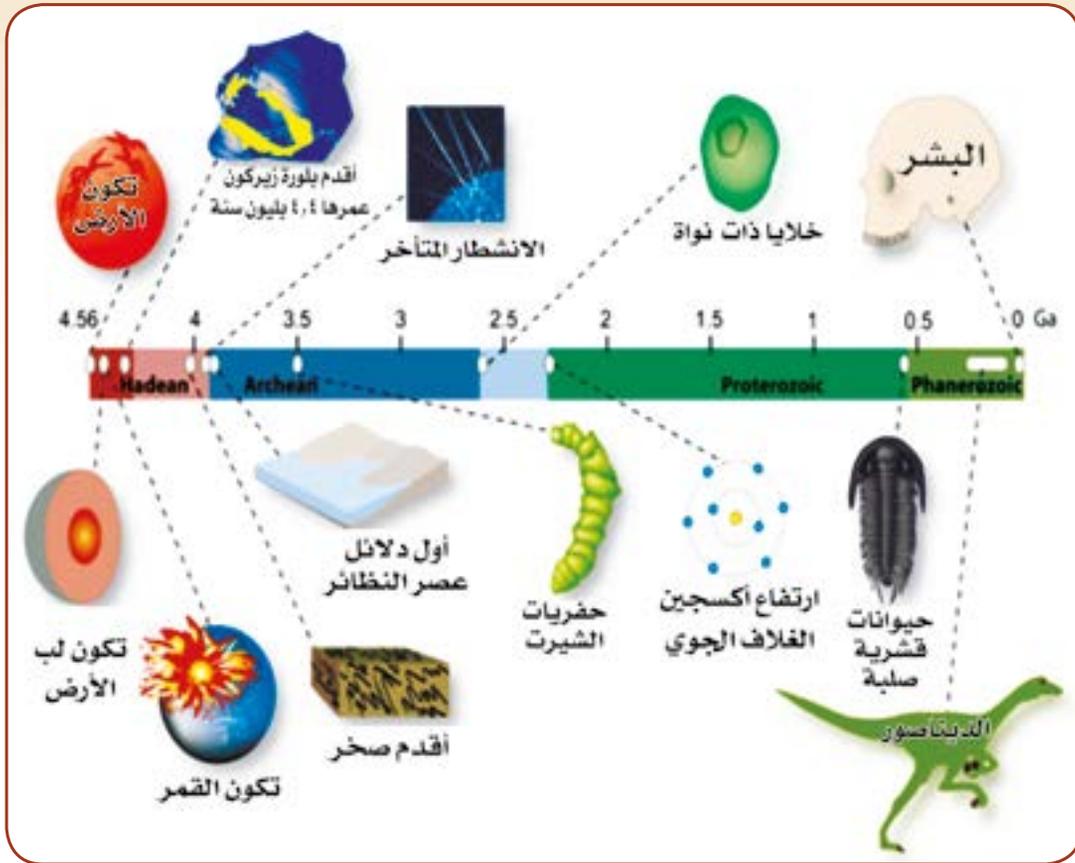


تقدير عمر الأرض



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود





ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبد الله بن محمد سعيد

كتاب تقدير عمر الأرض. / عبد الله بن محمد سعيد العمري - ط ١ -

الرياض، ١٤٤٣هـ

١١٢ ص ، ٢١،٥ X ٢٨

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٥-٤

١ - الجيوفيزياء ٢ - الأرض أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٣ / ٧٦٣٩

ديوي ٥٥٠

رقم الإيداع ١٤٤٣ / ٧٦٣٩

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٥-٤

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 / ٢٠٢٢م





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مَهَيَّبِك

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 على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 5000 صفحة تقريباً تغطي **خمس أجزاء رئيسية**؛

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

التركيب الداخلي للأرض

تقدير عمر الأرض

المعادن والتعدين

شكل الأرض وحركاتها

المد والجزر

الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها

أما **الجزء الثاني** من الموسوعة اشتمل 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:

البراكين وسبل مجابته

موجات التسونامي

جيولوجية القمر

الزلازل والتفجيرات

الأغلفة المحيطة بالأرض

تقييم مخاطر الزلازل



الجزء الثالث مؤلف من ستة كتب يرتبط بكل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| المشاكل البيئية وحلولها | الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات |
| التشجير: التحديات والحلول | التصحّر والجفاف |
| التغيرات المناخية والاحتباس الحراري | السيول والسدود المائية |

الجزء الرابع من الموسوعة مكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى سياسياً ونوويًا وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| الطاقة الحرارية الأرضية | الجيولوجيا الطبية |
| هل انتهى عصر النفط؟ | الجيولوجيا السياسية |
| الجيوفيزياء النووية | كتابة الرسائل والمشاريع الجيولوجية |

أما **الجزء الخامس** عبارة عن ستة كتب احتوت على 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 والـ GIS
- 358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
- 380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
- 303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازل الهندسية
- 300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلف



مقدمة

كوكب الأرض هو ثالث أقرب كوكب من الشمس، ويعد خامس أكبر كوكب في المجموعة الشمسية، وهو الكوكب الوحيد حالياً المعروف بأنه يحتوي على الحياة، ويتكون كوكب الأرض من حوالي 71% من المياه التي تتمثل في المحيطات والبحار والأنهار، ومن حوالي 29% من اليابسة التي تتكون من القارات الكبيرة والجزر والجبال، كما يغطي الجليد والثلج الكثير من المناطق القطبية للأرض، وبسبب كمية المياه الكبيرة على سطح الأرض، يبدو الكوكب من بعيد باللون الأزرق، ولذلك سُمي بـ (الكوكب الأزرق)، ويحتوي هذا الكوكب على غلاف جوي ساعد على تكوين الحياة على سطحه، حيث يتكون الغلاف الجوي للأرض في الغالب من النيتروجين والأكسجين.

حتى الآن لم يجد العلماء طريقة لتحديد العمر الدقيق للأرض مباشرة من صخور الأرض، لأن أقدم صخور الأرض قد أعيد تدويرها وتدميرها من خلال عملية الصفائح التكتونية. إذا كان هناك أي من صخور الأرض البدائية بقيت في حالتها الأصلية، فلم يتم العثور عليها بعد. ومع ذلك، فقد تمكن العلماء من تحديد العمر المحتمل للنظام الشمسي وحساب عمر الأرض بافتراض أن الأرض وبقية الأجسام الصلبة في النظام الشمسي تشكلت في الوقت نفسه، وبالتالي فهي من نفس العمر.





تشكلت الأرض منذ ما بين 4.5 و 4.6 مليار سنة، في الوقت نفسه الذي كانت فيه الكواكب الأخرى في النظام الشمسي تتشكل. كيف لنا أن نعرف هذا؟ من خلال قياس عمر أقدم الصخور والمعادن على الأرض، والأرض ككل، والنظام الشمسي ككل، والقمر. تتقارب كل هذه الأعمار في عمر الأرض، والنظام الشمسي، بين 4.5 و 4.6 مليار سنة. تم قياس كل هذه الأعمار من خلال تحليل النظائر الإشعاعية مثل U-Pb و Sm-Nd في عينات من الصخور والمعادن - باستثناء عمر الشمس، الذي يعتمد على نماذج نظرية لكيفية تشكل النجوم وتطورها والمستمدة من قوانين الفيزياء.

يُميز علماء الجيولوجيا اليوم نوعين من عمر الأرض:

العمر المطلق: وهو الزمن الذي مضى منذ نشوء كوكب الأرض حتى اليوم، ويحدده العلماء باستخدام الطرائق الإشعاعية. يتم قياس أعمار صخور الأرض والقمر والنيازك من خلال اضمحلال النظائر المشعة طويلة العمر للعناصر التي تحدث بشكل طبيعي في الصخور والمعادن والتي تتحلل بنصف عمر يتراوح بين 700 مليون إلى أكثر من 100 مليار سنة إلى نظائر مستقرة أخرى.

العمر النسبي: وهو مجموع الأحقاب الجيولوجية التي مرت على الكرة الأرضية أو ما يسمى بـ (التاريخ الجيولوجي للأرض) والتي أدت إلى تكون القشرة الأرضية بالشكل الذي يُرى اليوم بعد تكون كوكب الأرض، ويحدد باستخدام الطرائق التي تعتمد على التغيرات المتتالية في ظروف التعرية والترسيب التي مرت بها الأرض في تاريخها الجيولوجي، مثل: الطريقة المغناطيسية القديمة والطريقة الجيولوجية الحيوية والطريقة الجيولوجية الترسيبية. وقد أفرد العلماء اليوم لهذا الموضوع علماً خاصاً أطلق عليه علم دراسة عمر الأرض **Geochronology**.



حساب عمر الأرض عبر التاريخ

الفرس القدماء

في القرن السادس قبل الميلاد، اعتقد **زرادشت**، وهو مدرس ديني عاش في بلاد فارس (**إيران**)، أن العالم كان موجوداً منذ أكثر من **12000 عام** (Knell & Lewis, 2001).

اليونانيون والرومانيون

اعتقد **أرسطو Aristotle** (توفي في 322 ق.م) أن الأرض كانت موجودة منذ الأزل، ويعتقد الشاعر الروماني **لوكريتيوس Lucretius** (توفي في 55 ق.م) -الوريث الفكري لعلماء الذرة اليونانيين - أن تشكيلها يجب أن يكون حديثاً نسبياً، نظراً لعدم وجود سجلات تعود إلى ما بعد حرب طروادة (Braterman, 2013).

ويروي الكاتب الروماني **شيشرون Cicero** (توفي في 43 ق.م) أن كهنوت الكلدان الموقر في بابل القديمة كان يؤمن بأن الأرض خرجت من الفوضى قبل **مليون عام**، في حين اعتبر **البراهميون** القدامى في الهند الزمن والأرض أبديين.

وبعد انتشار المسيحية، كان «**المؤلفون الموثوقون**» الوحيدون هم أولئك الذين يروون قصصاً عن الخلق. ثم أصبح الكتاب **المقدس**، أو بالأحرى النصوص التي كُتبت منها، النصوص التاريخية الأولية، والمصادر الرئيسية لتفسير الزمن. يشير المؤرخون عموماً إلى **البطريرك السرياني ثيوفيلوس الأنطاكي**



Theophilus of Antioch (توفي 185م)، وربما كان أول من استخدم السجل الكتابي كمصدر لبناء التسلسل الزمني. ومع ذلك، امتد فن التسلسل الزمني إلى ما قبل العصر المسيحي بفترة طويلة، وغالباً ما اشتق مصطلح «العصور الرائعة» لمئات الآلاف من السنين لحضارات معينة (Knell, & Lewis, 2001).

دور العلماء العرب والمسلمين

يحظى علم الأحافير بأهمية خاصة في الجيولوجيا، إذ يمكن التوصل إلى عمر الصخور من خلال الأحافير الموجودة بداخلها. كما تبين الأحافير أيضاً ما إذا كانت الصخور قد تكونت تحت البحر أو على اليابسة. وقد تكونت معظم الصخور التي تحوي على أصداف بحرية تحت البحر، والتي تحوي على حيوانات أو نباتات برية على اليابسة. ويساعد التعرف على المكان الذي تكونت فيه الصخور العلماء على رسم خريطة للعالم، على النحو الذي كان عليه قبل ملايين السنين.

ظهر مصطلح علم الأحافير Paleontology واستخدم ليشمل دراسة النباتات والحيوانات الأحفورية، من قبل فيشر دي فالدهايم في عمله (Bibliographia Palaeontologica). يسمى العلم الذي يدرس الأحافير بعلم الإحاثة أو علم الأحافير أو علم المتحجّرات، وهو الدراسة العلمية للحيوانات والنباتات والكائنات الحية التي عاشت في عصور ما قبل التاريخ. وتوجد بقايا الأحافير للكائنات في الصخور الرسوبية (الصخور التي تكونت نتيجة لترسب المادة المعدنية بعيداً عن الهواء أو الثلج أو الماء). والأحافير التي نجدها اليوم



تقدير عُمر الأرض

كانت حية عندما كانت الصخور في طور التكوين، ومن ثمّ دُفنت وحفظت بسبب تراكم طبقات الصخور. وبدراسة الأحافير يصل علماء الإحاثة إلى نوع الحياة التي كانت سائدة في مختلف الحقب التاريخية للأرض.

قد لا يعلم الكثير ممن يتكلمون لغة الضاد أن أصل كلمة (الماموث) قد اشتق من الكلمة العربية البَهْمُوث Behemoth (التي تشير لكل مخلوق ضخم وهائل الحجم)، وعندما وصل التجار العرب (بين القرنين التاسع والعاشر للميلاد) إلى شمال آسيا ورأوا البقايا العملاقة لحيوان مجهول العظام والأسنان أطلقوا عليه اسم (البَهْمُوث).

أشار ابن سينا (توفي 428هـ / 1037م) في كتابه (الشفاء) إلى العمليات التي تتشكل فيها الحفريات Fossilization، قال ابن سينا: «وإن كان ما يحكى من تحجر حيوانات ونبات صحيحاً، فالسبب فيه شدة قوة معدنية محجرة تحدث في بعض البقاع الحجرية، أو تتفصل دفعة من الأرض في الزلازل والخسوف، فتحجر ما تلقاه. فإنه ليس استحالة الأجسام النباتية والحيوانية إلى الحجرية، أبعد من استحالة المياه، ولا من الممتنع في المركبات أن تغلب عليها قوة عنصر واحد يستحيل إليه». (ابن سينا، الشفاء، الطبيعيات).

تكلم أبو الريحان البيروني (توفي 440هـ / 1048م) في كتابه (تحديد نهايات الأماكن في تصحيح مسافات المساكن) عن الأسماك والنباتات المتحجرة، إذ قال: «وقد ذكر أبو العباس الإيرانشهرى (القرن 3هـ / 9م)، أنه شاهد بقلعة تعرف بـ (البيضاء)، على فرسخ من السيرجان من مدن كرمان، أصول نخيل قد كانت بها فصرد (اشتدت برودته) الموضع وذهب نخيله وجفت، ولم يكن في ذلك حوله





بعشرين فرسخاً نخيل، وزاد الأمر بياناً أنه لما علا الموضع غار حواليه قُنِيٌّ وأنهار كانت تجري من قبل. وعلى مثله ينتقل البحر إلى البرِّ والبرُّ إلى البحر، في أزمنة: إن كانت قبل كون الناس في العالم فغير معلومة، وإن كانت بعده فغير محفوظة؛ لأن الأخبار تنقطع إذا طال عليها الأمد، وبخاصة في الأشياء الكائنة جزءاً بعد جزء، وبحيث لا يفطن لها إلا الخواص. فهذه بادية العرب وقد كانت بحراً فانكبس، حتى إن آثار ذلك ظاهرة عند حفر الآبار والحياض بها، فإنها تبدي أطباقاً من تراب ورمال ورضراض، ثم يوجد فيها من الخزف والزجاج والعظام ما يمتنع أن يُحمل على دفن قاصد إياها هناك، بل يخرج منها أحجار إذا كسرت كانت مشتملة على أصداف وودع وما يسمى (آذان السمك)، إما باقية فيها على حالها، وإما بالية قد تلاشت وبقِيَ مكانها خلاءً متشكلاً بشكلها، كما يوجد مثله بباب الأبواب (مدينة درينت حالياً) على ساحل بحر الخزر (بحر قزوين) (البيروني، تحديد نهايات الأماكن).

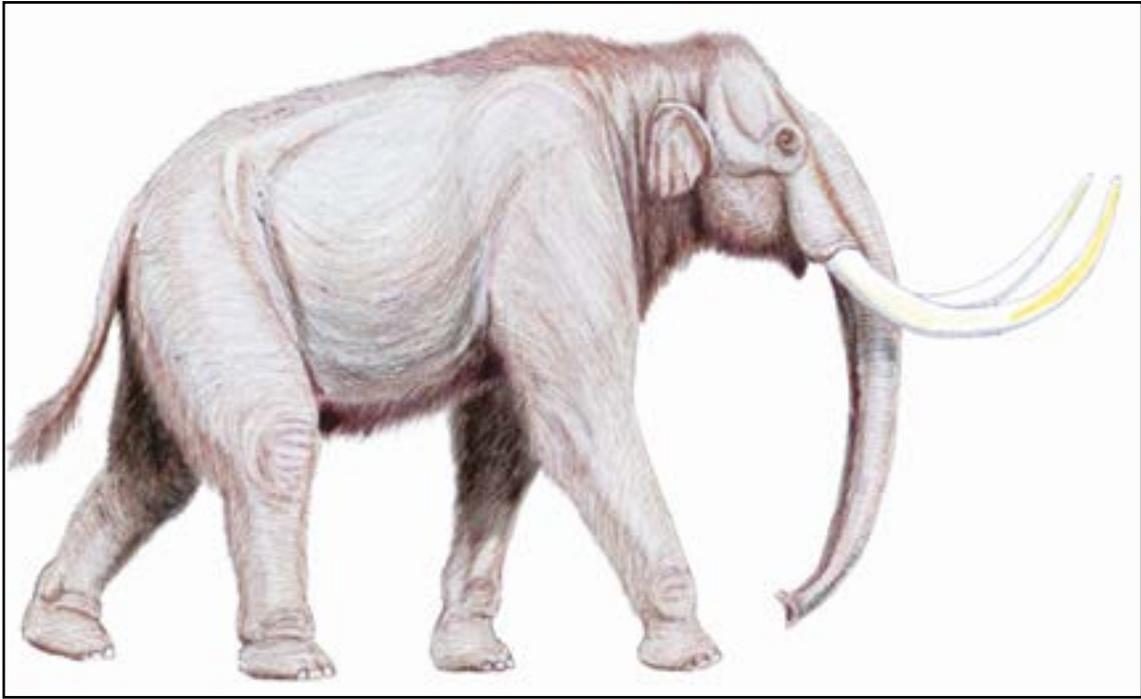


بقايا لأحفورة شجرة صنوبر في الغابة المتحجرة في المتنزه الوطني الأمريكي. وقد كانت تنتشر في السهول المغمورة بالمياه في العصر الترياسي، وهو عصر ظهور الزواحف والثدييات قبل 225 مليون سنة. هذه الحالة تشبه ما تكلم عنه أبو العباس الإيراني شهري. (يعقوب، 1995م)

لقد أشار **أبو حامد الغرناطي** لاكتشافه لعظام الماموث لدى قيامه بالترحال نحو شمال أوروبا نحو بلاد البلغار الباردة جداً التي وصلها في عام (545هـ / 1150م). (**أبو حامد الغرناطي**، تحفة الألباب ونخبة الإعجاب، مخطوطة مكتبة غوته، برلين، رقم (Ms. Orient. A 1502)، ص 118). تعدّ إشارة الجغرافي العربي **أبو حامد الغرناطي** لعظام فيل الماموث منذ القرن (6هـ / 13م) إسهاماً علمياً مهماً في تاريخ علم الأحافير والتاريخ الطبيعي، إذ حاول تفسير وجودها ونسبتها إلى مخلوق مجهول الهوية، في حين كان يسود في أوروبا - في الوقت نفسه - نمط من التفكير الغيبي؛ فقد كانوا ينظرون إلى هذه الأحافير على أنها مخلوقات



تعرضت لغضب الله فمسخها حجراً، أو أنها بقايا الكائنات الحية التي تعرضت لطوفان نوح عليه السلام. وقد يفسر لنا هذا سبب تأخر دراسة عظام الماموث علمياً عند الأوربيين حتى القرن الثامن عشر للميلاد، في عام 1722م، حيث جرى تصنيفه وتحديد نوعه.



