، هائلة. يؤدي تغيير تدفق الأنهار إلى تغيير الدورة الهيدرولوجية لمنطقة معينة. داخل قناة النهر، وكذلك في مستجمعات المياه المحيطة، يتأثر التنوع البيولوجي، وإنتاجية التربة، وعمليات التعرية، وحركة الرواسب.

مشاريع توليد الطاقة لها أيضاً آثار إقليمية. في الطاقة الكهرومائية، تؤدي المياه المحجوزة دوراً رئيسياً في توليد الكهرباء لدولة معينة، ولكنها تحرم سكان المصب من إمدادات المياه الخاصة بهم. ومن الأمثلة التي توضح ذلك نهر



كولورادو في الولايات المتحدة والمكسيك والأنهار التي تتدفق عبر الهند وباكستان. إن تطوير تركيا لمشروع جاب **GAP project** على نهر الفرات، في حين أنه أعجوبة كبيرة لذلك البلد، محضوف بمسائل جدية بشأن إمدادات المياه في العراق وسوريا. حتى داخل حدود دولة واحدة، فقد ثبت أن غمر مساحات شاسعة من الأراضي وتهجير الأشخاص والحياة البرية لهما تأثيرات كبيرة. أدى تطوير مشروع **جيمس باي في كيبك هيدرو** في كندا، والذي حول المياه من عدة أنهار شمالاً إلى **خليج جيمس** لإنتاج الطاقة الكهرومائية، إلى معاناة شديدة لهنود كاري لأن التدفق المتزايد قد غير أنماط تغطية الجليد في خليج هدسون، مما أثر على الصيد. هذا المشروع الإنشائي الذي تبلغ قيمته 6 بلايين دولار قد خصص 20 ألف دولار لتقييم الأثر البيئي.

يبلغ طول سد الخوانق الثلاثة على **نهر اليانغتسى** في الصين، بتكلفة تقديرية **24.5 بليون دولار (بدولارات 1997)**، 2 كم وارتفاع **200 متر**. وقد اكتمل الخزان في عام 2009، وبلغ طوله نحو **640 كيلومتراً**، ويغرق أكثر من **600 كيلومتر مربع**. سيؤدي المشروع إلى النزوح ومن ثم الحاجة إلى إعادة توطين **1.2 مليون شخص**. كما أنه سيفيد جودة الهواء في الصين، الدولة المعروفة بمشكلات التلوث فيها.

لقد لاحظت حكومة الصين أن قدرة السد على توليد الطاقة البالغة **84.7 بليون كيلوواط ساعة / سنة** تعادل طاقة حرق **50 مليون طن** من الفحم أو **25 مليون طن** من النفط الخام. ومن ثم، فإن التحول إلى الطاقة الكهرومائية الأنظف سيكون له تأثير قطع **100 مليون طن** من ثاني أكسيد الكربون، وما يصل إلى مليوني طن من ثاني أكسيد الكبريت، وعشرة آلاف طن من أول



أكسيد الكربون، و**370 ألف** طن من أكسيد النيتروجين، و**150 ألف** طن من الجسيمات سنوياً من الجو.

حتى كتابة هذه السطور، هناك نقاش ساخن حول الآثار البيئية المماثلة لسد سردار ساروفار على نهر نارمادا في جنوب الهند. تقدر دراسة مفصلة عن 54 سداً أجراها المعهد الهندي للإدارة العامة «بشكل متحفظ» أنه خلال الخمسين عاماً الماضية، تم تشريد **33 مليون** شخص فقط من خلال بناء السدود وحدها. تحدثت المعركة حول تحليلات التكلفة والعائد، حيث من المفترض أن تتجاوز الفوائد الاقتصادية لهذه المشاريع تكاليفها.

1. موارد العالم

يذهب نحو ربع حادثة الطاقة الشمسية على الأرض إلى تبخر الماء؛ ومع ذلك، عندما يتكثف بخار الماء هذا، يذهب معظم الطاقة إلى الغلاف الجوي كحرارة.

0.06 % فقط من الأمطار والثلج، وأن قوة وطاقة تدفق المياه هي المورد العالمي، وتقدر بنحو **40.000** تيراواط ساعة / سنة. الإمكانيات الفنية هي **15000** تيراواط ساعة / سنة، والاعتبارات الاقتصادية والبيئية تقلل من هذه الإمكانية.

يختلف تصنيف الطاقة الكهرومائية حسب الدولة والمؤلفين وحتى بمرور الوقت. تصنيف واحد كبير (**< 30** ميغاواط)، صغير (100 إلى 30 ميغاواط) ومتناهية الصغر (100 كيلوواط). بعض الأمثلة هي كما يلي: في الصين، تشير الطاقة المائية الصغيرة إلى ساعات تصل إلى 25 ميغاواط، وفي الهند تصل إلى **15 ميغاواط**، وفي السويد تصل إلى 1.5 ميغاواط.

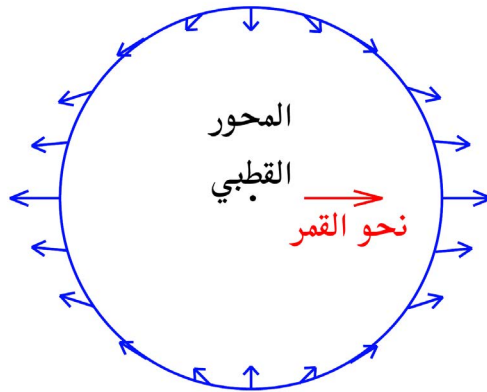


حالياً، في أوروبا، الطاقة المائية الصغيرة تعني قدرة تصل إلى 10 ميغاواط. اليوم في الصين، التصنيفات كبيرة (< 30 ميغاواط)، صغيرة (5 إلى 30 ميغاواط)، صغيرة (100 كيلوواط إلى 5 ميغاواط)، صغيرة (5 إلى 100 كيلوواط)، وبيكو (> 5 كيلوواط). يصنف آخرون الميكروهيدرو من 10 إلى 100 كيلو واط، لذا تأكد من ملاحظة النطاق عند تقديم البيانات عن السعة والطاقة للطاقة الكهرومائية.

2. طاقة المد والجزر

يرجع المد والجزر إلى جاذبية القمر والشمس على سطح الأرض. إن تأثير القمر على الأرض من حيث المد والجزر أكبر من تأثير الشمس، حتى من خلال قوة جاذبية الشمس أكبر.

لمعرفة كيف تشوه قوة الجاذبية للقمر أي حجم من الجسم المادي للأرض، يجب إيجاد انحدار قوة جاذبية القمر على هذا الحجم (التدرج هو كيف تتغير القوة مع المسافة؛ في حساب التفاضل والتكامل، هو كذلك التمايز فيما يتعلق بالطول). تُفرض تأثيرات المد والجزر على الأرض شبه الكروية، وسيكون هناك مد وجزر في اليوم بسبب دوران الأرض. عندما يجري محاذاة تأثيرات المد والجزر للشمس والقمر، يكون المد أعلى، المد والجزر الربيعي.



قوى المد والجزر على الأرض بسبب القمر.

عند إضافة القارات، تنعكس انتفاخات المحيط من الشواطئ، مما يتسبب في تيارات وحركات رنانة وأمواج واقفة، لذلك هناك بعض الأماكن في المحيطات حيث تقترب تغيرات المد والجزر من الصفر.



محطة طاقة المد والجزر رانس التي تقع على مصب نهر رانس في بريتاني، فرنسا، حيث يبلغ متوسط نطاق المد والجزر 8 أمتار. تبلغ مساحة حوض المد والجزر رانس 22.5 كيلومتراً مربعاً، وتحتوي محطة الطاقة على 24 توربيناً تنتج طاقة إنتاجية قصوى تبلغ 240 ميغاواط ومتوسط طاقة 62 ميغاواط.

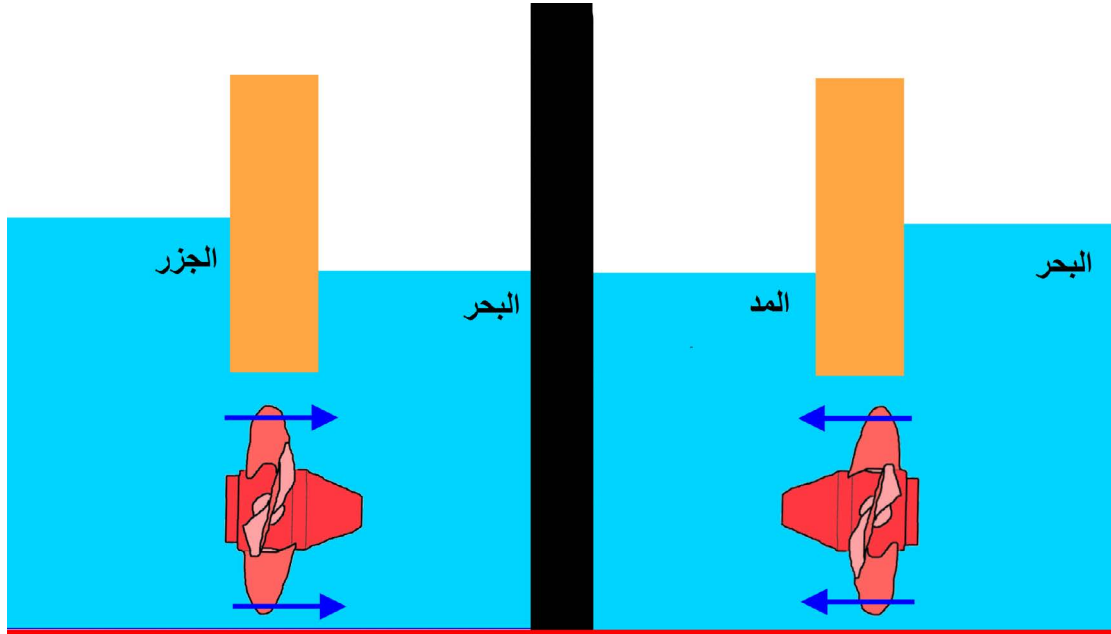
في مواقع أخرى، يمكن للتضاريس الساحلية تكثيف ارتفاعات المياه فيما يتعلق بالأرض. أكبر نطاقات المد والجزر في العالم موجودة في خليج فندي (11.7 م)، وخليج أونجافا (9.75 م)، وقناة بريستول (9.6 م)، وممر تورناجاين أف كوك إنليت، في ألاسكا (9.2 م). تبلغ طاقة تيار المد والجزر العالمي المحتمل نحو 2200 تيراواط ساعة / سنة.



لقد استخدمت المطاحن الصغيرة في أقسام المد والجزر من الأنهار في العصور الوسطى لطحن الحبوب. حالياً، لا يوجد سوى عدد قليل من أنظمة المد والجزر المركبة في العالم: قام الفرنسيون بتركيب نظام المد والجزر على مصب رانس (شيد من 1961 إلى 1967) بقوة 240 ميغاواط؛ مولد بقدره 18 ميغاواط في أنابوليس رويال، نونافسكوشا، كندا (1984)؛ وحدة 400 كيلوواط في خليج كيسلايا، روسيا (1968)؛ ووحدة 500 كيلوواط في Jangxia Creek، بحر الصين الشرقي.

أبسط نظام لتوليد الكهرباء هو نظام المد، الذي يتضمن سدّاً، يُعرف باسم الحاجز، عبر مصب النهر. تستفيد القناطر من الطاقة الكامنة في الفرق في الارتفاع بين المد والجزر المرتفع والمنخفض. تسمح بوابات السد على الحاجز لحوض المد والجزر بالملء عند ارتفاع المد (المد والجزر) وتوليد الطاقة على المد والجزر الخارج (المد والجزر).

تولد أنظمة توليد الفيضانات الطاقة من كلا المد والجزر ولكنها أقل تفضيلاً من أنظمة توليد المد والجزر. والقناطر عبر العرض الكامل لمصب المد والجزر لها تكاليف عالية للبنية التحتية المدنية، وهناك نقص في جميع أنحاء العالم في المواقع القابلة للحياة، وهناك المزيد من القضايا البيئية.



مبدأ الاستفادة من طاقة المد والجزر في البحار. يمكن الحصول على الطاقة عن طريق سد مدخل الخليج أو المصب في منطقة المد والجزر ذات السعة الكبيرة، والتي تحرك التوربينات بينما يملأ حوض المد والجزر ويفرغ. من نحو 22000 تيراواط ساعة في السنة يبددها المد والجزر، 200 تيراواط ساعة تعتبر حالياً قابلة للاسترداد اقتصادياً، وأقل من 0.6 تيراواط ساعة تنتج بالفعل بواسطة المصانع القائمة.

تتشابه بحيرات المد والجزر مع القناطر ولكن يمكن بناؤها على أنها هياكل قائمة بذاتها، وليس بشكل كامل عبر مصب النهر، وعادة ما يكون لها تكلفة أقل وتأثير بيئي أقل بكثير. علاوة على ذلك، يمكن تهيئتها لتوليد مستمر، وهذا ليس هو الحال مع القناطر.

قدرت إمكانات أنظمة المد والجزر في التيار بـ 692 ميغاواط لخمس ولايات في الولايات المتحدة. وقد جرى تركيب مشروع إيضاحي للطاقة الحركية في إيست ريفر، مدينة نيويورك، ويتكون من توربينين بقدرة 35 كيلوواط، قطر 5

أمتار، مع انعراج سلبي في 9000 ساعة من التشغيل، أنتج النظام 70 ميغاواط في الساعة.

ركب نموذج أولي آخر هو SeaGen، في سترانغفورد ناروس، في أيرلندا الشمالية، بقوة مقدرة تبلغ 1.2 ميغاواط بسرعة حالية تبلغ 2.4 متر / ثانية مع دوارات مزدوجة قطرها 16 متراً. يمكن تحريك الشفرات الدوارة بزاوية 180 درجة لتوليد الطاقة في كل من المد والجزر.

تثبت وحدتي الطاقة المزدوجة على امتدادات تشبه الجناح على أحادي القطب الفولاذي الأنبوبي، ويمكن رفع النظام فوق مستوى سطح البحر للصيانة. يُنظر في أنظمة الطاقة الحركية بسبب التكلفة المنخفضة، والتأثير البيئي المنخفض، وزيادة توافر المواقع مقارنة بالقناطر، ووقت أقصر للتركيب. يمكن أن يؤثر سد الخليج أو المصب -دون تخطيط دقيق- سلباً في جودة المياه والترسيب والحياة المائية للنظم البيئية الساحلية والمائية المجاورة، فضلاً عن الملاحة والاستجمام.

3. طاقة من المحيطات

كما هو الحال مع الموارد المتجددة الأخرى، فإن طاقة المحيطات كبيرة. يُقدر أن الموارد التقنية العالمية التي يمكن استغلالها باستخدام التكنولوجيا الحالية بنحو 20000 تيراواط ساعة / سنة لتيارات المحيطات، و45000 تيراواط / سنة لطاقة الأمواج، و33000 تيراواط / سنة لتحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (OTEC)، و 20000 تيراواط / سنة لطاقة تدرج الملوحة.



بالطبع، ستقلل العوامل الاقتصادية والعوامل الأخرى بشكل كبير من الإنتاج المحتمل، وسيكون إنتاج الطاقة الفعلي في المستقبل أقل. إلى جانب الاعتبارات البيئية المذكورة، هناك عدد من التحديات التقنية لطاقة المحيطات لاستخدامها على نطاق تجاري:

- ✓ تجنب التجاويرف (تكوين الفقاعات).
- ✓ منع تراكم النمو البحري.
- ✓ الموثوقية (لأن تكاليف الصيانة قد تكون مرتفعة).
- ✓ المقاومة للتآكل.

أ. طاقة التيارات البحرية

يوجد تيارات كبيرة في المحيطات، والمعلومات التفصيلية عن التيارات السطحية عن طريق المحيط متاحة [فقط الأطلسي والقطبي في هذا الوقت]. على سبيل المثال، ينقل تيار الخليج كمية كبيرة من الماء الدافئ باتجاه شمال المحيط الأطلسي وساحل أوروبا.

يبلغ عرض قلب تيار الخليج نحو **90 كم** وله سرعات ذروة أكبر من **2 م / ث**. تبلغ كثافة الطاقة القابلة للاستخراج الثابتة نسبياً بالقرب من سطح تيار الخليج، تيار مضيق فلوريدا، نحو **1 كيلو واط / م²**. مع أن الحجم والسرعة مناسبان لأنظمة الحركة المائية في التيار، فإن تيار المحيط يجب أن يكون قريباً من الشاطئ.



قدرت القوة العالمية الإجمالية في التيارات البحرية بنحو **5000 غيغاواط**، مع كثافة طاقة تصل إلى **15 كيلو واط / م²**. يهتم الاتحاد الأوروبي واليابان والصين بتطبيق أنظمة طاقة تيار المحيطات ومتابعتها.

ب. طاقة أمواج البحر

يمكن أن تتولد طاقة من أمواج البحر؛ فعندما تمر الرياح فوق مسطحات مائية مفتوحة تتحول بعض طاقتها لتكوين موجات. كمية الطاقة المخزنة في الأمواج هي الطاقة الكامنة (في كتلة الماء المزاح من متوسط مستوى سطح البحر) والطاقة الحركية (في حركة جزيئات الماء)، وتعتمد على سرعة الرياح، ومدة الوقت، والمسافة التي تهب عليها الرياح.

حتى بعد هدوء الرياح، تستمر موجات العاصفة في السفر لمسافات طويلة من نقطة المنشأ بأقل قدر من فقدان الطاقة في المياه العميقة. تستخرج محولات طاقة الأمواج الحالية الطاقة من البحر وتحولها بكفاءة طاقة بنسبة 20% إلى شكل أكثر فائدة مثل ضغط السوائل أو الحركة الميكانيكية.

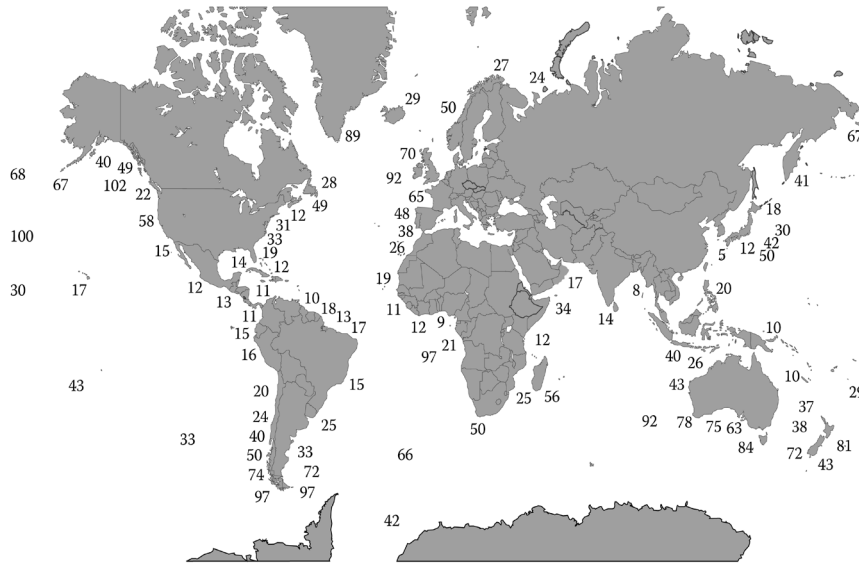
يجب أن يستحوذ نظام طاقة الأمواج الفعال على أكبر قدر ممكن من طاقة الأمواج. نتيجة لذلك، ستكون الأمواج منخفضة الارتفاع في المنطقة خلف النظام. تتمتع المواقع البحرية ذات المياه بعمق **25-40** متراً بمزيد من الطاقة لأن الأمواج لديها طاقة أقل مع انخفاض عمق المحيط نحو الساحل.

تصير الخسائر كبيرة عندما يصير العمق أقل من نصف الطول الموجي، وعند عمق 20 متراً، تكون طاقة الموجة نحو ثلث تلك الموجودة في المياه العميقة (العمق أكبر من نصف طول الموجة). يبلغ طول موجات شمال الأطلسي الغربي من أيرلندا نحو 180 متراً، ويمكن أن تصل الأطوال الموجية قبالة الساحل الغربي للولايات المتحدة إلى 300 متر.



إن إمكانات طاقة الأمواج (لكل متر من مقدمة الموجة) للعالم أكبر بكثير من التيارات المحيطية بسبب طول الخط الساحلي. تبلغ إمكانات الولايات المتحدة **240 غيغاواط**، مع طاقة قابلة للاستخراج تبلغ **2100 تيراواط** ساعة / سنة على أساس متوسط كثافة طاقة الموجة 10 كيلوواط / متر.

يُقدر المورد القابل للاسترداد تقنياً واقتصادياً للمملكة المتحدة بما يتراوح بين 50 و90 تيراواط ساعة من الكهرباء سنوياً أو **15-25%** من إجمالي طلب المملكة المتحدة في عام 2010. الساحل الغربي لأوروبا وسواحل المحيط الهادئ في أمريكا الجنوبية وجنوب إفريقيا وأستراليا ونيوزيلندا نشطة جداً. أي منطقة بمتوسط سنوي 15 كيلوواط / م لديها القدرة على توليد طاقة من الأمواج. لاحظ أن هذا الحد لا يشمل مناطق مثل البحر الأبيض المتوسط والبحيرات الكبرى بأمريكا الشمالية.



متوسط طاقة الأمواج (kW / m) للخطوط الساحلية حول العالم؛ القيم لمواقع المياه العميقة.



يمكن الحصول على مناخ المورد أو الأمواج من البيانات المسجلة، وتوفر الأقمار الصناعية حالياً البيانات العالمية الحالية وتستخدم للتنبؤ بارتفاعات الموجة. بالنسبة لأنظمة طاقة الأمواج، من المهم أيضاً تحديد التكرار الإحصائي للموجات المتطرفة التي يمكن توقعها في الموقع على مدار عمر النظام حيث يجب تصميم النظام للبقاء على قيد الحياة في موجات الذروة.

بمجرد تحديد المساحة العامة لموقع مزرعة الأمواج، هناك حاجة إلى مزيد من التحليل لاختيار أفضل موقع داخل تلك المنطقة، على سبيل المثال، من خلال فحص متوسط اتجاه الموجة والتنوع وإمكانية التركيز المحلي للموجات. تتضمن المهمة الأساسية الأخرى حساب فترات الهدوء التي تتيح وقتاً كافياً للصيانة والعمليات الأخرى. ومع ذلك، كما لوحظ، تتمتع الأمواج الكبيرة بالكثير من القوة ويمكن أن تلحق الضرر بالنظام أو تدمره، لذلك يجب أن يأخذ التصميم والبناء هذه الموجات الكبيرة في الاعتبار.

آليات التقاط طاقة الأمواج هي نقطة امتصاص، وخزان، ومخفف، وعمود مائي متذبذب، وآليات أخرى. هناك عدد من النماذج الأولية والمشاريع الإيضاحية لكن القليل من المشاريع التجارية.

جهاز امتصاص النقاط له بُعد صغير بالنسبة لطول الموجة. أما نظام الخزان هو المكان الذي تجبر الأمواج فيه على الارتفاعات العالية عن طريق القنوات أو المنحدرات، ويجري التقاط المياه في الخزان. ستكون مواقع التركيبات الأرضية لأنظمة الخزانات وأعمدة المياه المتذبذبة محدودة أكثر من الأنظمة البحرية؛ ومع ذلك، فإن المنشآت الأرضية أسهل في البناء والصيانة. منصة **Wave Dragon** عبارة عن منصة بحرية عائمة.



محول طاقة الموجة بيلاميس **Pelamis**، المخفف، هو مخفف أسطواناني نصف مغمور ومفصلي مرتبط بمفاصل مفصلية. تدفع الحركة التي تحدثها الموجة لهذه الوصلات ما يسمى بالكباش الهيدروليكية، والتي تضخ السوائل عالية الضغط من خلال المحركات الهيدروليكية عبر مراكم التتعيم.



محول طاقة موجة بيلاميس في البحر.

تقوم المحركات الهيدروليكية بتشغيل مولد كهربائي، ويجري تغذية الطاقة من جميع الوصلات عبر كابل واحد إلى تقاطع في قاع البحر. يمكن بعد ذلك ربط العديد من الأجهزة بالشاطئ من خلال كابل واحد لقاع البحر. تحوي آلات الإنتاج الحالية على أربع وحدات تحويل للطاقة: الطاقة المقدرة 750 كيلوواط، وطولها 180 متراً، وقطرها 4 أمتار.

يُجمع بين جدول الطاقة ومناخ الأمواج لإعطاء استجابة الطاقة الكهربائية بمرور الوقت، ومن هذا المستوى، متوسط مستواها وتقلبها. اعتماداً على مورد الموجة، يكون عامل السعة 25-40%.



في عمود الماء المتذبذب، عندما تدخل الموجة العمودية، يزداد ضغط الهواء داخل العمود، ومع تراجع الموجة، ينخفض ضغط الهواء. تدور توربينات ويلز عمود الماء المتذبذب في الاتجاه نفسه بغض النظر عن اتجاه تدفق الهواء. تحوي وحدة إرسال الطاقة البحرية المركبة على الأرض (LIMPET) في جزيرة إيلي، في اسكتلندا، على عمود مائي مائل متذبذب، بعرض مدخل يبلغ 21 متراً ويبلغ متوسط عمق المياه عند المدخل 6 أمتار.



رسم تخطيطي لنظام عمود الماء المتذبذب.

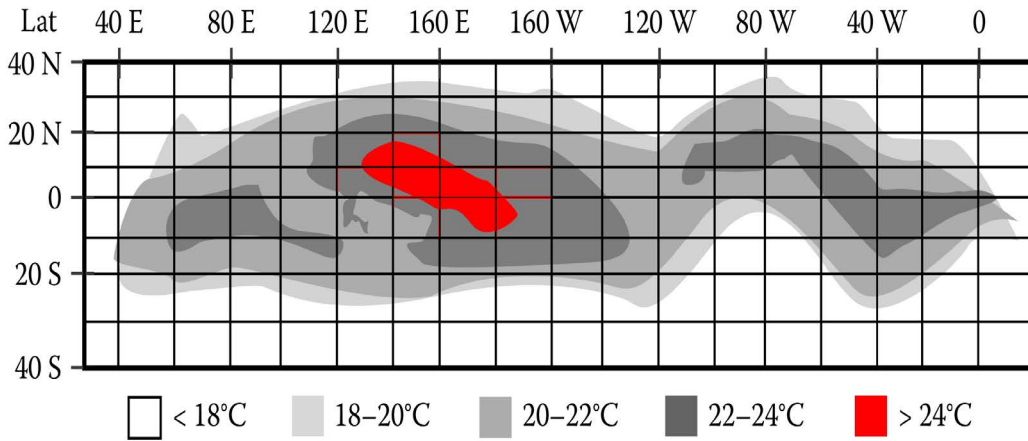
يحوي النظام (القدرة المقدرة له 500 كيلوواط) على ثلاثة أعمدة مائية داخل أنابيب خرسانية، 6 × 6 أمتار، مائلة عند 40 درجة على الأفق، مما يعطي مساحة إجمالية لسطح المياه 169 متراً مربعاً. توصل الأجزاء العلوية من الأنابيب بأنبوب واحد يحوي على مولد عمود الماء المتذبذب. يعد تصميم غرفة الهواء أمراً مهماً لتحقيق أقصى قدر من تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة تعمل بالهواء المضغوط، ويجب أن تتوافق التوربينات مع حجرة الهواء. جرى تحسين الأداء لمتوسط شدة الموجة السنوية بين 15 و25 كيلوواط / متر.

في نظام آخر، تقود الأمواج رفرفاً مفصلياً متصلاً بقاع البحر على عمق نحو 10 أمتار، الذي يدفع بعد ذلك المكابس الهيدروليكية لتوصيل المياه ذات الضغط العالي عبر خط أنابيب إلى التوربينات الكهربائية البرية.

ج. طاقة المحيطات الحرارية

إن تحويل طاقة المحيطات الحرارية **Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)** لإنتاج الكهرباء يماثل عمل الأحواض الشمسية نفسه، حيث يقود الاختلاف الحراري بين المياه السطحية والمياه العميقة دورة رانكين. لكن يوجد اختلاف رئيسي واحد: مياه المحيطات العميقة غنية بالعناصر الغذائية التي يمكن استخدامها في تربية الأحياء البحرية. في كلا النظامين، هناك إنتاج للمياه العذبة.

خط الطول



الاختلافات الحرارية للمحيطات في العالم، من السطح حتى عمق 1000 متر.

يحتاج نظام **OTEC** إلى اختلاف في درجة الحرارة بمقدار 20 درجة مئوية عن الماء البارد في حدود 1000 متر من السطح، الذي يحدث في مناطق شاسعة



من العالم. يمكن أن تكون الأنظمة على الشاطئ أو بالقرب منه. الأنواع الثلاثة العامة لعمليات نظام OTEC هي الدورة المغلقة والدورة المفتوحة والدورة الهجينة.

في نظام الدورة المغلقة، تتسبب الحرارة المنقولة من مياه البحر السطحية الدافئة في تحول سائل العمل إلى بخار، ويدفع البخار المتمد توربيناً متصلاً بمولد كهربائي. يمر ماء البحر البارد من خلال مكثف يحوي على سائل العمل المتبخر ويحول البخار مرة أخرى إلى سائل، ثم يعاد تدويره من خلال النظام. يستخدم نظام الدورة المفتوحة المياه السطحية الدافئة نفسها كسائل عامل. يتبخر الماء في فراغ قريب عند درجات حرارة المياه السطحية. يقود البخار المتمد توربيناً منخفض الضغط متصلاً بمولد كهربائي.

يتكثف البخار بهيئة سائل، عبارة عن مياه عذبة نقية تقريباً، لدى التعرض لدرجات حرارة باردة من مياه المحيطات العميقة. إذا كان المكثف يمنع البخار من الاتصال المباشر بمياه البحر، فيمكن استخدام المياه للشرب أو الري أو تربية الأحياء المائية.

ينتج مكثف الاتصال المباشر مزيداً من الكهرباء، ولكن يُخلط البخار بمياه البحر الباردة، ويجري تصريف الخليط في المحيط. تستخدم الأنظمة الهجينة أجزاء من كل من أنظمة الدورة المفتوحة والمغلقة لتحسين إنتاج الكهرباء والمياه العذبة.

جرى تركيب أول نموذج أولي لمشروع OTEC (22 كيلوواط) في خليج ماتانزاس، كوبا، في عام 1930. ثم، في الجزء الأخير من القرن العشرين، رُكبت أنظمة تجريبية في هاواي واليابان.



شُغل نظام تجريبي مفتوح الدورة على الشاطئ بشكل متقطع بين عامي 1992 و1998 في منشأة **Keahole Point**، مختبر الطاقة الوطني، هاواي. المياه السطحية 26 درجة مئوية ودرجة حرارة المياه العميقة 6 درجات مئوية (عمق 823 متراً)؛ أنتج النظام قوة قصوى تبلغ 250 كيلوواط.

ومع ذلك، فإن متطلبات الطاقة لضخ المياه السطحية (36.3 م³ / دقيقة) وعمق (24.6 م³ / دقيقة) لمياه البحر كانت نحو 200 كيلوواط. جرى تحويل جزء صغير (10%) من البخار الناتج إلى مكثف سطحي لإنتاج المياه العذبة، نحو 22 لتر / دقيقة. في عام 1981، عرضت اليابان مصنعاً ذا دورة مغلقة بقوة 100 كيلوواط في جمهورية ناورو في المحيط الهادئ.

وضع أنبوب الماء البارد في قاع البحر على عمق 580 متراً. أنتج المصنع 31.5 كيلوواط من صافي الطاقة أثناء اختبارات التشغيل المستمرة.

د. طاقة تدرج الملوحة

تُشتق طاقة تدرج الملوحة من الاختلاف في تركيز الملح بين مياه البحر ومياه الأنهار. هناك طريقتان عمليتان لهذا هما الغسيل الكهربائي العكسي والتناضح المتأخر بالضغط. كلاهما يعتمد على التناضح بأغشية خاصة بالأيونات.