قد يكون نوع عظام الماموث التي عثر عليها الغرناطي تعود لماموث السهوب Steppe Mammoth المنقرض. فقد انتشر هذا النوع كثيراً في معظم شمال أوراسيا خلال البليستوسين الأوسط، منذ 370,000-600,000 سنة مضت، من المحتمل أن يكون ظهر في سيبيريا خلال البليستوسين المبكر من الماموث الجنوبي، كان واحداً من أكبر أنواع رتبة الخرطوميات وقد يكون الأكبر.
(https://en.wikipedia.org/wiki/Steppe_mammoth)

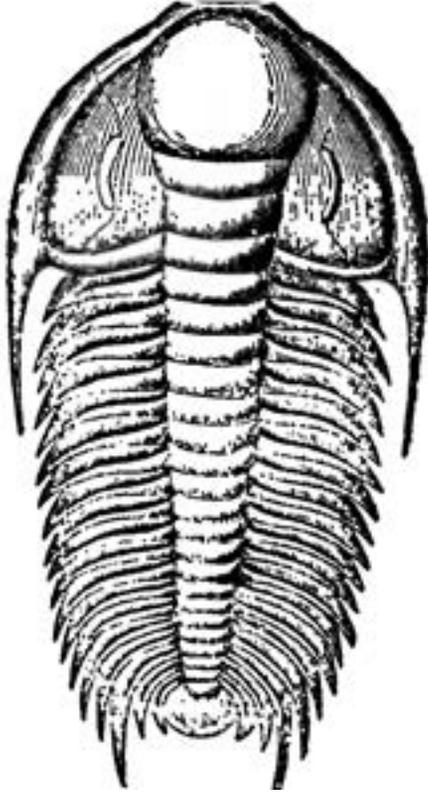


تناول **زكريا بن محمد بن محمود القزويني (توفي 682هـ / 1283م)** في كتابه (عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات) العلاقة بين الأحافير والتتابع الطبقي والتزامن فيما بينها. قال **القزويني**: «وأما صيرورة الجبال سهولاً، فإن الجبال من شدة إشراق الشمس والقمر وسائر الكواكب عليها بطول الزمان تنشف رطوبتها وتزداد يبساً وجفافاً وتتكسر خاصةً عند الصواعق فتصير أحجاراً وصخوراً ورمالاً، ثم إن السهول يحملها إلى بطون الأنهار والأودية ثم تحملها بشدة جريانها إلى البحار فتتبسط في قعرها ساقاً بعد ساق بطول الزمان، ويتلبد بعضها فوق بعض فيحصل في البحار جبال وتلال كما يتلبد من هبوب الرياح دعاص الرمل في البرد، ولذلك قد يوجد في جوف الأحجار إذا كسرت صدفة أو عظم، وذلك بسبب اختلاط طين هذا الموضع بالصدف والعظم وقد يصير البحر يبساً واليبس جحراً».

أشار **ابن فضل الله العمري (توفي 749هـ / 1349م)** إلى انتشار الأحافير وكيفية تشكلها: «وكذلك قد يوجد في أجواف الأحجار إذا كسرت، أنواع من الأصداف والعظام، وذلك بسبب اختلاط طين هذا الموضع بالصدف والعظم؛ وأيضاً فقد يوجد بعض الجبال ذو أطباق، بعضها فوق بعض، وسبب ذلك وصول السيول إليه بالطين مرة، فإن ماء السيول إذا انتقل من موضع إلى موضع يحمل طين الموضع الذي مرّ عليه، فتصير كل طبقة من ذلك بمرور الزمان حجراً بالسبب الذي قلنا، ولا تزال السيول تأخذ من الجبال وتحط حتى ترتفع من البحر الوهاد وتتخفف في البر الجبال والله أعلم بالحقائق»
(العمري، مسالك الأبصار، 2010م).



المستحاثات العملاقة عريضات الأجنحة
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Eurypterid>)



مفصلي ثلاثي الفصوص Trilobite؛ الفترة الكامبرية. هي مجموعة من المفصليات البحرية المنقرضة التي تشكل فئة Trilobita. تشكل ثلاثية الفصوص واحدة من أقدم مجموعات المفصليات المعروفة. يُحدِّد الظهور الأول لثلاثيات الفصوص في السجل الأحفوري قاعدة المرحلة الأتبانانية من العصر الكمبري المبكر (قبل 521 مليون سنة)، وازدهرت في جميع أنحاء العصر الباليوزوي السفلي قبل الانزلاق إلى تدهور طويل، عندما كانت جميعها ثلاثية الفصوص، خلال العصر الديفوني. أوامر باستثناء البرويتيات Proetida ماتت. اختفت آخر ثلاثيات الفصوص أخيرًا في الانقراض الجماعي في نهاية العصر البرمي منذ حوالي 252 مليون سنة. كانت ثلاثية الفصوص من بين أكثر الحيوانات الأولى نجاحًا، حيث كانت موجودة في المحيطات لما يقرب من 270 مليون سنة، مع أكثر من 20000 نوع تم وصفها.

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Trilobite>)



نجد في العديد من النصوص العربية الإسلامية الدينية المبكرة إشارات إلى تقدير الحياة على الأرض، فقد ورد في كتاب (أخبار الزمان) لمؤلفه **علي بن الحسين بن علي المسعودي (توفي 346هـ / 957م)** أورد ما قاله أهل الأثر من أن «عمر الزمان إلى **آدم** عليه السلام سبعة آلاف منه، ورواية **محمد بن جرير الطبري** على ما قدمناه ذكره أنه من آدم إلى انقضاء الخلق سبعة آلاف» (المسعودي، أخبار الزمان).

وقد أشار **أبو الريحان البيروني (توفي 440هـ / 1048م)** إلى إمكانية تحديد عمر الأرض من خلال التغيرات الجيولوجية التي تلحق بالصخور على مرّ العصور، وقد شعر بأن المعلومات التي بين يديه ليست كافية لتحديد هذا العمر بدقة، حيث قال: «ولا نعلم من أحوالها إلا ما يُشاهد من الآثار التي تحتاج إلى حصولها إلى مدد طويلة وإن تناهت في الطرفين، كالجبال الشامخة المترتبة من الرضراض (الحصى الصغار) الملس، المختلفة الألوان، المؤتلفة بالطين والرمل المتحجرين عليها. فإنّ من تأمل الأمر من وجهه وأتاه بابه علم أن الرضراض والحصى هي حجارة تتكسر من الجبال بالانصداع والانصدام، ثم يكثر عليها جري الماء وهبوب الرياح، ويدوم احتكاكها فتبلى ويأخذ البلى فيها من جهة زواياها وحروفها حتى يذهب بها فيدملكها (يملّسها ويدورّها)، وأنّ الفتات التي تتميز عنها هي الرمال ثم التراب، وأنّ ذلك الرضراض لما اجتمع في مسائل الأودية حتى انكبست بها، وتخللها الرمال والتراب فانعجنت بها واندفت فيها وعلتها السيول، فصارت في القرار والعمق بعد إن كانت من وجه الأرض فوق تحجرت بالبرد؛ لأنّ تحجر أكثر الجبال في الأعماق بالبرد، ولذلك تذوب الأحجار بتسليط النار .. وإنّ وجدنا جبلاً متجبلاً من هذه الحجارات



تقدير عُمر الأرض

المُلس - وما أكثره فيما بينها - علمنا أنّ تكوّنه على ما وصفناه، وأنه تردد سافلاً مرة وعالياً أخرى. وكل تلك الأحوال بالضرورة ذوات أزمان مديدة غير مضبوطة الكمية، وتحت تغاير غير معلومة الكيفية» (الفندي، وأحمد، 1968م).

في الواقع يشير نص **البيروني** السابق إلى قانون (الوتيرة الواحدة أو وحدة التتاسق Doctrine of Uniformitarianism) قبل أن يشير إليه **جيمس هوتون** J. Hutton (توفي 1797م)؛ لأنه يرى أنّ ظروف تشكل الصخور متشابهة، وبالتالي يمكننا استنتاج عمر التكوينات القديمة من خلال مراقبة الزمن اللازم لتشكل طبقات حديثة (ضاي، 1994م).

وفي رسالة متأخرة خصصها الشيخ **جلال الدين** التي تحمل عنوان: (رسالة في بيان عمر الدنيا) والمكتوبة باللغة التركية، نجده يحاول أن يورد كل الأحاديث الموثوقة المتعلقة بتحديد عمر الأرض منذ أن خلقت إلى أن تفنى 7000 سنة (جلال الدين، مخطوطة محفوظة في قونيا، المكتبة الإقليمية برقم (6172)، ص 275-279). ويبدو أن الشيخ **جلال الدين** اعتمد ما سبق وذكره **المسعودي**.

الأوروبيون والأمريكيون

في ستينيات القرن السادس عشر، صاغ **نيكولاس ستينو** N. Steno (توفي 1686م) مفاهيمنا الحديثة لترسب الطبقات الأفقية، لقد استنتج أنه عندما لا تكون الطبقات أفقية، يجب أن تكون مائلةً منذ ترسبها ولاحظ أن الطبقات المختلفة تحوي على أنواع مختلفة من الأحافير. اقترح **روبرت هوك** R. Hooke (توفي 1703م)، بعد





فترة ليست بالطويلة، بأن سجل الحفريات سيشكل أساساً لتسلسل زمني من شأنه أن «يعود إلى ما قبل .. حتى الأهرامات ذاتها» (Braterman, 2013).

وبحسب الباحث الفرنسي **هوبير كريفين** H. Krivine فقد اقترح 17 عمر للأرض بين سنتي 1860م و1909م، التي تتراوح قيمها بين 3526 سنة و1526 ملايين من السنين. ناهيك عن الأعمار التي جرى اقتراحها منذ القرن 17م. والتي قد تبدأ من الفلكي **يوهانس كيبلر** J. Kepler (توفي 1630م) الذي قدر عمر الأرض بـ (3993 سنة قبل الميلاد)، ثم لدينا تقدير رئيس أساقفة الأنكليكان في أيرلندا **جيمس أوشر** J. Ussher (توفي 1656م) وهو مؤقت الكتاب المقدس الذي يُستشهد به كثيراً، وقد اقترح عام 1654م أن عمر الأرض يجب أن يكون 4004 سنة قبل الميلاد، معتمداً في ذلك على أعمار البطاركة والشخصيات التوراتية (رونن، 1990م)، ابتداءً من **المسيح** عودة إلى **آدم**، وقد حدد أن لحظة الخلق حدثت الساعة 9 صباحاً بتوقيت ما بين **النهرين** يوم 26 أكتوبر، عام 4004 ق.م، حسب التقويم اليولياني، وهو كما نلاحظ مبني على الخيال أكثر منه على قاعدة علمية سواء في الحساب أو الرصد والمشاهدة (**جريبين**، 2008م). وقد نُشر هذا الرقم في نسخ الكتاب المقدس الإنجليزية التي سُمح بقراءتها حتى بداية القرن العشرين الميلادي.

لقد طرح الفرنسي **جورج لكليرك**، أو الكونت **دي بوفون** Comte de Buffon (توفي 1788م) فقد فكرةً شاملةً تربط بين عمر الأرض والنماذج الكونية التي قدمها كلٌّ من **إيمانويل كانط** I. Kant (توفي 1804م) و**ببير سيمون لابلاس** P. S. Laplace (توفي 1827م) حول تشكل الأرض والشمس وغيرها من أجرام المجموعة الشمسية، وقد كان **بوفون** مقتنعاً أن الأرض كانت عبارةً عن



تقدير عُمر الأرض

كتلة منصهرة وحرارة بشكل كبير، ثم أخذت بالتبريد بشكل تدريجي سمح بظهور التضاريس الأرضية، وهنا حاول **بوفون** أن يضع مقياساً زمنياً لهذه المراحل، فقد اعتقد أن التبريد الأولي امتد لفترة زمنية مقدارها **3000 سنة**، أما فترة تكون الفجوات والمنخفضات فقد استغرقت عشرة أضعاف هذا الوقت، بعد ذلك استغرق تبريد المحيط الأولي وتكوين الرواسب الطينية وظهور الحياة البدائية في البحر نحو **25000 سنة**. يضاف إلى ذلك فترة **10000 سنة** فترة تصريف جزء من ماء المحيط وظهور النباتات، وفترة انفصال القارات الذي استغرق **5000 سنة**، وظهور الإنسان **5000 سنة**، فيصبح المجموع **78 ألف سنة** (رونن، 1990م).

بتأثر من كتاب الفيزيائي البريطاني **إسحق نيوتن** I. Newton (توفي 1727م) (المبادئ) الذي أشار إلى أن كرة حديد بحجم كوكب الأرض قد تستغرق 50 ألف سنة حتى تبرد، قام **بوفون** بإجراء تجارب على كرات من الحديد ومواد أخرى بأحجام مختلفة، ورُصد الزمن الذي تستغرقه كل منها حتى تبرد من درجة التوهج. وهذا ما جعله يقترح أن عمر الأرض **78 ألف سنة**. ويبدو أن هذه القيمة لم تعجب الفيزيائي الفرنسي **جان فوربييه** J. Fourier (توفي 1830م) الذي انتقل إلى مستوى آخر في حساب قيمة عمر الأرض، فقد حاول **فوربييه** تطوير المعادلات الرياضية والقوانين المتعلقة بتوصيف معدل تشتت الحرارة من جسم ما، واستخدم هذه المعادلات لحساب الزمن الذي يمكن أن تكون فيه الأرض قد استغرقت حتى تبرد. وفي عام **1820م** كتب **فوربييه** معادلة عمر الأرض تعتمد على هذه الفكرة، وقد استنتج أن عمر الأرض **100 مليون سنة** (جريبين، 2008م).





بحلول الوقت الذي نُشر فيه كتاب (المبادئ) الذي حظي بترحيب كبير وشعبية لـ **تشارلز لايل** Ch. Lyell (توفي 1875م) في ثلاثينيات القرن التاسع عشر، اختفت إلى حد كبير النظرية النبتونية Neptunism [النظرية الخاطئة التي تقول إنَّ الصخور مثل الغرانيت تشكلت عن طريق التبلور من مياه المحيط البدائي، وقد كان المدافع الرئيس عن هذه النظرية هو **أبراهام جوتلوب ويرنر** A. G. Werner (توفي 1817م)] بصفتها نظرية جيولوجية قابلة للتطبيق. ومع ذلك، بعد ذلك بوقت قصير، نشأ جدل جديد قوي بين الفيزيائي الشهير وعالم الرياضيات **اللورد كلفن** (وليام طومسون) وأتباع **لايل**، بمن فيهم **تشارلز داروين**.

اعتقد هؤلاء الجيولوجيون وعلماء الأحياء البارزون، كما فعل **جيمس هوتون**، أن العمليات الجارية اليوم يمكن أن تفسر تطور الأرض دون التسبب في أحداث أكثر كثافة أو كارثية - طالما كان هناك وقت كاف. وقد اتهم العديد من أتباع **هوتون** بالاعتراف بوقت غير محدود جزئياً بناءً على الجملة الأخيرة من ورقته البحثية عام 1788م حيث قال: «لا توجد بقايا بداية ولا أمل في النهاية».

أما في مقالته (حول التبريد العالمي للأرض) عام 1864م، استخدم **كلفن** قوانين الفرنسي **جوزيف فورييه** J. Fourier (توفي 1830م) للتوصل إلى الحساب أن عمر الأرض يتراوح بين 20 مليون و 400 مليون سنة؛ كان النطاق العمري الكبير بسبب نقص المعلومات حول الخصائص الحرارية للصخور في أعماق الأرض في ذلك الوقت. كان **كلفن** قد قام في وقت سابق بحساب عمر الشمس، بافتراض (غير صحيح) أن طاقتها جاءت من تراكم الجاذبية، ووصلت إلى عمر نحو 20 مليون سنة. في حين أن طاقة الشمس تأتي من الاندماج النووي، ولكن لم يتعرّف على ذلك حتى ثلاثينيات القرن العشرين.



كان الاتفاق بين عمر **كلفن** للشمس والأرض (بالنسبة للفئة العمرية الأدنى) محض صدفة، لكنه أنتج أحد أكثر الخلافات العلمية سخونة في القرن التاسع عشر. استند تقدير **كلفن** لعمر الأرض (والشمس معها) إلى رياضيات أنيقة وقدمها أكثر علماء **الفيزياء** موثوقية في عصره، وكان له تأثير عميق على الجيولوجيا. عندها كان لدى الجيولوجيين مشكلتان كبيرتان، عدم وجود وقت كافٍ لحساب السجل الرسوبي، وأن عقيدة لايل في الوتيرة الواحدة Uniformitarian تناقض القانون الثاني للديناميكا الحرارية (O'Hara, 2018).

كان خلاف **كلفن** مع مدرسة **لايل** عن الوتيرة الواحدة في النصف الأخير من القرن التاسع عشر حول كيفية تعارض القانون الثاني للديناميكا الحرارية مع الوتيرة الواحدة للعمليات الجيولوجية كما كان حول عمر الأرض.

يشير الجزء الأول من ورقة **كلفن لعام 1864م** إلى أن حلول **فورييه** «الجميلة» لقوانين تدفق الحرارة أظهرت أن الحرارة تتبدد وتصبح درجات الحرارة موحدة مع مرور الوقت. من بين بيانات القانون الثاني للديناميكا الحرارية، وفقاً للعالم الفرنسي **رودولف كلوسسيوس R. Clausius (توفي 1888م)**، أن الحرارة تتدفق من الأجسام الساخنة إلى الباردة.

بناءً على هذا البيان، يجب أن تفقد الأرض الحرارة؛ لأن درجة الحرارة في الأرض تزداد مع العمق؛ وبالتالي، يجب أن يكون تدفق الحرارة إلى الخارج في الفضاء، بافتراض عدم وجود مصدر حرارة داخلي كيميائي، وهو ما اعتقد **كلفن** أنه غير محتمل؛ لذلك يجب أن يكون النشاط الجوفي والبركاني في الماضي أكثر نشاطاً بدلاً من أن يكون موحداً طوال الوقت. في ورقة عام 1864م، أخذ **كلفن تشارلز لايل** مهمة لشرح الحرارة الجوفية والعمل الجوفي بواسطة فرضية



كيميائية: «عندما تتحد المواد معاً، يمكن فصلها كهربائياً مرة أخرى بواسطة التيارات الحرارية الكيميائية بسبب الحرارة الناتجة عن توليفها، وبالتالي يستمر العمل الكيميائي وحرارتها في دورة لا نهاية لها، ينتهك مبادئ الفلسفة الطبيعية».

علاوة على ذلك، يتمتع **كلفن** ببعض المرح على حساب **ليل** بالقول إن هذا هو نفس الطريقة التي «يمكن للساعة المصممة بحركة ذاتية الملاء أن تحقق توقعات مخترعها العبقري من خلال الاستمرار إلى الأبد». بعبارة أخرى، هناك لا يوجد شيء مثل آلة الحركة الدائمة الميكانيكية أو الكهربائية.

بعد ثلاثة وثلاثين عاماً، كرر **كلفن** هذا النقد نفسه حرفياً في ورقته الثانية عام 1897م عن عمر الأرض، مشيراً إلى أنه، في رأيه، لم يتغير الكثير بين الجيولوجيين. صاغ **كلفن** بيانه الخاص بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية (يعادل ذلك الذي وضعه **كلوسيوس**)، أي: لا يمكن امتصاص الحرارة من الخزان الساخن وتحويله بالكامل إلى العمل دون فقدان بعض الحرارة إلى خزان أكثر برودة (البيئة على سبيل المثال).

يوضح بيان القانون هذا أن آلات الحركة الدائمة مستحيلة لأن بعضاً من الطاقة يضيع دائماً. على الرغم من أن القانون الأول للديناميكا الحرارية ينص على أن الحرارة والعمل متكافئان ويمكن تحويلهما من أحدهما إلى الآخر، فإن القانون الثاني يفرض تحذيراً أو قيداً على القانون الأول الذي يحد من تحويل الحرارة إلى العمل. هذا النشاط الإشعاعي (مع أنه لم يكتشف بعد في وقت



تقدير عُمر الأرض

طرح هذه الحجج) قدم مصدراً داخلياً للحرارة للأرض لا يبطل القانون الثاني، لكنه يغير التحليل الكمي بشكل كبير (O'Hara, 2018).

لكن لم يستفسر كل مراقبي الجيولوجيا عن الزمن. كثير من الجيولوجيين - أمثال **وليم سميث W. Smith (توفي 1839م)** - يكسبون لقمة عيشهم ببساطة من معرفتهم العملية به، مع أن ابن أخيه، **جون فيليبس J. Phillips (توفي 1847م)**، كان من أوائل الجيولوجيين الذين حاولوا تحديد عمر رقمي للأرض من معدلات ترسب الرواسب. لأكثر من خمسين عاماً، سادت الاختلافات في هذه الطريقة كأداة الجيولوجيا الرئيسية لتأريخ الأرض، بينما قيد الفيزيائيون المتطلبات لمقياس زمني طويل بتقديرات أكثر صرامة وانحداراً عن الشمس والأرض الباردة (Knell, & Lewis, 2001).





كلفن وعمر الأرض

في حين أشار الجزء الأول من ورقة **كلفن** المهمة لعام 1864م إلى تناقض وجهة النظر عن الوتيرة الواحدة مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية، ركز الجزء الثاني على حل **فورييه** لمعادلة التدفق الحراري لحساب عمر الأرض. وفقاً لنظرية **غوتفريد فيلهلم لايبنيز G. W. Leibniz (توفي 1716م)** السابقة بأن الأرض كانت في البداية عبارة عن كرة متوهجة ساخنة جرى تبريدها لتشكيل قشرة بلورية، قام **كلفن** بحساب الوقت اللازم لقشرة الأرض للوصول إلى التدرج الحراري الأرضي الحالي. عندما تبرد الأرض، سينخفض التدرج الحراري الأرضي تدريجياً للوصول إلى قيمته الحالية؛ قدّر **كلفن** الوقت اللازم لحدوث ذلك، بافتراض عدم وجود مصدر حرارة داخلي.

احتاج **كلفن** إلى ثلاثة مقادير لحسابها: درجة الحرارة الأولية للأرض. الموصلية الحرارية والسعة الحرارية للصخور، وكيف يمكن أن تختلف كدالة للعمق؛ والتدرج الحراري الأرضي. بالنسبة للتدرج الحراري الأرضي، اختار 1 درجة فهرنهايت لكل 50 قدماً (نحو 35 درجة مئوية / كم) بناءً على قياسات القشرة القارية (هذا الرقم لا ينطبق على قشرة المحيط، التي لم يكن معروفاً عنها إلا القليل في ذلك الوقت).

لقد أجرى قياساته الخاصة في وقت سابق على التوصيل الحراري للصخور واستخدم متوسط القيمة 400 قدم مربع / سنة (1.2 × 10⁻⁶ متر مربع / ثانية) والذي لا يزال يستخدمه الباحثون الحديثون للصخور المتوسطة. كان تقديره لدرجة الحرارة الأولية للأرض 7000 درجة فهرنهايت (3870 درجة مئوية)،



تقدير عُمر الأرض

وقد كانت مرتفعة جداً. أدى النطاق الكبير المحتمل في هذه المتغيرات إلى اتخاذ كلفن نهجاً متحفظاً، وخلص في النهاية إلى أن الأرض كانت في نطاق واسع يتراوح من 20 مليون إلى 400 مليون سنة.

كما لوحظ بالفعل، تزامن الحد الأدنى أيضاً مع تقديره السابق لعمر الشمس. من الواضح أن الأرض لا يمكن أن تكون أقدم من الشمس، لذلك وضع هذا الحد الأقصى للعمر 20 مليون سنة على الأرض. في كتابه أصل الأنواع (1859)، قدر **داروين** أن تعرية التكوينات في جنوب إنجلترا تطلب 300 مليون سنة، لكنه أزال هذا الحساب لاحقاً من طبعته الثانية. وضع عمل كلفن كلاً من الجيولوجيين وعلماء الأحياء في مأزق حيث احتاج **داروين** أيضاً إلى الكثير من الوقت لنظريته الخاصة عن الانتقاء الطبيعي.

أجري تقدير ثانٍ لعمر الأرض بوساطة عالم جيولوجي أمريكي، لقد تأسست هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية في عام 1878م، وكان أول مدير لها هو **كلارنس كينغ C. King (توفي 1901م)**، الذي كانت فترة عمله في هيئة المسح الجيولوجي قصيرة لأن العمل الإداري لم يكن يرضيه. ترك المسح بعد ثلاث سنوات في عام 1881م واتجه إلى مشاريع التعدين والأعمال الاستشارية. ومع ذلك، كان جيولوجياً يحظى باحترام كبير وانتُخب في الأكاديمية الوطنية للعلوم في عام 1876م. وأثناء عمله في المسح، أنشأ مختبر جيوفيزيائي لإجراء قياسات الضغط ودرجة الحرارة على عينات الصخور.

يبدو أن **كينغ** كان لديه خطة محددة تماماً، فقد كان مهتماً بتقييد النطاق العمري الواسع الذي اقترحه **كلفن** للأرض في ورقته البحثية عام 1864م، لكن





كينغ كان يعلم أنه يحتاج إلى بيانات إضافية حول سلوك الصخور المصهورة في أعماق الأرض لإحراز مزيد من التقدم. وظف **كينغ** خريج دكتوراه حديث العهد هو **كارل باروس C. Barus (توفي 1935م)**، لإجراء تجارب الصخور، واتفقا على أن ينشر **باروس** النتائج بشكل مستقل بينما سيفسر **كينغ** الأهمية الجيولوجية للبيانات.

نشر **باروس** بيانات عن خصائص انصهار **الدياباز Diabase**، وهي صخرة ذات تكوين بازلتي، يُعتقد أنها تمثل باطن الأرض في ذلك الوقت. أنهى إحدى مساهماته في البيانات المنشورة بالتعليق التالي: «إن التأثير الفوري لكل هذا على الفرضية الجيولوجية للسيد **كلارنس كينغ** قد حان حالياً للإعلان عنه».

لقد تابع **كينغ** بالفعل بورقة بعنوان (عمر الأرض)، مستخدماً بيانات **باروس** الجديدة في عام **1893م**. وكانت نقطة انطلاقه في الورقة هي استنتاج **كلفن**، وآخرون قبله، أن الأرض تتمتع بصلاية عالية مثل الفولاذ، وبالتالي منع وجود كمية كبيرة من السائل في العمق. استخدم بيانات **باروس** حول سلوك انصهار صخر **الدياباز**، الذي تبلغ درجة حرارة انصهاره **1200 درجة مئوية** على السطح ولكنه يرتفع إلى نحو **4000 درجة مئوية** في العمق، وفقاً لحسابات **باروس**.

أظهر **كينغ** أن منحنى التبريد **لكلفن** لمدة **100 مليون عام** يقع على الجانب السائل من منحنى انصهار **الدياباز**، الذي كان غير متسق مع الأرض شديدة الصلاية. وخلص إلى أن **24 مليون سنة** هو الحد الأقصى لعمر الأرض منذ أن وقع هذا المنحنى على الجانب الصلب لمنحنى انصهار **الدياباز**. وافق **كلفن**، في ورقته البحثية الثانية عن عمر الأرض، مع حسابات **كينغ**، وخلص **كلفن** إلى القول: «لا أختلف كثيراً عن تقديره **[كينغ]** البالغ **24 مليون سنة** سيكون من



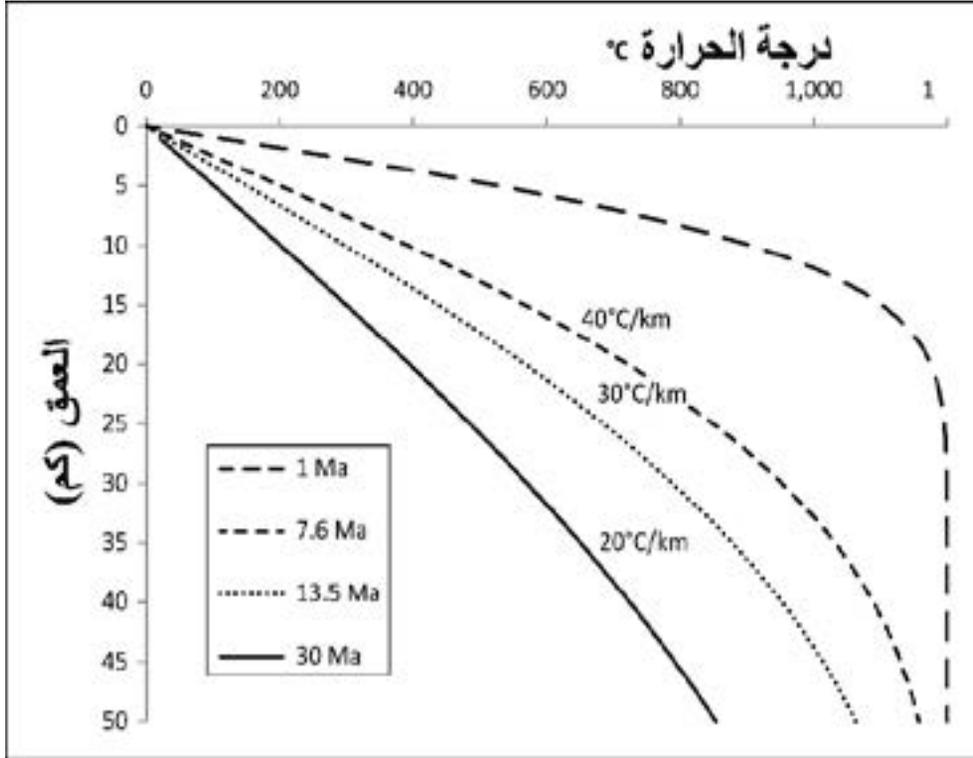
تقدير عُمر الأرض

غير المستحسن نشر أي تقدير أقرب». بدلاً من أن يكون النطاق من 20 مليون إلى 400 مليون سنة كما في ورقة 1864م، كان الحد الأقصى للعمر حالياً في الطرف الأدنى من هذا النطاق.

كتوضيح لبعض جوانب نماذج **كلفن (1864) وكينغ (1893)**، بناءً على حل **فوربييه**، يوضح الشكل ادناه منحنيات تبريد مختلفة لمادة صلبة شبه لا نهائية بدرجة حرارة أولية تبلغ 1200 درجة مئوية (يستخدمها كينغ) و سطح درجة حرارة 0 درجة مئوية. المتغيرات الأخرى هي نفسها التي استخدمها كلفن.

تقابل منحنيات التبريد عند 30 مليون و 13.5 مليون و 7.6 مليون سنة تدرجات حرارة أرضية قريبة من السطح تبلغ 20 و 30 و 40 درجة مئوية / كم، على التوالي. تتوافق التدرجات الحرارية الجوفية بين 20 درجة مئوية / كم و 40 درجة مئوية / كم مع أعمار الأرض من 7.6 إلى 30 مليون سنة، وهو ما يتوافق مع تقدير **كلفن وكينغ** المتوسط لنحو 24 مليون سنة (O'Hara, 2018).





منحنيات تبريد للأرض بدون مصدر حرارة داخلي يعتمد على تبريد مادة صلبة شبه لانهاية مبدئياً عند درجة حرارة سطح تبلغ 1200 درجة مئوية و 0 درجة مئوية.

توضح هذه المنحنيات الحسابات التي أجراها **كلفن وكينغ** في تقديراتهما لعمر الأرض. ينخفض التدرج الحراري الأرضي إلى 40 و 30 و 20 درجة مئوية/كم بعد 7.3 مليون و 13.5 مليون و 30 مليون سنة من التبريد. وضع الأخير مرتين بين قوسين تقدير **كلفن وكينغ** بـ 24 مليون سنة. وقد أدى اكتشاف النشاط الإشعاعي إلى إبطال هذه النماذج ووفر للجيولوجيين أعماراً أطول لحساب التراكومات الرسوبية (O'Hara, 2018).



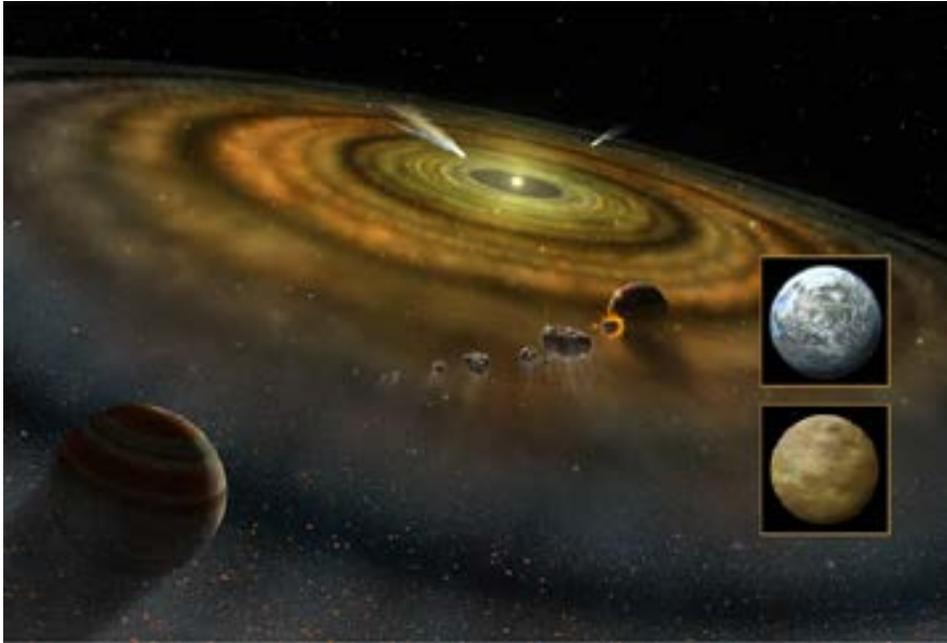
عمر الشمس

الفرضية السديمية Nebular Hypothesis تنص على أن النظام الشمسي الحالي بالأصل كان مشغولاً بسديم واسع، وكتلة بخار ساخن بشدة، أو من الممكن سحب نيزكية، تمتد ما بعد مدار الكوكب الأقصى. حين تبرد السديم بالإشعاع، مثل تلك لدى كوكب زحل، لكن بدون نطاق أكبر بشكل واسع. حافظت الحلقات على الدوران المتقل بفعل السديم وجميعها يكمن تقريباً في نفس الكوكب. انكماش غير متساو في مختلف أجزاء كل حلقة تدور سببت له التفكك ويتجمع بالجذب المتبادل في كتل. لو كانت هذه الحلقات مركبة من كتل صلبة صغيرة نسبياً، مثل النيازك، أو إذا لو قد تصلبت بتكثف الأبخرة، فإن الحرارة المتولدة بالاصطدام، مثل الحلقة المنكسرة كانت مجتمعة في كتلة، لكانت كافية بإبراز درجة حرارة والتميع أو تبخير الكتلة. بدوران الكتل السديمية يفترض شكل شبه كروي وتصبح كواكب سياراً. الكتلة المركزية ذات الأصل السديمي تشكل الشمس، التي تظل بحالة متوهجة وساخنة بشدة.

شكل آخر من الفرضية السديمية يدعى (الفرضية الكوكبية) Planetesimal Hypothesis والتي اقترحها الجيولوجي **توماس شرودر تشامبرلين Th. Ch. Chamberlin** (توفي في 1929م). وفق هذه الفرضية، فإن بداية النظام الشمسي هو سديم مكاني، «وأن مادة هذا السديم الحالي كانت في حالة صلبة أو سائلة قبل أن تتجمع .. تعتبر عقد السديم كنوى لكواكب مستقبلية والسدم مادة مضافة إلى هذه النوى حتى تشكل الكواكب. إنها تفترض أن كل من عقد وجسيمات السديم الغائمة تحركت حول الكتلة المركزية في مدارات بيضوية كبيرة لكن ليس مختلفة المركز بشكل مفرط .. إنها تستجج نمواً بطيئاً للأرض، مع ارتفاع بدرجة الحرارة الداخلية تزايدت الأجزاء المركزية وزحفت نحو الخارج».



من وجهة نظر جيولوجية بحثة فإن الاختلاف الأكثر أهمية بين الفرضيتين السديمية والكوكبية هي أنه وطبقاً إلى الأولى، مرت الأرض بمرحلة غازية منصهرة ولهذا لا بد وأن تشكلت القشرة بالتصلب، بينما الثانية تؤدي إلى الاستنتاج بأن الأرض كانت صلبة من بداية تشكلها، وبالنتيجة لم تتشكل أبداً القشرة من التصلب.



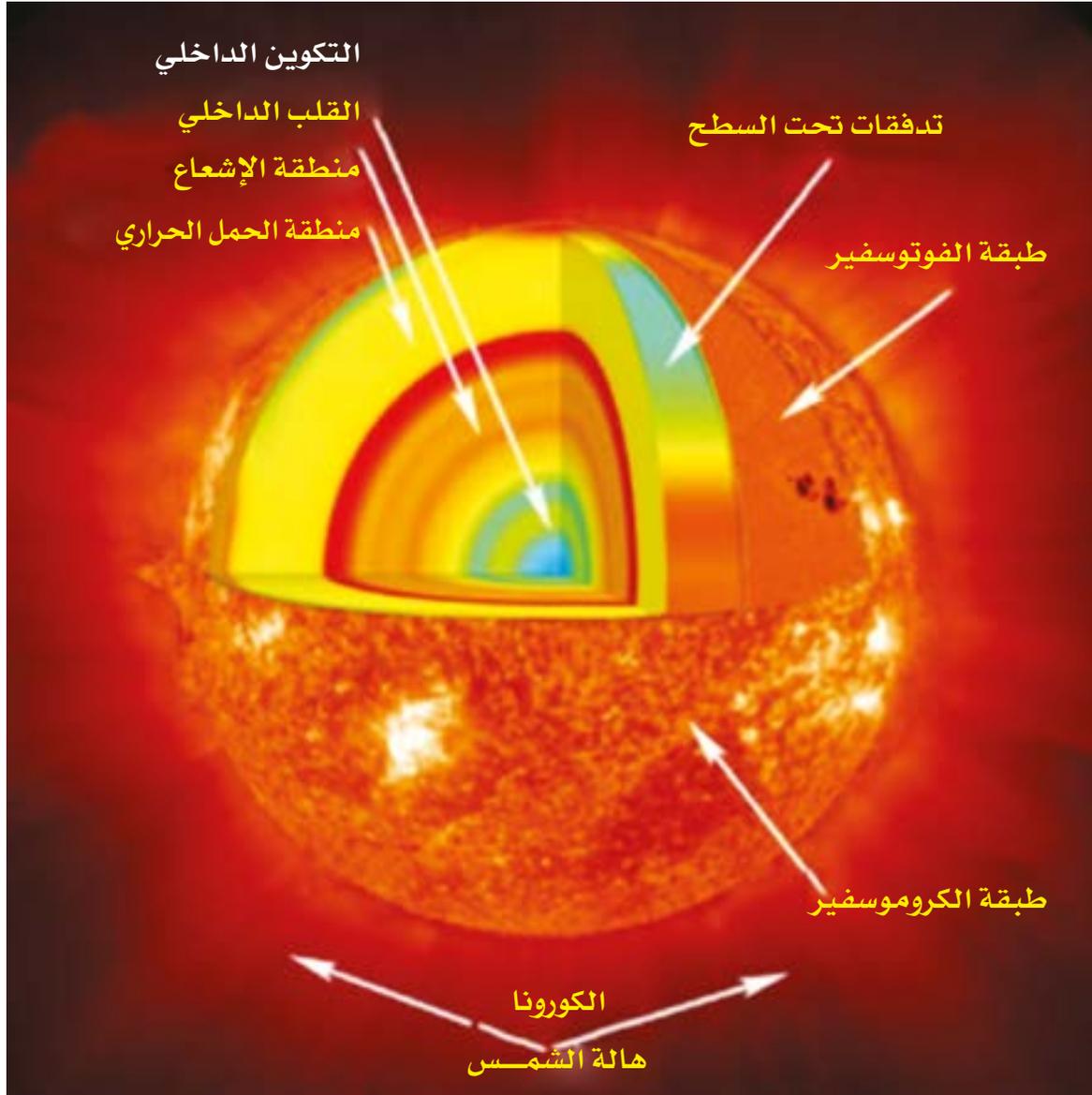
تعدّ الفرضية السديمية النموذج الأكثر قبولاً في مجال نشأة الكون لشرح تكوين وتطور النظام الشمسي (بالإضافة إلى أنظمة الكواكب الأخرى). يقترح أن النظام الشمسي يتكون من غاز وغبار يدور حول الشمس. وقد جرى تطوير النظرية من قبل **إيمانويل كانط** (توفي 1804م) و I. Kant ونشرت في كتابه (التاريخ الطبيعي العالمي ونظرية السماء) عام 1755م، ثم جرى تعديلها في عام 1796م من قبل **بيير لابلاس**. يُعتقد حالياً أن عملية تكوين نظام الكواكب، التي طبقت في الأصل على النظام الشمسي، تعمل في جميع أنحاء الكون. البديل الحديث المقبول على نطاق واسع للنظرية السديمية هو نموذج القرص السديمي الشمسي (SNDM). (https://en.wikipedia.org/wiki/Nebular_hypothesis).