نموذج أولي صغير (4 كيلوواط) بدأ العمل في عام 2009 في توفته **Tofte**، في النرويج. يساوي الضغط المتولد عمود مائي طوله 120 متراً يستخدم لتشغيل التوربين لتوليد الكهرباء.

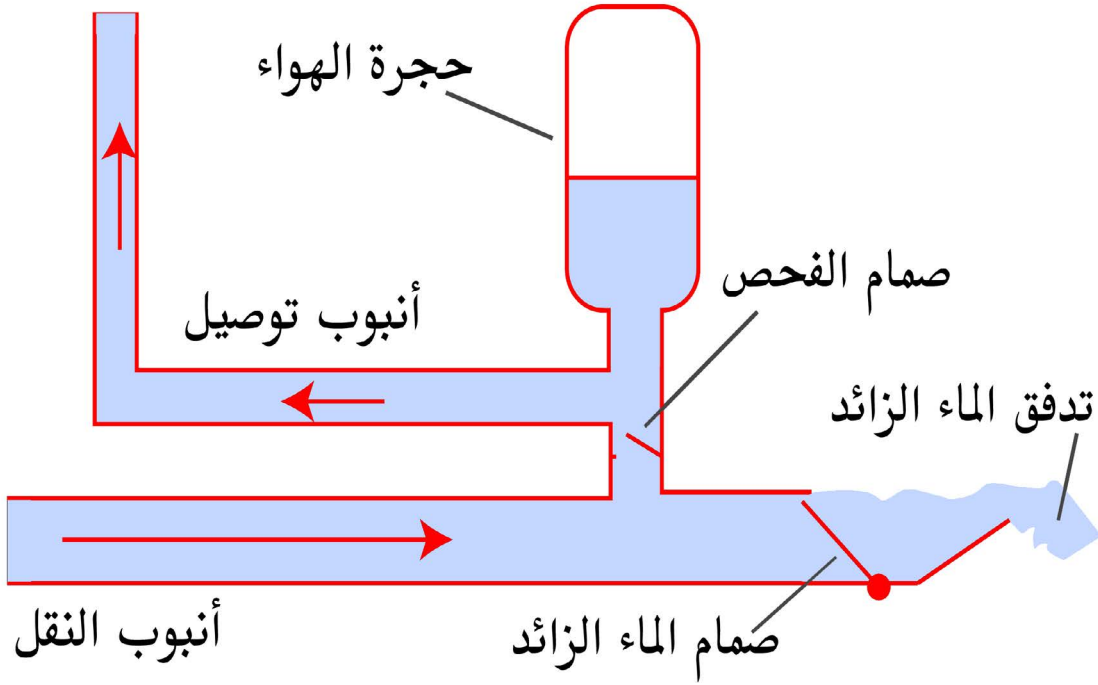


ه . طاقات أخرى من الماء

تطبيق آخر لتدفق المياه هو مضخات الكبش **Ram pumps**، حيث يستخدم ضغط الماء فوق قطرة من بضعة أمتار لرفع نسبة صغيرة من تلك المياه من خلال ارتفاع أكبر بكثير للمياه للشرب أو للري. طُوِّرت مضخات الكبش منذ أكثر من 200 عام ويمكن تصنيعها محلياً. تشغل مضخة الكبش كما يأتي:

1. يتدفق الماء من تيار إلى أسفل أنبوب القيادة ويخرج من صمام الصرف.
2. مع تسارع تدفق المياه، يغلق صمام النفايات إجبارياً، مما يتسبب في ارتفاع الضغط أو (المطرقة المائية) حيث تقف حركة المياه.
3. يتسبب ارتفاع الضغط في فتح صمام الفحص، مما يسمح للماء عالي الضغط بدخول غرفة الهواء وأنبوب التوصيل. يساعد الهواء المضغوط الموجود في حجرة الهواء على تهدئة ارتفاعات الضغط لإعطاء تدفق مستمر عبر أنبوب التوصيل.
4. عندما ينحسر ارتفاع الضغط، يتسبب الهواء المضغوط في حجرة الهواء في إغلاق صمام الفحص. يؤدي الإغلاق المفاجئ لصمام الفحص إلى تقليل الضغط في أنبوب القيادة بحيث يفتح صمام الهدر، وتعود المضخة لبدء الدورة مرة أخرى. تعمل معظم مضخات الكبش بمعدل 30-100 دورة في الدقيقة.





رسم تخطيطي لمضخة الكبش.

طورت مؤسسة التنمية الأصلية البديلة في الفلبين مضخات كبش متينة، وتتم الصيانة محلياً على الأجزاء المتحركة التي تحتاج إلى استبدال منتظم. يمكن لمضخات الكبش الخمس ذات الأحجام المختلفة أن توفر ما بين 1500 و72000 لتر / يوم حتى ارتفاع 200 متر. ركبت 98 مضخة كبش عام 2007، حيث كانت توفر أكثر من 900 متر مكعب / يوم من المياه، وتخدم أكثر من 15000 شخص وتروي مساحات كبيرة من الأراضي.

و. الطاقة النووية

على عكس التفاعلات الكيميائية التي تشارك فيها إلكترونات الذرة فقط، في التفاعلات النووية، تكون النواة إما مقسّمة؛ الأول يسمى الانشطار والاندماج الأخير. في كلتا العمليتين، يجري تحويل كمية صغيرة من الكتلة إلى طاقة بعد العلاقة في نظرية النسبية لأينشتاين: $E = mc^2$

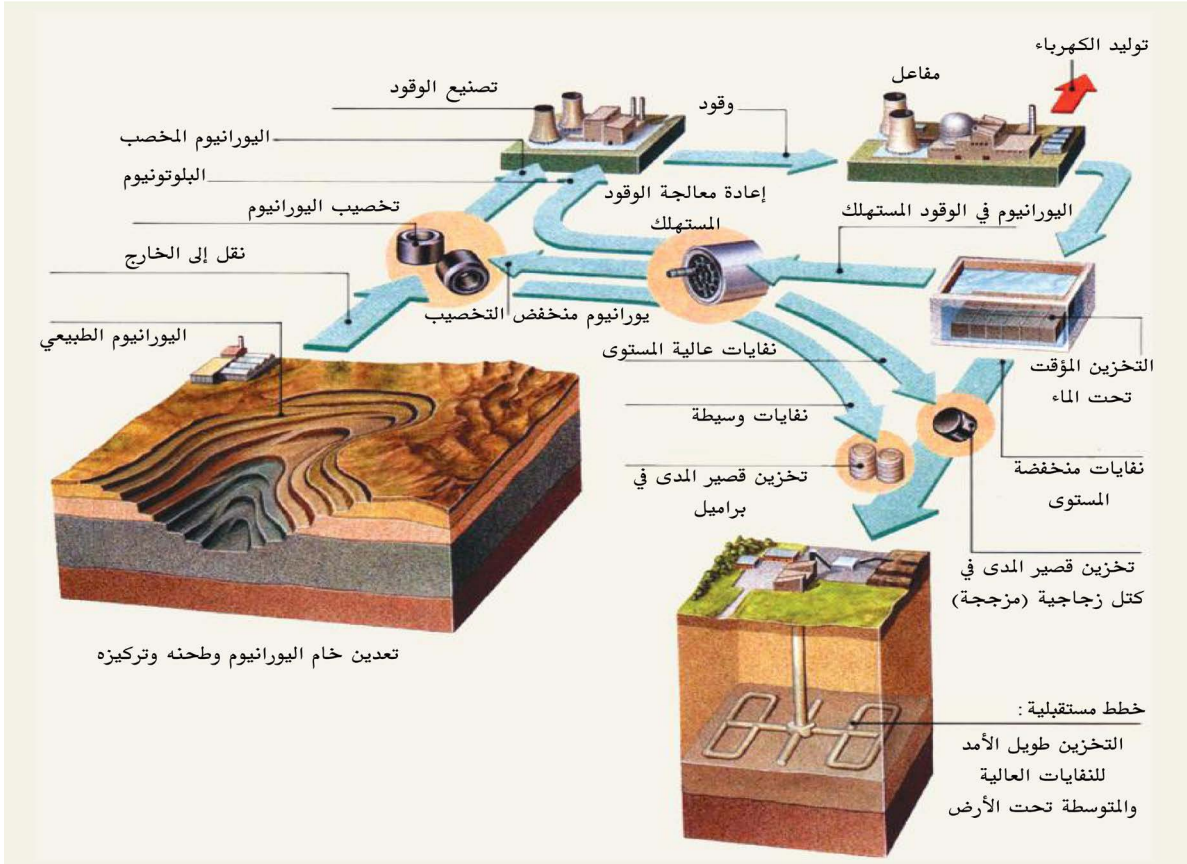
حيث إن: E الطاقة، m الكتلة، و c سرعة الضوء.

ومن ثم، فإن تحويل كمية صغيرة من الكتلة يولد كمية هائلة من الطاقة.

أحد أكثر النظائر شيوعاً واستخداماً في مجال الطاقة النووية هو اليورانيوم ^{235}U و البلوتونيوم المعالج ^{239}Pu . تعتبر كريات ثاني أكسيد اليورانيوم الخزي في المضبوط في قضبان معدنية وقوداً لمعظم المفاعلات النووية وتجمّع معاً لتشكيل مجموعة وقود. حيث يمكن أن يصل وزن مجموعة الوقود إلى **680 كغ**، اعتماداً على طبيعة المفاعلات، وتشكل مجموعات الوقود التي تبلغ نحو **100 طن** من اليورانيوم المجمع معاً في وعاء فولاذي ثقيل قلب المفاعل النووي.

بعد أن يصير محتوى اليورانيوم القابل للانشطار في مجموعة الوقود منخفضاً جداً بحيث لا يدعم التفاعل، تُرسل قضبان الوقود المستخدمة إلى مصنع إعادة المعالجة حيث يجري استرداد بعض وحدات ^{235}U وإعادة تدويرها في قضبان وقود جديدة.

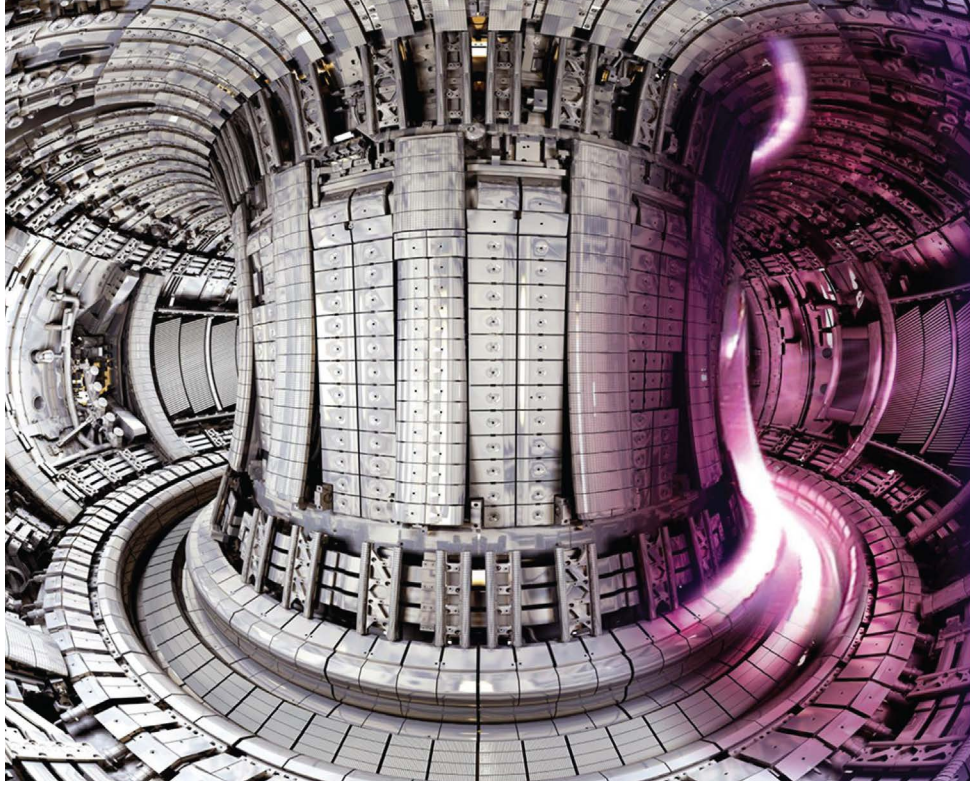




الدورة النووية. يستخرج اليورانيوم، وهو وقود مشع لمحطات الطاقة النووية، وتخصيبه وتحويله إلى قضبان وقود. بمجرد استخدامها، يرسل قضبان الوقود من المفاعل إلى مصنع إعادة المعالجة حيث يستعاد بعض اليورانيوم.

توفر محطات الطاقة النووية 80% من الكهرباء في فرنسا، و30% في اليابان، و20% في الولايات المتحدة، حيث تعمل 104 محطات. باستثناء التسرب الطفيف في مصنع ثري مايل آيلاند في بنسلفانيا في عام 1979 والانهيال الكبير لمفاعل نووي في تشيرنوبيل (115 كم شمال كييف، عاصمة أوكرانيا) في عام 1986، فإن 430 محطة طاقة في العالم تعمل بأمان.





صورة نصفية تُظهر منظراً داخلياً لوعاء الفراغ الأوروبية المشتركة طوروس Torus، مع صورة متراكبة لبلازما فعلية مأخوذة بكاميرا ضوئية مرئية. يمكن رؤية الحواف الباردة للبلازما فقط، لأن المركز حار جداً لدرجة أنه يشع فقط في الجزء فوق البنفسجي من الطيف. ويتوقع أن يكون هذا الجهاز مصدر طاقة جديدة ومستقبلي لأوروبا كلها.

بسبب المخاوف بشأن تغير المناخ العالمي، دخلت الطاقة النووية في مناقشات لاستكمال الطلب المتزايد على الطاقة من البلدان المتقدمة، وكذلك للصين والهند (مثلاً، اقترح بناء ما يصل إلى 45 محطة للطاقة النووية في الولايات المتحدة مؤخراً).

تشمل المزايا التي روج لها أنصار الطاقة النووية حقيقة أن الطاقة النووية، على عكس الفحم والنفط، لا تضيف الكربون إلى الغلاف الجوي. يجري تنظيم محطات توليد الطاقة هذه وانبعاثاتها بشكل صارم. بالإضافة إلى ذلك، هناك تطورات في التصميم (مثلاً، الجيل الثالث المتقدم) قيد التنفيذ حالياً، مع العديد من التطورات في السلامة والكفاءة.

يتضمن ذلك تصميماً أبسط وأكثر متانة، وتشغياً سهلاً، وتقليل احتمالية حوادث الانصهار الأساسية، وتأثيرات أقل على البيئة، وعمر أطول، ونفايات أقل للوقود.

لكن المخاوف لا تزال قائمة. من بين الدمار الذي خلفته المواد المشعة، حيث إن الانفجارات في تشيرنوبيل أدت إلى نقل مواد مشعة في الغلاف الجوي أكثر مما جرى إطلاقه في القصفين الذريين لهيروشيما وناغازاكي في اليابان.

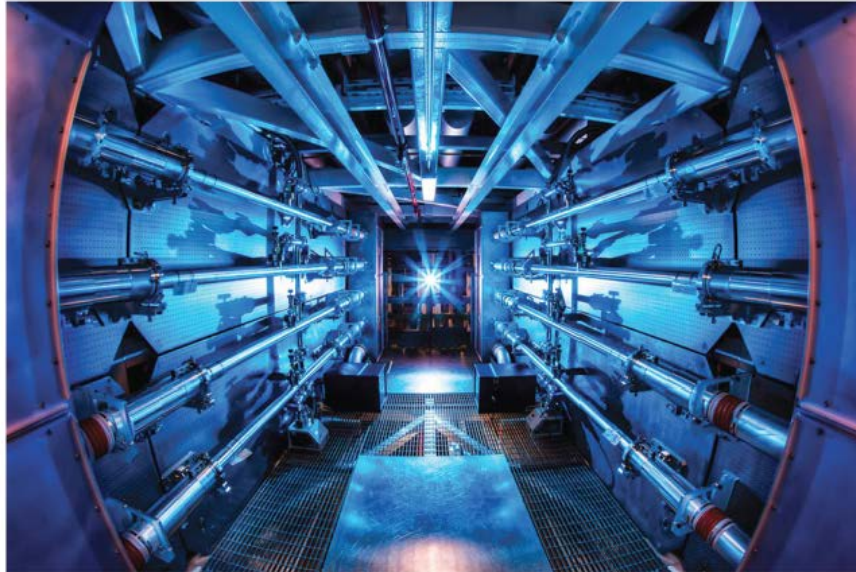
يمكن أن تكون المعاناة في صحة الإنسان، وتلوث المياه والأراضي الزراعية وما يرتبط بها من خسائر في المحاصيل، والتكاليف التقديرية التي ينطوي عليها التخفيف من مثل هذه الكوارث هائلة جداً.

القضية الرئيسية الثانية هي التخلص من النفايات النووية، والتي يمكن تصنيفها إلى أربعة أنواع:

1. الوقود النووي المستهلك من المفاعلات النووية والنفايات المشعة عالية المستوى من إعادة معالجة الوقود النووي المستهلك.
2. النفايات عبر اليورانيوم (المعرفة على أنها العناصر المشعة بأعداد وأوزان ذرية أكبر من تلك الموجودة في اليورانيوم).
3. نفايات نشطة إشعاعية منخفضة المستوى.
4. مخلفات مطاحن اليورانيوم من تعدين وطحن خام اليورانيوم.



يبلغ الاستخدام العالمي الحالي لليورانيوم نحو 200 طن في السنة مقابل كل 1000 ميغاواط من طاقة محطة الطاقة النووية. عندما يمر 75% من اليورانيوم 235 بالانشطار أثناء تشغيل المفاعلات النووية، فإنه يعتبر وقوداً نووياً مستهلكاً. ينتج الوقود المستهلك قدرًا هائلاً من الحرارة التي يجب أن تتبدد في برك المياه. يوجد حالياً، 65333 طناً من الوقود النووي المستهلك، 4667 طناً من النفايات المشعة السائلة عالية المستوى (HLW)، و50 طناً من البلوتونيوم من النفايات المشعة السائلة عالية المستوى (HLW). يجري التخلص من النفايات في جبل يوكا، نيفادا (US DOE 1999). مع كل هذه المخاوف، ومع جدية هذه المخاوف، سيجري بناء المزيد من المصانع هنا في الولايات المتحدة وأماكن أخرى في العالم.



جزء من البصرات التي تضخم طاقة أشعة الليزر وهي تشق طريقها نحو الغرفة المستهدفة في منشأة الإشعال الوطنية بالولايات المتحدة الأمريكية. ويتوقع أن تكون أحد مصادر الطاقة المستقبلية.

وفقاً لتوقعات الطاقة الدولية *International Energy Outlook 2005*، من المتوقع أن يزداد توليد الطاقة الكهربائية باستخدام محطات الطاقة النووية في جميع



أنحاء العالم من **2560** بليون كيلوواط / ساعة في عام 2002 إلى 3032 بليون كيلوواط / ساعة في عام 2025 .
تحسنت التوقعات للطاقة النووية بشكل عام كثيراً خلال السنوات الأخيرة، وذلك لعددٍ من الأسباب التي تشمل:

1. ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري.
2. أبلغ عن ارتفاع معدلات استخدام القدرات في العديد من المرافق النووية القائمة.
3. توقع منح معظم المصانع الموجودة في الأسواق الناضجة والاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية تمديدات في العمر التشغيلي.
4. تطبيق بروتوكول كيوتو.
5. التوقع لاقتصاد الهيدروجين والحاجة إلى طاقة كهربائية فعالة من حيث التكلفة.

ومع ذلك، لا يزال التنبؤ بالاتجاه نحو الطاقة النووية صعباً جداً، بسبب قدر كبير من عدم اليقين الناشئ عن العوامل السياسية والاجتماعية -الاقتصادية.



مصادر الطاقة المتجددة والبديلة

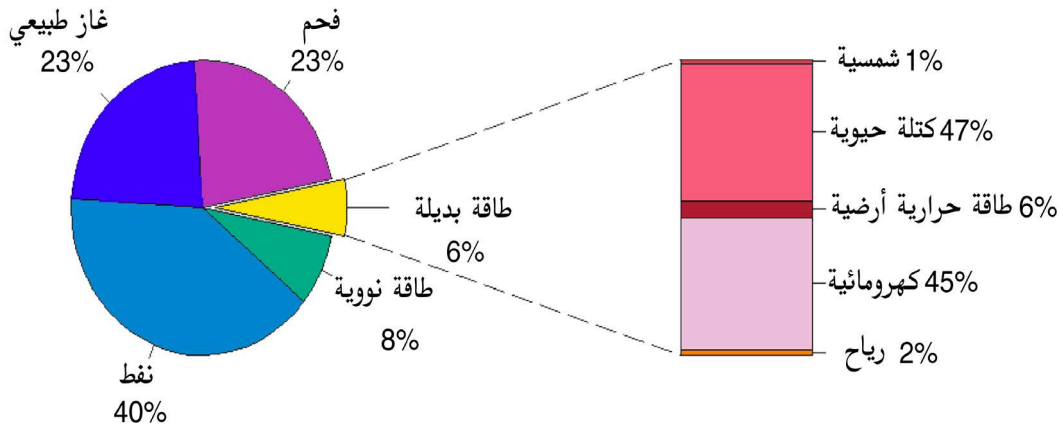
جميع أنواع الوقود الأحفوري غير قابلة للتجديد، ومن ثم سيجري استنفادها في النهاية. نظراً لأنها تستند إلى موارد محدودة وتوزيعاتها محلية بشكل كبير في مناطق معينة من العالم، ومن ثم فإنها ستصير باهظة الثمن.

علاوة على ذلك، يتطلب توليد الطاقة من الوقود الأحفوري الاحتراق، ومن ثم الإضرار بالبيئة بالملوثات وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري. من أجل الحفاظ على مستقبل العالم بيئة نظيفة وموارد طاقة غير مستنفدة، فإن الطاقة المتجددة هي الخيار الواضح.

تشمل مصادر الطاقة المتجددة: الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية والهيدروجين. تأتي معظم الطاقة المتجددة، باستثناء الطاقة الحرارية الأرضية، بشكل مباشر أو غير مباشر من الشمس.

المجموع الكلي = 100.278 كوادريليون BTU

المجموع الكلي = 6.117 كوادريليون BTU



معدلات استهلاك الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة لونها عام 2004.



لقد زاد توليد الطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الشمسية وطاقة الرياح والخشب والنفايات في جميع أنحاء العالم بمعدل سنوي متوسط قدره 6.8% من 1993 إلى 2003. قادت الولايات المتحدة العالم بـ 94 بليون كيلوواط / ساعة، تليها ألمانيا بـ 31 بليون، واليابان بـ 28 بليون، وإسبانيا 16.3 بليون، والبرازيل 16.2 بليون. استحوذت هذه الدول الخمس على نحو 60% من توليد الطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والأخشاب، والنفايات في العالم في عام 2003.

وقد استخدم الإيثانول من الذرة بشكل متزايد كوقود لمزج البنزين. العلامة التجارية الجديدة هي E85، التي تحوي على 85% إيثانول و 15% بنزين. بدأت العديد من محطات الوقود في الولايات المتحدة في تخزين وقود E85 بانتظام، ويقدم العديد من صانعي السيارات خطوطاً متعددة من السيارات التي يمكن تشغيلها إما على البنزين التقليدي وإما E85.

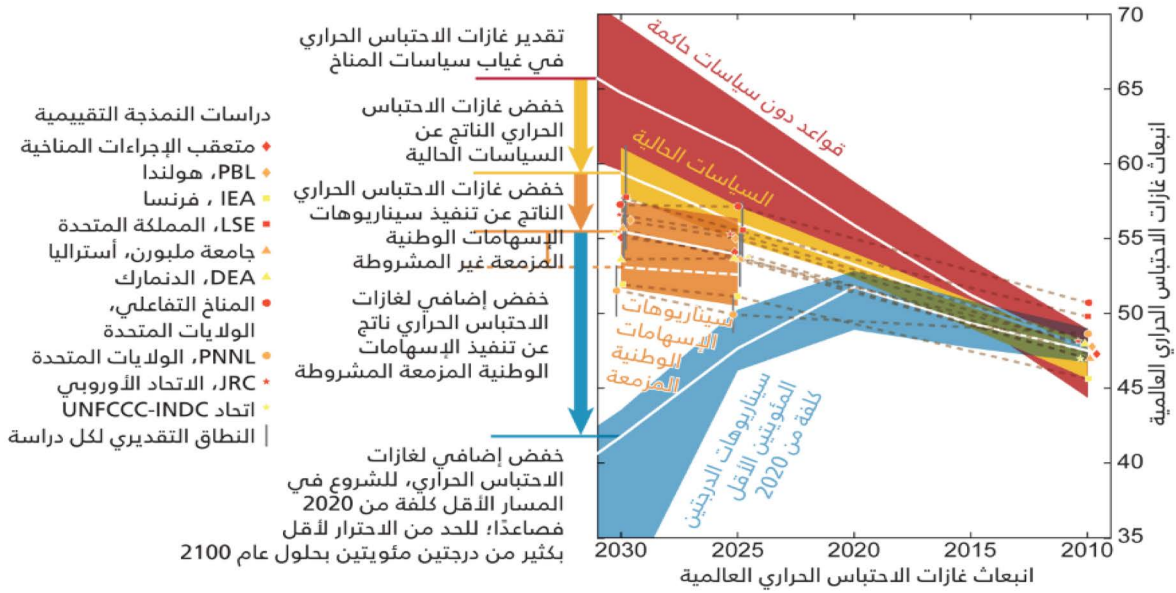
أدى التقليل التدريجي لـ MTBE (ميثيل ثلاثي - بيوتيل إيثر)، الذي كان يوماً ما وقود مزيج مؤكسج الأكثر شيوعاً، في العديد من الولايات الأمريكية إلى تسريع استخدام الإيثانول كوقود مزيج من البنزين المؤكسج.

كما أدى الوعي العام بالحرق النظيف والهيدروجين الموفر للطاقة إلى زيادة الاهتمام غير المسبوق بتكنولوجيا الهيدروجين وأبحاث خلايا الوقود وتطويرها. يتوقع العديد من الخبراء أن المستقبل سيكون لاقتصاد الهيدروجين.

لتحقيق اقتصاد الهيدروجين، يجب إنجاز قائمة طويلة من التطورات التكنولوجية، والتي تشمل تقنيات التوليد غير المكلفة، والتوزيع الآمن والتخزين، والمواد الآمنة والفعالة لتداول الهيدروجين، ومحرك الاحتراق الداخلي للهيدروجين، وخلايا وقود الهيدروجين، ومنع الخسارة، إلخ.



يعد توليد الطاقة باستخدام الكتلة الحيوية والنفايات الصلبة البلدية (MSW) واعداً أيضاً في المناطق التي تكون فيها أماكن دفن النفايات محدودة جداً. جعلت التطورات التكنولوجية في المجالات هذا الخيار فعالاً وآمناً بيئياً. إن طاقات النظم البيئية الطبيعية، التي تحكمها قوانين الديناميكا الحرارية والتي يقودها التقاط الطاقة الشمسية من قبل المصادر الأساسية، ونقل تلك الطاقة إلى المستهلكين. تشكل عدد لا يحصى من الآلات -من فراشي الأسنان الكهربائية إلى الطائرات الضخمة- العمود الفقري للحياة في العصر الحديث والقوة الاقتصادية والعسكرية للأمم.



انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية، حسبما تشير إليه مخططات الإسهامات الوطنية المزمعة، مقارنة بوجود قواعد دون سياسات حاكمة، وفي ظل السياسات الحالية، وسيناريوهات التبريد المئويتين. حيث تبين الخطوط البيضاء متوسط كل نطاق. ويبين الخط الأبيض المتقطع التقدير المتوسط لما ستحققه الإسهامات الوطنية المزمعة، إذا ما جرى استيفاء جميع الشروط. تربط الخطوط البنية المتقطعة بين نقاط البيانات لكل دراسة.

يمكن تصنيف موارد الطاقة على أنها وقود غير متجدد (أحفوري) (بما في ذلك الفحم والنفط والغاز الطبيعي والطاقة النووية) ومصادر الطاقة المتجددة (أو البديلة)، مثل الكتلة الحيوية (حطب الوقود والمواد النباتية والحيوانية الأخرى)، والطاقة الشمسية (الخلايا الكهروضوئية أو الحرارية) والطاقة المائية وطاقة المد والجزر وطاقة الرياح وطاقة المحيطات الحرارية والطاقة الحرارية الأرضية.

يجري استخراج الطاقة الأولية (الطاقة الموجودة في المواد الخام) من مصادر مثل النفط الخام ثم تحوّل من خلال سلسلة من العمليات (بكفاءة إجمالية تبلغ نحو 30%) إلى أشكال طاقة مفيدة تصل إلى سكنية وتجارية وصناعية والمستخدمين النهائيين للنقل.

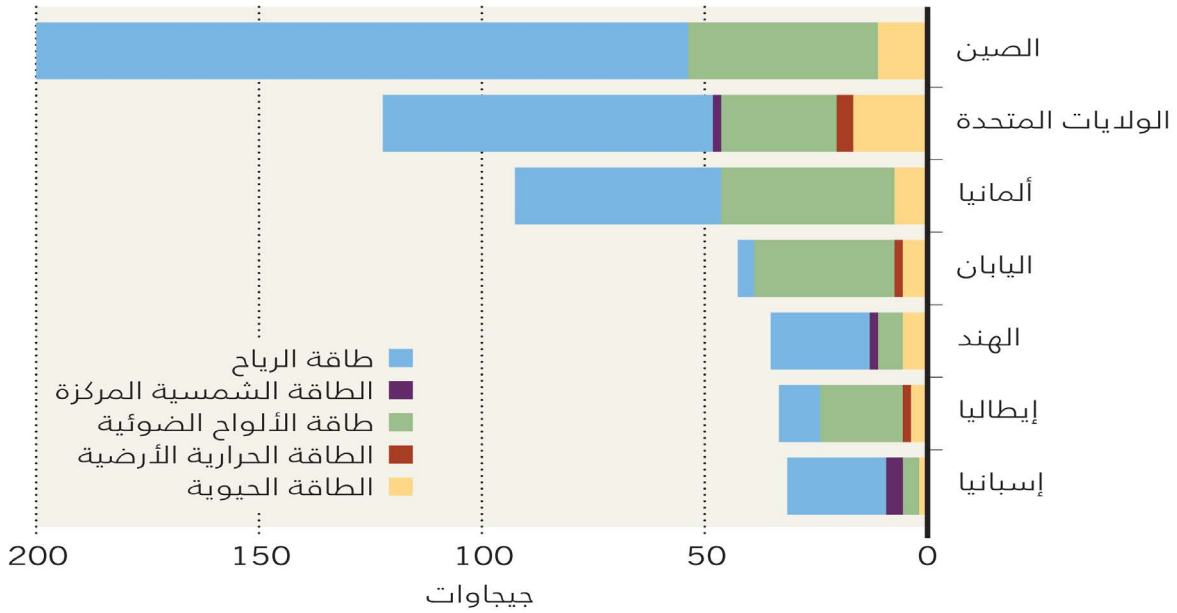
لقد ارتفع إجمالي استهلاك العالم من الطاقة الأولية: البترول والغاز الطبيعي والفحم والطاقة الكهربائية (الطاقة المائية والنوية والكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الأرضية والشمسية وطاقة الرياح) - نحو 945% من $10^{18} \times 38.1$ جول في عام 1900 إلى $10^{18} \times 400.3$ جول أو **Exajoules** (EJ) ، في عام 2007.