تقدير عُمر الأرض

العمر النظري للشمس. النجوم - إلى حد ما - أقل تعقيداً بكثير من الكواكب مثل الأرض، لأن الأرض مصنوعة من المواد الصلبة والسوائل والغازات، في حين أن الشمس هي في الأساس مجرد كرة كبيرة من الغاز. هذا يجعل من الممكن لعلماء الفيزياء الفلكية كتابة نماذج رياضية، استناداً إلى قوانين الفيزياء، التي تكرر كيف تتشكل النجوم مثل الشمس وتتطور، وفي النهاية تواجه مصيرها الطبيعي إما كمستعر أعظم أو قزم أبيض، اعتماداً على حجمه. النجم. وفقاً لهذه الحسابات، فإن الشمس ليست نجماً كبيراً بما يكفي لتنفجر كمستعر أعظم بمجرد احتراقها؛ بدلاً من ذلك، سوف يتخلص من أجزائه الخارجية ويترك وراءه نجماً قزماً أبيض كثيفاً وساخنًا لم يعد ينتج أي حرارة جديدة. بناءً على هذه الحسابات، والتكوين الحالي للشمس ودرجة حرارتها، يتراوح عمر الشمس الآن بين **4.5 و 5.5 مليار سنة**. يبدو هذا أقدم قليلاً من عمر النظام الشمسي، لكنه عمر تقريبي يعتمد على الحسابات النظرية، وليس عمراً مُقاساً بدقة. يتداخل مع عمر النظام الشمسي البالغ **4.6 مليار سنة** المستمدة من القياسات المباشرة لأعمار النيزك.





يوضح الشكل طبقات الشمس



عمر القمر

يعد تحديد عمر القمر أمراً بالغ الأهمية لفهم تطور النظام الشمسي وتكوين الكواكب الصخرية، بما في ذلك الأرض. ومع ذلك، على الرغم من أهميته، لم يتم تحديد عمر القمر بدقة. تشكل القمر من حطام تصادم بين الأرض وكوكب أصغر يسمى **ثيا Theia**، مما أدى إلى إطلاق الصخور المنصهرة التي تجمدت في النهاية إلى جسم كامل بدأ يدور حول الأرض. هذا يعني أن الصخرة التي يتكون منها القمر جاءت من الأرض، ويمكن استخدامها حتى الآن.



تتعرض القشرة الخارجية للقمر للكسور بصورة مستمرة بسبب التفاعلات التكتونية في طبقات سطح القمر؛ مما يؤكد أن طبقات القمر ليست ساكنة و يوجد ما يحركها من الأسفل و هي حمم بركانية تؤدي إلى شق الصخور و الخروج منها.



تشكل النظام الشمسي بأكمله تقريباً منذ **4.6 مليار سنة**، عندما انهار السديم الشمسي. لكن علماء الفلك يعتقدون أن القمر تشكل بعد ذلك، عندما اصطدم كوكب أولي بحجم المريخ بالأرض. تناثر الحطام الناتج عن الاصطدام في مدار حول الأرض ثم تحول إلى القمر، الذي لا يزال يدور حولنا حتى اليوم. يعتقد علماء الفلك أن هذا الاصطدام حدث منذ حوالي **4.53 مليار سنة**، أي بعد حوالي **30-50 مليون سنة** من تشكل باقي النظام الشمسي. كان هذا بعد وقت قصير نسبياً من تكوين النظام الشمسي، وقبل وقت طويل من تشكل الحياة على الأرض.

تم العثور على دليل على هذا الاصطدام من قبل رُواد الفضاء في مهمات هبوط أبولو على سطح القمر. لقد اكتشفوا صخور القمر التي تحتوي على تركيبات نظائر الأكسجين التي تشبه الأرض تقريباً. هذا يعني أن أجزاء من القمر كانت ذات يوم جزءاً من الأرض. أعلن العلماء النتائج التي توصلوا إليها في عام **1969** في مجلة **Science**، قائلين إن عمر القمر لا يقل عن **4 مليارات سنة**. قامت الأبحاث الحديثة بقياس محتوى التنغستن في الصخور العائدة من القمر. **Tungsten-182** هو ما تحصل عليه عندما يتحلل **الهافنيوم 182**. لذلك قام العلماء بقياس نسب التنجستن إلى الهافنيوم لتحديد وقت تشكل القمر بالضبط. هذا هو المكان الذي يبلغ فيه الرقم **4.527 مليار سنة** (تزيد أو تقل عن **10 ملايين سنة**).



عمر النيازك

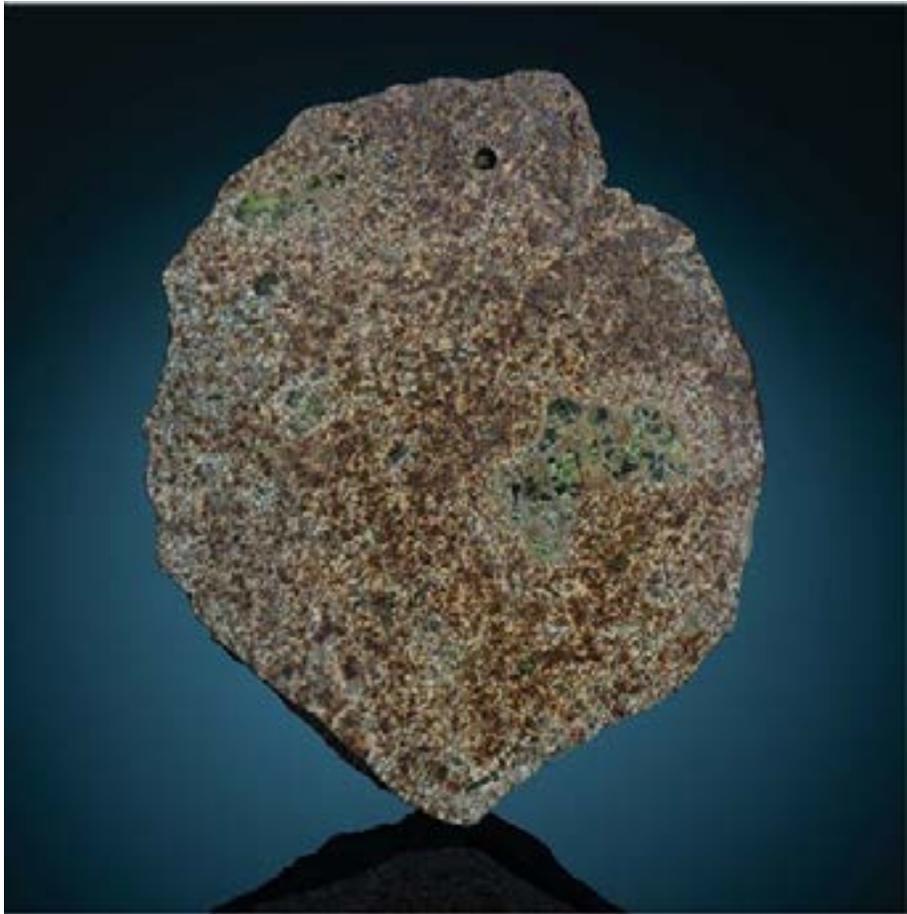
يعرف النيزك بأنه قطعة صلبة من حطام جسم فضائي، كالمذنب أو كوكب، وعندما تصل الغلاف الجوي نتيجة الاحتكاك يتم تسخينها وظهور إشعاع لتتحول إلى كرة نارية يطلق عليها العلماء اسم النيزك المتفجر، هذا وتتراوح أعمار النيازك حسب منشئها، فالنيازك التي نشأت مع الكويكبات يبلغ عمرها 4,5 مليار سنة تقريباً، والتي نشأت مع المريخ يتراوح عمرها بين 200 مليون إلى 4,5 مليار سنة.

أقدم النيازك اعمارها تمثل المرحلة الأولى في تكوين الكواكب. تتراوح أعمار أقدم النيازك بين 4,6 و 4,5 مليار سنة. يُعتقد أن الكويكبات، وهذه النيازك الأقدم، هي قطع من الكواكب الصغيرة. الكواكب الصغيرة هي أجسام صلبة صغيرة تشكلت في وقت مبكر من تاريخ النظام الشمسي، وقد اجتمع معظمها معاً ليصبحوا كواكب. الكويكبات هي بقايا كواكب صغيرة لم تتكثف لتصبح كوكباً أكبر، وبالتالي لم تتغير كثيراً منذ تلك المرحلة المبكرة من تاريخ النظام الشمسي.

يتم تقدير أعمار النيازك على نحو أكثر دقة عن طريق جمع المعلومات الواردة من تفكك النظيرين المشعّين في اليورانيوم، أي أنه من الممكن ربط الوفرة النسبية في نظيري الرصاص داخل المادة النيزكية مع زمن التشكل (أعمار نظائر الرصاص).



يُعتقد أن نوعًا واحدًا من النيازك، يُعرف باسم (كوندريت)، يمثل النوع الأول من المواد الصلبة التي تكثف خلال التكوين الأولي للنظام الشمسي، كما أن أعمار الكوندريت تقترب من 4.6 مليار سنة. يبدو أن أنواعًا أخرى من النيازك تمثل مراحل التكوين الكوكبي، مع تناقص الأعمار إلى حوالي 4.55 مليار سنة.



اكتشف فريق من العلماء الفرنسيين واليابانيين نيزك قديم في الصحراء الكبرى الذي تم تحديده الآن على أنه جزء من كوكب أولي تشكل قبل ظهور الأرض، فهو أقدم نيزك يتم العثور عليه على الإطلاق، ويعود تاريخه إلى 4.6 مليار سنة، ويتكون في الغالب من صخور بركانية

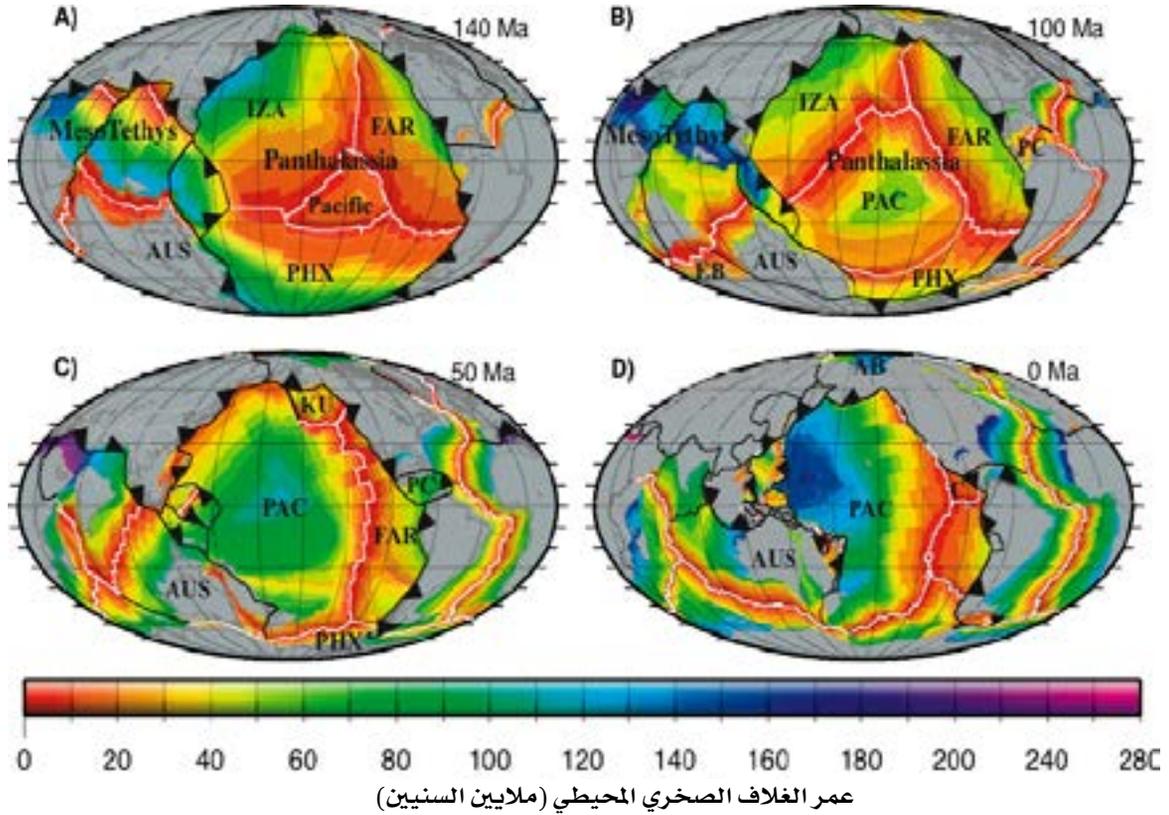


عمر المحيطات

عند الحديث عن عمر الأرض، يمكن التعرف على ثلاثة معانٍ مختلفة - تكوين الكوكب بالمعنى الفلكي، وعمر أول قشرة متكونة بعد التبريد من كرة ساخنة (عمر كلفن المحسوب)، وعمر المحيطات. يبدو أن عالم الفلك **إدموند هالي E. Halley (توفي 1742)** هو أول من اقترح عام 1715م إمكانية تقدير عمر المحيط من ملوحته ومعدل دخول الملح إلى المحيط عن طريق الأنهار.

استخدمت حجة **هالي** تشبيهاً على أساس البحيرات التي بها أنهار تدخل البحيرة ولكنها لا تخرج منها، مثل البحيرات ذات الصرف الداخلي، على سبيل المثال بحر قزوين والبحر الميت. يجب أن تزداد ملوحة هذه البحيرات بمرور الوقت بسبب المدخلات من الملح المذاب للأنهار وكذلك بسبب تبخر المياه. إذا جرى أخذ عينات من مياه البحيرة على بُعد عدة مئات من السنين، فيجب ملاحظة زيادة الملوحة وتقديرات «قاعدة التناسب»، وإجمالي الوقت المطلوب «للحصول على درجة الملوحة الحالية».

صرح **هالي** أنه يمكن حساب عمر المحيطات بالمثل: «كان من المفترض أن يكون الإغريق واللاتين القدامى قد أفادونا بدرجة ملوحة البحر كما كانت قبل 2000 عام». أدرك **هالي** أن اقتراحه كان مجرد افتراض، وحثّ على جمع البيانات ذات الصلة عن المحيطات وملوحة البحيرة. كما أدرك أيضاً أنه إذا كانت المحيطات مألحة في البداية، فإن تقدير العمر سيكون قيمة قصوى وأن هذا «من شأنه أن يدحض الفكرة القديمة التي اعتبرها البعض مؤخراً، وهي أبدية كل الأشياء». واختتم بحثه في عام 1715 بما يأتي: «قد يكون العالم أقدم بكثير مما كان يتخيله الكثيرون حتى الوقت الحالي» (O'Hara, 2018).



العمر وقياس الأعماق لقشرة المحيطات في العالم خلال الـ 140 مليون سنة الماضية

لكن طريقة **هالي** يكتنفها الكثير من الخلط وعدم الدقة إذا أردنا تقييمها حالياً، فمثلاً، نحن لا نعلم إن كان معدل الملح يبقى ثابتاً لفترة طويلة من الزمن، ناهيك عن أنه لم يقدم أي دليل علمي ملموس يقودنا إلى تقدير معقول لعمر الأرض، وقد ميز **هالي** بين عمر الأرض وزمن ظهور الإنسان على الأرض. (رونن، 1990م).



تقدير عُمر الأرض

يبدو أن اقتراح **هالي** قد جرى نسيانه حتى عام 1876م، عندما استخدم **توماس ميلرد ريد T.M. Reade (توفي 1909م)** تركيزات الكلوريد والكبريتات من الكالسيوم والمغنيسيوم في المحيطات ومدخلات هذه المركبات من الأنهار. وصف طريقته بأنها «تعريفية كيميائية». تراوحت نتائجه من 25 إلى 200 مليون سنة. نظراً لأن الحجر الجيري والدولوميت والكبريتات تترسب من المحيطات (وبالتالي إعادة ضبط ساعة الملوحة)، لم يعتقد البعض أن هذه التقديرات صحيحة، بما في ذلك الجيولوجي الأيرلندي **جون جولي J. Joly (توفي 1933م)**.

وقد أظهر **جولي** في كتابه (النشاط الإشعاعي والجيولوجيا) (1909م) أنه كان من رواد كل من الجيولوجيا وظاهرة النشاط الإشعاعي المكتشفة مؤخراً. اشتهر بتقدير عمره للمحيطات بناءً على محتواها من الصوديوم، الذي نُشر عام 1899م.

كانت طريقة **جولي** مشابهة لطريقة **ريد**، لكنه ركز بدلاً من ذلك على تقدير الكمية الإجمالية لعنصر الصوديوم في المحيطات مقسومة على كمية الصوديوم في المحلول التي تساهم سنوياً في المحيطات بواسطة أنهار العالم، باستخدام هذه الصيغة:

عمر المحيطات = إجمالي الصوديوم في المحيطات (بالأطنان) / تدفق الصوديوم من الأنهار (أطنان / سنة)

لقد حدد العمر التقديري للمحيطات من 80 مليون إلى 90 مليون سنة، لكنه سمح بحد أقصى للعمر بهذه الطريقة 150 مليون سنة في ورقته اللاحقة عام 1923. وبحلول هذا الوقت كان يدرك أن الأعمار الكيميائية (Pb / U) تنتج





أعماراً متشابهة وأكبر. تماشياً مع عقيدة الوتيرة الواحدة، افترض **جولي** معدل انحلال كيميائي موحد من الأنهار من سطح الأرض، وافترض أيضاً مساحة أرض ثابتة وهطول الأمطار «ضمن حدود واسعة»، ولكن بمتوسط ثابت طويل الأجل على مدار الزمن الجيولوجي. اختار عنصر الصوديوم باعتباره المتتبع الوحيد بسبب قابلية ذوبانه العالية على عكس الكبريتات وكربونات العناصر، مثل الكالسيوم والمغنيسيوم، والتي ترسبت من المحلول كترسبات رسوبية بحرية.

لإدخال القيم في المعادلة البسيطة أعلاه، كانت هناك حاجة إلى قدر كبير من المعلومات، واعتمد **جولي** بشكل كبير على التقارير الواردة من بعثة **HMS Challenger Oceanic (1878-1872)**، التي قدمت الملوحة والكيمياء لعينات المياه التي جرى جمعها. قدم **السير جون موراي S. J. Murray (توفي 1914م)**، الذي أبحر على متن السفينة تشالنجر ونظم لاحقاً نشر النتائج، معلومات عن أنهار العالم. تضمنت الكميات اللازمة لإكمال المعادلة حجم وكتلة المحيط، وملوحته، والكتلة الكلية للصوديوم في المحيط، وكتلة الصوديوم التي تساهم بها أنهار العالم، وكذلك التصريف السنوي للنهر. نتج عن النتائج الأولية عمر **90** مليون سنة للأرض باستخدام الأرقام التالية:

$$\frac{14,151 \times 10^{12}}{15,727 \times 10^4} = 90 \times 10^6 \text{ سنة}$$



تقدير عُمر الأرض

جرت مناقشة عدد كبير من المتغيرات التي يمكن أن تقدم أخطاءً إيجابية وسلبية في هذا التقدير بإسهاب من قبل **جولي**، بما في ذلك تقدير تخميني جداً للملوحة الأولية للمحيطات، وكمية الصوديوم المتضمنة في تبخر مياه المحيطات، وتآكل السواحل. المساهمة، وتغيير الجغرافيا القديمة، وأنواع الصخور المختلفة المكشوفة، والمتبخرات الملحية المترسبة، والعديد من المتغيرات الأخرى. كان تقييم هذه المتغيرات مقيداً بشكل سيئ، لكن تقدير جولي النهائي لم يختلف اختلافاً جوهرياً عن ذلك أعلاه. اليوم، يدرك علماء المحيطات أن **جولي** كانت في الواقع تحسب وقت إقامة الصوديوم في المحيطات، التي تقدر بنحو 68 مليون سنة (O'Hara, 2018).





عمر الأرض

منذ حوالي **4.6 مليار سنة**، كان النظام الشمسي عبارة عن سحابة من الغبار والغاز تعرف باسم «**السديم الشمسي**»، حيث أدت الجاذبية إلى انهيار المادة على نفسها عندما بدأت في الدوران، وكونت بذلك الشمس في مركز هذا السديم، ثم بعد ذلك بدأت المواد المتبقية في التكتل، بحيث تتجمع الجسيمات الصغيرة معاً مرتبطة بقوة الجاذبية لتكوين جزيئات أكبر، كما وجرفت الرياح الشمسية العناصر الخفيفة، مثل: الهيدروجين والهيليوم من السديم الشمسي، ولكنها تركت فقط المواد الصخرية الثقيلة لتكوين عوالم أرضية صغيرة مثل كوكب الأرض، أما العناصر الخفيفة تجمعت معاً مكونة الكواكب الغازية العملاقة، وبنفس هذه الطريقة تكونت الكويكبات والمذنبات والكواكب والأقمار.

تم العثور على الصخور القديمة التي يزيد عمرها على **3.5 مليار سنة** في جميع قارات الأرض. أقدم صخور على الأرض تم العثور عليها حتى الآن هي Acasta Gneisses في شمال غرب **كندا (Ga 4.03)** وصخور Isua Supracrustal في غرب **جرينلاند (3.7 إلى Ga 3.8)**، ولكن توجد أيضاً صخور مدروسة جيداً تقارب أقدمها في وادي نهر **مينيسوتا** وشمال **ميشيغان (3.5-3.7 مليار سنة)**، في **سوازيلاند (3.4-3.5 مليار سنة)**، وغرب **أستراليا (3.4-3.6 مليار سنة)**.

تم تحديد عمر هذه الصخور القديمة بعدد من طرق التأريخ الإشعاعي واتساق النتائج يمنح العلماء الثقة في أن الأعمار صحيحة في حدود نسبة قليلة. هذه الصخور القديمة ليست من أي نوع من «القشرة البدائية» ولكنها تدفقات الحمم البركانية والرواسب المترسبة في المياه الضحلة، وهو مؤشر على أن تاريخ



تقدير عُمر الأرض

الأرض بدأ قبل فترة طويلة من ترسب هذه الصخور. في غرب أستراليا، تبلغ أعمار بلورات الزركون المفردة الموجودة في الصخور الرسوبية الأصغر سناً 4.3 مليار سنة، مما يجعل هذه البلّورات الصغيرة أقدم المواد الموجودة على الأرض حتى الآن. تظهر الأعمار التي تم قياسها لأقدم صخور الأرض وأقدم بلّوراتها أن عمر الأرض لا يقل عن 4.3 مليار سنة ولكنها لا تكشف عن العمر الدقيق لتكوين الأرض.

يُذكر أنّ أفضل تقدير لعمر الأرض اعتمد على التأريخ الإشعاعي لحطام نيزك **كانيون ديابلو** (Canyon Diablo)، فعندما درس العلماء شظاياها حدّدوا نسب العناصر مثل اليورانيوم المشع ونواتج تحلله خلال مليارات السنين القمر كوكب أكثر بدائية من الأرض لأنه لم يتأثر بتكتونية الصفائح؛ وبالتالي، فإن بعض صخورها القديمة أكثر وفرة. تم إرجاع عدد صغير فقط من الصخور إلى الأرض بواسطة ست بعثات أبولو وثلاث بعثات لونا.

تختلف هذه الصخور اختلافاً كبيراً في العمر، وهو انعكاس لأعمارها المختلفة من التكوين وتاريخها اللاحق. ومع ذلك، فإن أقدم صخور القمر القديمة يتراوح عمرها بين 4.4 و 4.5 مليار سنة وتوفر الحد الأدنى من العمر لتشكيل أقرب كوكب لنا. تم العثور على آلاف النيازك، وهي أجزاء من كويكبات سقطت على الأرض. توفر هذه الأجسام البدائية أفضل الأعمار لوقت تكوين النظام الشمسي. يوجد أكثر من 70 نيزكاً، من أنواع مختلفة، تم قياس أعمارهم باستخدام تقنيات التأريخ الإشعاعي.





تظهر النتائج أن النيازك، وبالتالي النظام الشمسي، تشكلت قبل **4.53** و**4.58** مليار سنة. لا يأتي أفضل عمر للأرض من تأريخ الصخور الفردية ولكن من خلال اعتبار الأرض والنيازك جزءاً من نفس النظام المتطور الذي فيه التركيب النظائري للرصاص، وتحديدًا نسبة الرصاص **207** إلى الرصاص **206** يتغير بمرور الوقت بسبب اضمحلال اليورانيوم المشع **235** واليورانيوم **238** على التوالي.

استخدم العلماء هذا النهج لتحديد الوقت المطلوب للنظائر الموجودة في أقدم خامات الرصاص على الأرض، التي لا يوجد منها سوى عدد قليل، لتتطور من تكوينها البدائي، كما تم قياسه في مراحل خالية من اليورانيوم من نيازك الحديد، إلى تركيباتها في الوقت الذي تتفصل فيه خامات الرصاص عن خزانات الوشاح. تؤدي هذه الحسابات إلى عمر للأرض والنيازك، وبالتالي النظام الشمسي، يبلغ **4.54** مليار سنة مع عدم يقين أقل من **1** في المائة. على وجه الدقة، يمثل هذا العمر آخر مرة كانت فيها نظائر الرصاص متجانسة عبر النظام الشمسي الداخلي والوقت الذي تم فيه دمج الرصاص واليورانيوم في الأجسام الصلبة للنظام الشمسي. يتوافق عمر **4.54** مليار سنة الموجود في النظام الشمسي والأرض مع الحسابات الحالية من **11** إلى **13** مليار سنة لعمر مجرة درب التبانة (بناءً على مرحلة تطور النجوم العنقودية الكروية) والعمر من **10** إلى **15** مليار سنة لعمر الكون (بناءً على ركود المجرات البعيدة).

في الواقع تشكل اللب الصخري للأرض أولاً، ومع اصطدام العناصر الثقيلة وترابطها معاً، نزلت هذه المادة الكثيفة إلى المركز، بينما شكلت المواد الخفيفة القشرة الأرضية الخارجية، ومن المحتمل أن يكون المجال المغناطيسي للكوكب



تقدير عُمر الأرض

قد تشكل في هذا الوقت أيضاً، أما جاذبية الأرض سحب بعض الغازات من الفضاء التي كانت تشكل الغلاف الجوي للكوكب.

يبلغ عمر أقدم الصخور الموجودة على الأرض حتى الآن 4.0 مليار سنة. لا نتوقع العثور على أي صخور من بداية تاريخ الأرض؛ لأنه يبدو أن الأرض مرت بمرحلة منصهرة إلى حد كبير بعد فترة وجيزة من تشكلها. بالإضافة إلى ذلك، فإن الأرض كوكب ديناميكي يعمل على تآكل ودفن وتحولات صخورها بطرق موصوفة في دورة الصخور. قليل من الصخور، إن وجدت، من القشرة الصلبة الأصلية للأرض من المتوقع أن تظل موجودة.

أقدم المعادن على وجه الأرض: توجد بعض الحبيبات المعدنية في الحجر الرملي القديم من قارة أستراليا التي تعود أعمارها الإشعاعي إلى 4.3 مليار سنة. يشير هذا إلى أنه عندما ترسبت الرمال (والتي ربما كانت قبل حوالي 3.5 مليار سنة بواسطة قياسات عمرية أخرى)، كان عمر بعض الصخور في الجبال التي تعرضت للتعرية في الرمال 4.3 مليار سنة.

عُمر قشرة الأرض ووشاحها معاً نظرياً. يمكن اعتبار قشرة الأرض وقشرة الأرض «صخوراً ضخمة»، تختلف عن اللب المنصهر جزئياً، والذي يتكون في الغالب من الحديد. إن جمع النسب النظرية لليورانيوم والرصاص من قشرة الأرض ووشاحها ككل يعطي النسب النظرية التي تتقارب في عمر يتراوح بين 4.5 و 4.6 مليار سنة مضت. يعتمد هذا العمر على بعض الافتراضات حول كيفية تشكل القشرة من صخور الوشاح الذائبة وتطورت بشكل منفصل عن الوشاح على مدار تاريخ الأرض، لذلك فهو قياس غير مباشر للعمر وليس قياساً





مباشراً مثل عمر صخرة واحدة أو معدن.. الدليل على أن الأرض تشكلت كجزء من النظام الشمسي. تُظهر نسب النظائر والعناصر الكيميائية لجميع مكونات النظام الشمسي التي تمكنا من قياسها - الشمس، والعديد من الكواكب، وقمر الأرض، والكويكبات، والمذنبات - نفس الخصائص، ونفس «بصمات الأصابع»، مما يشير إلى أنهم جميعاً تتكون من نفس مجموعة العناصر الكيميائية. تختلف هذه المجموعة من العناصر الكيميائية عن نسب النظائر والعناصر الكيميائية التي تتكون منها أنظمة النجوم الأخرى، مما يدل على أن هذه المكونات من النظام الشمسي تشترك في أصل مشترك.



عصر النظائر

تستخدم عادةً نسب يورانيوم/ رصاص البسيطة (Pb / U) لحساب أعمار المعادن التي يشار إليها باسم الأعمار الكيميائية **Chemical Ages** وهي تختلف اختلافاً واضحاً عن الأعمار النظرية. النظائر هي ذرات من العنصر نفسه، ولكن مع عدد مختلف من النيوترونات في النواة وسلوكها الكيميائي هو نفسه ولكن خصائصها الفيزيائية تختلف.

كان هناك شك في وجودها من قبل **فريدريك سودي F. Soddy** (توفي 1956م)، أحد المشاركين في اكتشاف قانون الاضمحلال الإشعاعي، عندما لوحظ أن الأوزان الذرية للعناصر لم تكن أعداداً صحيحة كاملة، مما يشير إلى أن العناصر الطبيعية كانت مزيجاً من نظائر من العنصر نفسه. في العقود الأولى من القرن العشرين، أثبت الفيزيائيون أن هناك أربعة نظائر للرصاص، ثلاثة منها يجري إنتاجها بواسطة ثلاثة مخططات منفصلة لتحلل الأبوين والابنة:



تشير الأرقام المرتفعة هنا إلى الأوزان الذرية بحيث يكون الاختلاف الوحيد بين ^{206}Pb و ^{207}Pb هو نيوترون إضافي واحد في النواة. نظير الرصاص الرابع هو ^{204}Pb ، الذي لا يحوي على أصل مشع ويمثل (الرصاص الأولي) الموجود في الوقت الذي تشكلت فيه قشرة الأرض.





ومع ذلك، هناك سبب وجيه للاعتقاد بأن هذا الرصاص الأولي ليس ^{204}Pb فقط، لكنه يشتمل أيضاً على كميات غير معروفة من ^{207}Pb و ^{206}Pb و ^{208}Pb . يجب أن تكون أي محاولة لتحديد تاريخ عمر الأرض قادرة على التمييز بين الرصاص الأولي والمولد المشع، وقد تبين أن هذه مهمة صعبة، لكن تكمن الإجابة في النيازك.

قبل أن يجري قياس وفرة نظائر الرصاص، كان مطياف الكتلة في ثلاثينيات القرن الماضي، والذي كان يقيس وفرة النظائر الأخف بأية دقة، بحاجة إلى تحسين. قام الفيزيائي ألفريد نير A. Nier (توفي 1994م)، الذي عمل كزميل ما بعد الدكتوراه في جامعة هارفارد في عام 1937م ولاحقاً في جامعة مينيسوتا، بإجراء تحسينات كبيرة على مقياس الطيف الكتلي وسمح بأول قياسات دقيقة لنظائر الرصاص في المعادن، بخاصة الجالينا (PbS) أو كبريتيد الرصاص.

لا يحوي هذا المعدن على الرصاص المشع؛ لأنه يحوي على القليل من اليورانيوم أو الثوريوم أو أنه يحوي على القليل من اليورانيوم أو الثوريوم. قام نير وزملاؤه بعد ذلك بقياس نظائر الرصاص المشعة في مجموعة متنوعة من المعادن من مختلف الأعمار، وخاصة البتشلند (UO_2) من جميع أنحاء العالم، في عام 1939. احتوت هذه المعادن على نوعين من الرصاص: الرصاص البدائي والرصاص المشع بسبب تحلل اليورانيوم والثوريوم في المعدن. أدت هذه القياسات لاحقاً إلى قيام عدد من العلماء باقتراح نموذج عام بشكل مستقل لتطور نظائر الرصاص في الأرض وأول عصور نظائر U-Pb للأرض، هؤلاء العلماء هم: جيرلنغ Gerling (1942)، وهولمز Holmes (1946 - 1947)، وهوترمانز Houtermans (1946 - 1947).



تقدير عمر الأرض

وجميعهم استخدموا بيانات نير ووصلوا إلى تقديرات مماثلة لعمر الأرض: ونحو \pm 3 بلايين سنة، وتسمى طريقتهم نموذج هولمز-هوترمانز، مع أن جيرلينغ له الأسبقية بوضوح إلا أنه لم يكن هوترمانز على علم بورقة هولمز حتى ذهبت ورقته للطباعة (O'Hara, 2018).

من المعروف حالياً أن النظائر المستقرة النهائية في سلسلة اليورانيوم والثوريوم هي ^{207}Pb و ^{206}Pb و ^{208}Pb . الأزمنة المشار إليها هي فترات نصف عمر. كانت هذه هي حالة المعرفة في بداية القرن العشرين (O'Hara, 2018).

قام نهج جيرلينغ - هولمز - هوترمانز، استناداً إلى بيانات نظائر نير، بالافتراضات التالية :

- كان للأرض في البداية تركيبة نظيرية موحدة من الرصاص حتى وقت تشكل القشرة.
- بعد تشكل القشرة، اختلفت نسبة Pb / U قليلاً من مكان إلى آخر.
- جرى تجميد نسب Pb / U في أماكن مختلفة ولم تتغير إلا بسبب الاضمحلال الإشعاعي.
- لم يختلط الرصاص في كل معدن مع الرصاص من أماكن أخرى.

يصحح النموذج نظائر الرصاص للمعادن المشعة عن طريق طرح تركيبة الرصاص الأولية باستخدام عينات نير التي أظهرت الرصاص الأقل إشعاعياً. بالإضافة إلى ذلك، يفترض النموذج أن هذه الخيوط الأقل إشعاعاً تمثل الرصاص الأولي للأرض. في توليفة أحدث بعنوان الرصاصيات التكتونية





تتضمن مئات من تحليلات نظائر الرصاص من مجموعة متنوعة من البيئات الجيولوجية، أظهر المؤلفون أن معظم نظائر الرصاص يمكن أن تكون جيدة إلى حد ما بناءً على الخزانات الثلاثة المتميزة مع Pb مختلفة / نسب U- القشرة القارية السفلية والقشرة القارية العليا ووشاح الأرض.

من الممكن حساب ثلاثة أعمار نظيرية مستقلة من مخططات الانحلال الثلاثة المذكورة أعلاه، وقد استخدم **آرثر هولمز** اثنين من مخططات الانحلال هذه، وهما نسبة مخطط انحلال الرصاص 207 ومخطط الرصاص 206. ميزة أخذ هذه النسبة هي أن المعلومات عن وفرة نظائر اليورانيوم ليست مطلوبة. تراوحت نتائج المتعلقة بعمر الأرض بين 2.7 و 3.3 بليون سنة، مع اختلاف مجموعات العينات التي أعطت أعماراً مختلفة (O'Hara, 2018).

كان من الواضح أن العديد من عينات نير أنه لم تف بالافتراضات الصارمة المطلوبة، وهي أن نسبة Pb / U تبقى ثابتة خلال الزمن الجيولوجي. من المرجح أن يغير النشاط الناري الذي ينطوي على ذوبان الصخور هذه النسبة بمرور الوقت، ولهذا السبب ربما كان تقدير هولمز أصغر من اللازم بنحو بليون سنة. بالإضافة إلى ذلك، من المحتمل أن عينات نير الأقل إشعاعاً لم تمثل التكوين البدائي أو الأولي لرصاص الأرض. الحسابات التي تم إجراؤها بشكل مستقل بواسطة **سيرلينغ Cerling** و**هوترمانز Houtermans**، مع أنها ليست واسعة النطاق مثل تلك التي قام بها هولمز، أعطت نتائج مماثلة.

المحاولة المهمة التالية لتقدير عمر الأرض كانت من قبل الباحثة **كثير باترسون C. Paterson** (توفيت 1995م) وزملائها لعمل نُشر في عامي 1955 و 1956،

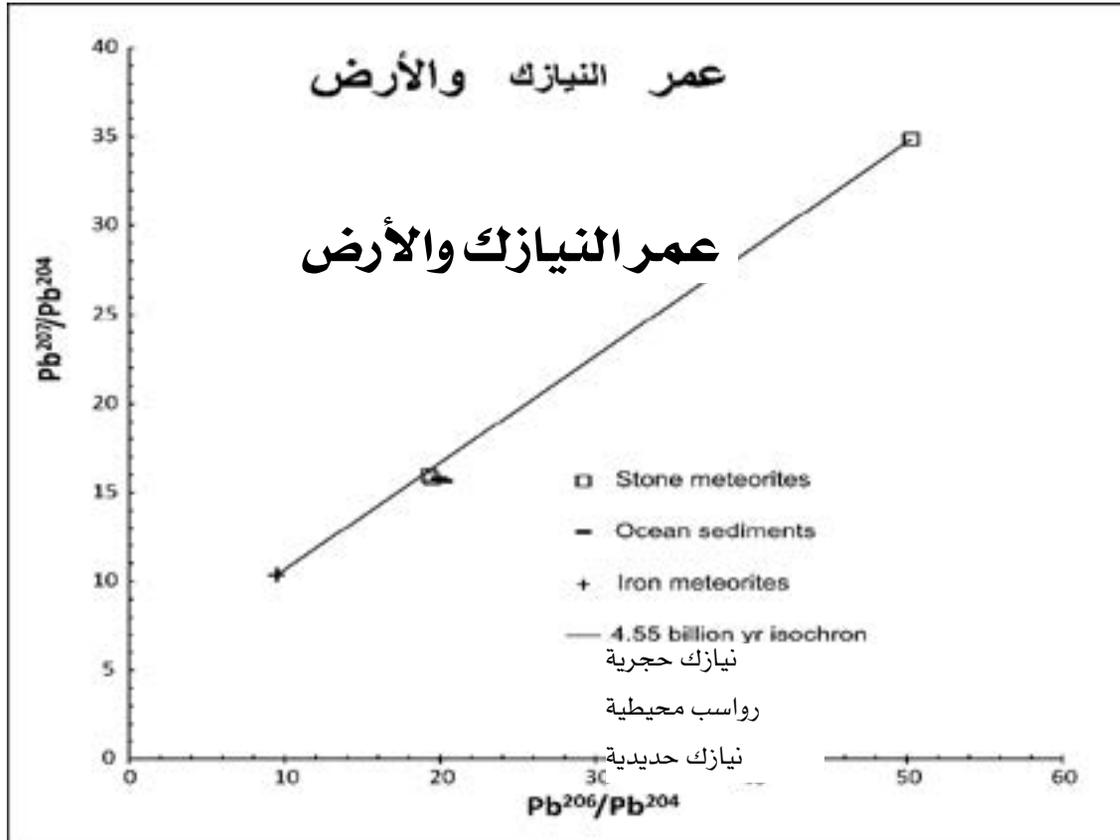


تقدير عُمر الأرض

وقد وضعوا افتراضين جريئين: أولاً، أن التركيب النظائري للرصاص للنيازك الحديدية يمثل التكوين البدائي أو الأولي للرصاص من الأرض. واقترحوا كذلك أن التركيبة النظرية للرصاص في رواسب قاع المحيط الحديثة كانت مخاليط متوسطة للأرض ككل.