نحو 51% من الطاقة الكهربائية في العالم من الكتلة الحيوية، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والمحيطات (المد والجزر) البالغة 116 **غيغاواط** في عام 2005 التي جرى حسابها من قبل ألمانيا (21.4 غيغاواط)، والولايات المتحدة (20 غيغاواط)، وإسبانيا (10.3 غيغاواط)، الهند (5.3 غيغاواط) واليابان (2.5 غيغاواط). في الولايات المتحدة، شكلت الطاقة المتجددة 7% فقط من إجمالي ميزانية الطاقة في البلاد.



صعود الطاقة المتجددة

تهيمن كل من طاقة الرياح وطاقة الألواح الضوئية على قطاع الطاقة المتجددة سريع النمو.



لقد ارتفع إنتاج الطاقة المولدة من المصادر المتجددة - باستثناء الطاقة الكهرومائية - إلى 785 غيغاواط بنهاية عام 2015، وذلك بعد زيادة قياسية قدرها 120 غيغاواط خلال العام، وتحتل الصين المركز الأول بين دول العالم بلا منازع، حيث تنتج أكثر من 25% من الطاقة العالمية المولدة من مصادر متجددة غير مائية، وتأتي بعدها الولايات المتحدة وألمانيا، بينما تتفوق ألمانيا على الصين والولايات المتحدة في نصيب الفرد من تلك الطاقة. ومع احتساب الطاقة الكهرومائية، تسهم مصادر الطاقة المتجددة بما نسبته 24% من إجمالي إنتاج الطاقة العالمي.

يمكن أن يكون لزيادة استخدام الطاقة المتجددة آثار إيجابية أخرى، مثل زيادة تنوع الطاقة والأمن من خلال زيادة استخدام إمدادات الطاقة المحلية، وتوليد الدخل من الاعتماد الأقل على استيراد الوقود الأحفوري، وزيادة فرص العمل في تقنيات الطاقة المتجددة.



ومع ذلك، فإن التكلفة المنخفضة للوقود الأحفوري وعدم تقييم الفوائد البيئية والاجتماعية للطاقة المتجددة، فضلاً عن التكاليف البيئية للوقود الأحفوري في دورته الكاملة (من الاستخراج إلى التخلص) ونقص المعلومات من قبل المستهلكين، وضع حواجز أو (عقبات) في السوق أمام التطور السريع والواسع النطاق لتقنيات الطاقة المتجددة.



توفر الطاقة المتجددة، مثل: (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح) فوائد بيئية فورية من خلال تجنب الآثار البيئية للوقود الأحفوري، مثل تغير المناخ العالمي؛ والترسيب الحمضي؛ وتلوث الهواء والماء والتربة؛ وفقدان وتدهور النظم البيئية؛ وما يرتبط بها من آثار ضارة على الصحة العامة.



أ. الطاقة الشمسية

الشمس عبارة عن كرة كبيرة من البلازما تتكون أساساً من الهيدروجين (92%) والهيليوم (8%) وكميات صغيرة من الذرات أو العناصر الأخرى. البلازما هي المكان الذي يجري فيه فصل الإلكترونات عن النواة لأن درجة الحرارة عالية جداً (الطاقة الحركية للنواة والإلكترونات كبيرة).

من خلال عملية الاندماج، تتحول البروتونات إلى نوى هيليوم بالإضافة إلى إصدار طاقة. الشمس هي نجم تسلسل رئيسي مستقر يبلغ عمره التقديري 4.5×10^9 سنوات وستستمر لمدة 4 إلى 5×10^9 سنوات أخرى قبل بدء المرحلة التالية من التطور، حرق الهيليوم. عند هذه النقطة، ستتوسع الشمس وتصير أكبر من مدار الأرض.

تتكون النوى من نيوكليونات، والتي تكون في شكلين: البروتونات (التي لها شحنة موجبة) والنيوترونات (بدون شحنة). يعتبر تفاعل الجاذبية جذاباً، لذلك في مركز الشمس، تكون البروتونات قريبة بما يكفي من بعضها لحدوث التفاعل النووي، مع أن البروتونات تتنافر بسبب شحنتها. في حجم النوى (10^{-15} متر)، يكون التفاعل النووي أقوى من تنافر التفاعل الكهرومغناطيسي (EM). تتحول البروتونات إلى نوى هيليوم، ولأن كتلة نواة الهيليوم أقل من كتلة البروتونات الأربعة، فإن هذا الاختلاف في الكتلة (نحو 5×10^9 كغ / ثانية) يتحول إلى طاقة. ومن ثم تُنقل هذه الطاقة إلى سطح الشمس، حيث ينطلق الإشعاع الكهرومغناطيسي وبعض الجزيئات (الرياح الشمسية) إلى الفضاء. تشع هذه الكمية الهائلة من الطاقة في الفضاء من سطح الشمس بقوة 3.8×10^{23} كيلو واط. تعترض الأرض جزءاً صغيراً فقط من طاقة الشمس؛ ومع ذلك، لا يزال هذا مقداراً كبيراً.



في الجزء العلوي من الغلاف الجوي، تبلغ الطاقة التي اعترضتها الأرض 1.73×10^{14} كيلو واط، أي ما يعادل 1.35 كيلو واط / متر مربع. تذكر أن هذا السطح عمودي (90 درجة) على الشمس.

وإذا كان السطح بزاوية مع الشمس، فإن القدر نفسه من الطاقة ينتشر على مساحة أكبر. على سطح الأرض في يوم صافٍ، يكون هذا التشوه الشمسي نحو 1.0 إلى 1.2 كيلو واط / متر مربع على سطح متعامد مع الشمس من 9 إلى 15 ساعة، اعتماداً على كمية الضباب في الغلاف الجوي وعلى الارتفاع.

• توازن طاقة الأرض

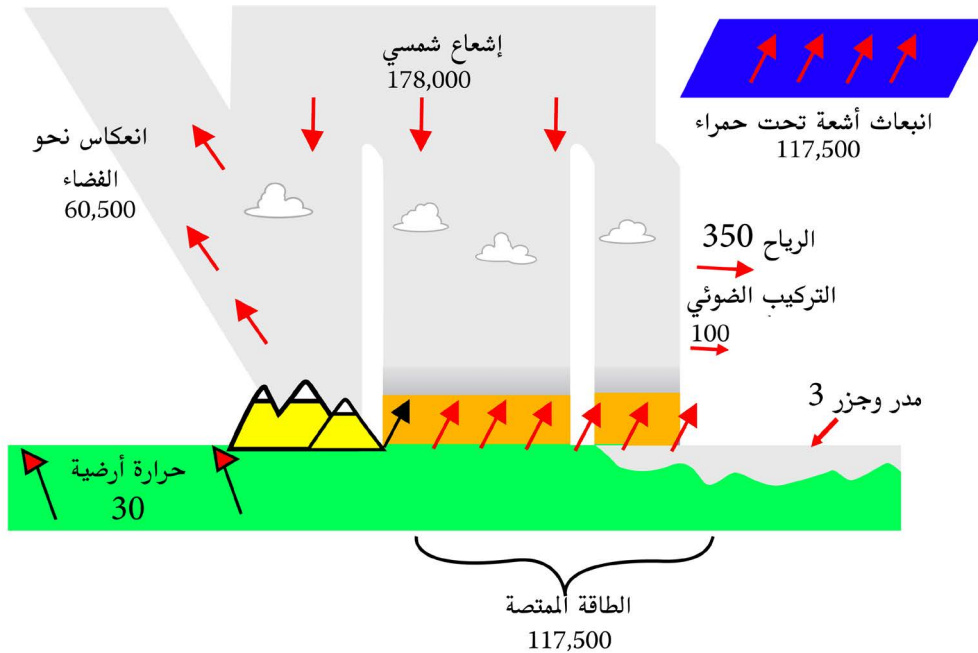
إن توازن طاقة الأرض هو في الأساس صفر، باستثناء الكمية الصغيرة من الطاقة الحرارية الأرضية الناتجة عن الاضمحلال الإشعاعي. تشع الأرض كمية الطاقة نفسها في الفضاء مثل كمية الطاقة الكهرومغناطيسية الممتصة من الشمس. إذا كانت الطاقة في مقابل الطاقة الخارجة غير متوازنة، فستزيد درجة حرارة الأرض وستشع المزيد من الطاقة في الفضاء لتتوازن مرة أخرى. تتفاعل الطاقة أو الطاقة الشمسية (تذكر إذا كنت تعرف أحدهما، فأنت تعرف الآخر في أي فترة زمنية) مع الغلاف الجوي للأرض وسطحه الذي يشكل الماء المكون الرئيسي له. من الإشعاع الوارد (100 وحدة أو 100%)، تعكس السحب (31%) والسطح (3%)، والباقي يمتصه الغلاف الجوي (19%) والسطح (47%).

تكون كمية الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعثة من الشمس في المقام الأول في النطاق المرئي، ويجري امتصاصها ثم تحويلها بشكل أساسي إلى طاقة حرارية،



التي لها درجة حرارة منخفضة، نحو **17 مئوية**، تشع عند أطوال موجية أطول (الذروة عند $1 \times 10^{-5} \text{م}$). هذه الطاقة الممتصة تدفع طقسنا من ناحية التبخر ونقل الحرارة من خط الاستواء إلى القطبين وتوفر الطاقة للرياح والأمواج والتيارات في المحيط؛ يجري امتصاص بعضها وتخزينها في النباتات من خلال عملية التمثيل الضوئي.

تنبعث بعض الأشعة تحت الحمراء إلى الفضاء (سواء صافية)، ويمتص الباقي في الغلاف الجوي. من الأشعة تحت الحمراء الممتصة في الغلاف الجوي، يُعاد إشعاع بعضها إلى الفضاء، ويعاد إشعاع الباقي إلى الأرض. الليالي الصافية أبرد من الليالي الملبدة بالغيوم بسبب إشعاع الليل في الفضاء الذي تبلغ درجة حرارته 3 كلفن.



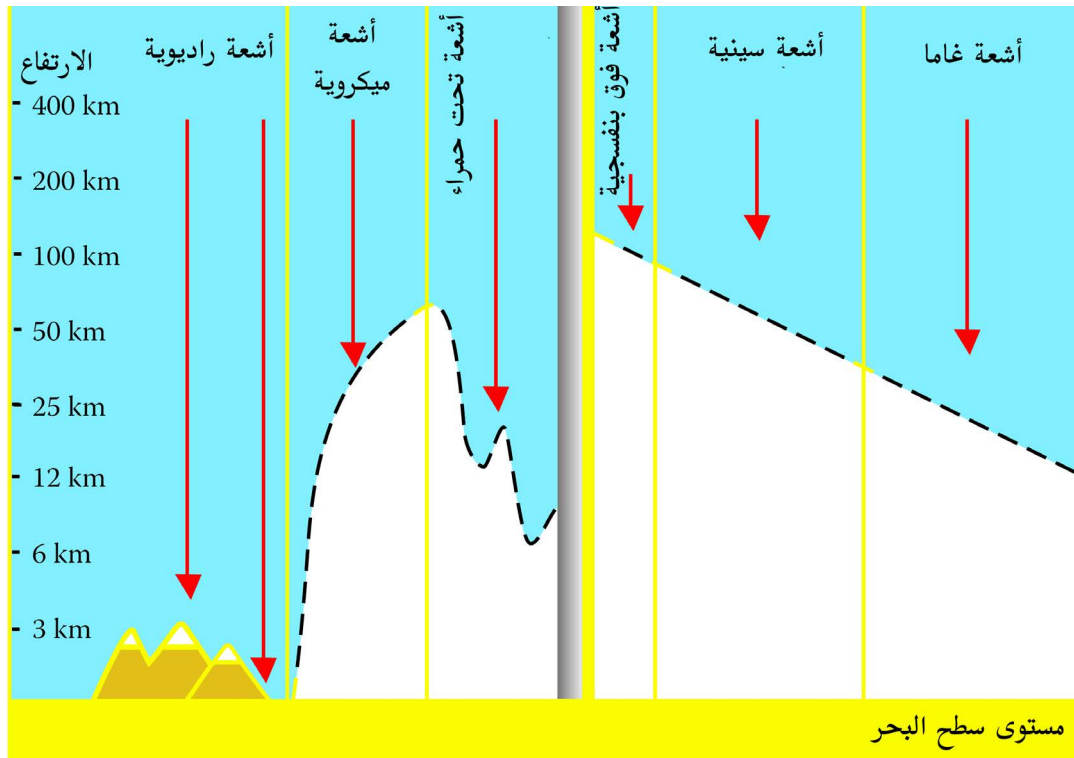
انتقال وامتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي (مقدرة بوحدة الكيلوواط) ومصادر الطاقة الأخرى.



الغلاف الجوي شفاف للأطوال الموجية المرئية والراديوية ولكنه يمتص الإشعاع بأطوال موجية أخرى. يمتص الأوزون الموجود في الغلاف الجوي العلوي الأشعة فوق البنفسجية.

لقد صار الناس في أستراليا ونيوزيلندا وتييرا ديل فويغو حالياً يتلقون المزيد من الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة لأننا كنا ندمر طبقة الأوزون في القطبين في الغلاف الجوي العلوي. وقد يتذكر البعض منا أن الصناعة أكدت أنه لا يمكننا استبدال الغاز في الثلاجات بسبب الاقتصاد ولم تكن الكيمياء لتدمير الأوزون مؤكدة تماماً.

يشير بعض الأشخاص الذين يختلفون مع النتائج التي توصل إليها العلماء إلى هذا على أنه علم غير مرغوب فيه. هل سيكون على الأشخاص في الطائرات الأسرع من الصوت في أعالي الغلاف الجوي أن يقلقوا بشأن الإشعاع الكهرومغناطيسي؟ هل يتعين على رواد الفضاء في الفضاء القلق بشأن الإشعاع الكهرومغناطيسي عالي الطاقة؟



تصل الموجات المرئية والراديوية إلى السطح، بينما تمتص الإشعاعات الأخرى في الغلاف الجوي.



• حصاد الطاقة الشمسية

يمكننا استخلاص الطاقة الشمسية بطريقتين:

1. أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

يمكن تسخير الطاقة الشمسية بواسطة أنظمة حرارية نشطة أو سلبية أو أنظمة كهروضوئية. ويوجد هنا نوعان من الصعوبات الجوهرية في استخدام الطاقة الشمسية وهما كثافة الطاقة المنخفضة (تركيزات منخفضة من الإشعاع الشمسي) عند خطوط العرض العالية وتنوع المصدر بسبب السحب.

يمكن تركيز الإشعاع الشمسي المباشر بواسطة المرايا أو العدسات، لكن لا يمكن تركيز الإشعاع الشمسي المنتشر. يشير مصطلح الأنظمة الحرارية الشمسية السلبية إلى استغلال الطاقة الشمسية لتدفئة وتبريد المباني حسب التصميم، وليس باستخدام مجمعات الطاقة الشمسية.



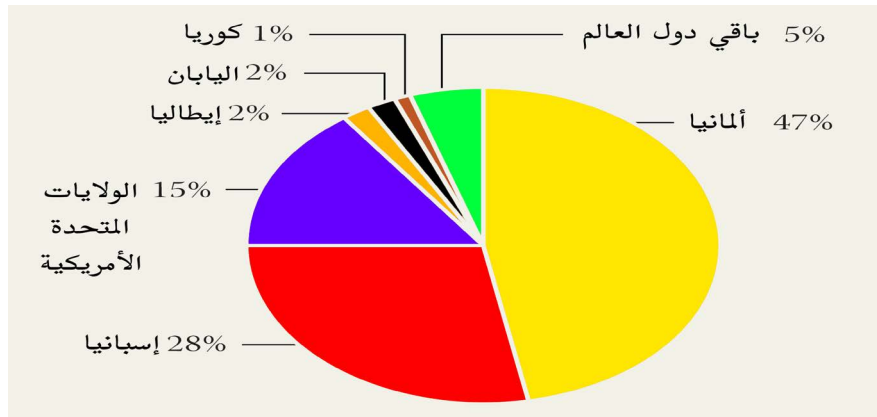
مجموعة من خلايا السيليكون الشمسية في محطة نيليس للطاقة الشمسية الموجودة داخل قاعدة نيليس الجوية في مقاطعة كلارك، نيفادا، في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يحوي المصنع على ما يقرب من 6000 لوح شمسي ويمكن تدويرها حول محور واحد لتتبع الشمس. تبلغ الطاقة القصوى للمحطة نحو 14 ميغاواط.



تستخدم الأنظمة الحرارية الشمسية النشطة مجمعات الطاقة الشمسية من النوع المسطح، والتي يجري تثبيتها بشكل عام على السطح للتدفئة والتبريد وإنتاج الماء الساخن للاستخدامات السكنية والتجارية والصناعية. أما الأنظمة الكهروضوئية (PV) فهي خلايا شمسية شبه موصلة يتحوّل فيها الإشعاع الشمسي الساقط مباشرة إلى طاقة كهربائية للإضاءة ولأغراض أخرى.

وصل الإنتاج العالمي السنوي الحالي إلى 150 ميغاواط وينمو بمعدل 20% سنوياً. الأنظمة الكهروضوئية سهلة التركيب والصيانة وهي مناسبة بشكل خاص للمناطق البعيدة عن مصدر تقليدي للكهرباء.

زادت قدرة إنتاج الطاقة للأنظمة الكهروضوئية واسعة النطاق في جميع أنحاء العالم من 15.3 ميغاواط في عام 1995 إلى 951.2 ميغاواط في عام 2007. مع 47% من حصة العالم من الطاقة الشمسية، تصدر بها ألمانيا العالم، تليها إسبانيا (28%) والولايات المتحدة (15%). في جميع أنحاء العالم، زاد توليد الطاقة الشمسية في عام 2007 (489.2 ميغاواط) بأكثر من 2.6 مرة عن عام 2006 (185.6 ميغاواط).



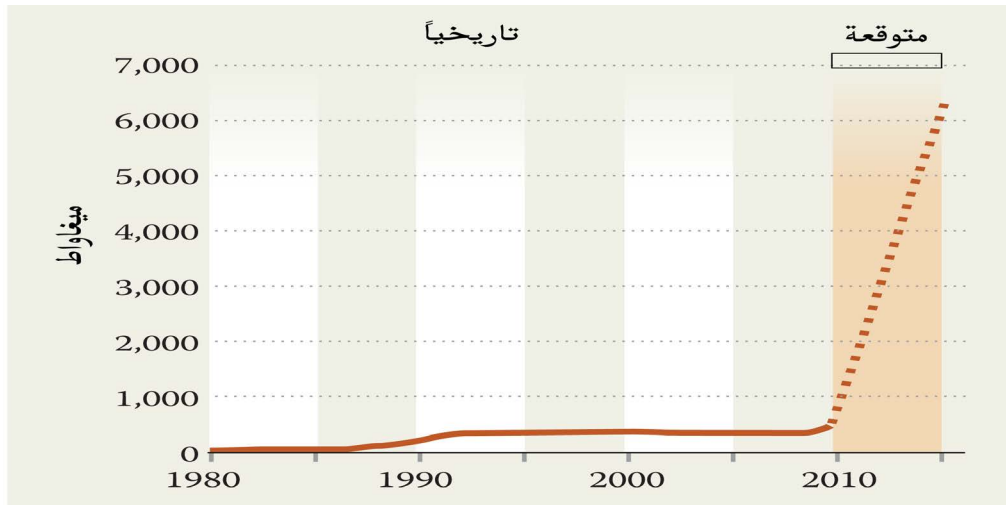
محطات الطاقة الكهروضوئية واسعة النطاق وإنتاجها في نهاية عام 2007.



تمتلك أوروبا مجتمعة 81% من حصة الطاقة الشمسية الحالية. العديد من المرافق الرئيسية في الولايات المتحدة تدرس النموذج الألماني. حالياً، تتمتع التقنيات الكهروضوئية بمتوسط كفاءة تحويل للطاقة بنسبة 12-15% مع عدم وجود سعة تخزين مدمجة.

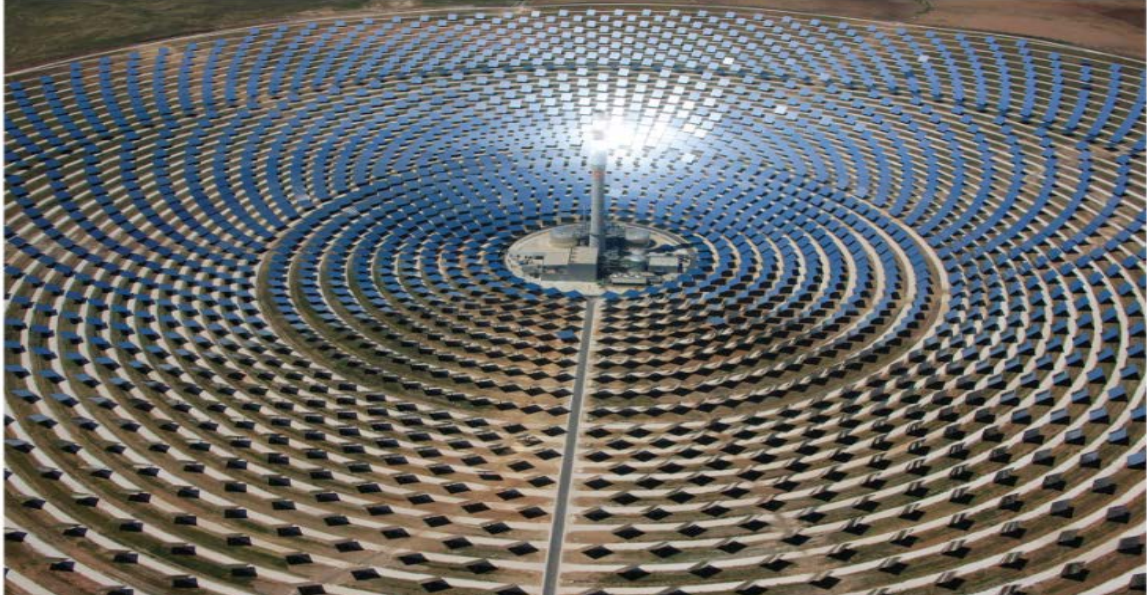
2. أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية

في الطاقة الحرارية الشمسية (اختصار CSP - الطاقة الحرارية الشمسية المركزة)، على عكس الخلايا الكهروضوئية، تقوم طاقة الشمس بتسخين الماء أو السوائل الأخرى لتوليد البخار، الذي يستخدم بدوره لتشغيل التوربينات. بلغت الطاقة التراكمية الناتجة عن الطاقة الشمسية المركزة في عام 2007 في جميع أنحاء العالم 457 ميغاواط، بعد أن كانت 1 ميغاواط فقط في عام 1980. وفي عام 2012، من المتوقع أن ترتفع السعة إلى 6400 ميغاواط. الولايات المتحدة وإسبانيا هما الرائدتان في تطوير الطاقة الشمسية المركزة.



سعة الطاقة الحرارية الشمسية المركبة التراكمية العالمية بين عامي 1980-2007.





صورة لمرفق الطاقة الشمسية جيماسولار Gemasolar، الذي يقع في فوينتس دي أندلسيا Andalucía بإسبانيا. لديها 2650 هيليوستات، والتي تبلغ مساحتها الإجمالية العاكسة 304350 م² وتنتج طاقة كهربائية 20 ميغاواط. يتيح تضمين نظام تخزين حرارة الملح المصهور توليد كهربائي مستقل لمدة تصل إلى 15 ساعة دون أي إشعاع شمسي.

ب. طاقة الرياح

قبل الثورة الصناعية، كانت الرياح مصدراً رئيسياً للطاقة لضخ المياه وطحن الحبوب والنقل لمسافات طويلة (السفن الشراعية). مع أن ذروة استخدام طواحين الهواء الزراعية في الولايات المتحدة كانت في ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين، عندما كان هناك أكثر من 6 ملايين، لا تزال طواحين الهواء هذه تُصنع وتستخدم في الولايات المتحدة وحول العالم

تتشابه مزايا وعيوب طاقة الرياح مع معظم مصادر الطاقة المتجددة الأخرى: فهي متجددة (غير مستنفدة) ومنتشرة في كل مكان (تقع في العديد من مناطق العالم) ولا تتطلب الماء لتوليد الكهرباء.



العيوب هي أنها متغيرة ومنخفضة الكثافة، التي تترجم بعد ذلك إلى تكاليف أولية عالية. بشكل عام، تكون المناطق العاصفة بعيدة عن مراكز التحميل، مما يعني أن النقل يمثل مشكلة للتركيب على نطاق واسع لمزارع الرياح.

يُعزى النمو السريع لطاقة الرياح إلى مزارع الرياح التي جرى تركيبها بنهاية عام 2009 حيث بلغت استطاعتها 158500 ميغاواط؛ بالإضافة إلى ذلك، هناك نحو 1000 ميغاواط من التطبيقات الأخرى. سيكون هناك تداخل بين توربينات الرياح الكبيرة والصغيرة (100 كيلوواط) في التطبيقات المتنوعة للرياح الموزعة والمجتمعية والرياح والديزل والطاقة القروية (الأنظمة الهجينة بشكل أساسي).

توربينات الرياح للأنظمة المستقلة والمتصلة بشبكات المنازل والشركات الصغيرة، والاتصالات السلكية واللاسلكية، وضخ المياه هي في الأساس توربينات رياح صغيرة. الأرقام التي جرى تركيبها والسعة تقديرية، مع بيانات أفضل لمزارع الرياح وتقديرات أكثر صرامة للتطبيقات الأخرى.

اعتباراً من عام 2009، قامت أكثر من 70 دولة بتركيب توربينات طاقة الرياح حيث إن معظم البلدان تسعى إلى مصادر طاقة متجددة ولديها طاقة الرياح كجزء من تخطيطها الوطني. لذلك، لدى البلدان خرائط لموارد الرياح، والبعض الآخر بصدد تحديد إمكانات طاقة الرياح لديها، التي تشمل أيضاً المناطق البحرية.

خلال الثلاثينيات من القرن الماضي، ركبت أنظمة رياح صغيرة (100 واط إلى 1 كيلوواط) مع بطاريات في المناطق الريفية؛ ومع ذلك، استبدلت بهذه الوحدات الطاقة من الشبكة الكهربائية من خلال التعاونيات الكهربائية الريفية. وبعد أزمة النفط الأولى في عام 1973، تجدد الاهتمام بأنظمة بهذا الحجم، مع بيع وحدات جديدة وتصنيع وحدات جديدة.



أيضاً استجابةً لأزمة النفط، اهتمت الحكومات والمرافق بتطوير توربينات الرياح الكبيرة كمحطات لتوليد الطاقة للشبكة. بعد ذلك، بدءاً من الثمانينيات، كان السوق مدفوعاً بالرياح الموزعة في الدنمارك وسوق مزارع الرياح في كاليفورنيا، مما أدى إلى صناعة طاقة الرياح الكبيرة اليوم.

1. مزارع الرياح

بدأ تطوير مزارع الرياح في أوائل الثمانينيات في ولاية كاليفورنيا مع تركيب توربينات الرياح التي تتراوح بين 20 و 100 كيلواط حيث كانت تلك هي الأحجام الوحيدة المتاحة في السوق التجاري.



تقع مزرعة الرياح البحرية مصفوفة لندن London Array على بُعد 20 كم قبالة ساحل كينت في المملكة المتحدة. تحوي على 175 توربين وتولد 630 ميغاواط من الطاقة. إنها أكبر مزرعة رياح في أوروبا.



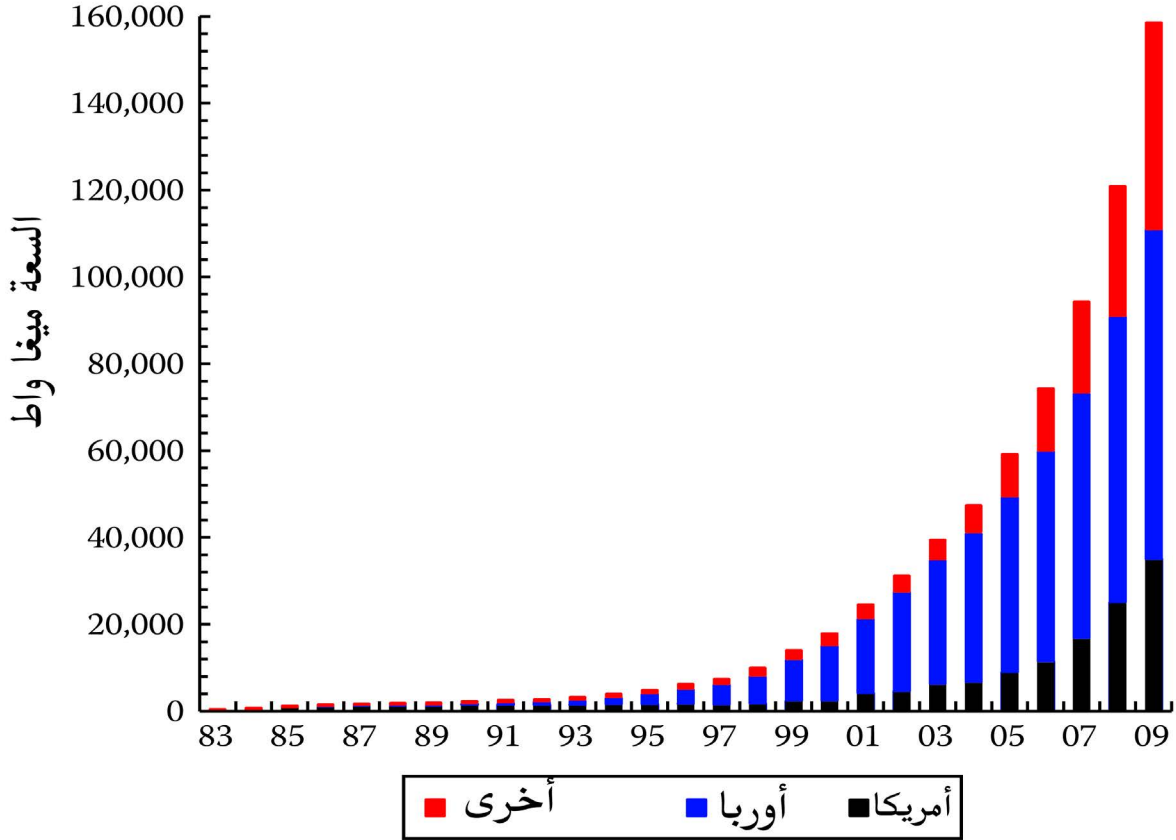
كان هذا التطور لمزارع الرياح في **كاليفورنيا** بسبب القوانين والحوافز الفيدرالية الأمريكية (1980-1985) وبسبب التكاليف التي تم تجنبها للطاقة التي حددتها لجنة المرافق العامة في كاليفورنيا للكهرباء المولدة من مزارع الرياح تلك.

مع استمرار سوق مزارع الرياح في العالم، كان هناك تقدم مطرد نحو توربينات الرياح الأكبر حجماً بسبب وفورات الحجم؛ اليوم، هناك وحدات تجارية متعددة ميغاواط.

منذ ذلك الحين، دعمت دول أخرى طاقة الرياح، ومع نهاية عام 2009، جرى تركيب **158.5** غيغاواط من نحو **141000** **توربين** رياح. تولد توربينات الرياح هذه نحو 4×10^8 ميغاواط في الساعة سنوياً.

قادت الدنمارك تركيب توربينات الرياح في أوروبا في الأيام الأولى، واستحوذ مصنعوها على حصة كبيرة من السوق العالمية في **الثمانينيات**. ثم قامت دول أوروبية أخرى بتركيب أعداد كبيرة من توربينات الرياح، وصارت ألمانيا رائدة العالم.