قاموا بتحديد عمر خمسة نيازك (ثلاثة نيازك حجرية ونيوزكين حديديين) لإعطاء عمر **4.55** بليون سنة باستخدام طريقة Pb-Pb Isochron. ثم أظهروا أن رواسب المحيطات الحديثة تكمن أيضاً على النيزك نفسه **أيزوكرون Isochron**، مما يعني أن النيازك والأرض كانت جزءاً من النظام نفسه نظائر الرصاص ولها العمر نفسه: **4.55** بليون سنة. هذا هو عمر الأرض المقبول حالياً (O'Hara, 2018).





أيزوكرون Isochron (خط على الرسم التخطيطي يربط بين النقاط المتعلقة بالزمن نفسه أو الأزمنة المتساوية) رصاص - رصاص للنيازك ورواسب المحيطات الحديثة. يشير منحدر الأيزوكرون إلى عمر 4.55 بليون سنة، وهو العمر المقبول حالياً للأرض.

إن سبب اعتماد **باترسون** وزملائها على النيازك هو الحصول على عينة من الصخور لم تكن تأثرت بأي من العوامل الأرضية، وهذه العينة غير موجودة من الناحية العملية في الأرض أبداً، لذلك توجهت أنظاره إلى الصخور السماوية،



تقدير عُمر الأرض

وتحديداً النيازك. فهي قطع صخرية تجوب السماء منذ بداية نشأة المجموعة الشمسية ولم تتعرض لأي عوامل حت أو تعريية أو غيرها يمكن أن تؤثر على بنيتها أو شكلها. ومن هنا قاس **العلماء** تفكك البوتاسيوم-الأرغون (Potassium-Argon) والثوريوم - الرصاص (Thorium-Plomb) واليورانيوم-الرصاص (Uranium-Plomb) والروبيديوم-السترونتيوم (Rubidium-Strontium)، وبذلك حصلوا على الرقم (0.05 ± 4.54) **بليون سنة** كأقرب رقم حقيقي لعمر الأرض (Dalrymple, 2001). لا شك بأن هذا الرقم قد يتغير مع تطوّر أدوات ووسائل القياس في المستقبل.





قياس الإشعاع

تتقسم العناصر في الكون إلى عناصر مشعة، وعناصر غير مشعة (**مستقرة**)، هذه العناصر المشعة تتحلل طبيعياً نتيجة الإشعاع الناتج منها إلى عناصر أقل في العدد الكتلي، وتتميز العناصر المشعة بأن لكل عنصر دورة إشعاعية مختلفة عن العناصر الأخرى، وله خاصية مميزة هي فترة عمر النصف؛ أي الفترة التي عندها يكون المتبقي فقط هو نصف كمية العنصر المشع الأولى، استطاع العلماء الاستفادة من هذه الخواص مجتمعة في استخدامها في قياس أعمار بقايا الكائنات الحية التي ماتت من آلاف السنين، والصخور، والحفريات

فتح اكتشاف الانحلال الإشعاعي الطبيعي لليورانيوم في عام 1896 بواسطة **هنري بيكريل**، الفيزيائي الفرنسي، آفاقاً جديدة في العلم. في عام 1905، قدم الفيزيائي البريطاني **اللورد رذرفورد** - بعد تحديد بنية الذرة - أول اقتراح واضح لاستخدام النشاط الإشعاعي كأداة لقياس الوقت الجيولوجي مباشرة؛ بعد ذلك بوقت قصير، في عام 1907، نشر البروفيسور **ب. بولتوود**، عالم الكيمياء الإشعاعية في جامعة ييل، قائمة بالأعمار الجيولوجية بناءً على النشاط الإشعاعي. على الرغم من مراجعة أعمار بولتوود منذ ذلك الحين، إلا أنها أظهرت بشكل صحيح أن مدة الوقت الجيولوجي ستُقاس بمئات الآلاف من الملايين من السنين.

كانت السنوات الأربعون التالية فترة من التوسع في البحث حول طبيعة وسلوك الذرات، مما أدى إلى تطوير الانشطار النووي والاندماج كمصادر للطاقة. كان أحد النتائج الثانوية لهذا البحث الذري هو التطوير والتحسين المستمر للطرق والتقنيات المختلفة المستخدمة لقياس عمر مواد الأرض. تم إنجاز المواعدة الدقيقة منذ عام 1950.



تقدير عُمر الأرض

يتكون العنصر الكيميائي من ذرات تحتوي على عدد محدد من البروتونات في نواتها لكن تختلف الأوزان الذرية بسبب الاختلافات في عدد النيوترونات. تسمى ذرات نفس العنصر ذات الأوزان الذرية المختلفة بالنظائر. التحلل الإشعاعي هو عملية عفوية يفقد فيها النظير (الأم) جزيئات من نواته لتكوين نظير لعنصر جديد (الابنة). يتم التعبير عن معدل الانحلال بشكل ملائم من حيث عمر النصف للنظير، أو الوقت الذي يستغرقه نصف نظير مشع معين في العينة حتى يتحلل. تمتلك معظم النظائر المشعة معدلات تحلل سريعة (أي فترات نصف عمر قصيرة) وتفقد نشاطها الإشعاعي في غضون أيام أو سنوات قليلة. ومع ذلك، فإن بعض النظائر تتحلل ببطء، ويستخدم العديد منها كساعات جيولوجية.

إن تأريخ الصخور بواسطة أجهزة ضبط الوقت المشعة أمر بسيط من الناحية النظرية، لكن الإجراءات العملية معقدة. يتم تحديد عدد النظائر الأم والابنة في كل عينة من خلال أنواع مختلفة من الأساليب التحليلية. تكمن الصعوبة الرئيسية في قياس كميات صغيرة جداً من النظائر بدقة.

يمكن استخدام طريقة البوتاسيوم والأرجون على الصخور التي لا يتجاوز عمرها بضعة آلاف من السنين وكذلك على أقدم الصخور المعروفة. يوجد البوتاسيوم في معظم المعادن المكونة للصخور، ونصف عمر نظيره المشع البوتاسيوم **40-** هو بحيث تتراكم كميات قابلة للقياس من الأرجون (ابنة) في المعادن الحاملة للبوتاسيوم من جميع الأعمار تقريباً، وكميات البوتاسيوم والأرجون يمكن قياس النظائر بدقة، حتى بكميات صغيرة جداً. حيثما كان ذلك ممكناً، يتم استخدام طريقتين أو أكثر من طرق التحليل على نفس عينة الصخور لتأكيد النتائج.





تعتمد الساعة الذرية المهمة الأخرى المستخدمة لأغراض التأريخ على الانحلال الإشعاعي لنظير الكربون **14**، الذي يبلغ نصف عمره **5730** سنة. يتم إنتاج الكربون **14** بشكل مستمر في الغلاف الجوي العلوي للأرض نتيجة لقصف النيتروجين بالنيوترونات من الأشعة الكونية. يختلط هذا الكربون المشع حديثاً بشكل موحد مع الكربون غير المشع الموجود في ثاني أكسيد الكربون في الهواء، وفي النهاية يجد طريقه إلى جميع النباتات والحيوانات الحية. في الواقع، يحتوي كل الكربون الموجود في الكائنات الحية على نسبة ثابتة من الكربون المشع إلى الكربون غير المشع. بعد موت الكائن الحي، تتخفف كمية الكربون المشع تدريجياً حيث يعود إلى النيتروجين **14** عن طريق الاضمحلال الإشعاعي. من خلال قياس كمية النشاط الإشعاعي المتبقية في المواد العضوية، يمكن حساب كمية الكربون **14** في المواد ويمكن تحديد وقت الوفاة. على سبيل المثال، إذا وجد أن الكربون من عينة من الخشب يحتوي فقط على نصف كمية الكربون **14** الموجودة في نبات حي، فإن العمر التقديري للخشب القديم سيكون **5730** عاماً.

لقد أصبحت ساعة الكربون المشع أداة مفيدة للغاية وفعالة في تحديد تاريخ الحلقات المهمة في عصور ما قبل التاريخ الحديثة للإنسان، ولكن نظراً لعمر النصف القصير نسبياً للكربون **14**، يمكن استخدام الساعة لتأريخ الأحداث التي إتخذت مكان فقط خلال **50000** سنة الماضية.



التأريخ الإشعاعي Radiometric Dating

التأريخ الإشعاعي هو تقنية تُستخدم لتأريخ المواد بناءً على معرفة معدلات الانحلال للنظائر التي تحدث بشكل طبيعي والوفرة الحالية. إنه مصدرنا الرئيسي للمعلومات حول عمر الأرض ومصدر مهم للمعلومات حول معدلات التغير التطوري. تتكون كل المواد العادية من مجموعات من العناصر الكيميائية، لكل منها رقمها الذري، مما يشير إلى عدد البروتونات في نواة الذرة. بالإضافة إلى ذلك، قد توجد العناصر في نظائر مختلفة، حيث يختلف كل نظير للعنصر فقط في عدد النيوترونات في النواة. يسمى نظير معين لعنصر معين نوكلويد. بعض النويدات بطبيعتها غير مستقرة. أي، في نقطة زمنية عشوائية ما، سيتم تحويل ذرة من هذا النويدات إلى نوكلويد مختلفة من خلال العملية المعروفة باسم التحلل الإشعاعي. يتم تحقيق هذا التحول عن طريق انبعاث جسيمات مثل الإلكترونات (المعروفة باسم اضمحلال بيتا) أو جسيمات ألفا. بعد انقضاء فترة عمر النصف؛ فإن النواة الأصلية تتحلل إلى (نويدات - Nuclides) تُسمى «ابنة»، بالإضافة إلى النواتج الأخرى من عملية التحلل. في معظم الحالات فإن هذه النوييدة «الابنة» تكون مشعة أيضاً؛ ذلك يؤدي إلى تكون دورة نشاط إشعاعي جديدة، هذه الدورة تنتهي مع تكون نويدة. وتتميز كل خطوة في هذه السلسلة بأن لها فترة عمر نصف مميز. فماذا إذا كانت دورة عنصر ما تتكون من أكثر من فترة عمر نصف؟ في هذا الحالة يتم اعتماد أطول فترة عمر نصف على أنها هي الدورة الرئيسية، أما إذا كان للعنصر فترات عمر نصف متقاربة؛ في هذه الحالة سوف يكون لدي العلماء معلومات واضحة عن هذه الفترات وهل صالحة للدراسة أم لا.



الدقة في تحديد التاريخ الإشعاعي للمواد غالباً ما تعتمد على:

- النوى الأولية يجب أن يكون لها فترة عمر نصف كبيرة، للحرص على أن تكون النوى الأولية موجودة بنسب ملحوظة في وقت قياس الإشعاع.
 - تكون فترات عمر النصف معلومة مسبقاً وبدقة عالية.
 - يجب أن يكون قد تم إنتاج ما يكفي من النوى الثانوية حتى يمكن تحديد نسبتها بدقة والتفرقة بينها وبين الأولية.
- يمكن استخدام هذه العلاقة الرياضية في تحديد نسبة التفكك الإشعاعي Radiometric Decay إلى الزمن الجيولوجي

$$D = D_0 + N(t) (e^{\lambda t} - 1)$$

t تعبر عن الوقت أو الزمن الجيولوجي.

D تعبر عن عدد ذرات النظائر الثانوية في العينة المأخوذة.

D_0 عدد ذرات النظائر الثانوية في المادة الأصلية.

N عدد ذرات النظائر الأولية في العينة خلال زمن t .

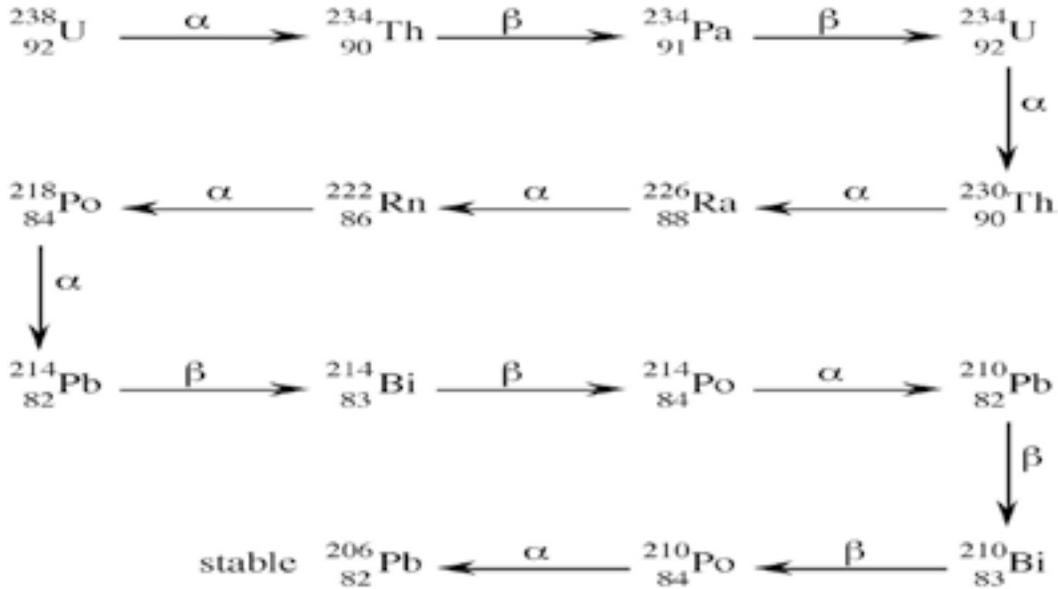
λ ثابت التحليل الإشعاعي للمواد الأولية وهو يساوي معكوس فترة نصف العمر للعنصر الأولي مقسوماً على اللوغاريتم الطبيعي للعدد.



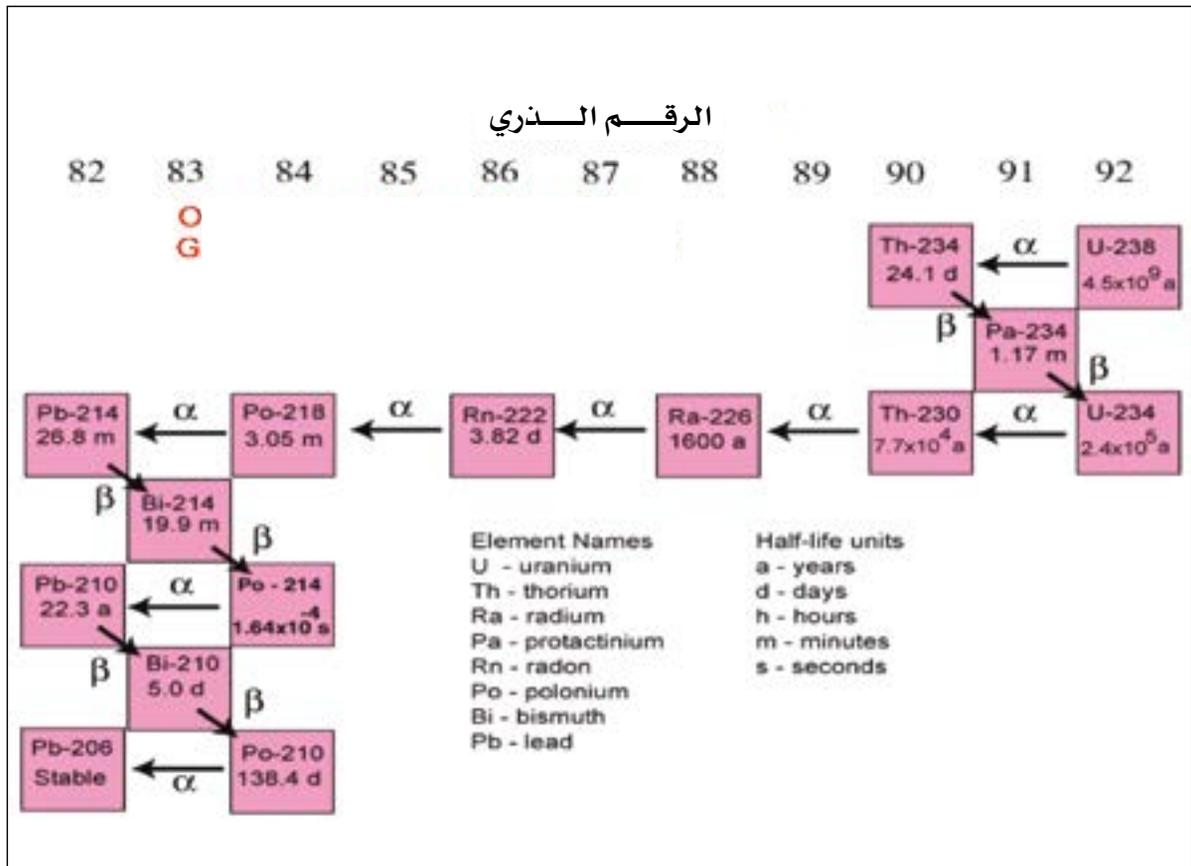
النظائر غير الثابتة والمشعة Radiogenic Isotopes

طريقه اليورانيوم - الثوريوم - الرصاص ^{238}U - ^{234}Th - ^{206}Pb

أكثر طرق تحديد الاعداد تعقيدا لأنها عبارة عن سلاسل إشعاع طويلة وذات إعمار انصاف كبيره وتستخدم في تحديد أعمار الصخور القديمة مثل عمر الأرض، وكذلك عمر الصخور الأصلية التي تكونت منها الصخور المتحولة. يعد اليورانيوم مثالا على العناصر المشعة التي تتفكك من خلال سلسلة من العناصر الوليدة التي تستمر بالتفكك حتى الوصول إلى الوليد الثابت. يتميز اليورانيوم بوجود سلسلتين من التفكك، الأولى سلسلة اليورانيوم 238 التي تقود إلى تشكل الرصاص 206 ، والثانية هي سلسلة اليورانيوم 235 ، التي تقود إلى تشكل العنصر الوليد الرصاصي 207 . فإذا بدأنا من 235 غ من اليورانيوم 235 ، فإنه سيبقى عند نهاية العمر النصفى نصف غرام منه وبعد انقضاء العمر النصفى من جديد يبقى ربع غرام، وفي الوقت نفسه تتزايد نسبة العنصر الوليد وهو الرصاص 207 ، لذلك فإن نسبة العنصر الوليد إلى العنصر الأصلي ستزيد مع الزمن. اليورانيوم 238 وهو من العناصر المشعة غير الثابتة تتحلل إلى ثوريوم 234 وهو يسمى العنصر الابنة لليورانيوم. والثوريوم أيضا هو مشع وغير ثابت فهو بدوره يتحلل إلى بروتاكتينيوم. يعتبر البروتاكتينيوم ابنة للثوريوم وأيضا هو غير ثابت وهو مشع فيتحلل إلى نوع آخر من اليورانيوم الذي يتحول بدوره إلى نوع آخر من الثوريوم وإلى راديوم وهكذا سلسلة تحللات حتى يصل في النهاية إلى الرصاص الذي لا يتحلل وهو ثابت. بعد 14 خطوة كما في الشكل التالي:



من الصعوبات التي تعترض هذه الطريقة هي معرفة فيما إذا كانت هناك أية نسبة من الرصاص الذي يمكن أن ينتج عن تفكك اليورانيوم موجودة أصلاً في الصخر قبل بداية عملية التفكك، وكذلك فيما إذا كانت العمليات الجيولوجية التي حدثت على مر الزمن أدت إلى ضياع أي جزء من اليورانيوم الأصلي في الصخر، أو أي جزء من العنصر الوليد، ومن الصعوبات أيضاً ندرة وجود العينات الصالحة للتحليل. على الرغم من الصعوبات التي تعترض تطبيق هذه الطريقة فإنها تعد طريقة ذات أهمية كبيرة في التاريخ الجيولوجي وهذا يعود من جهة إلى العمر النصفى الكبير لليورانيوم ومن جهة أخرى (وهذا شديد الأهمية) إلى وجود سلسلتي تفكك، تسمح كل منهما بتدقيق نتائج الأخرى فإذا تطابقت النتائج فإننا نكون أمام تاريخ صحيح للحدث الجيولوجي، أو الصخر الذي نقوم بتحديد عمره كما هو موضح في الجدول أدناه.