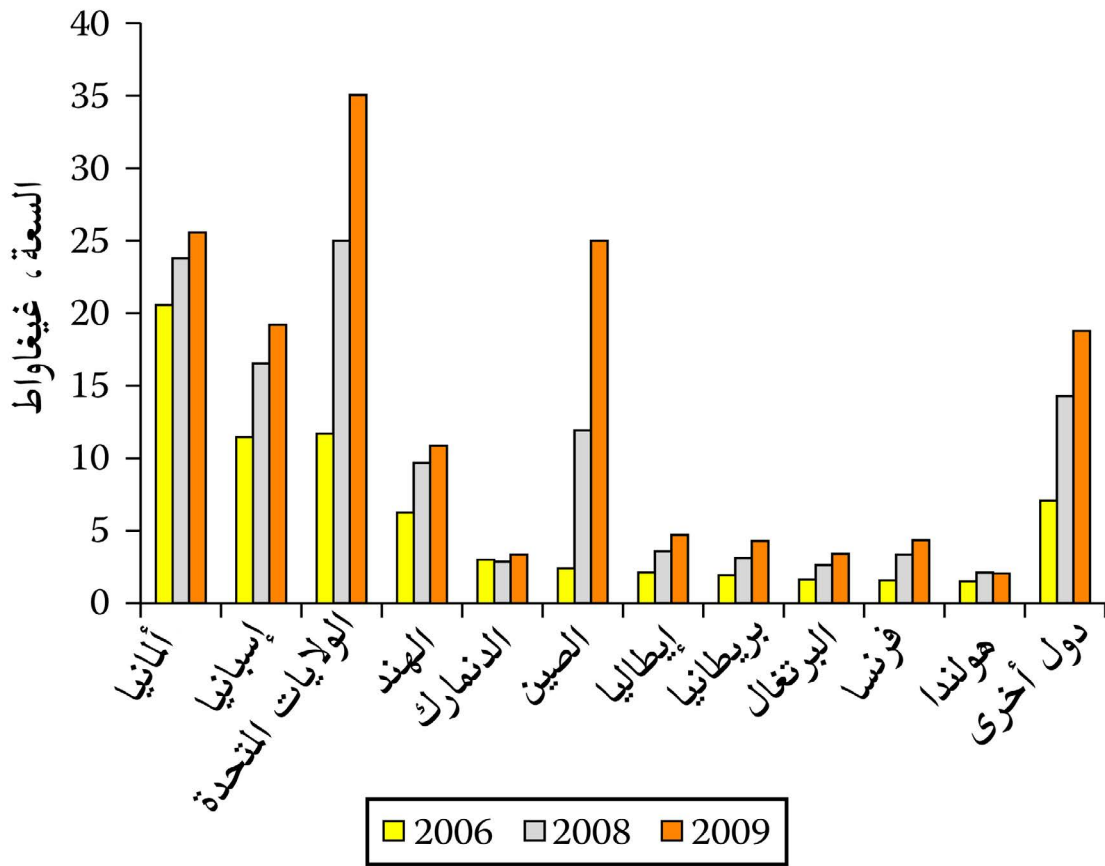
تركيب طاقة الرياح في العالم، عام 2009، في المقام الأول مزارع الرياح.

بالإضافة إلى ذلك، كان هناك دمج للمصنعين، حيث صارت كل من ألمانيا وإسبانيا من اللاعبين الرئيسيين. في 2007-2008، انتقلت منشآت مزارع الرياح الرئيسية إلى الولايات المتحدة، مع تركيب عدد كبير أيضاً في الصين.

تحتل الصين حالياً المرتبة الثانية في العالم وتتوقع أن تستمر في تركيب أعداد كبيرة من توربينات الرياح في مزارع الرياح في السنوات المقبلة بسبب الزيادة الكبيرة في الطلب على الكهرباء؛ ستعمل مزارع الرياح أيضاً على تقليل عدد

محطات الفحم الجديدة بسبب الحاجة إلى المزيد من الطاقة غير الأحفورية في استهلاك الطاقة الرئيسي لتغير المناخ.

مع أن الولايات المتحدة تتصدر عدداً من توربينات الرياح المركبة والكهرباء المولدة بوساطة الرياح ($10^7 \times 7.3$ ميغاواط في الساعة في عام 2009)، شكلت طاقة الرياح 1.3% فقط من إجمالي الكهرباء المولدة.



تركيب طاقة الرياح التراكمية حسب الدولة في نهاية العام، وبخاصة مزارع الرياح.

ومع ذلك، شكلت طاقة الرياح 35% من قدرة توليد الطاقة الكهربائية الجديدة في الولايات المتحدة في عام 2009. وتحصل دول أخرى على حصة أكبر من طلبها على الكهرباء من الرياح، والدنمارك هي الرائدة حيث إن 21% من طاقتها الكهربائية تأتي من طاقة الرياح.

أيضاً، رُكِّبَ 2056 ميغاواط (في نهاية عام 2009) في 38 مزرعة رياح بحرية في أوروبا بسبب ارتفاع تكلفة الأراضي في أوروبا. تتوفر معلومات عن الاتجاهات والإحصاءات الرئيسية الأوروبية من الرابطة الأوروبية لطاقة الرياح والمجلس العالمي لطاقة الرياح.

توقعت أوروبا تركيب 1000 ميغاواط أخرى في الخارج في عام 2010. وفي الصين، جرى الانتهاء من أول مزرعة رياح بحرية بقدرة 100 ميغاواط في عام 2010، بالإضافة إلى 600 ميغاواط في الخارج و400 ميغاواط من مشاريع امتياز طاقة الرياح الأرضية المدية قيد الإنشاء.

لقد ركبت ثلاثين غيغاواط من مزارع الرياح البحرية في عام 2020. ويجري التخطيط لمزارع الرياح البحرية في أجزاء أخرى من العالم (على سبيل المثال، في الولايات المتحدة قبالة الساحل الشرقي، قبالة ساحل خليج تكساس، وفي البحيرات العظمى).

2. استثمار طاقة الرياح

في العديد من المواقع في جميع أنحاء العالم، يتجاوز متوسط سرعة الرياح عتبة 7 متر في الثانية اللازمة لتشغيل توربينات الرياح بشكل فعال. توربينات الرياح الخاصة بتوفير الكهرباء هي تكنولوجيا الطاقة الأسرع نمواً في العالم. يحقق مخرجات أعلى مع توربينات أكبر مثبتة على أبراج أطول لأن سرعة الرياح تزيد عموماً مع الارتفاع.



بلغ إجمالي طاقة الرياح العالمية في عام 2007 **93.8 غيغاواط**، مما أدى إلى توليد **200 تيراواط** في الساعة 1 (1.3% من الاستهلاك العالمي للكهرباء) وموزعة على النحو التالي: أوروبا: 61%؛ أمريكا الشمالية (بما في ذلك كندا والمكسيك): 20%؛ آسيا: 17%؛ أمريكا الجنوبية والوسطى: 0.6%؛ أستراليا والمحيط الهادئ: 1.2%؛ والشرق الأوسط وأفريقيا: 0.4%.

تُستخدم طاقة الرياح في أكثر من 70 دولة، تصدرها الولايات المتحدة وإسبانيا والصين؛ جرى إضافة 19.7 غيغاواط في عام 2007. يمكن لطاقة الرياح أن تحقق كهربة الريف للمنازل والقرى والصناعات الصغيرة بتكلفة رخيصة وبسرعة دون توسيع شبكة المرافق.

توظف صناعة طاقة الرياح **350 ألف** شخص في جميع أنحاء العالم حسب الرابطة العالمية لطاقة الرياح (WWEA). وقد زادت الرابطة العالمية لطاقة الرياح من تنبؤاتها لعام 2010 وتوقعت أن يركب **170.000 ميغاواط** نهاية عام 2010. ارتفع معدل نمو طاقة الرياح في المتوسط السنوي بأكثر من 27% بين عامي 2000 و2007.

نمت طاقة الرياح في تركيا بنسبة 220% في عام 2007، والصين بنسبة 127.5%، وجمهورية التشيك بنسبة 105%، وبولندا ونيوزيلندا بأكثر من 80%. في الولايات المتحدة، أظهرت طاقة الرياح زيادة غير مسبوقه ومرحب بها تنتج ما يزيد على **18 غيغاواط** من الطاقة.

لا يمكن تخزين الطاقة كثيراً للعديد من الموارد المتجددة، لذلك يجب استخدامها عندما تلتقط، مثلاً، من الخلايا الكهروضوئية أو توربينات الرياح. وهذا يعني أن الطاقة التي تُجمع في مناطق لا تستهلك أو تستهلك القليل، مثل:



(الأراضي المفتوحة ومناطق الرياح الشديدة والصحاري) يجب نقلها إلى مناطق ذات استهلاك مرتفع، مثل المناطق الصناعية أو الحضرية.

يتطلب ذلك شبكة نقل طاقة بحيث يمكن نقل الطاقة من منطقة إلى أخرى. ستكون مثل هذه الشبكة الوطنية باهظة الثمن وسيستغرق بناؤها وقتاً. اتخذت تكساس خطوة رائدة في 17 يوليو 2008، عندما وافقت لجنة المرافق العامة في تكساس على خطة بقيمة **4.9 بليون** دولار لبناء خطوط نقل ستقل الكهرباء المولدة من الرياح في غرب تكساس إلى المناطق الحضرية في شرق تكساس مثل دالاس.

تشمل الاهتمامات البيئية الرئيسية المحيطة باستخدام طاقة الرياح التأثيرات المحلية مثل الآثار الضارة على الطيور، وزيادة مستويات الضوضاء، والجماليات البصرية لمزارع الرياح، وتعطيل الإرسال اللاسلكي.

ج. طاقة من النباتات (الطاقة الحيوية)

يعتبر تحويل الطاقة الشمسية من خلال العملية الأساسية لعملية التمثيل الضوئي هو الأساس لجميع أشكال الحياة تقريباً. لقد عثر على الحياة التي لا تعتمد على التمثيل الضوئي في فتحات في أعماق المحيطات، وهو اكتشاف علمي مهم. ومع ذلك، فإنه ليس له أهمية كبيرة لإنتاج واستهلاك الطاقة الحيوية.

بالطبع، يعتمد البشر أيضاً على الكتلة الحيوية للغذاء والألياف والطاقة. من ناحية كتلة الأرض، فإن الطبقة الرقيقة من الكتلة الحيوية غير مهمة، ولكنها مهمة في تنظيم الغلاف الجوي ودرجة حرارة الأرض.



يوجد ثلاثة جوانب للكتلة الحيوية: الكتلة الحيوية الكلية (وهي في الأساس حالة مستقرة؛ والنمو، والتخزين، والاضمحلال)، الغذاء والألياف، والطاقة الحيوية. بشكل عام، نحو 30% من الطاقة الأولية في العالم هي الطاقة الحيوية، وفي بعض البلدان النامية، يمكن أن تكون 70-90%.

حتى في البلدان المتقدمة، يمكن أن تصل مساهمة الطاقة الحيوية إلى 20% بسبب صناعة الغابات الكبيرة، وفي بعض البلدان المتقدمة، تتزايد مساهمة الطاقة الحيوية. من الصعب تقدير النسبة المئوية للكتلة الحيوية للأغذية والألياف والطاقة الحيوية في العالم، كما هو الحال في العالم النامي، حيث تزرع الأطعمة والألياف ومصادر الطاقة الحيوية ويجري تداولها محلياً.

تُستخدم الأقمار الصناعية لتقدير إنتاج الكتلة الحيوية العالمية للأرض (54%) والمحيطات (46%)، مما يعني أن إنتاج الأرض (باستثناء المناطق ذات الغطاء الجليدي الدائم) يبلغ نحو 430 غراماً من الكربون / (متر مربع / سنة)، ولأجل المحيطات، نحو 140 غراماً من الكربون / (متر مربع / سنة). يمكن مقارنة هذه الأرقام بمتوسط الإنتاج لكل منطقة لمختلف مصادر الكتلة الحيوية: الغابات (الاستوائية، درجة الحرارة)، المحاصيل المزروعة، والطحالب الدقيقة.

تعتبر دورة الكربون على الأرض مهمة، وإنتاج الكربون بسبب النشاط البشري نحو 9×10^9 طن متري / سنة، مع احتراق الوقود الأحفوري بمعدل 7×10^9 وإزالة الغابات عند 2×10^9 طن متري / سنة.

يبلغ إجمالي البوابة الكربون نحو 5×10^9 طن متري / سنة بسبب التمثيل الضوئي والتربة (30%)، والمحيطات (25%)، والرواسب والصخور (>1%)، مما يترك الفرق 4×10^9 طن متري / سنة في الغلاف الجوي.



لذلك، يؤثر البشر في دورة الكربون، وبما أنه لا توجد زيادة كافية في أحواض الكربون للكتلة الحيوية والمحيطات، فهناك زيادة في ثاني أكسيد الكربون، أحد غازات الدفيئة، في الغلاف الجوي. السؤال هو إلى أي مستوى سينتج عن ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تأثيرات مناخية خطيرة.

ما هو مناخ الأرض في العصور الجيولوجية الماضية أثناء وجود تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟ في الواقع يتوجب على الجيولوجيين أن يكونوا قادرين على تحديد المناخ العام المقبل ودرجات الحرارة ومستويات سطح البحر.

لذلك، فإن التمثيل الضوئي يحول في المقام الأول ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كتلة حيوية. سيختلف محتوى الكربون بالنسبة للكتلة الحيوية والفحم (الفرق الكبير بين اللجنيت والجفت) وحتى الغاز الطبيعي والنفط.

بسبب محتوى الكربون الأصغر لكل طاقة، فإن احتراق الغاز الطبيعي أفضل من الفحم لأن هناك انبعاثات أقل لثاني أكسيد الكربون. بالطبع، سيكون محتوى الرطوبة أعلى بالنسبة للكتلة الحيوية، لذلك يستخدم التجفيف أو طرائق أخرى لتقليل الرطوبة. ومع ذلك، فإن محتوى الرطوبة في الخث مرتفع إلى حد ما.

في الماضي، كانت الكتلة الحيوية، وبشكل أساسي من الخشب، المصدر الرئيسي للطاقة في العالم، وحتى اليوم توفر الطاقة الحيوية نحو 30% من استهلاك الطاقة للعالم. يعتمد نحو 2.6 بليون شخص على حطب الوقود والفحم والروث في الطهي والتدفئة.

زاد استهلاك حطب الوقود بنسبة 250% منذ عام 1960، أسرع من النمو السكاني في بعض البلدان. على سبيل المثال، في بعض البلدان في إفريقيا وآسيا، يوفر الخشب والفحم النباتي 50% إلى أكثر من 90% من الطاقة.



يؤدي جمع حطب الوقود للاستخدام المباشر ولزيادة استهلاك الفحم النباتي إلى إزالة الغابات وتدهور الأرض وفي بعض المناطق يؤدي إلى تفاقم مشكلات الجفاف والتصحر. كما أن جمع حطب الوقود هو عمل النساء والأطفال في المقام الأول.

على سبيل المثال، في منطقة الساحل بأفريقيا، تمشي النساء في المتوسط 20 كم (12 ميل) في اليوم لجمع الحطب، وفي المدن، تتفق العائلات ثلث دخلها على الخشب أو الفحم. ومع ذلك، فإن إنتاج 1 كغ من الفحم يتطلب 10 كغ من الخشب. يعتبر روث الأبقار والجاموس والياك وحتى الجمال المصدر الرئيسي الآخر للطاقة للتدفئة والطهي في المناطق الريفية. في بعض الحالات، يمكن خلط الروث الطازج مع القش والماء، ثم تسويته إلى أقراص، وتجفيفه.

تمثل الحرائق المفتوحة في الأماكن الضيقة مشكلة صحية كبيرة، لذا فإن المواقد الفعالة تنقذ الأرواح والطاقة؛ ومع ذلك، فإن المشكلة بالنسبة للعديد من الفقراء هي تكلفة المواقد.

عندما يفكر الناس في الطاقة المتجددة، فإن معظمهم يفكرون في الطاقة الشمسية (الكهروضوئية) وطاقة الرياح ولا يدركون أن الطاقة الحيوية هي مكون رئيسي للطاقة المتجددة، حتى في البلدان الصناعية.

في الاتحاد الأوروبي، تبلغ نسبة الطاقة الحيوية في الطاقة المتجددة 70% (بيانات 2007)، وفي الولايات المتحدة تبلغ 53%، أي نحو 4% من إجمالي استهلاك الطاقة. في الولايات المتحدة، نسبة 53% الناتجة عن الكتلة الحيوية ناتجة عن الخشب والوقود الحيوي والنفايات الصلبة والسائلة. في الولايات المتحدة، مورد الكتلة الحيوية كبير؛ ومع ذلك، هناك قيود من حيث تحويل المحاصيل الزراعية الحالية إلى طاقة حيوية.



على سبيل المثال، تعد شركة **Texas Panhandle** منتجاً رئيسياً للمحاصيل، ولكن بسبب صناعة تغذية الحيوانات المحصورة الكبيرة (حقول العلف)، تستورد الحبوب لتلك الأعلاف ولمصانع الإيثانول الموجودة في المنطقة.

بالنسبة للولايات المتحدة، توفر خرائط الكتلة الحيوية حسب المصدر: المحاصيل والغابات والمطحون الأولية ومخلفات المطاحن الثانوية؛ نفايات الخشب الحضرية؛ والميثان من مكبات النفايات والسماذ الطبيعي ومياه الصرف.

في بعض مناطق العالم، بما في ذلك الولايات المتحدة، صارت الأشجار سريعة النمو للطاقة الحيوية حالياً محصولاً. في السويد ولافتيا وفرنندا، توفر الطاقة الحيوية نحو 25% من إجمالي استهلاك الطاقة.

• تحويلات الكتلة الحيوية

يُحصل على الطاقة الحيوية من المواد العضوية، مثل: الخشب والمحاصيل ومخلفات الحيوانات والنفايات الصلبة والسائلة البلدية وحتى الطحالب والبكتيريا. يجري تحويل المواد الخام (المواد الأولية) إلى شكل صالح للاستخدام من الطاقة عن طريق الاحتراق أو العمليات الكيميائية الحيوية أو الكيميائية الحرارية.

إلى جانب الاحتراق من أجل الحرارة، يمكن تحويل الكتلة الحيوية إلى غاز ووقود سائل، لذا فإن أحد المجالات الرئيسية للقلق هو إنتاج الوقود السائل، في المقام الأول للنقل.



هناك قضايا رئيسية تتعلق بالطاقة الحيوية:

1. يجب أن تكون محطات الطاقة بالقرب من مصدر المواد لمنع تكاليف النقل من أن تصبح كبيرة جداً.

2. يجب مراعاة علم الطاقة. أي ما محتوى الطاقة للمنتج مقارنة بالطاقة اللازمة لصنع ذلك المنتج؟ يعتبر الإيثانول المنتج من الذرة المروية خاسراً للطاقة، لكن الجاسوهول لديه الكثير من الدعم من المناطق الريفية. بالإضافة إلى ذلك، إذا قمت بإزالة بقايا المحصول بالكامل من الأرض، فماذا يفعل ذلك بالتربة؟

3. في التحليل النهائي، مصدر الطاقة المتجددة هو الشمس، مما يعني أن الطاقة الحيوية لها سمات الكثافة المنخفضة نفسها والتنوع من حيث عدد المحاصيل في السنة؛ ومع ذلك، هناك تنوع أقل في الطاقة الحيوية مقارنة بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وقد تكون هناك تكلفة عالية إلى حد ما لمحطة التحويل والنقل. الميزة هي توافر الطاقة المخزنة في الكتلة الحيوية. بمعنى آخر، ما مساحة الأرض المطلوبة، وهل سيحل إنتاج الطاقة الحيوية محل إنتاج الغذاء والألياف ويزيد من تكلفة الغذاء والألياف؟

المنتجات النهائية العامة للطاقة الحيوية هي التدفئة للمنازل والصناعة، والوقود الحيوي (السائل أو الغاز)، والكهرباء. أحد المفاهيم هو المصفاة البيولوجية لإنتاج الوقود الحيوي والحرارة أو الطاقة والمواد الكيميائية.





عينة من الوقود الحيوي.

يمكن أن ينتج معمل التكرير الحيوي واحدًا أو أكثر من المنتجات الكيماوية منخفضة الحجم وذات القيمة العالية؛ وقود سائل منخفض القيمة وعالي الحجم؛ والحرارة للاستخدام الصناعي أو لتوليد الكهرباء.

يمكن الحصول على الطاقة الحيوية مما يأتي:

- ✓ **المحاصيل:** الذرة، قصب السكر، البطاطس، البنجر، القمح، الذرة الرفيعة. المصادر الثانوية، هي: عباد الشمس، الفول السوداني، الكتان، القرطم، السمسم، الجاتروفا، الشحم الصيني، الخروع.
- ✓ **المخلفات الزراعية:** تفل قصب السكر وألياف الذرة وقش الأرز وقشوره وقشر البندق.
- ✓ **مجال البحث الرئيسي:** إنتاج الإيثانول من السليلوز.
- ✓ **الخشب:** نشارة الخشب، قطع الأخشاب، خردة المطحنة، نفايات الورق، الأشجار سريعة النمو مثل أشجار الحور والصفصاف.

✓ النفايات البلدية الصلبة (MSW).

✓ **الحشائش:** سريعة النمو مثل عشب التبديل وعشب الفييل وزرقاء البراري.

✓ **الميثان:** مدافن القمامة، معالجة مياه الصرف الصحي البلدية، السماد الطبيعي، البحيرات من علف الحيوانات المحصورة.

✓ **وقود الديزل الحيوي:** زيوت نباتية ودهون حيوانية وشحوم معاد تدويرها.

✓ **السلائف البترولية:** الطحالب.

قد يكون هناك محصولان في السنة من المحاصيل السنوية؛ ومع ذلك، لا تزال هناك مشكلة إنتاج الطاقة الحيوية على مدار العام. بشكل عام، لم تتكيف محاصيل البذور الزيتية المعمرة بشكل جيد مع الحصاد الميكانيكي.

بمجرد زراعة المحاصيل، فإنها تتمتع بإمكانية إنتاج زيت أعلى بكثير سنوياً من المحاصيل السنوية. يحاول علماء الوراثة تحويل المحاصيل السنوية الرئيسية إلى محاصيل معمرة، مما يقلل تكاليف الإنتاج.

أيضاً، إذا كان من الممكن زراعة محاصيل الطاقة الحيوية على أرض غير مناسبة للمحاصيل الغذائية، فهذه ميزة. هناك مشكلة محتملة تتمثل في أنه في المناطق الاستوائية يزال المزيد من الغابات لزراعة نخيل الزيت.

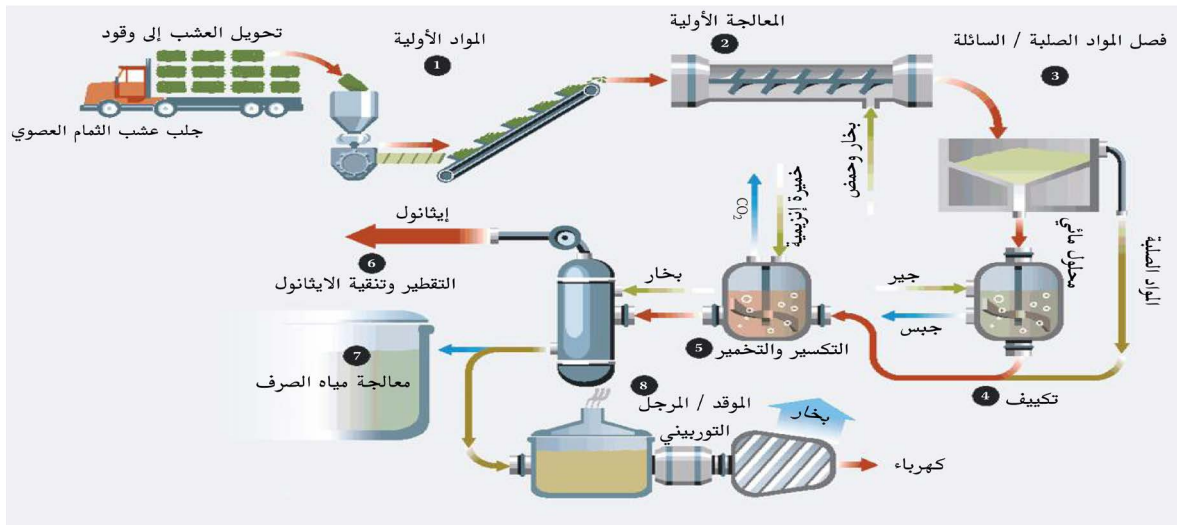
يمكن أن يكون إنتاج الكهرباء عن طريق الاحتراق المباشر أو الغاز القابل للاحتراق. يمكن الحصول على أنواع الوقود السائل المشابهة للديزل والبترول بعدة طرائق: الإيثانول والديزل الحيوي والزيوت النباتية والجوز والطحالب. تنتج البكتيريا غاز الميثان من النفايات السائلة ومدافن النفايات، ويعمل الباحثون على البكتيريا التي تنتج الهيدروجين.



• استخدامات الطاقة الحيوية

يمكن استخدام بقايا النباتات العضوية وكذلك فضلات الحيوانات لإنتاج الطاقة من خلال الاحتراق المباشر أو التحويل الكيميائي الحيوي والكيميائي الحراري (التسخين)، مثل: الانحلال الحراري، والهضم اللاهوائي، والتغويز، والتخمير الكحولي، وغاز المكبات.

الانتهاء من التحويل الكيميائي الحيوي للكتلة الحيوية من خلال التخمير الكحولي لإنتاج الوقود السائل (يسمى الوقود الحيوي Biofuel)، مثل: الإيثانول، والميثانول ومن خلال الهضم اللاهوائي أو التخمير لإنتاج وقود الغاز الحيوي مثل الميثان (بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي).

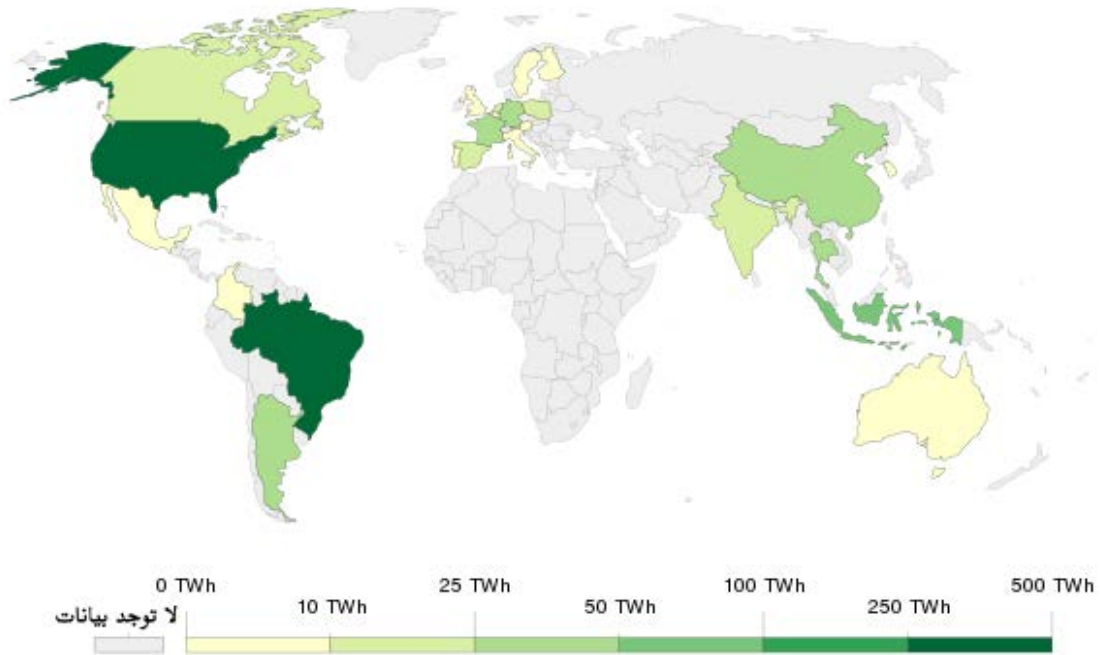


الخطوات المتبعة في معالجة المواد النباتية لإنتاج الإيثانول وغيره من المنتجات الثانوية المفيدة كما يأتي: 1. أولاً يُطحن العشب إلى قطع يقل طولها عن 2/1 بوصة. 2. يبخر العشب المطحون، ويضاف حمض. توضع المواد في مكبس وتكثف وتسخن إلى 150 إلى 200 درجة مئوية. 3. تفصل السوائل والمواد الصلبة. 4. يحدد جزء السائل الحمضي. 5. يعاد خلط السائل مع المواد الصلبة وخلطه مع الإنزيمات التي تحول السكريات إلى إيثانول. 6. يستخدم البخار لتقطير الإيثانول إلى نحو 95% من النقاوة. 7. توجه مياه الصرف إلى المعالجة. 8. تحرق بقايا العشب الصلبة وتستخدم لتشغيل العملية. تباع الكهرباء الزائدة إلى الشبكة.

يمكن تحويل الخشب وأنواع كثيرة مماثلة من الكتلة الحيوية، مثل: (النفايات الزراعية ونفايات محلج القطن ونفايات الخشب وقشور الفول السوداني) من خلال العمليات الكيميائية الحرارية إلى وقود صلب أو سائل أو غازي. استخدم الانحلال الحراري لإنتاج الفحم من الخشب منذ فجر الحضارة، ولا يزال التحويل الكيميائي الحراري الأكثر شيوعاً للكتلة الحيوية إلى وقود تجاري.

ينتج عن تقطير الفحم الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، الذي يمكن تحويله بالحرارة المطبقة والضغط والمحفزات المناسبة) إلى ميثانول، وهو سائل له خصائص مشابهة للبنزين.

المحاصيل التي تستخدم لإنتاج الطاقة تسمى محاصيل الطاقة، وتشمل قصب السكر والذرة وبنجر السكر والحبوب وعشب الفيل وعشب البحر (الأعشاب البحرية) وغيرها الكثير.



الإنتاج العالمي لطاقة الوقود الحيوي عام 2019.



العاملان الرئيسيان اللذان يحددان مدى ملائمة المحصول لاستخدام الطاقة

هما:

- a. **إنتاجية عالية** من الكتلة الحيوية (الوزن الجاف) لكل وحدة مساحة ووقت (طن لكل هكتار سنوياً)، مما يقلل من متطلبات الأرض ويقلل من تكلفة الإنتاج الطاقة من الكتلة الحيوية.
- b. **كمية الطاقة المنتجة** بالفعل من محصول الطاقة، التي يجب أن تكون أكبر من كمية الطاقة اللازمة لزراعة المحصول.

مع الارتفاع الشديد في أسعار النفط، حظيت المصادر البديلة في الوقود الحيوي باهتمام واسع النطاق. تلقى تحويل الذرة إلى الإيثانول حافزاً هائلاً من خلال الإعانات الأخيرة من الحكومة الأمريكية. في عام 2006، ارتفع إنتاج الولايات المتحدة من الذرة إلى أكثر من 260 مليون طن؛ تصدرت ولاية أيوا الولايات بأكثر من **52 مليون طن**. تظهر الدراسات الحديثة أن استخدام الذرة لإنتاج الإيثانول له آثار خطيرة على الصعيدين الاقتصادي والبيئي:

- ✓ إن مدخلات الطاقة في إنتاج ومعالجة الإيثانول هي في الأساس عملية محصلتها صفر (أي أنها تتطلب قدراً كبيراً من الطاقة لصنعها بما تحوي عليه من وقود).
- ✓ نظراً لاستخدام الذرة في المنتجات الغذائية، فقد أدى تحويلها إلى إنتاج الإيثانول بالفعل إلى ارتفاع أسعار المواد الغذائية.
- ✓ تُستخدم حالياً أراضي المحاصيل المستخدمة لإنتاج فول الصويا لزراعة الذرة، مما يؤدي إلى نقص فول الصويا.



✓ يشار إلى أن «إزالة الغابات في منطقة الأمازون والحرائق تتفاقم بسبب الإعانات الزراعية الأمريكية» لأنه يجري تطهير المزيد من الأراضي لإنتاج فول الصويا.

لعدة سنوات، كانت الأبحاث جارية لبحث جدوى النباتات الأخرى التي يمكن معالجتها من أجل الحصول على الإيثانول أو الوقود الحيوي. الفكرة هو أن بعض النباتات:

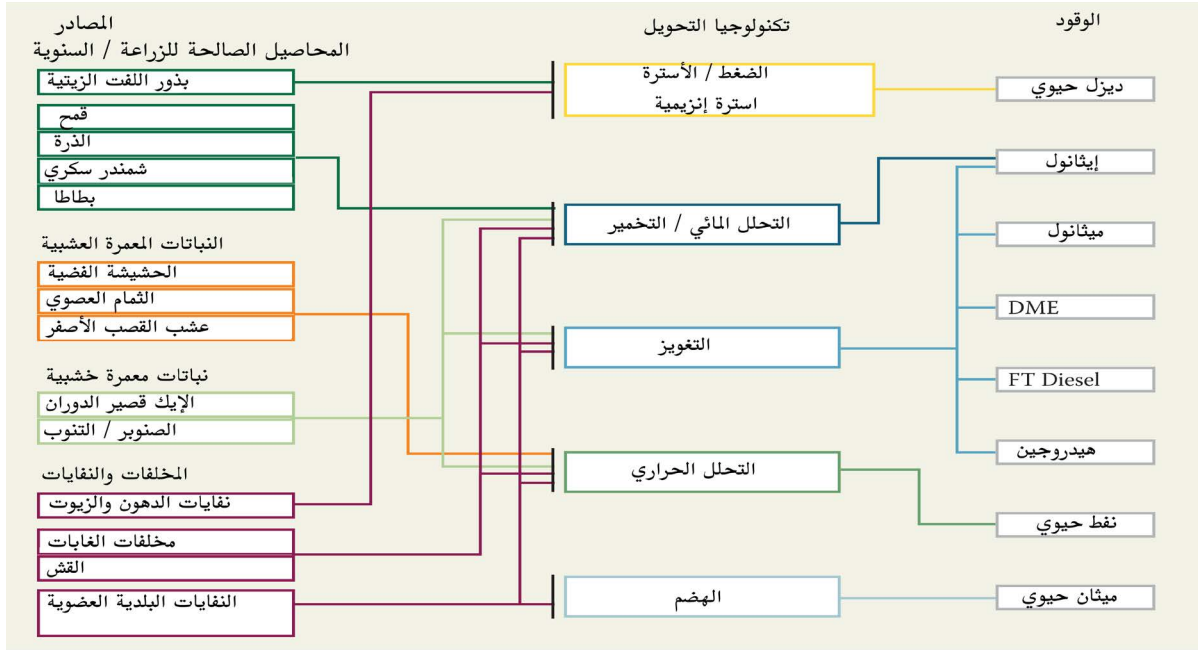
1. تنمو بشكل طبيعي بدون أي مدخلات للطاقة.
2. تنمو من مخزون الجذور كل عام، ومن ثم تجنيب البذر التكلفة والعمل.
3. قادرة على إنتاج كتلة حيوية كبيرة لكل وحدة مساحة لكل وحدة زمنية، ومن ثم توفير مصادر ممتازة.

أحد هذه النباتات هو الثمام العصوي (*Panicum Virgatum*)، الذي ينمو في البرية ويعمل بشكل جيد على الركائز المتدهورة. برز هذا المصنع عندما ذُكر كمصدر للطاقة في خطاب رئاسي أمريكي. الثمام العصوي، كما ورد «يمكن أن تحصل على ما يقرب من 5.5 وحدة من الإيثانول».

كما عثر على الحشيشة الفضية *Miscanthus*، وهو أيضاً عشب معمر وأكثر إنتاجية. تجري الأبحاث حول إنتاج الديزل الحيوي من النباتات الأخرى ومنتجات النفايات الأخرى، مثل: (دهون الدجاج وزيوت الطهي المستعملة والمخلفات البلدية) بنشاط. بالنظر إلى تنوع النباتات والمواد الأخرى، يمثل إنتاج الوقود الحيوي مجموعة من التحديات البحثية.



مستقبل الطاقة في عالمنا

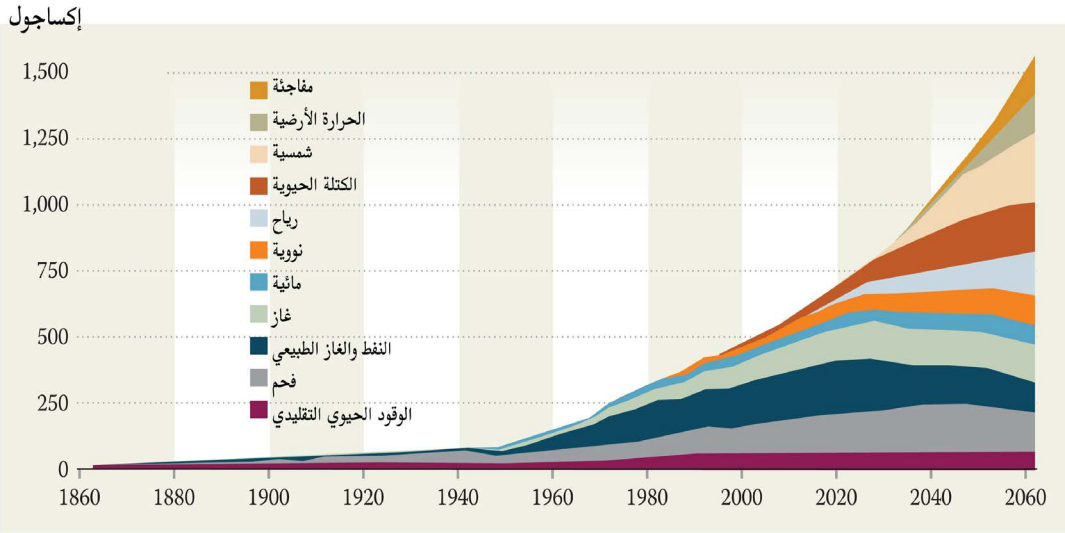


مواد نباتية متعددة ونفايات الكتلة الحيوية لإنتاج الوقود الحيوي.

لا تزال الكتلة الحيوية هي الشكل السائد للطاقة التي يستخدمها الناس في البلدان النامية للطهي والتدفئة، وهي تمثل بشكل تراكمي 14% من استخدام الطاقة في العالم. في الولايات المتحدة قبل عام 1850، كان ثلثا الطاقة المستخدمة يأتي من العمل الحيواني والبشري، مكملاً بالأعمال الميكانيكية التي تقوم بها طواحين الهواء والمياه.

كان أكثر من 90% من إجمالي استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة في عام 1850 عبارة عن كتلة حيوية على شكل خشب. إن التقدم من منتصف القرن التاسع عشر إلى الوقت الحاضر، من استخدام الخشب إلى الفحم إلى النفط، وأخيراً، إلى تسخير مصادر الطاقة الأخرى هو قصة براعة بشرية.

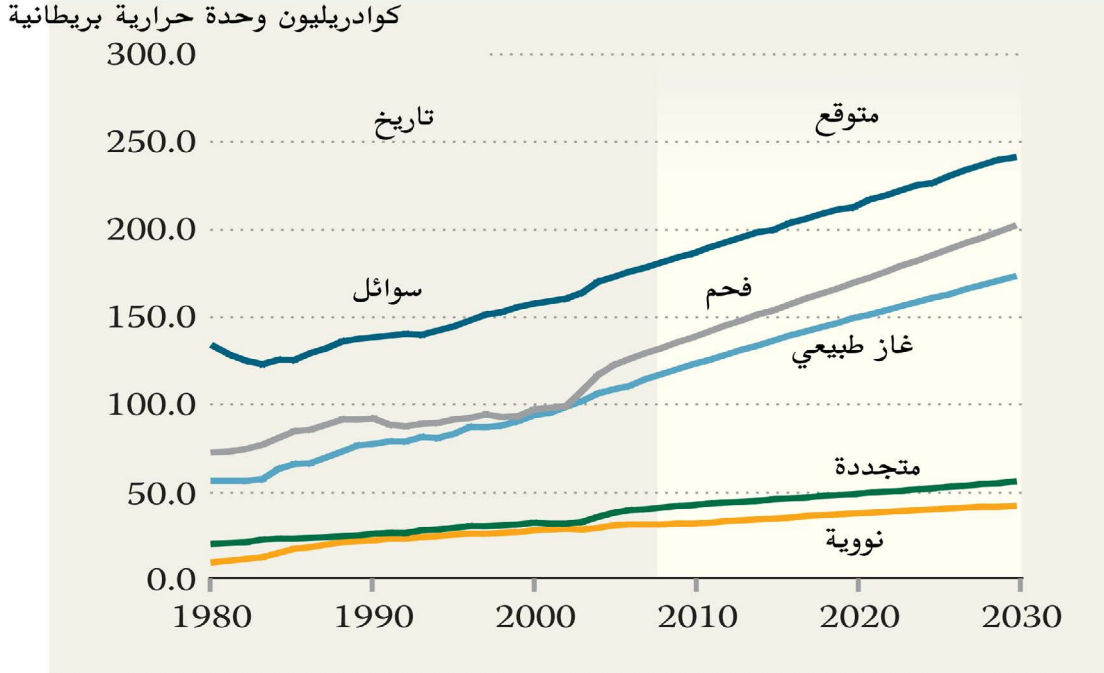




شكل وحجم استخدام الطاقة المتجددة وغير المتجددة في النظم البشرية ابتداءً من عام 1860 ومن المتوقع حتى عام 2060.

ينتج عن استخدام وقود الكتلة الحيوية انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والهباء الجوي والغازات الحمضية والغبار. كما يؤدي استخدامها أيضاً إلى إزالة المواد العضوية من المناطق الزراعية والغابات وتحويل النظم البيئية الطبيعية إلى مزارع أحادية الطاقة مُدارة مع ما يرتبط بها من فقدان للتنوع البيولوجي. المواد الخشبية البسيطة والمدافئ في العديد من البلدان النامية والمتقدمة غير فعّالة، حيث تحول فقط نحو 5-10% من الطاقة الكامنة للخشب إلى حرارة مفيدة، ومن ثم تسهم بشكل كبير في تلوث الهواء الداخلي والخارجي.





استخدام الطاقة المُسَوَّق عالمياً حسب نوع الوقود بين عامي 2005-2030.

حالياً، يوجد ثلاثة مصادر متميزة لطاقة الكتلة الحيوية: المخلفات العضوية في النفايات البلدية **Municipal Solid Waste (MSW)** والصناعية، والمخلفات الزراعية والنفايات، ومزارع الطاقة (الشجرية). في الآونة الأخيرة، اكتسبت الطاقة من الكتلة الحيوية أبعاداً جديدة وأكبر في البلدان المتقدمة.

د - طاقة من باطن الأرض (الطاقة الحرارية الأرضية)

تبلغ درجة حرارة القشرة الأرضية 17-30 درجة مئوية لكل كيلومتر من العمق. على سبيل المثال، المناجم العميقة ساخنة، ويحتاج معظمها للتبريد لعمال المناجم. تصعد أعمدة الصهارة عن طريق الطفو وتجبر نفسها على القشرة، بشكل عام على طول حواف الصفائح التكتونية، مما ينتج عنه براكين.

توجد مناطق ضخمة من الصخور الساخنة تحت السطح بها شقوق وصدوع تسمح للماء بالتسرب إلى الخزان، مما ينتج عنه بعد ذلك الينايع الساخنة والسخانات وأواني الطين والفومارول. مثالان مشهوران هما منتزه يلوستون وأيسلندا، وهو جزء مكشوف من وسط رصيف الأطلسي.

الطاقة الحرارية الأرضية **Geothermal Energy** ليست متجددة كما هو حال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية، لأن متوسط تدفق الحرارة للأرض أقل ألف مرة من التعرض الشمسي منخفض الكثافة.

الفرق الرئيسي الآخر هو أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح متغيرة في فترات زمنية قصيرة، والطاقة المائية متغيرة حسب الموسم؛ ومع ذلك، فإن الطاقة الحرارية الأرضية تتخفف فقط عندما تخرج الحرارة بعد 100 سنة أو أكثر.

مع ضآلة تدفق الحرارة، إلا أن هناك العديد من المواقع في العالم بها خزانات من الصخور الساخنة بالماء والبخار التي يمكن استخدامها للتدفئة وتوليد الكهرباء. تتمتع هذه المناطق بمتوسط تدفق حراري يبلغ نحو 300 ميغاواط / م² مقارنة بالمتوسط العالمي البالغ 60 ميغاواط / م².

في توليد الكهرباء، يكون التدفق الحراري للأرض أقل بكثير من إزالة الطاقة من مكامن الصخور الساخنة، لذا فهو يشبه عمليات التعدين. لكن الخزانات الحرارية الأرضية كبيرة، وسوف تنتج الطاقة لسنوات.

المحتوى الحراري لكل وحدة كتلة هو تابع للضغط والحجم ودرجة الحرارة؛ تصنف الخزانات حسب درجة الحرارة: عالية (الماء والبخار عند درجة حرارة 182 درجة مئوية وما فوق)؛ متوسطة، 100-182 درجة مئوية؛ ومنخفضة، أقل من 100 درجة مئوية (لا يوجد بخار بشكل أساسي).



جرى توليد نحو **77 تيراواط** ساعة من الكهرباء من الطاقة الحرارية الأرضية في عام **2009** من القدرة المركبة التي تبلغ نحو **11300** ميغاواط. بالإضافة إلى ذلك، تبلغ كمية الطاقة الحرارية للاستخدام المباشر نحو ضعف الطاقة الكهربائية.

مع درجات حرارة الخزان **120-370** درجة مئوية، يمكن استخدام الماء الساخن أو البخار لتوليد الكهرباء في محطة طاقة تقليدية. يمكن استغلال المياه الساخنة المحتجزة في الخزانات الجوفية على بُعد 1 إلى 6 كيلومترات من السطح عن طريق الحفر.

أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية المحسنة (EGSS) عبارة عن خزانات صخرية ساخنة يجب تعديلها عن طريق التكسير الهيدروليكي (وقد تكلمنا عن هذه التقنية في كتابنا **[هل انتهى عصر النفط]**) لأنها منخفضة النفاذية والمسامية. هناك أيضاً اهتمام متجدد بإمكانات الطاقة لموارد الطاقة الحرارية الأرضية والجغرافية والسوائل الحرارية الأرضية الموجودة في حقول إنتاج النفط والغاز وكذلك بعض عمليات التعدين.

تستخدم الخزانات الضحلة ذات درجة الحرارة المنخفضة، **20-150** درجة مئوية، لتدفئة الساحات، والصوبات الزراعية، وتربية الأحياء المائية، والصناعة، والمنتجات الصحية. حتى أن قرود المكاك في شمال اليابان تستخدم الينابيع الساخنة للتدفئة في الشتاء.

تستخدم المضخات الحرارية الأرضية (GHPs) مضخة حرارية كهربائية لتبادل الحرارة مع الأرض أو المياه الجوفية، بدلاً من الهواء، ويمكن استخدامها في جميع مناطق العالم تقريباً. هذه الأنظمة الخاصة بالمساكن والمباني الكبيرة تتنافس حالياً مع أنظمة التدفئة والتبريد التقليدية.



يمكن الحصول على الطاقة الحرارية الأرضية عن طريق استخراج الطاقة الحرارية من الماء الساخن الموجود تحت الأرض على أعماق تتراوح من بضع مئات من الأمتار إلى بضعة كيلومترات تحت سطح الأرض. بدأ الاستغلال المُدار للحرارة من الأرض منذ نحو 100 عام مع أول أنظمة تدفئة عبر الأنابيب في أوروبا والولايات المتحدة.

ينتج أكثر من **8000 ميغاواط** من الطاقة الحرارية الأرضية حالياً. على عكس موارد الرياح والطاقة الشمسية، توفر موارد الطاقة الحرارية الأرضية طاقة ثابتة غير منقطعة. لكن معظم منشآت الطاقة الحرارية الأرضية الكبيرة قصيرة العمر بالنسبة لمصادر الطاقة البديلة الأخرى لأن إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية ينطوي على استنفاد كميات من الطاقة الحرارية المخزنة بما يتجاوز معدل تجديدها.

يشغل متوسط محطة الطاقة الحرارية الأرضية 400 متر مربع فقط لإنتاج غيغاواط ساعي (GWh) على مدار 30 عاماً. إن استخدام الطاقة الحرارية الأرضية له تكاليف بيئية أعلى من أي مصدر آخر للطاقة المتجددة ولكن تكاليف بيئية أقل بكثير من أي وقود أحفوري. ترتبط التكاليف المرتفعة بالحفر والاستغلال وإمكانية إطلاق الملوثات الغازية والعناصر السامة أثناء إنتاج الكهرباء.

وللقارئ الكريم الذي يود معرفة المزيد من التفاصيل عن هذا النوع من الطاقات البديلة يمكنه العودة إلى كتابنا (الطاقة الحرارية الأرضية) الذي صدر في السلسلة نفسها.



إيجابيات وسلبيات مصادر الطاقة

نحن في خضم ثورة. هل نتذكر الثورة الصناعية؟ ثورة التكنولوجيا؟ حسناً، نحن حالياً في ثورة الطاقة!

نظراً لأن البشر يستهلكون المزيد من الكهرباء والطاقة، سنحتاج إلى مزيج من الطاقة المتجددة والنظيفة لتدفئة منازلنا وإضاءة مكاتبنا وتزويد مدننا وبلداتنا بالطاقة. لا يوجد مصدر طاقة متجددة واحد يمكنه توفير طاقة كافية بمفرده. لبناء مستقبل مستدام، نحتاج إلى الاستثمار في العديد من التقنيات التي يمكنها توفير الطاقة مع تقليل بصمتنا الكربونية والاعتماد على الوقود الأحفوري.

سنحاول فيما يأتي أن نقيم فوائد وتحديات مصادر الطاقة، بما في ذلك الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغيرها. ونحاول أن نكشف عن سلبيات وإيجابيات كل نوع من هذه المصادر.

طبعاً بعض مصادر الطاقة أنظف من غيرها. ومع ذلك، لكل منها له تأثير في البيئة. ستتدهش عندما ترى أنه أثناء تصنيع الأجزاء، قد تلوث بعض التقنيات الخضراء وتزيد من تأثير الاحتباس الحراري أكثر من مصادر الطاقة التقليدية.

هذا يعني أننا بحاجة إلى الاستثمار في التقنيات الأقل تلويثاً، أثناء تصنيع الأجزاء والتشغيل، ودمجها مع التقنيات التي، على سبيل المثال، تلتقط ثاني أكسيد الكربون من البيئة و / أو مصدر الانبعاث. تحتاج التقنيات النظيفة أثناء عملها ولكن لها تأثير كبير في البيئة عند تصنيعها (بخاصة فيما يتعلق بالانبعاث



غازات الدفيئة القوية) إلى مزيد من البحث قبل اعتمادها على نطاق واسع. بالإضافة إلى ذلك، فإن إجراء تحليل شامل لما سيبدو عليه كوكبنا بعد الاعتماد الكامل لهذه التقنيات هو أمر في غاية الأهمية بالنسبة للأجيال القادمة حتى لا تترك في طريق مسدود.

ما أفضل مصدر للطاقة؟ كل مصدر للطاقة المتجددة له مزايا وعيوب. دعنا نستكشف ذلك:

1. طاقة وقود الكتلة الحيوية

تتمثل إحدى المشكلات في أن حرق الكتلة الحيوية ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، إذا كان معدل استخدام الكتلة الحيوية لا يتجاوز المعدل الذي يتجدد من خلاله نمو النبات الجديد (الذي يستهلك ثاني أكسيد الكربون)، فلا توجد زيادة صافية في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

الايجابيات:

- ✓ مصنوعة من مصادر مختلفة (الإيثانول، والديزل الحيوي، والكتلة الحيوية، ورقائق الخشب، والنفايات البلدية، وغيرها).
- ✓ تلوث أقل من الوقود الأحفوري أثناء الاحتراق.
- ✓ إنتاج أرخص من الوقود الأحفوري.
- ✓ مصدر طاقة متجددة.
- ✓ يمكن أن تنتجها أي دولة.



السلبيات:

- ✓ تشمل الانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون والكبريت.
- ✓ ينتج وقود الديزل الحيوي أكسيد النيتروجين أكثر من الديزل الناتج عن البترول
- ✓ قد يحوي الرماد من الوقود الحيوي على معادن ضارة، مثل الكاديوم والرصاص.
- ✓ كمية كبيرة من الطاقة والمياه ضرورية لزراعة المحاصيل، وإنتاج الأسمدة والمبيدات، وتحويل النباتات إلى وقود حيوي.
- ✓ أقل كفاءة من الوقود الأحفوري.
- ✓ تأتي كمية كبيرة من الطاقة المستخدمة لإنتاج الوقود الحيوي من الوقود الأحفوري.
- ✓ مع احتوائه على بصمة كربونية أقل، إلا أن الوقود الحيوي يزيد من البصمة من خلال زراعة المحاصيل وحصادها، بالإضافة إلى تدمير الغابات لزراعة المحاصيل.
- ✓ حالياً، تكاليف الإنتاج أكثر من تكلفة الوقود الأحفوري.

2. طاقة الفحم

الفحم مادة رخيصة، ووفيرة، ويتوزع في معظم أنحاء الكوكب. لكن استخراج الفحم وحرقة له تأثير شديد على هواء الأرض، والماء، والأرض، والمناخ، وكذلك على صحة الإنسان. الفحم هو أكبر ملوث للهواء في الدول التي تحرق الفحم.



فهو يمثل أكثر من ثلث انبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية في العالم - السبب الرئيسي في زيادة الاحتباس الحراري من الأنشطة البشرية - و 36% من تلك الخاصة بالولايات المتحدة. بالنسبة لعدد متزايد من العلماء والاقتصاديين، يعتبر حرق الفحم من أخطر المشكلات البيئية في القرن الحادي والعشرين.

الاييجابيات:

- ✓ إنه متوفر بكثرة وغير مكلف.
- ✓ يمكن لتقنية «الفحم النظيف» إزالة المواد الضارة قبل أن تصل إلى البيئة.
- ✓ إمدادات وفيرة (225-900 سنة).
- ✓ إنتاجية عالية من الطاقة الصافية.
- ✓ تكنولوجيا متطورة.
- ✓ يمكن تقليل تلوث الهواء من خلال تحسين التكنولوجيا.

السلبيات:

- ✓ هناك تأثير في البيئة.
- ✓ يمكن أن يلوث الهواء والتربة والمسطحات المائية.
- ✓ ينبعث من حرق الفحم ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والمعادن الثقيلة السامة والكاديوم والزرنيخ والزرنيق.
- ✓ «الفحم النظيف» ينطوي على تكاليف.



✓ مصدر الفحم محدود.

✓ تشمل المنتجات الثانوية لتعدين الفحم الزرنيخ وثاني أكسيد الكبريت والسيلينيوم والزرنيق.

✓ تهديد خطير لصحة الإنسان عند الحرق.

✓ التكاليف البيئية غير مدرجة في سعر السوق.

✓ إعانات حكومية كبيرة.

✓ ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند إنتاجه وحرقه.

3. الطاقة الحرارية الأرضية

يمكن أن تقود الطاقة الحرارية الأرضية ثورة الطاقة. في حين أننا نحتاج إلى مجموعة من مناهج الطاقة المتجددة، فإن الطاقة الحرارية الأرضية لها مزايا واضحة. إنها أقل تقييداً من خلال تغيير أنماط الطقس مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى. إنها مستدامة وتوفر الحد الأدنى من التأثير البيئي. كما أنها أكثر أماناً وخالية من المنتجات الثانوية الخطرة، بخاصة بالمقارنة مع الطاقة النووية.

الايجابيات:

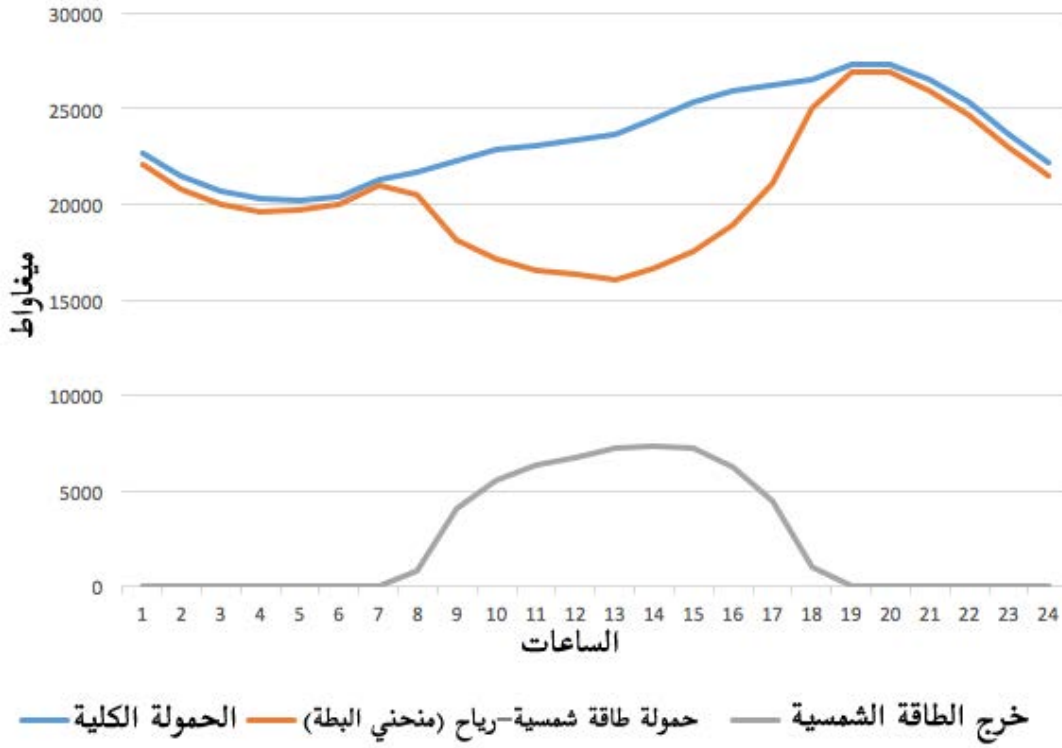
✓ مورد قابل للتجديد.

✓ تبعث بعض محطات الطاقة الحرارية الأرضية مستويات منخفضة من ثاني أكسيد الكربون، وهو جزء بسيط مقارنة بالانبعاثات التي تنطلق من محطات الوقود الأحفوري.



- ✓ عظيمة للتدفئة والتبريد.
- ✓ استخدامها لا يحرق الوقود.
- ✓ لها بصمة صغيرة على الأرض.
- ✓ مصدر طاقة موثوق ويمكن التنبؤ به.
- ✓ الطاقة الحرارية الأرضية مفعلة دائماً ومتاحة دائماً؛ لذا فهي مصدر طاقة موثوق به في الليل، وأثناء الأيام الملبدة بالغيوم، وعندما لا يكون الجو عاصفاً.
- ✓ لها مساحة صغيرة جداً على الأرض ولا تسبب تلوثاً ضوئياً.
- ✓ تعد محطات الطاقة الحرارية الأرضية أكثر أماناً - فلن تتعرض لانصهار نووي أو تخلق نفايات نووية تلوث الأرض.
- ✓ يمكن استخدام الطاقة الحرارية الأرضية لتلبية الاحتياجات الكبيرة والصغيرة. يمكنها أن تفعل كل شيء من ذوبان الجليد من الأرصفة وتدفئة المنازل إلى تزويد مناطق بكاملها بالطاقة.
- ✓ البنية التحتية للطاقة الحرارية الأرضية ليست محدودة؛ لأن هناك إمدادات لا نهائية من الطاقة من الأرض.
- ✓ تساعد في حل مشكلة منحنى البطة.

مستقبل الطاقة في عالمنا



منحني البطة. حيث إن المنحني الأزرق: الطلب على الطاقة الكهربائية، أما المنحني البرتقالي: (منحني البطة) يمد بالطاقة الكهربائية من مصادر قابلة للتوزيع، المنحني الرمادي: توريد الطاقة الكهربائية الشمسية. البيانات لولاية كاليفورنيا في 22 أكتوبر 2016 (يوم السبت)، وهو اليوم الذي كان فيه إنتاج طاقة الرياح منخفضاً وثابتاً طوال اليوم. يرتفع المنحني البرتقالي بشكل حاد من الساعة 17:00 إلى الساعة 18:00 مع غروب الشمس، مما يتطلب نحو 5 غيغاواط من قدرة التوليد من المصادر القابلة للإرسال للعمل في غضون ساعة واحدة.



السلبيات:

- ✓ في الحالات القصوى، قد تتسبب محطات الطاقة الحرارية الأرضية في حدوث زلازل.
- ✓ مستدامة فقط إذا جرى إدارة الخزانات بشكل صحيح.
- ✓ تتطلب محطات الطاقة الحرارية الأرضية استثماراً أولياً كبيراً، مع أنها تؤتي ثمارها على المدى الطويل.
- ✓ إن إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية ذات درجات الحرارة العالية له احتياجات جغرافية محددة جداً، مع أن التقنيات الجديدة مثل **EGS** والحرارة الأرضية المغلقة تعمل على توسيع نطاق المواقع المحتملة.
- ✓ تتطلب الطاقة الحرارية الأرضية الحفر في الأرض للوصول إلى طاقة الأرض وتسخيرها.

4. الطاقة الكهرومائية

تأتي الطاقة الكهرومائية من الماء. يستخدم على نطاق واسع وكان مصدراً للطاقة البديلة لسنوات عديدة. لكن، مثل أي مصدر للطاقة، لها إيجابيات وسلبيات:

الإيجابيات:

- ✓ لا تلوث الماء أو الهواء.
- ✓ موثوقة ومرنة.
- ✓ الطاقة الكهرومائية هي مصدر طاقة متجدد ونظيف لا يطلق التلوث في الهواء.



- ✓ يمكن أن تساعد الطاقة الكهرومائية في تعويض متطلبات الكهرباء التقليدية خلال أوقات الذروة، مما يوفر طاقة حيوية.
- ✓ الطاقة المائية هي مصدر للطاقة أكثر استقراراً من الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح لأنها لا تعتمد على ضوء الشمس أو الرياح القوية.

السلبيات:

- ✓ قد تغير درجة حرارة وتدفق الماء.
- ✓ قد تسبب انخفاض مستوى الأكسجين المذاب في الماء.
- ✓ اضطراب موائل الأنهار وتجمعات الأسماك.
- ✓ قد تنتج غاز الميثان.
- ✓ محطات الطاقة الكهرومائية باهظة الثمن وذات بنية تحتية مكثفة - عليك بناء سد وخزان وتوربينات لتوليد الطاقة - الأمر الذي يتطلب رأس مال كبير.
- ✓ هناك مواقع محدودة مناسبة للخرانات ومحطات الطاقة الكهرومائية.
- ✓ الطاقة الكهرومائية لها بعض الآثار الضارة على البيئة لأنها تقطع التدفق الطبيعي لنظام النهر، مما يؤدي إلى مشكلات في جودة المياه وتعطيل للحيوانات والبشر.
- ✓ نظراً لأن توليد الطاقة الكهرومائية يعتمد على مياه الأنهار، يمكن أن يحد الجفاف من كمية المياه المتاحة. مع تسارع تغير المناخ، من المحتمل أن نشهد المزيد من حالات الجفاف.



5. طاقة البترولية

إن استخراج ومعالجة واستخدام النفط غير المتجدد وأنواع الوقود الأحفوري الأخرى له تأثير بيئي شديد. هناك مشكلة خطيرة تتمثل في أن حرق النفط أو أي وقود أحفوري يحوي على الكربون يطلق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ومن ثم يمكن أن يساعد في تعزيز ظاهرة الاحتباس الحراري. حالياً، يمثل حرق النفط في الغالب كبنزين ووقود ديزل للنقل 43% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية.