سلسلة تفكك اليورانيوم



يستخدم معدني الزركون والمونزايت في صورته محلول معالج كيميائياً أو في صورته بلورات كامله ويستخدم مطياف الكتلة حيث يجرى تحديد نسب النظائر المختلفة بواسطة أكثر من طريقه في هذا النظام. أهم هذه الطرق هي طريقه تبخير بلورات الزركون حيث تعلق بلوره الزركون في جهاز مطياف الكتلة ويتم قياس نسبه نظير الرصاص²⁰⁷ / الرصاص²⁰⁶ وبطرق حسابية طويلة ومعقدة يحسب العمر المطلق للصخر الحاوي على هذه البلورات. مميزات هذه الطريقة عدم عمل محلول كيميائي من المعدن أو الصخر بل يستعمل المعدن مباشرة وبالتالي نتلاشى الخطأ الناتج من عمل محلول كيميائي يتدخل فيه الانسان بالإضافة إلى إمكانية تحديد العمر للصخور التي تحتوى على نسبه بسيطة من بلورات الزركون مثل الصخور القاعدية والفوق قاعدية حيث أن ببلوره واحده يمكن تحديد العمر حيث تقاس مئات النسب في البلورة الواحدة اثناء تبخير مكوناتها. كذلك يمكن حساب عمر الصخر بهذه الطريقة عن طريق شعاع أيوني عالي SHRIMP يوجه لبلورات الزركون وتحسب الكثير من نسب النظائر أهمها نسب كل من اليورانيوم والرصاص المختلفة والكثيرة وباستخدامها يتم تعيين العمر المطلق.

توجد طريقه أخرى وهي عمل محلول من بلورات معدن الزركون المطحون ثم تجرى له قياسات طويله ومعقدة بمطياف الكتلة وتقاس نسب نظير اليورانيوم إلى نظير الرصاص التي تحسب منها العمر المطلق.

توجد طريقه حديثه وهي Laser ICP (LA-ICP) وهي ليست منتشرة في العالم باستثناء بعض المعامل في الدول الكبرى وتقاس نسب النظائر المختلفة للمعدن مباشرة من قطاع ميكروسكوبي رفيع وتستخدم في تحديد العمر واستنتاج الكثير عن أصل الصخر ونشأته.



طريقة الروبيد يوم - الاسترنيوم $^{87}\text{Rb} - ^{86}\text{Sr}$

تستخدم هذه الطريقة في الصخور الغنية بمعادن البوتاسيوم وتستخدم في تحديد أعمار الصخور النارية وعمر تحول الصخور المتحولة وكذلك عمر الترسيب بعمل تحديد العمر للمعادن الناشئة بالترسيب مثل معدن الجلوكونيت. كذلك عن طريق نسبة $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Initial يمكن تحديد أصل الصخر حيث إن أكبر من **0.707** تكون ذات أصل قاري Crustal بينما إذا كانت تتراوح بين **0.702** حتى **0.704** تدل على أن أصل الصخر مشتق من قاع محيط (لوح محيطي) أو الوشاح Mantle Origin

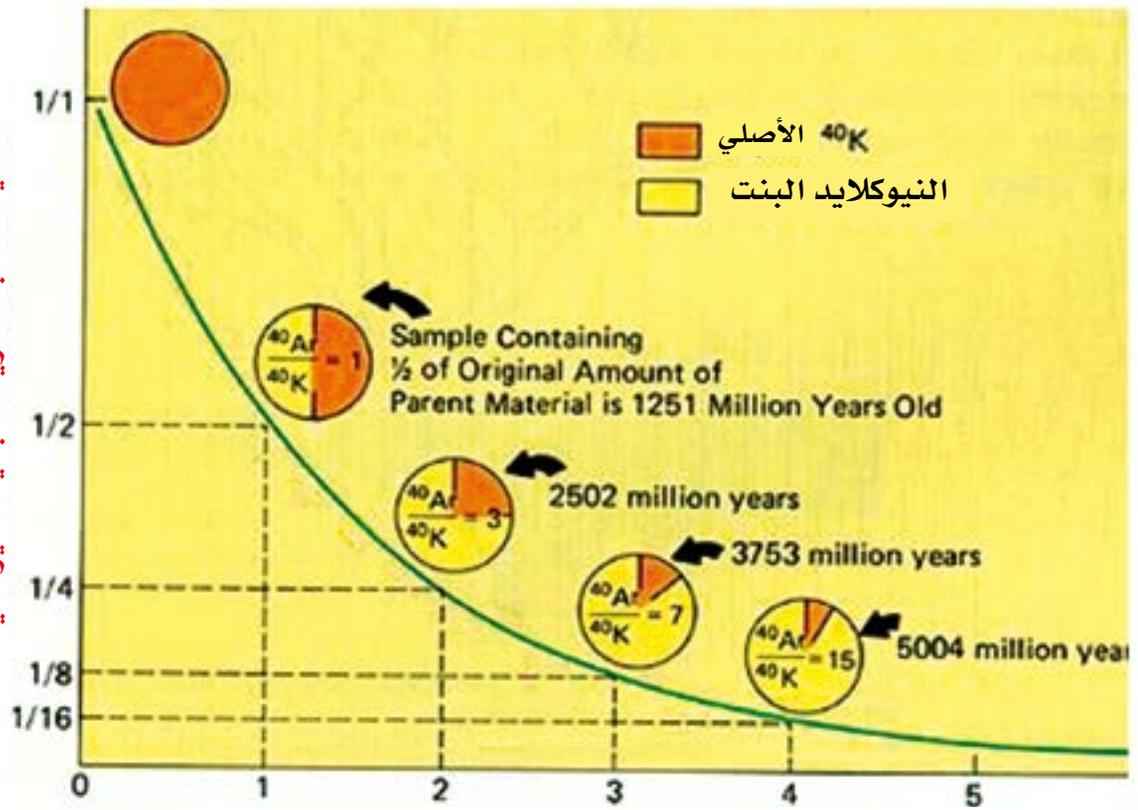
$$\frac{^{87}\text{Sr}_{\text{now}}}{^{86}\text{Sr}_{\text{now}}} = \frac{^{87}\text{Sr}_{\text{initial}}}{^{86}\text{Sr}_{\text{initial}}} + \frac{^{87}\text{Rb}_{\text{now}}}{^{86}\text{Sr}_{\text{now}}} (e^{\lambda t} - 1)$$

طريقة البوتاسيوم ^{40}K - أرجون ^{40}Ar

تستخدم في الصخور النارية الغنية بالبوتاسيوم مثل الصخور الجرانيتية وتستخدم في تعيين عمر التحول بعمل تحديد عمر المعادن الناتجة من التحول في صخور الشيست وكذلك في تحديد عمر الصخور الرسوبية الحاوية على جليكونيت. لا تستخدم الطريقة في الصخور المتأثرة بالحركات التكتونية حيث أن الأرجون يتطاير، وبالتالي لا تعطى عمراً دقيقاً حيث إن ساعة الزمن والنظام أصبح مفتوحاً **Open System** كما هو موضح في الشكل المرفق.



كمية النسبة المتبقية للنيوكلايد



أعداد عمر النصف
(كل عمر النصف يعادل ١٢٥١ مليون سنة)

العلاقة بين أعداد عمر النصف والنسبة المئوية للنيوكلايد المتبقية في البوتاسيوم ^{40}K - أرجون ^{40}Ar



طريقة النيودنيوم¹⁴³ - السماريوم¹⁴⁷

النيودنيوم (Nd) والسماريوم (Sm) عناصر تتبع مجموعته العناصر الأرضية النادرة التي لا تتأثر بالعمليات الجيولوجية مثل التحول أو التعرية وتجرى هذه الطريقة للصخر Whole Rock Isochrone أو للمعدن Mineral Isochrone وبخاصه معادن البيروكسين والجارنت؛ ولذا تستعمل في تحديد العمر المطلق للصخور فوق القاعدية والقاعدية وكذلك الفتات المكون للصخور الرسوبية القديمة أي عمر صخر المصدر Protolithes. فترة عمر النصف لهذا النظام كبيرة؛ لذا تستعمل في تحديد أعمار الصخور القديمة كذلك تستخدم في دراسة تطور القشرة الأرضية والمحيطية حيث إذا كانت $Nd \ \epsilon$ موجباً تدل على أن الصخور مشتقة من قشرة محيطية بينما إذا كانت سالبة تدل على أن الصخور مشتقة من أصل قاري. كذلك تستخدم في دراسة أصل الفتات الرسوبي الذي كون الصخور الرسوبية القديمة. قام الكاتب بعمل دراسات على العديد من الصخور التي تم التعرف على أصلها وكذلك عمرها.

طريقة الكربون¹⁴ - النيتروجين¹⁴

تصطدم الأشعة الكونية Cosmic Rays بذرات الغلاف الجوي باستمرار مما ينتج عنه أشعة كونية ثانوية في شكل نيوترون تحمل طاقة حركية، يتفاعل الكربون¹⁴ المشكل مع الأكسجين ليشكل ثاني أكسيد الكربون، الذي سيصبح بدوره جزءاً من الدورة الطبيعية لثاني أكسيد الكربون، ويحل قسم منه في كل أنواع الكائنات الحية، وعندما تموت هذه الكائنات فإنها تتوقف عن استيعاب



أية كمية جديدة من الكربون بما فيها الكربون **14**، وعندما يحدث هذا الأمر فإن كمية الكربون **14** تبدأ بالتناقص حيث تعود لتتحول إلى نيتروجين. تصطدم هذه النيوترونات بذرات النيتروجين **14** المكون من سبع بروتونات وسبع نيوترونات. ينتج عن هذا التصادم ذرة كربون **14** المكونة من ستة بروتونات وثمانية نيوترونات وتحرر ذرة هيدروجين المكونة من بروتون واحد فقط. تعتبر ذرة الكربون **14** ذرة غير مستقرة، لأن عدد بروتوناتها لا يساوي عدد نيوتروناتها مما تسمى بـ «الكربون المشع» الذي له عمر نصف (وهو العمر اللازم لكي تقل كمية النشاط الإشعاعي إلى النصف) هو **5730** سنة.



كربون **14** هو نظير من نظائر الكربون المشعة، وهو مصدر لأشعة (B) يتحلل بمرور الوقت. فإذا كان لدينا كمية معينة منه، بعد مرور **5730** عام يكون قد تحلل نصفها. وهذا ما ندعوه بعمر النصف، ويكون لنا هذا العمر بمثابة الأساس الذي نعتمد عليه في اعتبار كربون **14** كطريقة ناجحة في تحديد العمر. تستخدم طريقة الكربون **14** في تاريخ الأحداث الجيولوجية التي لا يزيد عمرها غالباً على **50.000** سنة، ويعود ذلك إلى العمر النصفى القليل للكربون **14**. إن نسبة الكربون المشع إلى الكربون الطبيعي تظل ثابتة، ولكن بموت الكائن الحي فإن نسبة الكربون المشع به تقل، وعن طريق دراسة نسبة الكربون المشع إلى نسبة الكربون غير المشع يمكن تحديد عمر بقايا هذا الكائن الحي بدقة. تذكر أن الكربون المشع يُستخدم فقط لتحديد عمر الكائنات الحية ولكن لا يمكن استخدامه لتحديد عمر الصخور، مثل صخور القمر أو المذنبات. ولتحديد أعمار هذه الأشياء يتم استخدام تقنيات أخرى مثل نظير البوتاسيوم **40**.



النظائر الثابتة Stable Isotopes

يوجد العديد من هذه النظائر، مثل: الأكسجين والكربون والهيدروجين والسيلكون والكبريت والنيتروجين وهي ثابتة أي لا ينتج عنها إشعاع.

• نظائر الأكسجين

وهي ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O وتقاس بنسبه $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ وتحسب مقارنة بمتوسط كميته النظير في ماء المحيط التي تساوي 1 وتسمى (Standard Mean Ocean Water) SMOW وتوجد في صورته $\delta^{18}\text{O}$ وقد وجد أن معدل هذا النظير في الصخور أو المعادن يتراوح بين 2 إلى 36% ويميز كل نوع من المعادن والصخور عن الآخر. ويستعمل نظير الأكسجين في عمل التقسيم الطبقي Isotope Stratigraphy للصخور الرسوبية المختلفة حيث توضع الحدود الفاصلة بين الطبقات اعتماداً على كميته نظير الأكسجين. أيضاً يستعمل في التعرف على درجة الحرارة التي يتكون عندها الخام بدراسة السوائل الموجودة في مكثفات المعادن أو التفاعل الذي يتم بين الصخر والماء.

• نظير الهيدروجين

الهيدروجين يوجد له نظيرين هم الهيدروجين¹ والديوتيريوم² وتقاس مقارنه.. بنسبته في ماء المحيط SMOW التي تساوي 1 وتوجد في صورته $\delta^2\text{D}$ وتتراوح بين 180 إلى 20% في المعادن والصخور المختلفة.



• نظير الكربون

نظير الكربون الثابت هو الكربون ¹³ والكربون ¹² وتقاس مقارنةً بنسبته في معدن الكالسيت المسمى PDP وتسمى $\delta^{13}\text{C}$ وتتراوح بين 35 إلى 5% وهذا النظير يختلف عن الكربون ¹⁴ المشع الذي يستخدم في تعيين العمر المطلق للحفائر والمواد العضوية.

• نظير الكبريت

يتواجد للكبريت 4 نظائر هم ³⁴S, ³²S, ³³S, ³⁶S. يوجد في صورته (³⁴S/³²S) أو $\delta^{34}\text{S}$ ويتراوح بين 45 إلى 60% وكل نوع من الصخور والمعادن يحتوي على كميته محدد ويمكن تمييز الأنواع المختلفة منه اعتماداً عليه.

• نظير السيلكون (³⁰Si/²⁸Si)

يميز الأنواع المختلفة من الصخور والمعادن وتتراوح نسبته بين 2.2 إلى 3.2%.

• نظير النيتروجين (¹⁴N/¹⁵N)

يستخدم في دراسة محتوى النترات في المياه الجوفية والسطحية.



قياس عُمر الصخور

النشاط الإشعاعي هو انحلال تلقائي لنواة العنصر الكيميائي عن طريق انبعاث الطاقة وجسيمات (ألفا، بيتا، جاما)، الأمر الذي يؤدي إلى نقص في الكتلة، فتنحدر النواة إلى نواة عنصر آخر أكثر استقراراً، ويكون معدل هذا الانحلال ثابتاً لا يتغير، ولا يتأثر بالظروف الفيزيائية والكيميائية للبيئة المحيطة بنواة العنصر المشع، وهذا ما يجعل هذه الظاهرة على قدر من الأهمية لاستعمالها في تطبيقات تحديد أعمار المعادن والصخور. وقد وجد أن الزمن الذي يستغرقه انحلال نصف ذرات العنصر المشع ثابت، ويسمى عمر النصف (Half - Life) أو (نصف الحياة). فمثلاً عمر النصف للراديووم 224 هو (1620) سنة تقريباً. فإذا وجد جرام واحد من الراديووم في عينة صخر، يبقى منه نصف جرام بعد سنة، وربع جرام بعد 1620 سنة أخرى، وثمان جرام بعد 1620 سنة. بمعنى أنه بعد انقضاء عمر النصف الأول يتحلل نصف النظير المشع، وبعد فترة عمر النصف الثاني يكون نصف الباقي، أي ربع النظير المشع قد بقي، أما بعد أربع فترات عمر النصف يكون قد تبقى $(2/1)^4 = (16/1)$ من النظير المشع أي (16/15) منه قد تحول إلى النظير المستقر. إن قياس عمر الصخور، وبالتالي معرفة تتابعها ووضع مقياس للزمن الجيولوجي، يتم أما بالعمر النسبي (Relative Dating) أو بالعمر الحقيقي (Absolute Dating)، وكلا الأسلوبين يعد تابعا لعلم التقويم الجيولوجي (Geochronology) الخاص بتحديد الأعمار (Montgomery, 1997).



طريقة العمر الحقيقي Absolute Dating Method

تعتمد على تحديد العمر الحقيقي للطبقات بالسنين. في عام (1910) أقترح العالم **فريدريك سودي** (Frederick Soddy) اسم النظير (Isotope) الذي يعني (نفس المكان للتعبير) عن الذرات المختلفة في أوزانها الذرية لكنها متشابهة في أعدادها الذرية. لذلك يمكن تعريف النظائر بأنها ذرات نفس العنصر الكيميائي التي لها نفس العدد الذري (أي نفس عدد البروتونات) لكنها تختلف في العدد الكلي (أي في عدد النيوترونات). إن مفهوم عدم استقرار النظير المشع يعني انحلال نواة الذرة تلقائياً لتكوين نواة ذرة عنصر آخر، لكن بحالة مستقرة وهذا ما يعبر عنه بالنشاط الإشعاعي (Radioactivity). وخلال هذه العملية تبعث من النواة أنواع مختلفة من الجسيمات على هيئة طاقة أو إشعاع، وبناءً على ذلك فإن النظير المشع الأصلي يدعى بالنظير الأم (Parent Nuclide) أما النظير الناتج من التحلل الإشعاعي فيدعى بالنظير البنت (Daughter Nuclide). إن عملية تحول النظير الأم إلى النظير البنت بواسطة التحلل الإشعاعي يتم بمعدل ثابت لا يتغير ولا يتأثر باختلاف الظروف الطبيعية والكيميائية المحيطة. معدل التحول هذا يدعى بثابت الانحلال (Decay Constant)، ولكل نظير مشع ثابت تحلل خاص به، على سبيل المثال ثابت انحلال اليورانيوم المشع (U238) هو (7620×10^6) . أما زمن تحول نصف وزن النظير الأم إلى النظير البنت فيدعى بنصف العمر (Half-Life)، فمثلاً نصف عمر نظير اليورانيوم يبلغ حوالي (4560) سنة (الياس، 1993). يمكن حساب عمر الصخور أو أي مادة تحتوي على نظير مشع من خلال:



العمر = وزن النظير الأم / وزن النظير البنت \times ثابت تحلل النظير

في الوقت الحالي يستخدم جهاز المطياف الكتلي (Mass Spectrometer) لحساب عمر الصخور، وهو جهاز يعتمد على المبدأ السابق في حساب العمر. من أبرز النظائر المستخدمة لحساب العمر هي: نظير اليورانيوم (U)، نظير البوتاسيوم (K)، نظير الأرجون (Ar)، نظير الروبيديوم (Rb)، نظير الكربون (C)، إلخ.



الساعات النووية

يطلق على العناصر المشعة التي تستعمل لقياس أعمار الصخور اسم «الساعات النووية»، وقد أمكن استخدامها في تحديد العمر المطلق للصخور بجميع أنواعها بشكل دقيق للغاية، وذلك في حالة تحقيق شرطين مهمين هما: أن يتم الانحلال بمعدل ثابت. وأن لا تفقد ولا تكسب العناصر ذات النشاط الإشعاعي نواتج الانحلال مرة أخرى. ويمكن قياس زمن معدن للتعرف على عمره بإجراء الآتي:

- تحليل كيميائي لعينة من المعدن لتعيين كمية كل من النظير المشع والعنصر الناتج من الانحلال، مثل تعيين كميتي اليورانيوم والرصاص.
- تعيين الكمية النسبية لكل من النظائر الثابتة، إذا كان هناك أكثر من نظير واحد كما هو موضح في الجدول المرفق.