الاييجابيات:

- ✓ التكنولوجيا ناضجة.
- ✓ موثوقة.
- ✓ إمدادات كافية لمدة 42-93 سنة.
- ✓ منخفضة الكلفة.
- ✓ إنتاجية عالية من الطاقة الصافية.
- ✓ سهولة النقل داخل البلدان وفيما بينها.
- ✓ استخدام منخفض للأراضي.
- ✓ نظام توزيع فعّال.

السلبيات:

- ✓ تؤدي عملية الحفر إلى تعطيل موائل الحياة البرية.
- ✓ تؤثر على المناظر الطبيعية من خلال إزالة الغطاء النباتي وزيادة التعرية مما يؤدي إلى الانهيارات الأرضية والفيضانات.



- ✓ ينبعث منها ثاني أكسيد الكربون وملوثات الهواء الأخرى.
- ✓ تنتج الميثان أثناء التكسير.
- ✓ تؤثر الانسكابات النفطية والجريان السطحي في المناطق الحضرية والتسربات الطبيعية على الحيوانات.
- ✓ تخلص غير السليم من الزيوت.
- ✓ غير متجددة.
- ✓ بحاجة إلى إيجاد بدائل في غضون 50 عاماً.
- ✓ تحظى بإعانات حكومية كبيرة.
- ✓ التكاليف البيئية غير مشمولة في سعر السوق.
- ✓ السعر المنخفض بشكل مصطنع يشجع على الهدر ولا يشجع على البحث عن بدائل.
- ✓ يمكن أن تسبب تلوث المياه.

6. الطاقة الشمسية

تقوم الطاقة الشمسية بتحويل الحرارة أو الضوء من الشمس لإنتاج الطاقة. لقد حظيت باهتمام كبير في السنوات الأخيرة، لذلك دعونا نستكشف إيجابيات وسلبيات الطاقة الشمسية.



الايجابيات:

- ✓ مصدر وفير ومتجدد ومستدام.
- ✓ لا تلوث الهواء أو الماء.
- ✓ متاحة في جميع أنحاء العالم.
- ✓ ليس لها ضجيج.
- ✓ صيانة منخفضة.
- ✓ الطاقة الشمسية منخفضة الانبعاثات. لها بصمة كربونية منخفضة جداً ولا تسبب ضرراً لبيئتنا.
- ✓ الطاقة الشمسية هي مصدر للطاقة المتجددة، لذلك يمكن استخدامها دون «استنفاد» المصدر الأصلي للطاقة، أي الشمس.
- ✓ يمكن إنتاج الطاقة الشمسية واستخدامها في المناطق النائية غير المتصلة بشبكات الطاقة.
- ✓ لا تحوي الألواح الشمسية على أجزاء متحركة ومن ثم لا تصدر ضوضاء (لا تلوث بالضجيج).
- ✓ على المدى الطويل، تقلل الطاقة الشمسية من فواتير الكهرباء.

السلبيات:

- ✓ استثمارات مقدمة عالية
- ✓ متقطعة



✓ ينتج عن إنتاج الألواح الشمسية سداسي فلورو الإيثان (C_2F_6) وثلاثي فلوريد النيتروجين (NF_3) وسداسي فلوريد الكبريت (SF_6)، وهي غازات دفيئة شديدة القوة (استناداً إلى أفق زمني مدته 100 عام، فإن قدرتها على احتجاز الحرارة الزائدة في الغلاف الجوي بمرور الوقت تقريباً 12200؛ 17200؛ و22800 مرة أكثر من ثاني أكسيد الكربون، على التوالي).

✓ تتطلب بعض الخلايا الشمسية مواد باهظة الثمن ونادرة، مثل: النحاس الإنديوم الغاليوم سيلينيد (CIGS) والكادميوم تيلورايد (CdTe) تتطلب مساحة كبيرة.

✓ تعتمد الطاقة الشمسية على الشمس، لذلك لا يمكن إنتاج الطاقة الشمسية في الليل أو في الأيام الملبدة بالغيوم.
✓ إن تخزين الطاقة الشمسية أمر مكلف.

✓ تتطلب الطاقة الشمسية مساحة كبيرة؛ هناك حاجة إلى العديد من الألواح الشمسية لالتقاط طاقة كافية لتوفير الطاقة التي نحتاجها.
✓ هناك تكلفة كبيرة لشراء الألواح الشمسية.

✓ تنتج أقل قدر من الطاقة عندما يحتاج الناس إلى أكبر قدر من الطاقة - في الليل وفي الأيام الملبدة بالغيوم. وهذا ما يسمى بمشكلة منحنى البطة.

7. الطاقة النووية

مع انخفاض عدد المحطات النووية الجديدة في السنوات الأخيرة، لا تزال الطاقة النووية توفر نحو 20 في المائة من الكهرباء في الولايات المتحدة. فيما يلي إيجابيات وسلبيات الطاقة النووية:



الايجابيات:

- ✓ انبعاثات الكربون ضئيلة.
- ✓ أكثر كفاءة وموثوقية من الوقود الأحفوري.
- ✓ تكلفة تشغيل منخفضة.
- ✓ تنتج الطاقة النووية قدراً كبيراً من الطاقة الناتجة، ويمكن أن تساعد في تقليل الطلب على شبكتنا الكهربائية.
- ✓ بالمقارنة مع طاقة الرياح والطاقة الشمسية، تشغل الطاقة النووية جزءاً أصغر نسبياً من الأرض. تشغل مزارع الرياح مساحة أكبر بمقدار 360 ضعفاً، وتستخدم المزارع الشمسية الكبيرة 75 ضعفاً.
- ✓ يطلق الوقود الأحفوري التقليدي مستويات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ثاني أكسيد الكربون هو السبب الرئيسي لتغير المناخ العالمي. في حين أن الطاقة النووية كهرباء خالية من الكربون.

السلبيات:

- ✓ تأثير بيئي كبير.
- ✓ تولد نفايات مشعة.
- ✓ يمكن أن تتسبب الحوادث النووية في آثار صحية خطيرة.
- ✓ ارتفاع تكاليف بدء التشغيل.
- ✓ اليورانيوم مورد محدود غير متجدد.
- ✓ استخدام كميات كبيرة من الماء لإنتاج البخار وتبريد النظام.



- ✓ قد تحوي مياه الصرف من محطات الطاقة على ملوثات.
- ✓ يمكن أن تكون الأعطال في المحطات النووية كارثية. كلنا نتذكر كارثة جزيرة ثري مايل وتشرنوبيل النووية. آثار الانهيار النووي مدمرة وطويلة الأمد.
- ✓ النفايات النووية المشعة خطر بيئي وصحي. يتطلب الأمر تقنية متقدمة للتعامل معها بشكل صحيح، وحتى عندما يجري «تعبئتها بأمان»، فلا يزال من الممكن أن تكون هناك تسريبات تتسبب في أضرار جسيمة.

8. طاقة الرياح

تعد طاقة الرياح من أكثر أنواع الطاقة المتجددة شيوعاً. إنها تنمو بسرعة كمصدر بديل للكهرباء، ولكن في حين أن هناك بعض الإيجابيات لطاقة الرياح، إلا أن هناك أيضاً بعض الجوانب والإيجابية والسلبية:

الإيجابيات:

- ✓ مصدر طاقة نظيف.
- ✓ طاقة متجددة ومستدامة.
- ✓ الوقود مجاني ومتاح في جميع أنحاء العالم.
- ✓ ينتج تلوثاً ضئيلاً للهواء أو الماء. يعتبر تصنيع التوربينات وتركيبها خطوات العملية الوحيدة التي تتبعث منها غازات الاحتباس الحراري.
- ✓ لديها كفاءة في استخدام الفراغ.
- ✓ إمكانات كبيرة لتزويد المنازل بالطاقة.



✓ مصدر طاقة متجدد ونظيف. لا تضر البيئة بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ولن تنفذ الرياح على عكس الوقود الأحفوري الذي يتجدد ببطء.

✓ إن تكلفة التشغيل منخفضة نسبياً ولا تتطلب الكثير من الصيانة.

✓ يمكنها استخدام الأرض بكفاءة، على سبيل المثال، يمكن أيضاً استخدام الأرض التي تحوي على توربينات لأغراض أخرى، مثل الزراعة.

السلبيات:

✓ تحتاج إلى استثمارات عالية.

✓ لها تأثيرات بيولوجية.

✓ قد يكون تركيب توربينات الرياح باهظ الثمن.

✓ تنتج طاقة الرياح ضوضاء وتلوثاً بصرياً. يمكن أن تكون توربينات الرياح صاخبة جداً ولأنها تحتاج إلى أن تُبنى على ارتفاع عالٍ لالتقاط ما يكفي من الرياح، فإنها يمكن أن تعطل المناظر الطبيعية الخلابة بخلاف ذلك.

✓ تقتصر توربينات الرياح على المواقع التي تكثر فيها الرياح، لذا لا يمكن تركيبها في كل مكان. يتطلب نقل طاقة الرياح خطوط نقل مكلفة.

✓ طاقة الرياح لا يمكن التنبؤ بها لأنها تحتاج إلى رياح تهب. تحتاج توربينات الرياح إلى مستوى معين من سرعة الرياح لتشغيلها وإنتاج الطاقة، لذلك إذا لم تكن الرياح كافية، فلا توجد طاقة.





✓ للأسف، يمكن أن تضر الشفرات من توربينات الرياح وتقتل الطيور والأنواع الأخرى التي تطير بداخلها.

9. طاقة المد والجزر

تسخر طاقة المد والجزر عن طريق تحويل حركة مد وجزر المياه إلى أشكال مفيدة من الطاقة، وبخاصة الكهرباء باستخدام طرائق مختلفة.

الاييجابيات:

- ✓ لا تتبعث منها غازات الاحتباس الحراري.
- ✓ قابلة للتجديد.
- ✓ قابلة للتنبؤ.
- ✓ فعالة حتى عند السرعات المنخفضة.
- ✓ طويل العمر الافتراضي.
- ✓ بمثابة حماية ساحلية ضد المد والجزر الخطرة المتولدة أثناء العواصف.

السلبيات:

- ✓ يحتمل أن تكون التأثيرات البيئية مشابهة لتلك التي تحدثها السدود الكهرومائية.
- ✓ هناك قوة متقطعة حيث تتوفر الطاقة لنحو 10 ساعات كل يوم عندما يتحرك المد للداخل أو للخارج.



- ✓ هناك عدد قليل من المواقع المناسبة لقناطر المد والجزر.
- ✓ قد تؤثر في الحركة / الهجرة الطبيعية للأسماك.
- ✓ غير فعّالة من حيث التكلفة.
- ✓ يجب أن تكون قريبة من الشاطئ.
- ✓ إنها تقنية جديدة وتتطلب مزيداً من البحث وقدرًا كبيراً من التمويل.
- ✓ حالياً لا يمكنها أن تتنافس مع طاقة الوقود الأحفوري.
- ✓ يعتبر الخزان عبر مصب النهر باهظ الثمن ويؤثر في منطقة واسعة.
- ✓ تتغير البيئة في المنبع والمصب لبعض المسافة.
- ✓ تعتمد العديد من الطيور على المد والجزر في كشف السهول الطينية حتى تتمكن من إطعامها.
- ✓ مطلوب الحفاظ أنسال السمك.

طاقة الهيدروجين المستخرج من الميثان بالبخار

الايجابيات:

✓ أرخص من طاقة الهيدروجين من التحليل الكهربائي.

السلبيات:

- ✓ ينبعث منها ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت التي تلوث الهواء.
- ✓ قد يتسرب الميثان إلى الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى ارتفاع تأثير الاحتباس الحراري مقارنة باستخدام ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ أقل كفاءة من حرق الميثان.

10. طاقة الهيدروجين المستخرج من التحليل الكهربائي

الايجابيات:

- ✓ تكنولوجيا منخفضة الكربون إذا كانت الكهرباء المستخدمة في التحليل الكهربائي تأتي من مصادر متجددة ذات انبعاثات منخفضة من ثاني أكسيد الكربون.

السلبيات:

- ✓ أقل كفاءة من البطاريات.
- ✓ تكنولوجيا عالية الكربون إذا كانت الكهرباء المستخدمة في التحليل الكهربائي تأتي من الوقود الأحفوري.
- ✓ كفاءة خلايا الوقود 40%-60%.



11. طاقة النفط الصخري والرمل النفطي

الرمل النفطي، أو رمل القطران، عبارة عن خليط من الطين، والرمل، والماء، ومادة عضوية قابلة للاشتعال تسمى البيتومين - وهو زيت ثقيل سميك ولزج يحوي على نسبة عالية من الكبريت. تحفر الرمال النفطية الأقرب إلى سطح الأرض بوساطة مجارف كهربائية عملاقة وتحميلها في شاحنات منزلية تنقلها إلى محطات التطوير. هناك يجري خلطها بالماء الساخن والبخار لاستخراج البيتومين، الذي يحول إلى نفط خام صناعي منخفض الكبريت ومناسب للتكرير.

الاييجابيات:

- ✓ تكلفة معتدلة (الرمل النفطي).
- ✓ الامدادات الكبيرة المحتملة وبخاصة الرمال النفطية في كندا.
- ✓ سهولة النقل داخل البلدان وفيما بينها.
- ✓ وجود نظام توزيع فعّال.
- ✓ جرى تطوير التكنولوجيا بشكل جيد.

السلبيات:

- ✓ التكلفة العالية (الصخر النفطي).
- ✓ انخفاض صافي عائد الطاقة التكاليف البيئية غير مشمولة في سعر السوق.



- ✓ كميات كبيرة من المياه اللازمة للمعالجة.
- ✓ اضطراب شديد في الأراضي.
- ✓ تلوث المياه الشديد.
- ✓ تلوث الهواء عند الاحتراق.
- ✓ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند إنتاجها وحرقتها.

12. طاقة الغاز الطبيعي

نظراً لمزاياها على النفط والفحم والطاقة النووية، يرى بعض المحللين أن الغاز الطبيعي هو أفضل وقود للمساعدة في الانتقال إلى تحسين كفاءة الطاقة وزيادة استخدام الطاقة المتجددة على مدار الخمسين عاماً القادمة. على سبيل المثال، يمكن تحويل السيارات لتعمل بالغاز الطبيعي بتكلفة معقولة.

الاييجابيات:

- ✓ إمدادات وفيرة.
- ✓ إنتاجية عالية من الطاقة الصافية.
- ✓ منخفض الكلفة.
- ✓ تلوث هواء أقل من أنواع الوقود الأحفوري الأخرى.
- ✓ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أقل من أنواع الوقود الأحفوري الأخرى.
- ✓ سهولة النقل عن طريق خطوط الأنابيب.



✓ استخدام منخفض للأراضي.

✓ وقود جيد لخلايا الوقود وتوربينات الغاز.

السلبيات:

✓ طاقة غير متجددة.

✓ يطلق ثاني أكسيد الكربون عند الاحتراق.

✓ يحظى بدعم الحكومي.

✓ التكاليف البيئية غير مشمولة في سعر السوق.

✓ يمكن أن يتسرب الميثان (أحد غازات الدفيئة) من خطوط الأنابيب.

✓ صعوبة التحويل من دولة إلى أخرى.

✓ لا يمكن شحنها عبر المحيط إلا في صورة غاز طبيعي مسال شديد الانفجار.

✓ في بعض الأحيان تحترق وتهدر في الآبار بسبب السعر المنخفض.



حلول المشكلات المتزايدة لأزمة الطاقة العالمية

أزمة الطاقة **Energy crisis** هي القلق من أن مطالب العالم على الموارد الطبيعية المحدودة التي تستخدم لدعم المجتمع الصناعي آخذة في التزايد مع تناقص العرض. هذه الموارد الطبيعية محدودة العرض. في حين أنها تحدث بشكل طبيعي، إلا أن الأمر قد يستغرق مئات الآلاف من السنين لتجديد المخازن. تعمل الحكومات والأفراد المعنيون معاً لجعل استخدام الموارد المتجددة أولوية وتقليل الاستخدام غير المسؤول للإمدادات الطبيعية من خلال زيادة الحفظ.

أزمة الطاقة موضوع واسع ومعقد. لا يشعر معظم الناس بالارتباط بواقعها إلا إذا ارتفع سعر الغاز في المضخة أو كانت هناك خطوط في محطة الوقود. أزمة الطاقة شيء مستمر ويزداد سوءاً، مع الجهود العديدة. والسبب في ذلك هو عدم وجود فهم واسع للأسباب والحلول المعقدة لأزمة الطاقة التي من شأنها أن تسمح ببذل جهد لحلها.

إن أزمة الطاقة هي أي اختناق كبير في إمدادات موارد الطاقة للاقتصاد. في الأدبيات، غالباً ما يشير مصطلح (أزمة الطاقة) إلى أحد مصادر الطاقة المستخدمة في وقت ومكان معينين، ولا سيما تلك التي تزود شبكات الكهرباء الوطنية أو تلك المستخدمة كوقود في التنمية الصناعية والنمو السكاني مما أدى إلى زيادة الطلب العالمي على الطاقة في السنوات الأخيرة.



• ما مدى واقعية أزمة الطاقة؟

خلال سنوات الانتخابات، هناك جدل متجدد حول مدى «حقيقية» أزمة الطاقة في العالم. سيقول أحد الأطراف دائماً إنه قائم على علم وسياسة معيبين؛ سيقول الآخر إن الطرف الآخر يبني نتائجه على العلوم غير المرغوب فيها والمصالح السياسية. أفضل طريقة لتلخيص حقيقة أزمة الطاقة هي أنه لا يمكن أن يكون لديك مطالب متزايدة على موارد محدودة دون نفاذ الموارد في نهاية المطاف.

هذا هو الحس السليم. ما يدور فعلاً في المناقشة حول مدى واقعية أزمة الطاقة يتعلق بإدراك المسؤولية عن المستقبل. لا توجد أزمة طاقة حقيقية إذا لم تكن مهتماً بالحياة بعد زوال وقتك على الأرض. ومع ذلك، هناك أزمة طاقة حقيقية إذا كنت تهتم بالمستقبل الذي سترثه الأجيال القادمة.

• الأسباب المختلفة لأزمة الطاقة العالمية

سيكون من السهل توجيه أصابع الاتهام إلى ممارسة أو صناعة واحدة وإلقاء اللوم على أزمة الطاقة بكاملها على أبوابها، لكن هذا سيكون تفسيراً ساذجاً وغير واقعي جداً لسبب الأزمة.

1. الإفراط في الاستهلاك

أزمة الطاقة هي نتيجة العديد من الضغوط المختلفة على مواردنا الطبيعية، وليس سبب واحد فقط. هناك ضغط على الوقود الأحفوري مثل النفط والغاز والفحم بسبب الاستهلاك المفرط، الذي بدوره يمكن أن يضغط على موارد المياه والأكسجين لدينا من خلال التسبب في التلوث.



2. الزيادة السكانية

سبب آخر للأزمة هو الزيادة المطردة في عدد سكان العالم ومتطلباته على الوقود والمنتجات. بغض النظر عن نوع الطعام أو المنتجات التي تختار استخدامها - من التجارة العادلة والعضوية إلى المنتجات البترولية في ورشة العمل - لا يجري تصنيع أو نقل أي منها دون استنزاف كبير لموارد الطاقة لدينا.

3. بنية تحتية رديئة

يعد تقادم البنية التحتية لمعدات توليد الطاقة سبباً آخر لنقص الطاقة. تستمر معظم الشركات المنتجة للطاقة في استخدام معدات قديمة تقيد إنتاج الطاقة. تقع على عاتق المرافق مسؤولية الاستمرار في تحديث البنية التحتية ووضعها على مستوى عالٍ من الأداء.

4. خيارات الطاقة المتجددة غير المكتشفة

لا تزال الطاقة المتجددة غير مستخدمة في معظم البلدان. تأتي معظم الطاقة من مصادر غير متجددة مثل الفحم. لذلك، يظل الخيار الأفضل لإنتاج الطاقة.

ما لم نفكر بجديّة في الطاقة المتجددة، لا يمكن حل مشكلة أزمة الطاقة. يمكن لمصادر الطاقة المتجددة أن تقلل من اعتمادنا على الوقود الأحفوري وتساعد أيضاً في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

5. التأخير في تشغيل محطات توليد الكهرباء

في عدد قليل من البلدان، هناك تأخير كبير في بدء تشغيل محطات الطاقة



الجديدة التي يمكن أن تملأ الفجوة بين العرض والطلب على الطاقة. والنتيجة هي أن المحطات القديمة تتعرض لضغوط هائلة لتلبية الطلب اليومي على الطاقة. عندما لا يتوافق العرض مع الطلب، فإنه ينتج عنه فصل الأحمال وانهارها.

6. إهدار الطاقة

في معظم أنحاء العالم، لا يدرك الناس أهمية الحفاظ على الطاقة. يقتصر فقط على الكتب والإنترنت وإعلانات الصحف والكلمات والندوات. ما لم نفكر بجدية، لن تتغير الأمور في أي وقت قريب.

أشياء بسيطة مثل إطفاء المراوح والأضواء عندما لا تكون قيد الاستخدام، واستخدام أقصى قدر من ضوء النهار، والمشي بدلاً من القيادة لمسافات قصيرة، واستخدام مصابيح CFL بدلاً من المصابيح التقليدية، والعزل المناسب لتسرب الطاقة يمكن أن يقطع شوطاً طويلاً في توفير الطاقة.

7. الحوادث الكبرى والكوارث الطبيعية

يمكن أن تتسبب الحوادث الكبرى مثل انفجار خط الأنابيب والكوارث الطبيعية مثل ثوران البراكين والفيضانات والزلازل في انقطاع إمدادات الطاقة. يمكن للفجوة الضخمة بين العرض والطلب على الطاقة أن ترفع سعر المواد الأساسية، مما قد يؤدي إلى ازدياد التضخم.

8. الحروب والهجمات

يمكن أن تؤدي الحروب بين الدول أيضاً إلى إعاقة إمدادات الطاقة، خاصة إذا حدثت في دول الشرق الأوسط مثل المملكة العربية السعودية أو العراق أو



إيران أو الكويت أو الإمارات العربية المتحدة أو قطر. هذا ما حدث خلال حرب الخليج عام 1990 عندما بلغ سعر النفط ذروته مما تسبب في نقص عالمي وخلق مشكلات كبيرة لمستهلكي الطاقة.

9. عوامل متنوعة

يمكن أن تتسبب الزيادات الضريبية والإضرابات والانقلابات العسكرية والأحداث السياسية وفصول الصيف شديدة الحرارة أو فصول الشتاء الباردة في زيادة مفاجئة في الطلب على الطاقة ويمكن أن تخنق العرض. يمكن أن يتسبب إضراب النقابات العمالية في شركة منتجة للنفط في حدوث أزمة طاقة. والتعطل المتكرر والانهايار نتيجة لسوء نظام التوزيع.

• التأثيرات المختلفة لأزمة الطاقة العالمية

أدى نمو الحضارة الإنسانية إلى زيادة استهلاك مصادر الطاقة التقليدية. المصدر الأساسي للطاقة هو الوقود الأحفوري الثمين. لا بد أن يؤدي استخدام كل هذه المصادر إلى إحداث تأثيرات معينة. بعض الآثار المهمة لأزمة الطاقة العالمية هي كما يأتي:

1. التأثيرات البيئية

يجري إنتاج الطاقة عن طريق حرق الوقود الأحفوري غير المتجدد. هذا لا يؤثر فقط على الموارد العالمية للوقود الأحفوري، ولكنه يؤثر أيضاً على البيئة. يؤدي حرق الوقود الأحفوري إلى إطلاق غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون وغيرها.



تخلق هذه الغازات غلظاً على سطح الأرض، مما يمنع إطلاق أشعة الشمس القصيرة ليلاً. ومن ثم، فإن أزمة الطاقة تسهل جعل الأرض مكاناً أكثر دفئاً من خلال تعزيز ظاهرة الاحتباس الحراري.

2. زيادة أسعار موارد الوقود

مع زيادة استخدام الوقود الأحفوري، تزداد تكلفة هذه الموارد أيضاً. يجب أن نتذكر أن الكمية التي يتوفر بها هذا الوقود الأحفوري محدودة. مع استمرارنا في استخدام هذه الموارد، تتناقص كمية هذا الوقود الأحفوري.

مع مرور كل يوم، يزداد الطلب على هذه الأنواع من الوقود يوماً بيوماً بينما تنخفض الكمية المتاحة كل يوم. يؤدي هذا إلى زيادة هائلة في أسعار الوقود الأحفوري، مما يتسبب في زيادة السعر يوماً بعد يوم. هذا يخلق اضطراباً اقتصادياً هائلاً في جميع أنحاء العالم.

3. الاضطرابات السياسية

حقيقة أن أزمة الطاقة تخلق بعض الاضطرابات الاجتماعية والاقتصادية، تخبرنا أيضاً أن أزمة الطاقة العالمية هذه تخلق أيضاً الكثير من الاضطرابات السياسية في جميع أنحاء العالم. البحث عن الوقود الأحفوري هو أحد الأسباب الرئيسية.

إلى جانب ذلك، مع فشل أسواق الطاقة، نرى انهياراً ليس فقط في الاقتصاد العالمي ولكن أيضاً انهيار الطاقة المتاحة. كل هذا كافٍ لإحداث اضطرابات اجتماعية وسياسية مختلفة.



4. التأثير في صناعة السياحة

تعتمد صناعة السياحة إلى حد كبير على ارتفاع وانخفاض أسعار الوقود. يؤثر الارتفاع الهائل في أسعار الوقود الذي يأتي نتيجة لأزمة الطاقة على صناعة السياحة بشكل سلبي جداً.

مع ارتفاع أسعار الوقود، هناك زيادة في تكاليف السياحة أيضاً. نتيجة لذلك، هناك الكثير ممن لا يستطيعون تحمّل التكلفة نفسها. ونتيجة لهذا كله، فإن صناعة السياحة هي التي تعاني.

• الحلول الممكنة لمشكلة أزمة الطاقة العالمية

العديد من الحلول الممكنة موجودة بالفعل اليوم، لكن لم يجرب تبنيتها على نطاق واسع.

1. التحرك نحو الموارد المتجددة

أفضل حل ممكن هو تقليل اعتماد العالم على الموارد غير المتجددة وتحسين جهود الحفاظ الشاملة. لقد جرى إنشاء جزء كبير من العصر الصناعي باستخدام الوقود الأحفوري، ولكن هناك أيضاً تقنية معروفة تستخدم أنواعاً أخرى من الطاقات المتجددة، مثل: البخار، والطاقة الشمسية، وطاقة الرياح.

القلق الرئيسي ليس من نفاذ الغاز أو النفط، ولكن استخدام الفحم سوف يستمر في تلويث الغلاف الجوي وتدمير الموارد الطبيعية الأخرى في عملية تعدين الفحم الذي يجب استبداله كمصدر للطاقة.



هذا ليس بالأمر السهل لأن العديد من الصناعات الرائدة تستخدم الفحم، وليس الغاز أو النفط، كمصدر طاقة أساسي للتصنيع.

2. شراء المنتجات الموفرة للطاقة

استبدل بالمصابيح التقليدية المصابيح الفلورية ومصابيح LED. إنها تستهلك واطاً أقل من الكهرباء وتستمر بالعمل لفترة أطول. إذا استخدم ملايين الأشخاص في جميع أنحاء العالم مصابيح LED والمصابيح الفلورية للأغراض السكنية والتجارية، فقد ينخفض الطلب على الطاقة، ويمكن تجنب أزمة الطاقة.

3. ضبط الإضاءة

هناك عدد من التقنيات الجديدة التي تجعل أدوات التحكم في الإضاءة أكثر إثارة للاهتمام، وتساعد على توفير الكثير من الطاقة والمال على المدى الطويل. تعد عناصر التحكم في الإضاءة المحددة مسبقاً وإضاءة الشرائح ومخففات الإضاءة التي تعمل باللمس وأدوات التحكم في الإضاءة المتكاملة من عناصر التحكم في الإضاءة التي يمكن أن تساعد في توفير الطاقة وتقليل تكاليف الإضاءة الإجمالية.

4. وصول أسهل إلى الشبكة

يجب منح الأشخاص الذين يستخدمون خيارات مختلفة لتوليد الطاقة إذناً للتوصيل بالشبكة والحصول على الفضل في الطاقة التي تغذيها بها. يجب إزالة متاعب الحصول على الائتمان لتزويد الطاقة الفائضة إلى الشبكة. بصرف النظر عن ذلك، يجب تقديم دعم للألواح الشمسية لتشجيع المزيد من الناس على استكشاف الخيارات المتجددة.



5. محاكاة الطاقة

يمكن استخدام برامج محاكاة الطاقة من قبل الشركات الكبرى لإعادة تصميم وحدة المبنى وتقليل تكاليف الطاقة التجارية. يمكن للمهندسين والمعماريين والمصممين استخدام هذا التصميم لتزويدهم بمعظم المباني الموفرة للطاقة وتقليل البصمة الكربونية.

6. إجراء تدقيق للطاقة

تدقيق الطاقة هو عملية تساعدك على تحديد المناطق التي يفقد فيها منزلك أو مكتبك الطاقة والخطوات التي يمكنك اتخاذها لتحسين كفاءة الطاقة. يمكن أن يساعدك تدقيق الطاقة، عندما يقوم به محترف، على تقليل بصمتك الكربونية، وتوفير الطاقة والمال، وتجنب أزمة الطاقة.

7. الموقف المشترك بشأن تغير المناخ

يجب على كل من البلدان المتقدمة والنامية اتخاذ موقف مشترك بشأن تغير المناخ. يجب أن يركزوا على الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من خلال آلية فعالة عبر الحدود.

مع النمو السكاني الحالي والاستهلاك المفرط للموارد، لا يمكن استبعاد عواقب الاحتباس الحراري وتغير المناخ. يجب على كل من البلدان المتقدمة والنامية التركيز على خفض الانبعاثات لخفض انبعاثاتها إلى النصف عن المستويات الحالية بحلول عام 2050.



• ما الذي يمكننا فعله حالياً؟

هناك العديد من المبادرات العالمية التي تعمل على حل أزمة الطاقة. وقد اتخذ هذا شكل زيادة التنظيم والقيود على انبعاثات الكربون، والترويج لمشاريع التصنيع والبناء الأكثر اخضراراً، وتمويل الأبحاث في التقنيات الهجينة والتقنيات الأكثر استدامة، والمزيد.

على المستوى المحلي، يرى المزيد من المجتمعات ما هو أبعد من سلة المهملات، ويدركون أن كيفية استخدام المجتمع لمواردهم المحلية أمر مهم أيضاً. تظهر المزيد من الحدائق والمنتزهات وأسواق المزارعين ليس فقط كوسيلة لإدخال عناصر أكثر استدامة في حياة الناس ولكن كجزء أساسي من تثقيف الجمهور حول أهمية الموارد.



تكامل مصادر الطاقة المتجددة في أنظمة الطاقة الكهربائية

لقد تطورت أنظمة الطاقة التي تستخدم ما يسمى بالمصادر التقليدية للكهرباء - الفحم والنفط والنووي، على سبيل المثال - بطريقة يمكن تلبية مطالب المستهلكين بمستويات عالية جداً من الموثوقية.

من المحتمل أن تكون محطة التوليد التقليدية قادرة على التشغيل المستمر وفي الوقت نفسه تكون عالية التركيز في الطبيعة. لقد تطورت أنظمة التوليد بحيث تكون كبيرة في كثير من الأحيان، مع إجمالي السعات المركبة لعشرات الغيغاواط (GW)، مع وجود العديد من الأنظمة، غالباً ما توجد في الجزر، وهي أصغر بكثير.

الخصائص الخاصة للمصادر المتجددة معنية بتنوعها الأكبر في كثير من الأحيان؛ على سبيل المثال، الرياح لا تهب طوال الوقت. يجب أيضاً مراعاة الانتشار الكبير والموقع الجغرافي لهذه المصادر.

ستخلق هذه الخصائص مشكلات جديدة لتخطيط النظام وتشغيله إذا جرى تركيب قدرات كبيرة. ومع ذلك، فإن طبيعة المشكلات تختلف اختلافاً كبيراً وفقاً لحجم النظام.

في كثير من النواحي، تكون المشكلات أكبر بالنسبة للأنظمة الصغيرة. يمكن بعد ذلك توفير جزء كبير من الحد الأقصى للطلب من خلال وحدة واحدة فقط أو عدة وحدات، على سبيل المثال، مجموعة صغيرة من توربينات الرياح على نظام به مولد ديزل واحد أو اثنين فقط. وقد تكون هناك حاجة إلى استراتيجيات تحكم معقدة في مثل هذه الظروف إذا كانت المصادر المتجددة ستوفر مدخرات كبيرة.



بشكل عام، تكون المشكلات التشغيلية أقل حدة بالنسبة للأنظمة الأكبر. يحدث هذا جزئياً بسبب وجود المزيد من المولدات الحرارية في النظام. وهذا يعني أن الوحدات الفردية يجب أن تدور بشكل أقل تكراراً، وأن يكون عدد أكبر منها متصلاً بالخط في أي وقت، بحيث يكون هناك مزيد من القصور الذاتي في النظام وقدرة تنظيمية أكبر مما يسهل الحفاظ على تردد النظام وجهده.

أيضاً، قد يكون للأنظمة الأكبر تنوعاً أكبر في المصدر المتجدد؛ سيجري تخفيف التقلبات قصيرة المدى في المواقع المختلفة، وستكون الاختلافات على نطاق واسع أقل سرعة، وقد يجري تقليل التكرار الذي ينتجه المصدر المتجدد للطاقة القصوى بشكل كبير. من المرجح أيضاً أن تمتلك الأنظمة الأكبر حجماً بعض الطاقة المائية أو سعة التخزين.

يقابل ذلك حقيقة أنه في الأنظمة الأكبر، قد يتوقع المستهلكون جودة أعلى بكثير للإمداد، لذلك يجب أن تكون المراقبة أكثر دقة، وحقيقة أن المصدر المتجدد يتنافس مع طاقة أرخص بكثير، يجري توفيرها من خلال الطاقة الحرارية الكبيرة والفعالة مولدات كهرباء.

ينشأ تعقيد آخر من إمكانية ربط أنظمة الطاقة. عادة ما يكون هناك بعض الفوائد من هذا، إما لأن أحد الأنظمة لديه وصول إلى طاقة أرخص من نظام آخر، أو تجميع قدرة الذروة لمواجهة مخاطر النقص في أي من النظامين.

يمكن زيادة هذه المزايا إذا جرى تركيب قدرات كبيرة من الطاقة المتجددة. بشكل فعال، يزيد التوصيل البيني من تنوع جميع الموارد؛ تنتشر في أنحاء أوروبا، على سبيل المثال، طاقة الرياح كونها مصدراً موثوقاً جداً للطاقة.



من الواضح أن الاستخدام الأمثل لهذه الموارد بأي معنى أوروبي يمكن أن يشمل زيادة مستويات تجارة الكهرباء، وتخفيف الاتفاقات الحالية التي تنص على أن الدول لا ينبغي أن تعتمد على الأنظمة المجاورة لسعة الاحتياطي.

نظراً لأن اختيار مصدر الطاقة يكون في النهاية على أسس اقتصادية، فإن دمج مصادر الطاقة في النظام ليس مسألة تقنية بحتة، ويجب أخذ جميع متغيرات التكلفة ذات الصلة في الاعتبار، وإلا فقد يستخلص استنتاجات خاطئة. وقد يكون الإمداد بالحرارة والكهرباء جزءاً من أعمال المرفق، ولذلك قد يكون من الضروري أخذ ذلك في الاعتبار عند التخطيط للنظام.

سنتناول هنا كيفية تأثير هذه الخصائص على دمج مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة في أنظمة توليد الكهرباء. حيث جرى التأكيد على الترابط بين العوامل الاقتصادية والتقنية.

1. تشغيل نظام الطاقة

بمجرد توصيل مولد الكهرباء بالنظام، يجري تشغيله عادة «بترتيب الجدارة» **Merit order** حيث كلما كان تشغيل المحطة أرخص زادت الحاجة إلى تشغيلها. عادة ما تكون المصادر المتجددة مثل طاقة الرياح رخيصة جداً للتشغيل، لذلك ستستخدم ناتجها كلما كان ذلك متاحاً. لذلك فهي تعمل بمثابة «حمل سلبي» **Negative load**، مما يقلل من صافي الطلب على المصادر الحرارية ومن ثم توفير الوقود.

يختلف الناتج من العديد من المصادر المتجددة بمرور الوقت، وقد لا يكون متوقعاً تماماً - ولكن الأمر نفسه ينطبق على الطلب على الكهرباء. يختلف الحمل على نظام مجلس توليد الكهرباء المركزية **Central Electricity Generating**



Board (CEGB) بمعامل يصل إلى 2 في دورته اليومية، ومن ثم فإن الكميات الصغيرة من مصدر متجدد متقطع لن تغير الموقف بشكل كبير. يقدر **(CEGB)** أن نسبة المصادر المتجددة المتقطعة والمستمرة يمكن أن ترتفع إلى % 20 من إجمالي الكهرباء المزودة دون التسبب في مشكلات خطيرة.

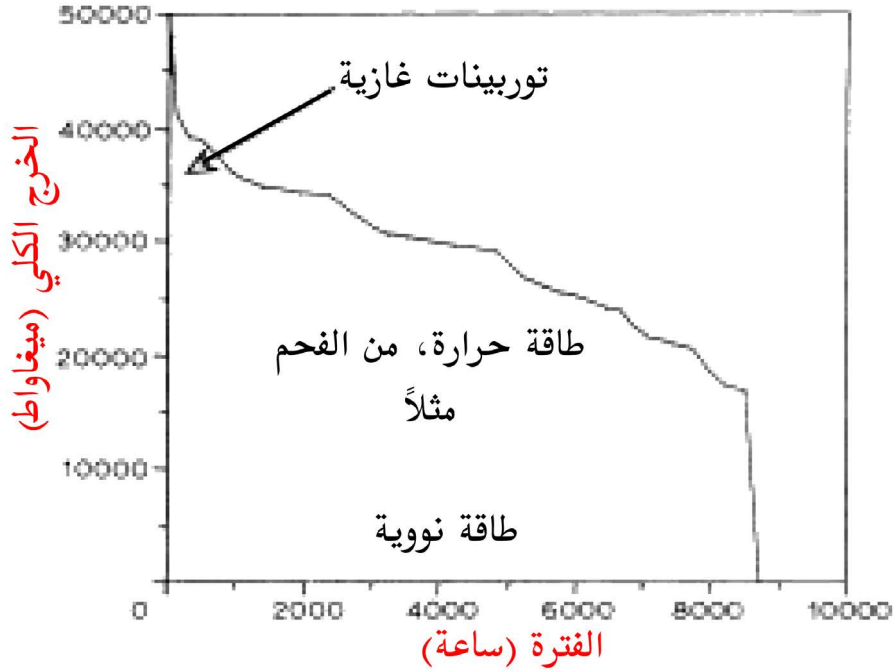
2. ترتيب الجدارة ومنحني مدة التحميل

تصنّف محطات التوليد على النظام في ترتيب الجدارة لتكاليف التشغيل، حيث يجري عادةً استدعاء المصنع ذي تكاليف التشغيل الأكثر تكلفة (الوقود والتكاليف الأخرى) للتشغيل فقط إذا كانت جميع الوحدات الأرخص المتاحة تولد بالفعل.

يعبر عن ذلك بوضوح شديد من خلال منحني مدة التحميل **Load-Duration Curve (LDC)**. يحدد هذا المدة الإجمالية التي يقع فيها الحمل على النظام فوق مستوى معين خلال فترة زمنية معينة.

يظهر مثال **LDC**، لطلب **CEGB** في العام 1984-1985 في الشكل الآتي. فهو يوضح، على سبيل المثال، أن الطلب لم يكن أبداً أقل من 17 غيغاواط، وأن الحد الأقصى للطلب كان نحو 50 غيغاواط، وأن متوسط الطلب كان نحو 28 غيغاواط.





منحني مدة الحمل (LDC) بين عامي 1984-1985 لنظام CEBG. وهو يوضح أيضاً كيف يمكن افتراضياً تحميل المحطات ضمن أقل البلدان نمواً بترتيب الجدارة، مع تجميع المحطة في شرائح من أنواع الوحدات المماثلة.

يجري تحميل الطاقة النووية، التي لها تكلفة رأسمالية عالية ولكن تكاليف تشغيل منخفضة، لتلبية الطلب الأساسي. في الطرف الآخر من أمر الجدارة، تخدم توربينات الغاز، وهي رخيصة البناء ولكن تشغيلها باهظ الثمن عند ذروة الطلب فقط. نظراً لأن LDC عبارة عن منحني للطاقة مقابل مدة تزويد هذه الطاقة، فإن المنطقة الواقعة أسفل هذا المنحني تمثل الطاقة المزودة. إجمالي المساحة الواقعة تحت أقل البلدان نمواً هو إجمالي الطلب على النظام للفترة المشمولة.

تعتبر أقل البلدان نمواً مفيدة جداً لتحليل إمدادات الكهرباء، ويمكن فهم العديد من جوانب المصادر المتجددة من خلال النظر في تأثيرها في «صافي أقل البلدان نمواً» - منحى مدة الطلب مطروحاً منه المدخلات المتجددة.

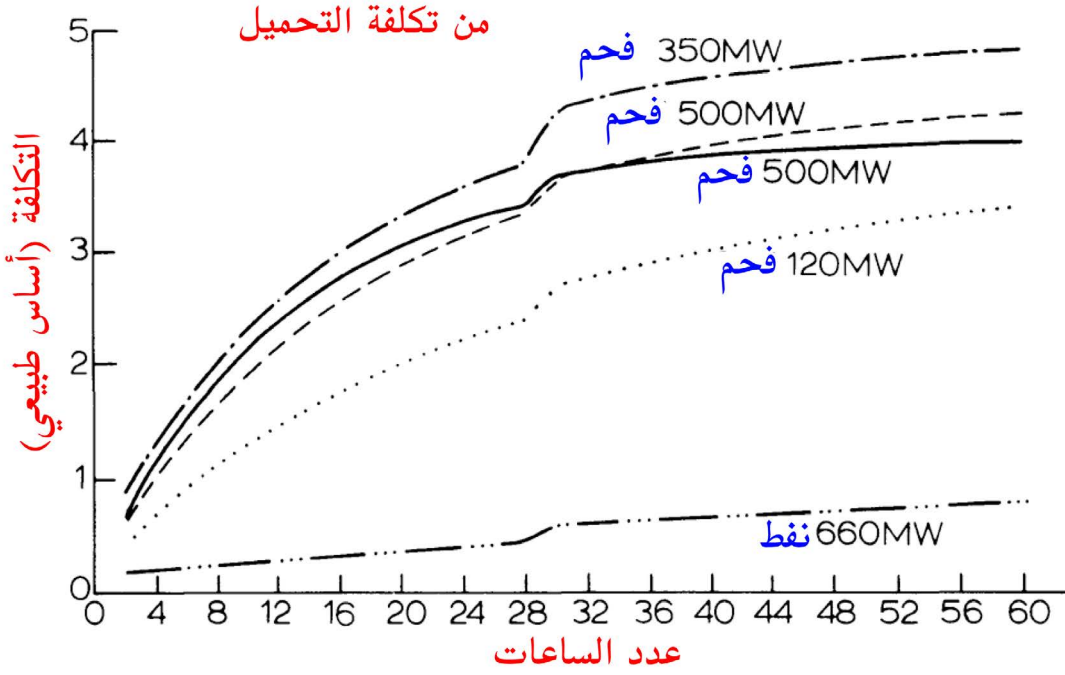
ومع ذلك، لا يعطي أقل البلدان نمواً أي مؤشر على تطوير نظام الطاقة بمرور الوقت، أو موثوقية النظام، أو تأثير عدم موثوقية المصنع في تكاليف التشغيل، أو الجوانب الديناميكية لتشغيل النظام.

3. بدء تشغيل المحطة الحرارية ومعدلات الانحدار والتحميل الجزئي

تعمل محطة التوليد عادة بكفاءة أكبر وأرخص حمولة كاملة وثابتة، أي الحمل الأساسي. يؤدي بدء التشغيل، والإغلاق، وتحميل التغييرات إلى تكبد تكاليف إضافية، والتي تكون أكبر كلما زادت المصادر المتقطعة الموجودة في النظام ازدادت الاختلافات في طلب المستهلك.

يوضح الشكل الآتي الطريقة التي تختلف بها تكاليف بدء التشغيل النموذجية باختلاف نوع المصنع وطول الوقت غير المتصل بالخط. كدليل على أهميتها، تمثل خسائر بدء التشغيل شيئاً يزيد على 100 مليون جنيه إسترليني في السنة على نظام CEGB الحالي، ربما 3% من إجمالي تكاليف التشغيل.





تكاليف بدء تشغيل الوحدة الحرارية كدالة في الوقت غير المتصل، لمجموعة من الوحدات الحرارية.

طبعاً لا يمكن أن تستجيب السعة الحرارية التقليدية بسرعة للتغيرات في الطلب. بالمقارنة، تتميز توربينات الغاز، حتى الكبيرة جداً منها، باستجابتها السريعة جداً، ويمكن أن تقلع من البرودة في أقل من 5 دقائق.

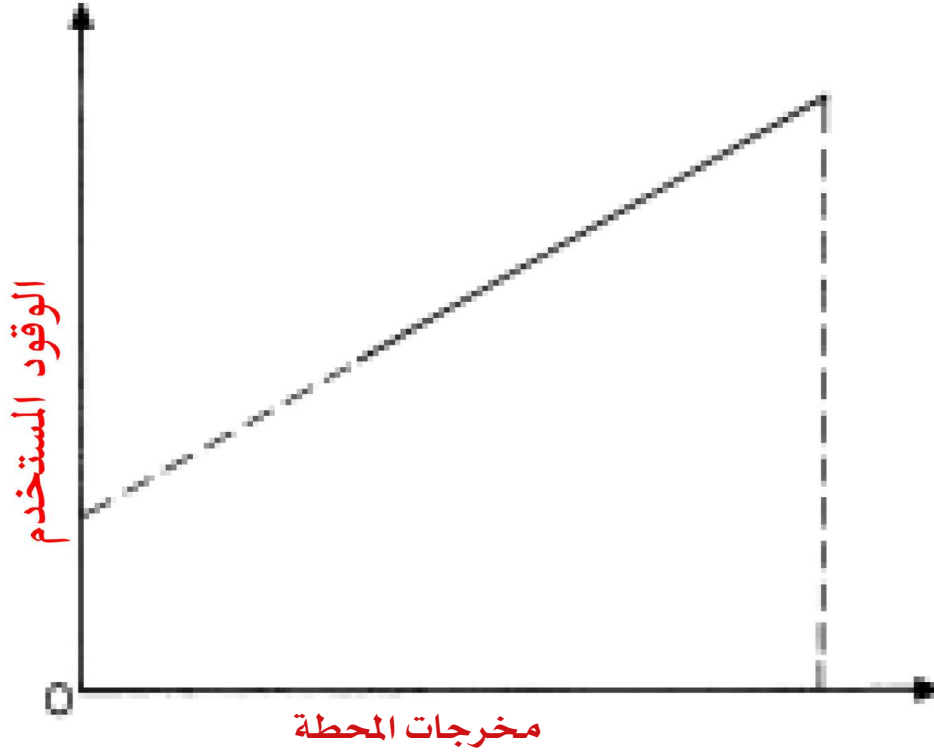
يمكن أن تكون استجابة المحطة المائية أسرع؛ يمكن تشغيل التوربينات في مخطط التخزين الذي جرى ضخه بمضخة دينورويغ **Dinorwig** بقوة 1800 ميغاواط في ويلز بكامل طاقتها في غضون 10 ثوانٍ فقط من حالة الدوران في الهواء، ويمكن تشغيلها من حالة التوقف التام في غضون دقيقة واحدة.

تضع مثل هذه الاعتبارات أيضاً حدوداً على مدى سرعة تغيير الناتج من الوحدات الحرارية - الحد الأقصى «لمعدل الانحدار». مرة أخرى، يمكن أن يختلف هذا كثيراً بين الوحدات، لكن الأرقام النموذجية للمصانع الحديثة تشير إلى أن الإنتاج يمكن أن يتغير بنسبة 3-5% في الدقيقة على الأكثر، وبعض وحدات التحميل الأساسي تقتصر على أقل من 2%.

يمكن أن تكون الحدود المفروضة على معدلات الانحدارات قيوداً كبيراً أثناء الانتعاش الصباحي الحاد عند الطلب، وفي بعض الأحيان يجب تشغيل توربينات الغاز لفترات قصيرة للحفاظ على تردد النظام.

عملية التحميل الجزئي تفرض عقبات مختلفة. يوضح الشكل الآتي استخدام الوقود النموذجي كدالة لمخرجات المصنع، حيث تكون الخسارة في الكفاءة خطية تقريباً عبر معظم نطاق التشغيل.





استخدام الوقود كدالة لمخرجات المصنع لوحة الفحم البريطانية النموذجية.

لا يمكن عموماً تشغيل المحطات الحرارية بثبات عند مخرجات منخفضة جداً لفترة طويلة. تقع الحدود الفنية لمعظم الوحدات الكبيرة في حدود 30-50%. يمكن تحقيق مستويات أقل، لكن هذا سيتطلب تعديلات جوهرية.

4. التحكم في نظام الطاقة واحتياطي التشغيل

تضع كل هذه العوامل حدوداً لمرونة أنظمة الطاقة، ويجب أن يكون هناك احتياطات تشغيل من أنواع مختلفة لضمان أن النظام يمكنه تلبية جميع الظروف المحتملة.

يساء فهم القضايا المحيطة باحتياطي نظام الطاقة على نطاق واسع، لا سيما فيما يتعلق بتأثير المصادر المتجددة. ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى وجود العديد من مصادر الاحتياطي المختلفة، ذات الخصائص والجدول الزمنية المختلفة، والعديد من الأسباب المختلفة للاحتفاظ بالاحتياطي، التي تشير مرة أخرى إلى المتطلبات والجدول الزمنية المختلفة.

الطاقة الحركية المخزنة في الكتل الدوارة للمولدات كافية لمواجهة الاختلافات في فترات أقل من نحو **10 ثوانٍ**، ولكن لفترات من **10 ثوانٍ** إلى بضعة دقائق، يكون الاحتياطي الرئيسي هو البخار المخزن في الغلايات على الوحدات الحرارية.

لا يستمر احتياطي البخار في الغلايات لأكثر من بضعة دقائق. في غضون هذا الوقت، يجب تغذية الغلايات بمزيد من الطاقة إذا كان يجب الحفاظ على الإنتاج الأعلى.

إذا كانت هذه القدرة مطلوبة، فيجب تشغيل بعض الوحدات المحملة جزئياً، مع إعطاء ما يعرف باسم «احتياطي اللف» الذي يوفر الطاقة الإضافية بسرعة، مقيدة فقط بمعدل المنحدر؛ يتوفر معظم قطع الغيار في غضون نحو **10 دقائق**.

توفر توربينات الغاز المصدر اللاحق لاحتياطي نظام الطاقة، الذي يتداخل مع احتياطي اللف. كما لوحظ، يمكن توفير معظمها في غضون **5-15 دقيقة**.



لا تتوفر طاقة إضافية حتى يجري تشغيل توربينات بخارية إضافية على النظام، إما من وضع الاستعداد الساخن في نحو ساعة أو نحو ذلك، وإما إذا كانت باردة فقد يستغرق الأمر 8-10 ساعات.

يمكن لمحطة الطاقة المائية أن تغطي مجموعة كاملة من المتطلبات الاحتياطية، ويؤدي التخزين بالضح دوراً مهماً في تقليل الحاجة إلى احتياطي اللف بشكل كبير، وهو محدود في الممارسة العملية بمقدار سعة التخزين المتاحة.

أخيراً، هناك مصدر إضافي للاحتياطي يتمثل في قدرة معظم وحدات التوليد على العمل فوق السعة القصوى المعلنة العادية، مع أن هذا يقلل بشكل عام من الكفاءة وقد يؤدي على المدى الطويل إلى تقليل العمر وزيادة متطلبات الصيانة. إذا استنفدت جميع مصادر الاحتياطي، يمكن التخلص من الحمل الزائد عن طريق تقليل جهد النظام وتردده.

لا يمكن لأنظمة الطاقة، بالطبع، توفير الطلب فوق السعة المتاحة في أي وقت يكون فيه الاستهلاك كبيراً، كما لا يمكنها تحمل الاضطرابات الكبيرة في شبكة النقل، والتي قد تقطع السعات الكبيرة من جزء من الشبكة بضرية واحدة، وهو سبب أشهر حالات انقطاع التيار الكهربائي في أنظمة الشبكة في البلدان المتقدمة. ولكن مع تحديد المصادر المختلفة للاحتياطي، فإن التوليد على أنظمة الطاقة المتطورة بشكل جيد يكون أكثر قوة ومرونة مما يفترض في كثير من الأحيان.

خارج الآفاق الزمنية القصيرة إلى المتوسطة، قد يكون للمرافق تدابير أخرى يمكن الاستعانة بها، مثل «الاحتياطي الدائم» المتاح في غضون أيام قليلة، أو الذي يمكن تجهيزه في حالات الطوارئ على مدى أسابيع إلى شهور. بالإضافة إلى ذلك، قد تكون هناك روابط إرسال مع أنظمة مجاورة، مثل تلك الموجودة بين اسكتلندا وإنجلترا.



5. الدور المحتمل لإدارة الأحمال والحوافز الجمركية

بالنسبة للاختراقات الكبرى لمصادر الطاقة المتجددة المتقطعة، يمكن تخفيض تكاليف تكامل النظام باستخدام إدارة حمولة الكهرباء الحديثة. كان للتقنيات التي استخدمت لعدد من السنوات مثل عدم الذروة، والحد الأقصى للطلب والتعريفات القابلة للانقطاع تأثيرات كبيرة على منحني الحمل اليومي الذي صار حالياً أكثر انبساطاً وأقل ذروة.

يزال أكثر من 2 غيغاواط من الطلب على **CEGB** بانتظام من أوقات الذروة من خلال الترتيب مع كبار المستهلكين، مما يؤدي إلى الحاجة إلى سعة توليد أقل، وقد أدت الزيادة الكبيرة في الاستخدام غير المنتظم إلى زيادة عامل تحميل النظام بشكل كبير، مما أدى إلى توفير كبير، مما يمكن مشاركتها مع العميل.

إن الترتيبات الخاصة بإدارة الأحمال التي جرى وضعها لعدد من السنوات هي بطبيعتها غير مرنة إلى حد ما وليست مناسبة للتعامل مع التقلبات السريعة التي قد تحدث مع المصادر المتجددة المتقطعة.

يوفر التخزين بالضغط طريقة فعّالة جداً للتعامل مع مثل هذه الاختلافات ولكن إمكانياته محدودة بعدد المواقع المتاحة اقتصادياً. ومع ذلك، يمكن للتطورات الأخيرة في إدارة الأحمال أن تقدم استجابة دقيقة وسريعة للتغيرات قصيرة المدى في السعة المتاحة من خلال التبديل التلقائي، على سبيل المثال، أحمال المساحات وتسخين المياه وأحمال التبريد.

وتشمل هذه التدابير المحول الراديوي، المتاح حالياً تجارياً، وأنظمة إدارة الأحمال باستخدام خطوط الطاقة أو الهاتف للاتصال. في النهاية، يمكن أن تسمح تقنيات القياس المتقدمة بنقل «السعر الفوري» إلى المستهلكين، وتحديثه



بانتظام بما يتماشى مع ظروف النظام، باستخدام عدادات تعرض السعر الحالي.

يمكن لمثل هذه التدابير، إلى جانب تحسين تصميم الأجهزة وتدابير التحكم التي يستخدمها العميل، أن تغير بشكل كبير اقتصاديات مصادر الطاقة المتجددة عند الاختراقات الكبرى.

• تخطيط نظام الطاقة

1. التفاعل بين تكامل النظام والاقتصاد

في النمذجة الصحيحة لتأثيرات تكامل النظام، من الضروري التأكد من تضمين جميع المتغيرات المهمة. يمكن اشتقاق قائمة مرجعية ملائمة من النظر في جميع التكاليف والوفورات التي ستنتج عن إدخال سعة توليد جديدة.

التكاليف

- ✓ التكلفة الرأسمالية للسعة الجديدة، بما في ذلك الفوائد أثناء البناء.
- ✓ تكاليف النقل والتوزيع المباشرة وغير المباشرة.
- ✓ تكاليف الأعمال الثابتة الأخرى التي لا تختلف مع تشغيل المصنع والتي يمكن التعبير عنها كرسوم سنوية ثابتة لكل كيلوواط.
- ✓ تكاليف الأعمال الأخرى المتغيرة التي تعتمد على تشغيل المصنع والتي يمكن التعبير عنها كتكلفة لكل كيلوواط ساعة يجري توليدها.
- ✓ تكاليف الوقود إن وجدت.



✓ النفقات العامة.

✓ الزيادات في الوقود والتكاليف الثابتة والمتغيرة والعامة للمصانع الأخرى.

الوفورات

✓ وفورات رأس المال الناتجة عن ائتمان السعة الذي قد يعزى إلى مصدر الجيل الجديد.

✓ توفير الوقود الناتج عن تقليل عامل الحمولة في المصانع القائمة الأخرى وإزاحة المصنع الجديد.

✓ الوفورات في التكاليف الثابتة والمتغيرة والعامة للمصانع الأخرى.

الفرق بين الوفورات والتكاليف هو صافي الفوائد التي تسمح بتحديد التدابير الاقتصادية مثل نسبة الفائدة / التكلفة أو معدل العائد الداخلي أو فترة الاسترداد. مصطلح **CEGB** لصافي الفوائد هو صافي التكلفة الفعالة، وهو أمر سلبي للإدخار.

2. سعة الإزاحة وإعادة المزج عند الاختراقات الأعلى

تنخفض قيمة السعة الحديدية للمصادر المتقطعة بشكل حتمي مع إضافة المزيد، لأن الناتج من المصانع المتتالية مترابط، على عكس معظم المصادر التقليدية.

تعتمد الطريقة التي يجري بها ذلك على التوزيع الكامل للإخراج من المصدر. مع زيادة السعة، فإن احتمال وجود ناتج ضئيل أو معدوم يهيمن بشكل متزايد على ائتمان السعة ويحدد في النهاية إزاحة المصنع الحراري المحدود.



بالنسبة لنظام **CEGB**، قد يكون هذا الرقم عدة غيغاواط حتى بالنسبة للمصادر المتقطعة التي لديها فرصة كبيرة لتوليد أي شيء. ويرجع ذلك إلى أن النظام يتطلب هامشاً تخطيطياً كبيراً للمحطة الحرارية فوق الحد الأقصى المتوقع لطلب النظام، تشير نسبة 24% المستخدمة حالياً إلى هامش يبلغ نحو 12 غيغاواط، ويرجع ذلك في مقياس متساوٍ تقريباً إلى عدم اليقين في نمو الحمل وتأثيرات عدم توفر المصنع التقليدي.

يمكن تقليل هذا الرقم بعدة غيغاواط إذا جرى إدخال طاقة رياح كافية، على سبيل المثال، حيث لا تزال هناك فرصة جيدة لتلبية الطلب حتى في الحالات النادرة التي يتزامن فيها حمل الذروة مع عدم وجود طاقة الرياح. لا يعني انخفاض ائتمان السعة عند اختراق النظام الأعلى أن قيمة السعة الإجمالية تنخفض أيضاً نحو الصفر. هذا بسبب وجود قيمة إعادة خلط للقدرة، بسبب التغيير في الهيكل الحراري الأمثل للمحطة نتيجة وجود مصادر متقطعة في النظام.

السبب الرئيسي وراء التغييرات المثلى لمزيج المصنع هو تأثير بسيط على مدة الحمل: مع وجود مصادر متقطعة تولد لبعض الوقت، يجب أن توفر الوحدات الحرارية طاقة أقل مما يمكن أن يكون عليه الحال.

تصير المصانع التي لها تكاليف وقود أعلى ولكن بناءها رخيصاً أكثر جاذبية مقارنة بالوحدات ذات التكلفة الرأسمالية المرتفعة. ومن ثم، فقد بني مصنع أقل كثافة في رأس المال، مما يوفر صافي مدخرات رأس المال.

يمكن تضخيم هذا التأثير من خلال العوامل التشغيلية؛ حيث جرى تصميم المصانع ذات التكلفة الرأسمالية العالية لتشغيل التحميل الأساسي وغالباً ما



تتكبد تكاليف بدء تشغيل كبيرة أو تحميل جزئي. ومن ثم، فإن تقلب طاقة الرياح يميل إلى تعزيز تأثير مدة التحميل لإعادة خلط السعة.

بالتفصيل، يعتمد حجم وقيمة إعادة خلط السعة بشكل كبير على خصائص وتكاليف النظام، حتى بالنسبة لتحليل بسيط «للسنة المستهدفة» يجري فيه تحسين مزيج المصنع بالكامل. الأمر معقد بسبب حقيقة أن تغيير سعة المصنع المخطط لها، بالطبع، يغير أيضاً تكاليف تشغيل النظام، لذلك لا يمكن النظر في توفير رأس المال والوقود بشكل مستقل.

لا يمكن فحص التأثيرات بشكل صحيح دون تحليل كامل لتوسيع الجيل لتطوير النظام بمرور الوقت والذي يتضمن مصادر متقطعة.

أخيراً، حقيقة أن المصادر مثل توربينات الرياح يمكن بناؤها بسرعة نسبية لها أيضاً عواقب رأسمالية مهمة. العنصر الرئيسي في حالات عدم اليقين التي تحدد هامش التخطيط في نظام **CEGB** هو الخطأ في توقع الحمل.

إذا كانت توربينات الرياح قادرة على توفير عنصر قوة ثابتة في غضون 2-3 سنوات - ربما بمساعدة بعض الذروة الاحتياطية، إذا كانت هناك رياح كبيرة بالفعل على النظام - يجب أن يسمح هذا نظرياً بتخفيض هامش التخطيط.

وتجدر الإشارة إلى أن قضايا السعة نادراً ما تكون بأهمية توفير الوقود نفسها. قد تكون هناك بالفعل قدرات كبيرة للمصانع القديمة غير الفعّالة، التي حلت محلها الاستثمارات الجديدة.

حتى إذا كان النظام يحتاج إلى محطات جديدة إضافية فقط للحفاظ على موثوقية النظام، فقد يكون بناء محطات «ذروة» - عادةً توربينات غازية-



رخصاً. يعد حفظ هذا الأمر عند الاختراقات الصغيرة إضافة مفيدة، ولكنه ليس العامل الحاسم في اقتصاديات الرياح.

تعتبر طاقة الرياح ذات قيمة في المقام الأول بسبب وفوراتها في الوقود، ومثل جميع المصانع الأخرى لتلبية الطلب الأساسي، لا يمكن تبريرها في المقام الأول من حيث احتياجات السعة.

النقطة الأكثر أهمية هي أنه بالنسبة لأي نظام يطور خلال السنوات المقبلة، هناك مزيج مثالي من جميع أنواع السعة التي ستوفر الحد الأدنى من إجمالي تكاليف العمر ومن ثم إنتاج أرخص كهرباء.

• آثر مصادر الطاقة المتجددة المختلفة

1. الكتلة الحيوية

وجهة النظر السائدة في المملكة المتحدة حتى وقت قريب هي ضمناً أن محطة وقود الكتلة الحيوية ستوفر بشكل عام الحرارة فقط بدلاً من الحرارة والطاقة المشتركة، مع أن هذه الصورة تتغير حالياً.

سيكون لهذه التركيبات نفس خصائص المصادر المستمرة الأخرى. قد تتمتع المصانع الصغيرة التي تقع بعيداً عن مراكز التوليد الرئيسية بميزة تقليل الحاجة إلى تعزيز الإرسال الذي قد يكون مطلوباً بخلاف ذلك.

الكتلة الحيوية، على عكس مصادر الطاقة المتجددة الأخرى، لها تكلفة وقود يجب أخذها في الاعتبار عند تقييم اقتصادياتها الإجمالية. لهذا السبب ستأخذ مكانها في ترتيب الجدارة وقد لا تكون مناسبة لتوليد الحمل الأساسي.



2. الطاقة الحرارية الجوفية الصخرية الجافة الساخنة

ستوفر محطة الطاقة الحرارية الأرضية أيضاً إمداداً مستمراً بالكهرباء، ولكن نظراً لعدم وجود تكلفة وقود، فسيجري استخدام إمدادات الحمل الأساسي. قد تكون هناك مزايا تتمثل في أنه سيقبل الحاجة إلى تعزيز نظام النقل إذا جرى تطوير مورد الطاقة الحرارية الأرضية.

3. مولدات الطاقة المائية الكبيرة

عامل الحمل السنوي للنظام المائي متغير ويعتمد على هطول الأمطار في العام. الإمكانية الكبيرة الوحيدة للقدرة الجديدة موجودة في اسكتلندا.

لا توجد مشكلات على المدى القصير وما يترتب على ذلك من تكاليف لاختراق كبير للقدرة المائية، مع أنه يجب توفير طاقة احتياطية كافية لأنواع أخرى من التوليد لتغطية سنوات من انخفاض هطول الأمطار.

ومن ثم، فإن رصيد سعة محطة الطاقة الكهرومائية يقع بين تلك الخاصة بمصادر الطاقة المتجددة المستمرة والعشوائية. المقياس الكبير بالنسبة للمملكة المتحدة -مثلاً- نسبي فقط، المورد صغير نسبياً بالمقارنة مع ذلك المتاح في بعض البلدان الأخرى. هذه الخصائص تجعل التقييم الاقتصادي لمجمع محطة الطاقة المائية.

بسبب موقع وطبيعة الطاقة الكهرومائية، قد تؤدي توصيلات النقل والقضايا البيئية إلى مشكلات كبيرة.



4. مولدات الطاقة المائية الصغيرة

من المحتمل أن يكون عامل الحمل السنوي لتوليد الطاقة المائية الصغيرة، الناتج عن بضعة ميغاواط أو أقل، أكثر اعتماداً على هطول الأمطار حيث من المحتمل أن تكون محطة جريان النهر هي السائدة.

وذلك لأن التدفق الطبيعي للنهر هو المصدر الرئيسي للمياه، وستكون هناك احتياطات مياه أصغر من المنشآت ذات الخزانات الكبيرة التي يجري توفيرها مباشرة من مناطق تجميع المياه. لذلك من المحتمل أن يكون ائتمان قدرة المحطات المائية الصغيرة أقل من ائتمان المحطة الأكبر حجماً.

5. طاقة المد والجزر

يعد هذا مصدراً متقطعاً يمكن التنبؤ به ويمكن تحديد ائتمان السعة من أجله بسهولة نسبياً. ومع ذلك، نظراً للطريقة التي تتغير بها دورة المد والجزر مع مرور الوقت، فإن رصيد سعة مخطط المد والجزر أقل من مصدر عشوائي للناتج نفسه.

على سبيل المثال، حُدّد خرج طاقة الشركة **Severn Barrage** على أنه **1.1 GW** لسعة مركبة قصوى تبلغ **2.7 GW**، أو **15%**. يقارن هذا مع عامل الحمولة السنوي الذي يقدر بـ **21%** للإنتاج السنوي البالغ 13 غيغاواط ساعة. يفسر هذا التعارض الواضح مع استنتاج سويفت-هوك **Swift-Hook** بالحاجة إلى تحديد الحزم في وقت الذروة الوطنية، وليس على مدار العام بكامله.

يعد تكامل مخططات التدفق الصغيرة مثل ميرسي **Mersey** أمراً سهلاً نسبياً، ولكن مخططاً كبيراً مثل سيفيرن (**7 · 2 GW**) **Severn** يتطلب توفير نقل



كبير وتعزيز عند 400 كيلو فولط.

يمكن أن يؤدي التباين المحدد لقوة المد والجزر إلى تكلفة كبيرة: فقد جرى تقدير أنه سيفقد نحو 8% من التوفير المثالي للوقود من قناطر سيفيرن إذا لم يكن هناك سيطرة على ناتجها. ومع ذلك، فإن درجة معينة من السيطرة ممكنة، وهذا من شأنه أن يقلل بشكل كبير من الرقم.

من الواضح أن مزيجاً من مخططات المد والجزر المختلفة، على سبيل المثال سولواي فيرث **Solway Firth** و موركامب باي **Morecambe Bay** اللذان يبعدان عن المرحلة بنحو 5-6 ساعات مع سيفيرن، سيكون لهما أرصدة قدرة أعلى من مخطط واحد ومن ثم سيكون لهما تأثير مفيد في الاقتصاد.

6. طاقة الأمواج

من المحتمل أن يكون مصدر طاقة الأمواج الكبير الوحيد قبالة الساحل الغربي لاسكتلندا. إن عشوائيتها يمكن مقارنتها إلى حد كبير بعشوائية طاقة الرياح، ومن ثم فإن تأثيرات الاختراقات الكبيرة على النظام ستكون متشابهة. ومع ذلك، فإن موقع محطة طاقة موجية كبيرة في اسكتلندا سيتطلب أعمال نقل مكثفة عند 400 كيلو فولط مما سيضيف بشكل كبير إلى تكلفة طاقة الأمواج.

توفر الوحدات الصغيرة (أقل من 1 ميغاواط) آفاقاً لإمدادات الجزر، بخاصة تلك التي يجري تركيبها على الشاطئ، أو التي من المحتمل أن يكون لها تكاليف مدنية وتكاليف نقل أقل. سيكون الفصل الجغرافي اعتباراً مهماً كما هو الحال بالنسبة لطاقة الرياح.





أعلى موجة بحرية سُجلت في التاريخ.

1. طاقة الرياح

لقد نوقشت بالفعل آثار الاختراقات الكبيرة للمصادر العشوائية مثل طاقة الرياح. ستعتمد هذه التأثيرات على خصائص باقي النظام الذي يجري فيه تثبيت سعة الرياح.

ستكون التأثيرات على **CEGB** مختلفة تماماً عن تلك الموجودة على نظام **NSHEB**، وستختلف بالنسبة للأنظمة الصغيرة المعزولة أو شبه المعزولة.

لن تكون هناك صعوبات كبيرة في النقل في دمج سعة الرياح الكبيرة المشتتة على الأرض، ولكن أي تطوير كبير لطاقة الرياح البحرية سيتطلب نظام نقل خاص به بعيداً عن الشاطئ ونقاط اتصال على الشاطئ وتعزيز الإرسال. سيكون أثمان السعة لطاقة الرياح مساوياً تقريباً لعامل الحمولة الشتوي،



الذي يمكن أن يكون 30-40% اعتماداً على تصنيف الآلة. ومع ذلك، فمن المهم أن تأخذ في الاعتبار التغيرات المناخية طويلة المدى في تقييم صلاحية طاقة الرياح.

أظهر الباحثون، باستخدام سلسلة زمنية لسرعات الرياح بين عامي 1898 - 1954، أن إنتاج طاقة توربينات الرياح في سنة فقيرة سيكون أقل من نصف ذلك في سنة جيدة. من الواضح أن تقديرات الجدوى الاقتصادية لطاقة الرياح يجب أن تأخذ في الاعتبار مثل هذا التباين.

2. الطاقة الكهروضوئية

من المتوقع أن تكون الطاقة الشمسية من الخلايا الكهروضوئية متقطعة في المناخات التي بها نسبة عالية من ضوء الشمس المباشر، ولكنها أكثر عشوائية في المناخات المعتدلة مثل تلك الموجودة في المملكة المتحدة بسبب تقلبات الطقس. نظراً لأنه من غير المحتمل أن يشكل توليد الطاقة الكهروضوئية نسبة كبيرة من قدرة المملكة المتحدة، فلا داعي لمزيد من النظر في آثارها على النظام. إن موارد الطاقة الشمسية ليست صغيرة في المجموع، حيث تبلغ الكثافة في بريطانيا نحو نصف تلك الموجودة في الصحراء وتتركز في الصيف. ومع ذلك، يجب أن يكون هناك انخفاض كبير في تكاليف الوحدة إذا كانت التكنولوجيا جذابة في بريطانيا.

3. الطاقة الحرارية للمحيطات

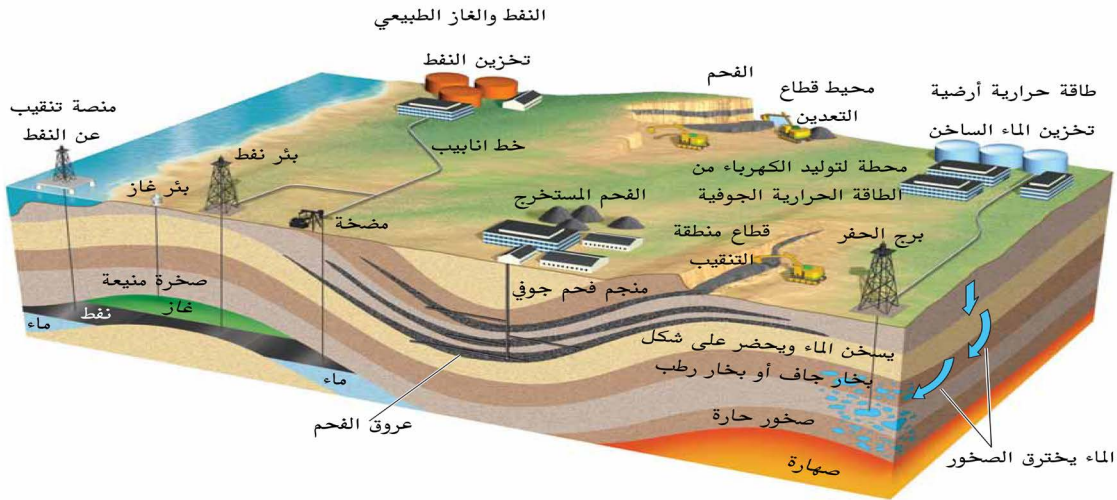
سيكون تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (OTEC) مصدراً ثابتاً للكهرباء، ومن ثم لن يمثل المزيد من الصعوبات في تكامل نظامه أكثر من أي مصدر حمل أساسي. ومع ذلك، فهي بطبيعتها لن تقدم أي مساهمة في إمدادات الكهرباء لدينا، ومن ثم لا داعي لأن تؤخذ في الاعتبار في سياق المملكة المتحدة.



كيف يمكننا الانتقال إلى مستقبل أكثر استدامة للطاقة؟

تأتي معظم الطاقة التي تسخن الأرض ومبانيها من الشمس دون أي تكلفة علينا، وهذا أحد المبادئ العلمية الأربعة للاستدامة. ينتج هذا المدخل المباشر من الطاقة الشمسية عدة أشكال غير مباشرة من الطاقة الشمسية المتجددة: الرياح، والطاقة المائية (المياه المتساقطة والمتدفقة)، والكتلة الحيوية (تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية وتخزينها في الأشجار والنباتات الأخرى).

تشكل الطاقة التجارية، التي تُباع في السوق 1% من الطاقة التي نستخدمها والتي لا توفرها الشمس مباشرة. في الوقت الحالي، تأتي معظم الطاقة التجارية من استخراج وحرق موارد الطاقة غير المتجددة التي يجري الحصول عليها من قشرة الأرض، وبشكل أساسي الوقود الأحفوري المحتوي على الكربون - النفط والغاز الطبيعي والفحم - المتكون من تحلل النباتات والحيوانات على مدى ملايين السنين.



رأس المال الطبيعي: موارد الطاقة غير المتجددة المهمة التي يمكن إزالتها من القشرة الأرضية هي الفحم والنفط والغاز الطبيعي وبعض أشكال الطاقة الحرارية الأرضية. كما يستخرج خام اليورانيوم غير المتجدد من قشرة الأرض ومعالجته لزيادة تركيزه من اليورانيوم 235، الذي يمكن أن يعمل كوقود في المفاعلات النووية لإنتاج الكهرباء.



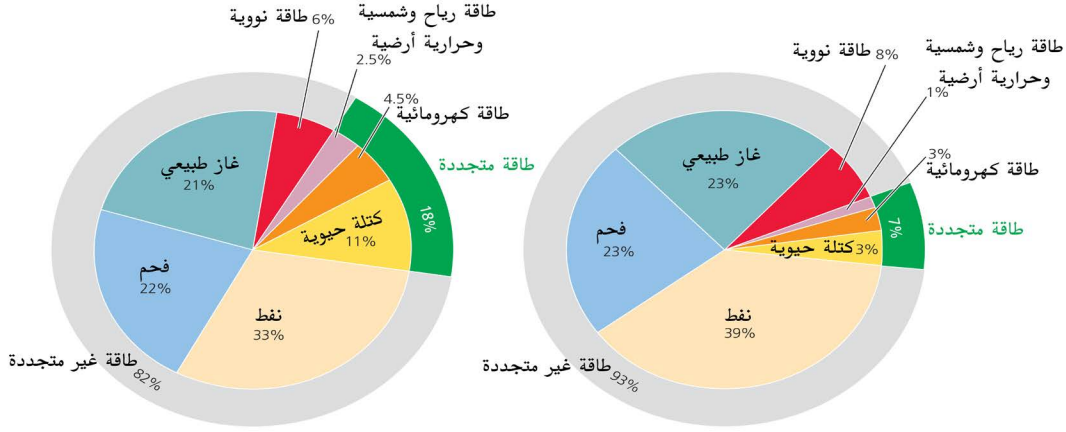
نحو 82% من الطاقة التجارية المستهلكة في العالم تأتي من مصادر الطاقة غير المتجددة: 76% من الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي والفحم) و6% من الطاقة النووية. وتأتي نسبة 18% المتبقية من الطاقة التجارية التي نستخدمها من مصادر الطاقة المتجددة: الكتلة الحيوية والطاقة المائية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية.

يستخدم الوقود الأحفوري غير المتجدد على نطاق واسع لأنه متوفر بكثرة، ويسهل نقله، وغير مكلف مقارنة بمعظم البدائل الأخرى. بالترتيب، أكبر ثلاثة مستهلكين للوقود الأحفوري هم الولايات المتحدة والصين والاتحاد الأوروبي، ويمثلون معاً أكثر من نصف استهلاك الوقود الأحفوري.

يختلف استخدام الطاقة لكل شخص في جميع أنحاء العالم. إذ ما يقرب من نصف سكان العالم في البلدان النامية يحرقون الأخشاب القابلة للتجديد والفحم لتدفئة مساكنهم وطهي طعامهم. وتُجمع معظم هذه الكتلة الحيوية من قبل المستخدمين ولا تباع في السوق. ومن ثم، فإن النسبة المئوية الفعلية لطاقة الكتلة الحيوية المتجددة المستخدمة في العالم أعلى من رقم 11%. يواجه العديد من هؤلاء الأفراد نقصاً في حطب الوقود من المتوقع أن يزداد سوءاً لأن حطب الوقود يحصد بشكل أسرع من الطبيعة التي تحل محله. يجب تقييم جميع موارد الطاقة على أساس إمداداتها، وتأثيرها البيئي، ومقدار الطاقة المفيدة التي توفرها بالفعل.



مستقبل الطاقة في عالمنا



استخدام الطاقة التجارية حسب المصدر للعالم (يسار) والولايات المتحدة (يمين) في عام 2004. الطاقة التجارية تمثل 1% فقط من الطاقة المستخدمة في العالم؛ الـ 99% الباقية عبارة عن طاقة شمسية مباشرة يحصل عليها من الشمس، وبالطبع لا تباع في السوق.

لقد توصل العلماء وخبراء الطاقة الذين قيّموا بدائل الطاقة إلى ثلاثة استنتاجات عامة:

أولاً: سيكون هناك تحول تدريجي من أنظمة الطاقة الكلية المركزية الكبيرة إلى أنظمة الطاقة الصغيرة اللامركزية الأصغر مثل توربينات الرياح وخلايا الوقود للسيارات والألواح الشمسية المنزلية وتوربينات الغاز الطبيعي الصغيرة وخلايا الوقود الثابتة للمباني التجارية. حالياً، تمتلك معظم البلدان نظاماً مركزياً ومركّزاً جغرافياً من محطات الطاقة الكبيرة والمصافي وخطوط الأنابيب والبنية التحتية الأخرى المعرضة للاضطرابات الناجمة عن أحداث مثل الكوارث الطبيعية. على سبيل المثال، في عام 2005، تسبب إعصار كاترينا في شل نحو 10% من آبار النفط والغاز الأمريكية المنتجة للنفط ومصافي النفط في خليج المكسيك لأكثر من عام. سيكون هذا التحول من الطاقة الكلية المركزية إلى



الطاقة الصغيرة المشتتة مماثلاً لتحول صناعة الحاسوب من حواسيب مركزية كبيرة إلى أجهزة حاسوب وأجهزة حاسوب محمولة وأجهزة حاسوب محمولة أصغر حجماً ومشتتة بشكل متزايد. ومن شأنه أن يحسن الأمن القومي والاقتصادي، لأن البلدان ستعتمد على مجموعة متنوعة من مصادر الطاقة المتجددة المحلية الصغيرة والمشتتة بدلاً من عدد صغير من محطات الفحم والطاقة النووية الكبيرة والضعيفة.

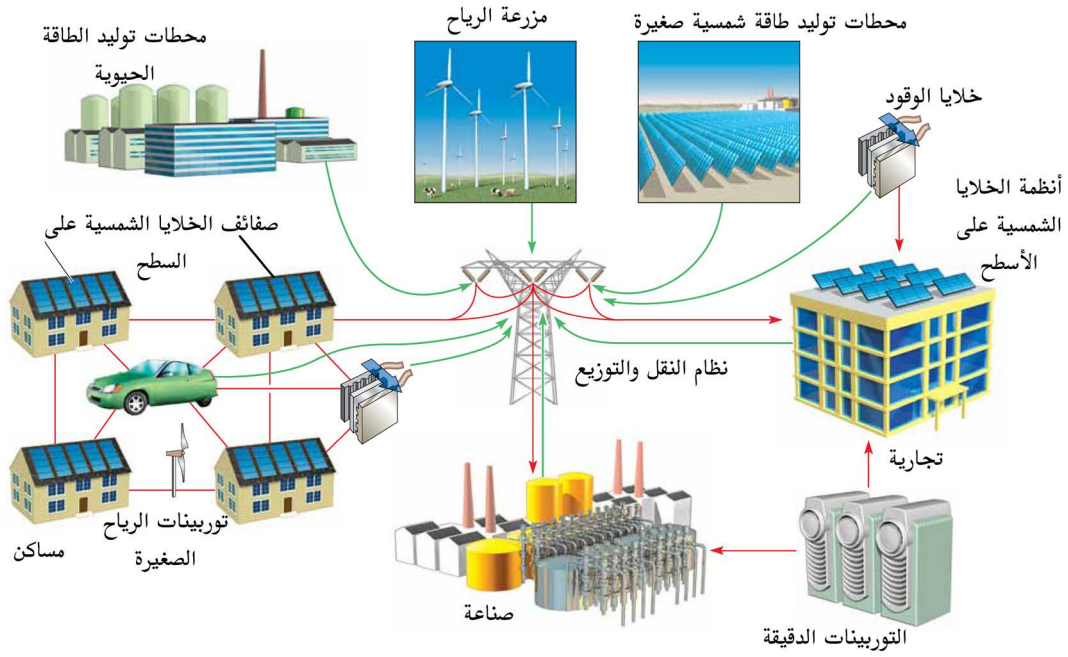
ثانياً: تجمع أفضل البدائل بين تحسين كفاءة الطاقة واستخدام مزيج من الوقود الحيوي المنتج بشكل مستدام للانتقال إلى مزيج متنوع من موارد الطاقة المتجددة المتاحة محلياً على مدى العقود العديدة القادمة. بدلاً من الاعتماد في الغالب على الوقود الأحفوري غير المتجدد المنتج في مكان آخر، سيستفيد الناس من موارد الطاقة المتجددة الوفيرة والمتاحة محلياً. على سبيل المثال، تحصل كوستاريكا على 92% من طاقتها من مصادر متجددة. وتحصل أيسلندا على كل طاقتها من الموارد المتجددة وتأمل في استخدام هذه الطاقة لإدارة البلاد باستخدام الهيدروجين.

ثالثاً: بسبب الإمدادات والأسعار المنخفضة بشكل مصطنع، سيستمر استخدام الوقود الأحفوري بكميات كبيرة. يتمثل التحدي في إيجاد طرائق للحد من الآثار البيئية الضارة لاستخدام الوقود الأحفوري على نطاق واسع، مع التركيز بشكل خاص على الحد من تلوث الهواء وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، حيث يجري تطبيق البدائل الأقل ضرراً على مراحل.

إن جعل مدننا أكثر استدامة واستخدام زراعة أكثر استدامة من شأنه أيضاً أن يقلل من استخدام الطاقة والنفايات وما ينتج عن ذلك من تلوث وتدهور بيئي.



مستقبل الطاقة في عالمنا



الحلول: نظام طاقة لامركزي تُنتج فيه الكهرباء بواسطة عدد كبير من أنظمة الطاقة الصغيرة المتفرقة صغيرة الحجم. قد ينتج البعض الطاقة في الموقع؛ قد يغذي الآخرون الطاقة التي ينتجونها في نظام التوزيع الكهربائي التقليدي. على مدى العقود القليلة المقبلة، يتوقع العديد من محلي الطاقة والماليين حدوث تحول إلى هذا النوع من أنظمة الطاقة.



• الانتقال إلى مستقبل طاقة أكثر استدامة

اقتراحات العديد من محلي الطاقة للمساعدة في الانتقال إلى مستقبل طاقة أكثر استدامة:

1. تحسين كفاءة الطاقة

- ✓ زيادة معايير كفاءة الوقود للمركبات والمباني والأجهزة.
- ✓ إجبار الحكومة على شراء المركبات الفعالة والأجهزة الأخرى.
- ✓ تقديم ائتمانات ضريبية كبيرة لشراء السيارات والمنازل والأجهزة ذات الكفاءة.
- ✓ تقديم ائتمانات ضريبية كبيرة للاستثمارات في كفاءة الطاقة.
- ✓ مكافأة المرافق لخفض الطلب على الكهرباء.
- ✓ زيادة البحث والتطوير في مجال كفاءة الطاقة بشكل كبير.

2. المزيد من الطاقة المتجددة

- ✓ زيادة استخدام الطاقة المتجددة بشكل كبير.
- ✓ تقديم إعانات كبيرة وائتمانات ضريبية لاستخدام الطاقة المتجددة من خلال تضمين التكاليف البيئية في الأسعار لجميع موارد الطاقة.
- ✓ تشجيع شراء الحكومة لأجهزة الطاقة المتجددة.
- ✓ زيادة البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة بشكل كبير.



3. تقليل التلوث والمخاطر الصحية

- ✓ خفض استخدام الفحم بنسبة 50 % في عام 2020 .
- ✓ التخلص التدريجي من دعم الفحم .
- ✓ جباية الضرائب على استخدام الفحم والنفط .
- ✓ التخلص التدريجي من دعم الطاقة النووية .

• يمكن أن يساعدنا الاقتصاد والسياسة والتعليم في التحول إلى موارد طاقة أكثر استدامة

بالنسبة لمعظم المحللين، يتطلب التحول إلى موارد طاقة أكثر استدامة استخدام الاستراتيجيات الاقتصادية والسياسية. يجب على الحكومات على المستويات المحلية وحكام الولايات والوطنية تطوير وإدانة سياسات طاقة متسقة لتشجيع مثل هذا التحول. ستحتاج الشركات إلى سياسات متسقة وطويلة الأجل من أجل وضع خطط طويلة المدى.

يمكن للحكومات استخدام ثلاث استراتيجيات للمساعدة في تحفيز أو تثبيط الاستخدام قصير الأجل وطويل الأجل لمورد طاقة معين:

الاستراتيجية الأولى: يمكنهم إبقاء الأسعار منخفضة بشكل مصطنع لتشجيع استخدام موارد الطاقة المختارة. ويمكنهم تقديم إعانات البحث والتطوير والإعفاءات الضريبية و سن اللوائح التي تساعد على تحفيز تطوير واستخدام موارد الطاقة التي تتلقى مثل هذا الدعم.



على مدى عقود، تم استخدام هذا النهج لتحفيز تطوير واستخدام الوقود الأحفوري والطاقة النووية في الولايات المتحدة وفي معظم البلدان المتقدمة الأخرى.

على سبيل المثال، وفقاً لوزارة الطاقة الأمريكية ووكالة الطاقة الدولية، بين عامي 1974 و2005، قدمت الحكومة الفيدرالية الأمريكية (بدولارات 2005) **47.9 بليون دولار** في أبحاث الطاقة وتطويرها من أجل الانشطار والاندماج النووي، و**20 بليون دولار** للوقود الأحفوري، و**12.4 بليون دولار** للطاقة المتجددة و**11.7 بليون دولار** لتحسين كفاءة الطاقة.

وقد أدى ذلك إلى خلق مجال اقتصادي غير متكافئ يشجع على إهدار الطاقة والاستنفاد السريع لموارد الطاقة غير المتجددة ويثبط تحسين كفاءة الطاقة وتطوير الطاقة المتجددة. إذا كانت الإعانات منصفة وجرى تضمين التكاليف البيئية لموارد الطاقة في أسعار السوق، فمن الممكن أن تنتشر مزارع الرياح في المناظر الطبيعية، وسيقود الناس في الغالب السيارات الهجينة الموصلة بالكهرباء، وستكون معظم المصابيح الكهربائية عبارة عن مصابيح فلورية مضغوطة أو مصابيح LED، وستكون المباني كذلك كفاءة في الطاقة، ولن تعتمد الولايات المتحدة ودول أخرى بشكل كبير على النفط المستورد.

تمتلك كل الولايات الأمريكية حالياً، باستثناء أربع منها، حوافز للترويج للطاقة المتجددة. تقود كاليفورنيا الطريق من خلال الحصول على 31% من الكهرباء من مصادر متجددة، بما في ذلك 12% من مصادر طاقة الرياح والطاقة



الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية. تكساس لديها حالياً توربينات الرياح أكثر من أي ولاية. وتقوم ولاية أيوا الطريق في إنتاج وقود الإيثانول. يدفع ائتلاف وطني يضم أكثر من 200 منظمة للمواطنين والأعمال - بقيادة مصالح الزراعة والغابات - من أجل التزام وطني للحصول على ربع الطاقة الأمريكية من مصادر متجددة بحلول عام 2025.

الاستراتيجية الثانية: التي يمكن أن تستخدمها الحكومات هي إبقاء أسعار الطاقة مرتفعة بشكل مصطنع لتثبيط استخدام أحد الموارد. يمكنهم رفع سعر مورد الطاقة غير المتجددة عن طريق إلغاء الإعفاءات الضريبية الحالية وغيرها من أشكال الدعم، أو سن لوائح تقييدية، أو إضافة ضرائب على استخدامه.

سيؤدي ذلك إلى زيادة الإيرادات الحكومية، وتشجيع التحسينات في كفاءة الطاقة، وتقليل الاعتماد على الطاقة المستوردة، وتقليل استخدام مورد طاقة محدود الإمداد في المستقبل. لجعل هذا مقبولاً للجمهور، يدعو المحللون الحكومة إلى تعويض ضرائب الطاقة عن طريق خفض ضرائب الدخل والرواتب وتوفير شبكة أمان للطاقة للأفراد ذوي الدخل المنخفض.

الاستراتيجية الثالثة: هي التأكيد على توعية المستهلك. حتى لو قدمت الحكومات حوافز مالية سخية لكفاءة الطاقة واستخدام الطاقة المتجددة، فلن يقوم الناس بمثل هذه الاستثمارات إذا لم يكونوا على دراية -أو لديهم معلومات مضللة- بشأن توفر مثل هذه الخيارات والمزايا والعيوب، والتكاليف البيئية الخفية المقارنة لمصادر الطاقة المختلفة.





مستقبل الطاقة في عالمنا

على سبيل المثال، يوجد عدد أكبر من سخانات المياه بالطاقة الشمسية في ألمانيا الملبدة بالغيوم مقارنة بفرنسا وإسبانيا المشمسيتين، ويرجع ذلك في الغالب إلى قيام الحكومة الألمانية بتوعية الجمهور بفوائد هذه التكنولوجيا.

الخبر السار هو أننا نمتلك حالياً التكنولوجيا والإبداع والثروة اللازمة للانتقال إلى مستقبل طاقة أكثر استدامة في حياتنا. ويمكن للناس أيضاً صنع الفرق بأموالهم من خلال رفض شراء منتجات غير فعّالة وضارة بالبيئة وعن طريق السماح للمديرين التنفيذيين في الشركة بمعرفة خياراتهم.





المراجع

K. Wali, Mohan, & Fatih Evrendilek, M. Siobhan Fennessy, (2010), **The Environment: science, issues, and solutions**, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis.

King, George C., (2018), **Physics of Energy Sources**, John Wiley & Sons, Ltd., New Jersey.

Laughton, Michael, (2003), **Renewable Energy Sources**, Watt Committee Report Number 22, Taylor & Francis Books, Inc.

Lee, Sunggyu, & James G. Speight, Sudarshan K. Loyalka, (2007), **Handbook of alternative fuel technologies**, Taylor & Francis Group, LLC.

Miller, G. Tyler JR., & Spoolman, Scott, (2008), **Environmental Science Problems: Concepts, and Solutions**, 12ed, Brooks/Cole, a part of the Thomson Corporation.

Nelson, Vaughn, (2011), **Introduction to renewable Energy**, CRC Press, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway NW.

Smil, Vaclav, (2017), **Energy and Civilization: A History**, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.





مستقبل الطاقة في عالمنا



Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



موسوعة العمري في علوم الأرض





أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعومة من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعومة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 200 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 35 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

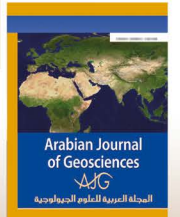
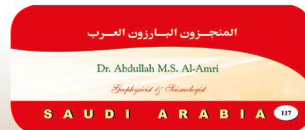
- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

درع التكريم

- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.





موسوعة أمري في علوم الأرض



Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



المد
والجزر



المعادن
والتعدين



التركيب
الداخلي للأرض



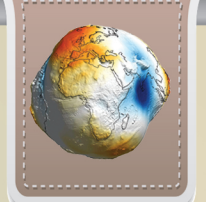
الجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



شكل
الأرض وحركاتها



تقدير
عمر الأرض



الأغلفة
المحيطة بالأرض



جيولوجية
القمر



البراكين
وسبل مجابقتها



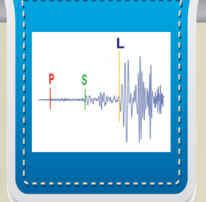
تقييم
مخاطر الزلازل



الزلازل
والتفجيرات



موجات
التسونامي



التصحّر
والجفاف



الأمطار
السيول والسدود



الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



التشجير
التحديات والحلول



التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



المشاكل
البيئية وحلولها



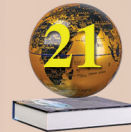
دليل كتابة
الرسائل والنشر العلمي



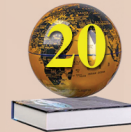
الجيولوجيا
الطبية



الجيوفيزياء
النووية



هل انتهى
عصر النفط؟



الطاقة
الحرارية الأرضية



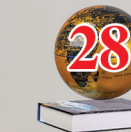
مستقبل
الطاقة في عالمنا



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية



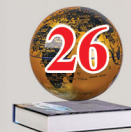
303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياء



321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض



www.alamrigeo.com