عمر النصف	العنصر الثابت الناتج عن الانحلال الإشعاعي	العنصر المشع الأصلي
4467 مليون سنة	رصاص $^{206}\text{Pb}_{82}$	اليورانيوم $^{238}\text{U}_{92}$
704 مليون سنة	رصاص $^{207}\text{Pb}_{82}$	اليورانيوم $^{235}\text{U}_{92}$
1193 مليون سنة	آرجون $^{40}\text{Ar}_{18}$	البوتاسيوم $^{40}\text{K}_{19}$
48800 مليون سنة	سترونشيوم $^{87}\text{Sr}_{38}$	الروبيديوم $^{87}\text{Rb}_{37}$
5730 مليون سنة	نيتروجين $^{14}\text{N}_7$	الكربون $^{14}\text{C}_6$

يوضح الجدول عمر النصف لبعض النظائر المشعة المستخدمة في تحديد العمر المطلق



طريقة العمر النسبي Relative Dating Method

تعتمد على تحديد عمر الطبقات الصخرية بالنسبة لبعضها البعض دون معرفة العمر الحقيقي لها، وذلك بالاعتماد على قانون تتابع الطبقات (Principle of Superposition)، الذي وضعه **جيمس هتون James Hutton (1726-1797)**، الذي ينص على أنه في أي تتابع للصخور المتطبقة والتي لم تتعرض للتشويه بالتفلق أو الطي الشديد، فإن الطبقة التي في الأسفل تكون أقدم من الطبقة التي تعلوها، كما يمكن الاستفادة من قانون التتابع الحيواني والنباتي، ومن المتحجرات الدالة لتحديد العمر النسبي للطبقات الصخرية، خاصة عندما تكون معزولة عن بعضها، أي أن الطبقات التي تحتوي على المتحجرات القديمة تكون الأقدم وتلك التي تحتوي على المتحجرات الحديثة هي الأحدث.

يهتم العمر النسبي بدراسة التسلسل الزمني للأحداث والتغيرات، وأيضاً تطور الكائنات الحية، حيث إنها تمكنت من تحديد تطور الأرض منذ أن أصبحت جسم مكاني مستقل، يتم تحديد العمر أو التسلسل الزمني والأحداث الجيولوجية من خلال معرفة العمر النسبي والمطلق. يقصد بالعمر النسبي، تنظيم علاقة الطبقات بعضها ببعض، وتتمثل في ترتيب جميع الأحداث الجيولوجية بالشكل النسبي، وذلك من خلال استخدام العديد من المبادئ كالمقاطع والمقاطع وتعاقب الأحافير من أجل تحديده، كما يُعطي العمر النسبي الطبقات بصورة غير دقيقة، حيث إنه يعطي عمراً نسبياً للصخور من خلال تحديد أيهما أقدم وأيها أحدث، ولكن قد لا يمكن معرفة عمر الطبقات بالسنوات، أيضاً قد لا يكون بسهولة أن يتم تحديد تسلسل الأحداث التي تؤدي إلى تكوين معين. يتم تحديد العمر النسبي للصخور من خلال استخدام البيانات من الصخور الرسوبية بشكل عام، إلا أنه يتم تحديد العمر النسبي للصخور المنصهرة والمتحولة بناء لعلاقتها بالصخور الرسوبية.

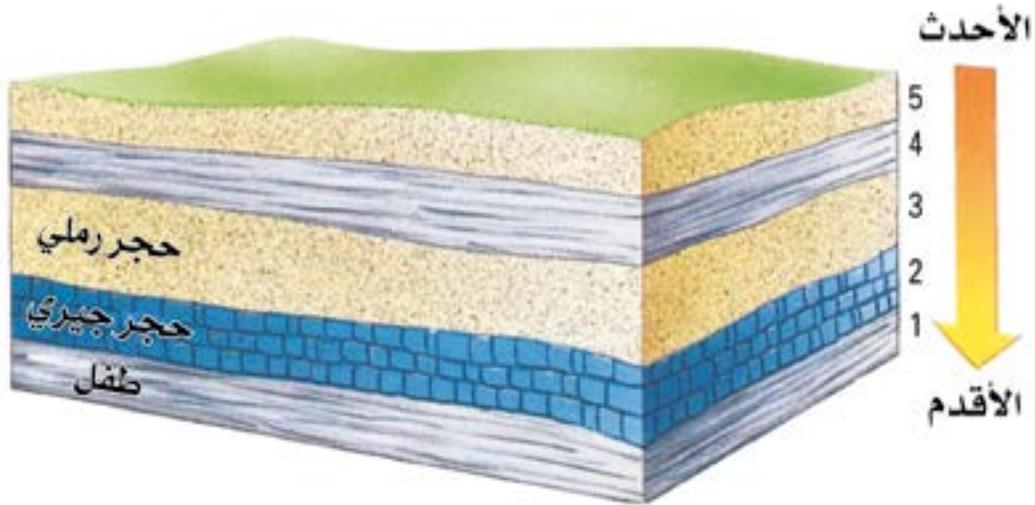


سلم الزمن الجيولوجي

يُعرف سلم الزمن الجيولوجي بأنه تقسيم لتاريخ الأرض وأحداثها بناءً على أشكال الحياة السائدة في أوقات محددة منذ نشأتها، وتسمى هذه الوحدات الزمنية المقسمة وحدات جيوزمنية، أو الوحدات الجيولوجية الزمنية (Geochronologic Units)، وقد عُثر على معظم أشكال الحياة القديمة هذه من خلال دراسة الأحافير، وهي بقايا أو آثار لكائنات حية عاشت في الماضي الجيولوجي وتم حفظ بقاياها في الرواسب أو الصخور عند موتها، حيث وفرت دراسة الأحافير إلى جانب الأدلة الجيولوجية والبيولوجية الأخرى؛ معلومات عن تاريخ الأرض وتطور الحياة، وذلك من خلال تقديم الأحافير معلوماتٍ عن الأعمار النسبية للطبقات الصخرية وبيئات الترسيب القديمة، وقد تم استخدام السجل الأحفوري لتطوير سلم الزمن الجيولوجي. من خلال ملاحظة العلاقات بين الوحدات الصخرية المختلفة؛ وصف العالم **نيكولاس ستينو** Nicolaus Steno عام 1669م عدة مبادئ جيولوجية أساسية تُستخدم في تحديد العمر النسبي للطبقات الصخرية، وهي :

• مبدأ تعاقب الطبقات Principle of Superposition

حيث إنه توجد العديد من الطبقات الأفقية، ومن خلال استخدام بعض المبادئ الأساسية من الممكن أن يتم حساب الأعمار النسبية للصخور، يقوم هذا المبدأ على أن الطبقة التي تكون في الأسفل هي الطبقة الأقدم، على أن تكون الطبقة العليا هي الأحدث، ويتخلص مبدأ التعاقب الطبقي أن كل طبقة رسوبية تكون أحدث من الطبقة التي أسفلها وأقدم من الطبقة التي تعلوها، وهذا المبدأ يمثل حجر الأساس في تحديد العمر النسبي للصخور.



مبدأ تعاقب الطبقات (الطبقة التي تكون في الأسفل هي الطبقة الأقدم)

• مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality

ينص على أن طبقات الصخور تترسب بشكل أفقي. طبقات الصخور المترسبة من الأعلى، مثل الرواسب وتدفق الحمم البركانية، وضعت في الأصل أفقياً. الاستثناء من هذا المبدأ هو عند هوامش الأحواض، حيث يمكن للطبقات أن تتحدر قليلاً إلى أسفل الحوض.

• مبدأ الاستمرارية الجانبية الأصلية Principle of Lateral Continuity

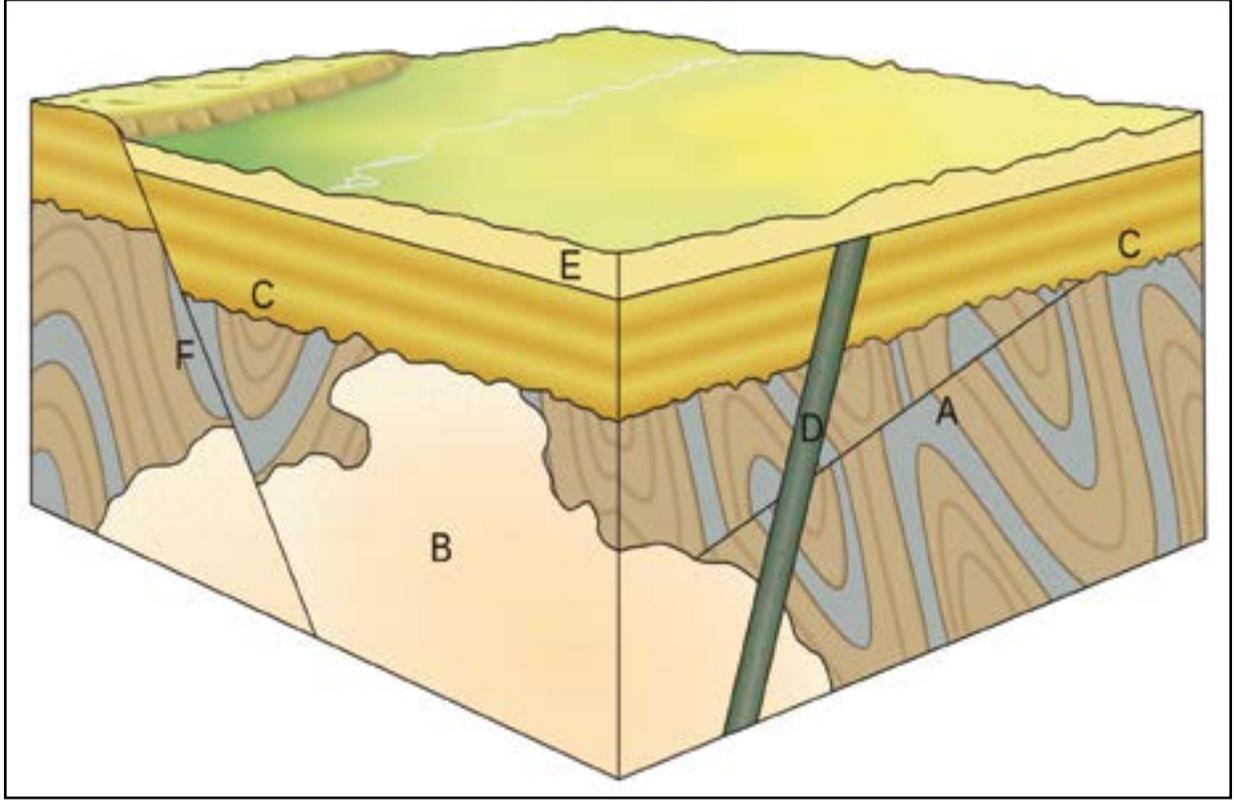
تترسب الصخور الرسوبية في أجسام ثلاثية الأبعاد، وتمتد أفقياً في كل الاتجاهات حتى تتلاشى عند حافة حوض الترسيب الذي تترسب فيه، أو تتغير خواصها إلى نوع آخر من الرواسب. ويتحدد امتداد الطبقات أفقياً من



خلال عملية المضاهاة Correlation فعندما تضاهي المنكشفات المنفصلة للوحدة الصخرية نفسها بشكل صحيح، فإنها تدل على أن هذه المنكشفات عبارة عن أجزاء مما كان وحدة واحدة متصلة في الأساس. وتحمل الطبقات الرقيقة الواسعة الانتشار التي لها صفات خاصة مميزة أهمية زمنية، أي تعبر عن لحظة زمنية محددة يمكن استخدامها كخطوط تعبر عن التساوي الزمني عند إجراء المضاهاة. وتعتبر هذه الوحدات الفيزيائية المتماثلة متزامنة جيولوجياً على امتداد منطقة تواجدها، مثل طبقات الرماد البركاني.

• مبدأ العلاقات المتقاطعة Principle of Cross-Cutting Relationships

حيث أن عمر القاطع يكون أحدث من عمر الطبقة المقطوعة، حيث إن الطبقات التي تتقاطع مع الطبقات الأخرى تكون أصغر من الطبقات التي تقطعها، وهذا هو مبدأ العلاقات الشاملة، إذ أنه ينص هذا المبدأ على أن الجسم **الجيولوجي** الذي يقطع الصخور الأخرى يجب أن يكون أصغر من السمتين، أيضاً الصدوع والشقوق التي يظهر على طولها انتقال الصخور من جانب إلى آخر هي أصغر من الصدع. في الرسم البياني أدناه يجب أن يكون القاطع الناري **D** أحدث من الصدع **A** والتداخل الناري **B**، لأنه يتقاطع مع هذه الميزات وغيرها.



مبدأ العلاقات المتقاطعة (القاطع أحدث من المقطوع)

• مبدأ الوتيرة الواحدة Law of Uniformitarianism

أوضح العالم **جيمس هوتون** James Hutton أن العمليات الطبيعية مثل تكوّن الجبال، والعمليات السطحية كالتعرية؛ حدثت ببطء وبمرور الوقت من خلال العوامل الجيولوجية التي كانت تعمل منذ تشكل الأرض التي لا تزال سائدة حتى الآن، ومع ملاحظاته وأفكاره توصل إلى ما يعرف باسم مبدأ (الوتيرة الواحدة) الذي ينص على أن العمليات الجيولوجية التي تحدث اليوم؛ حدثت



في طرق مماثلة في الماضي، مما يسمح للجيولوجيين بتحديد العمليات السابقة بناءً على التضاريس والعمليات التي تحدث اليوم وقد دحض العالم **هوتون** بذلك مبدأ الكارثية الذي اعتبر أن العمليات المختلفة كتكون الجبال قد تشكلت بسبب تغيرات كبيرة ومفاجئة أو بسبب الكوارث. هذه العمليات لم تتغير. على سبيل المثال، العمليات التي تنقل وترسب الرواسب في النهر هي نفسها اليوم كما كانت قبل مليار سنة. لذلك يتم التعبير عن مبدأ الوتيرة الواحدة على أنه «الحاضر هو مفتاح الماضي» الذي يوجه مبادئ علم طبقات الأرض.

• قاعدة التتابع الحفري Principle of Fossil Succession

لعبت قاعدة التتابع الحفري دوراً رئيسياً في تطور علم **الجيولوجيا** التاريخية، وهي تنص على أن كل طبقة أو مجموعة من الطبقات في التتابعات الرسوبية تحتوي على حفريات مميزة تختلف عما تحتها وما فوقها. وتمثل الحفريات fossils بقايا كائنات حية قديمة أو آثارها، وهي تساعد كثيراً في تحديد العمر النسبي للصخور الرسوبية. وقد دعمت قاعدة التتابع الحفري قاعدة التعاقب الطبقي كثيراً، لأن الحفريات ليست كالحبيبات غير العضوية تتواجد عشوائياً، وإنما تتواجد بنظام محدد يمكن تتبعه. فأنواع الصخور يمكن أن تتكرر كثيراً في التتابعات الطبقيّة الرأسية بتكرار ظروف الترسيب، بينما تتغير المجموعات الحفريّة رأسياً ولا تتكرر أبداً بسبب نظام التطور الذي لا يعيد الكائن المنقرض مرة ثانية. ويسمى هذا الترتيب الطبقي للحفريات بـ «التتابع الحفري».



تمكن العالم **سميث** من بيان أن لكل زمن جيولوجي أحافير خاصة به تميزه عن سواه من الأزمنة، كما أنه قام بوضع مبدأ التعاقب والمضاهاة، حيث إنه أصبح من الممكن إيجاد العمر النسبي للصخور ومضاهاتها من قارة إلى أخرى، والمضاهاة تعني مطابقة الطبقات الصخرية في المناطق المختلفة من سطح الأرض من حيث نوع الصخور وعمرها، كما وتنقسم إلى مضاهاة أحفورية، ومضاهاة صخرية، فالمضاهاة الصخرية هي المضاهاة لطبقات صخرية التي تكون عبر مسافات قريبة، بحيث تعتمد على نوع الصخر، بينما المضاهاة الحفرية، فهي المضاهاة التي تعتمد على تشابه الأحافير في الطبقات الصخرية.

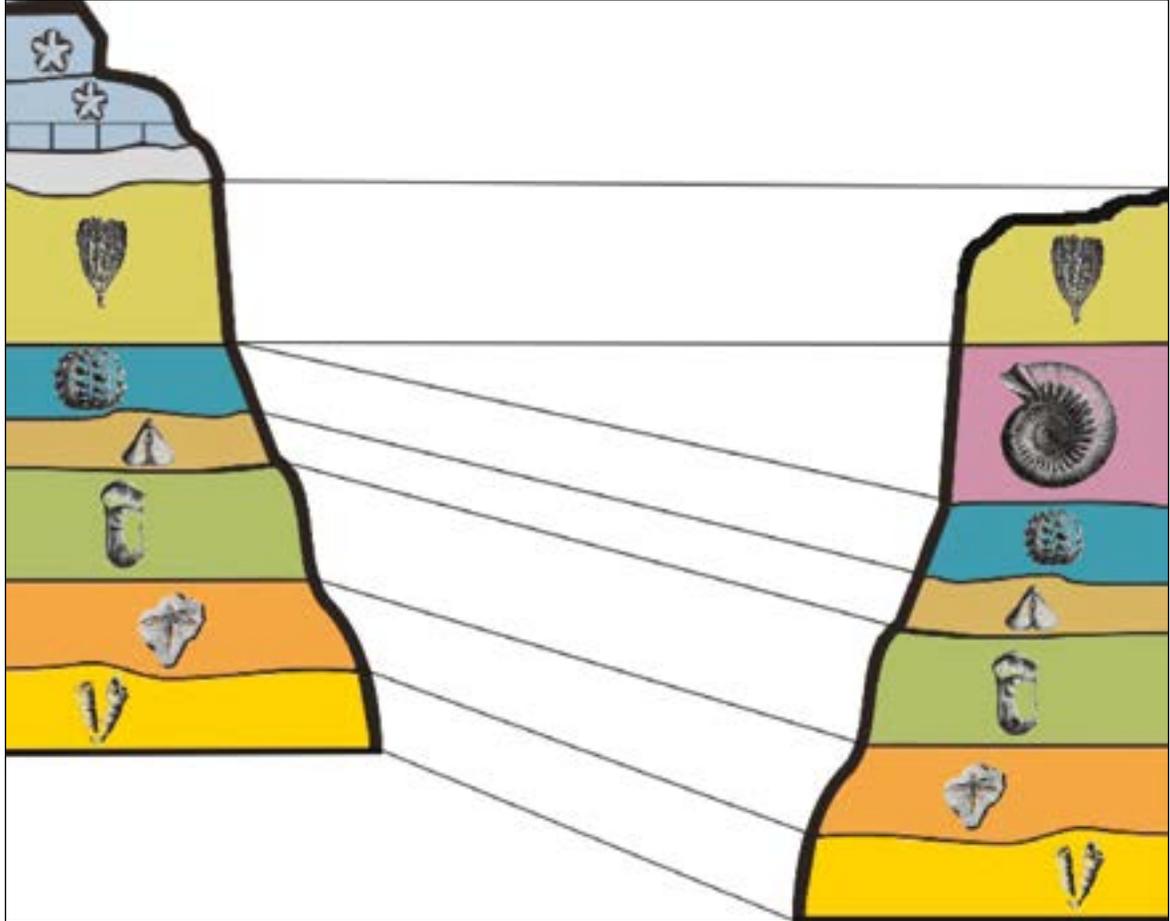
كما يمكن عمل المضاهاة بين الوحدات الصخرية عن طريق الوضع في التتابع الطبقي والطبقة الدالة Key Bed مثل طبقات الفحم والرماد البركاني. وتكون مثل هذه الطبقات مهمة عند عمل مضاهاة بين تتابعات صخرية، وبخاصة على نطاق إقليمي.

وتستخدم الحفريات للدلالة على زمن الوحدات الصخرية، حيث تمثل تلك الحفريات بقايا لكائنات حية عاشت لفترة زمنية خلال الزمن الجيولوجي الماضي. وتسمى الحفرية التي تستخدم في تحديد عمر الطبقات التي تحتويها، بالحفرية المرشدة (الدالة) Index Fossil ولكي تكون الحفرية مرشدة، فإنها يجب أن تكون شائعة في الطبقات، ولها توزيع جغرافي واسع، ومدى زمني محدود. ومن أحسن الأمثلة على الحفرية المرشدة الكائنات الحية الطافية التي تتميز بتطور سريع وانتشار جغرافي واسع.



• قاعدة المكتفات (المتداخلات) Principle of Inclusions

وهي تنص على أن الفتات والحبيبات التي توجد في صخر تكون أقدم عمراً من الصخر نفسه. فإذا احتوت طبقة ما على فتات من طبقة أو جسم ناري مجاور كانت تلك الطبقة الأخيرة أو الجسم الناري أقدم عمراً والعكس صحيح وبعد ذلك تم تحديد العمر النسبي للطبقات الصخرية، وهو عمر الطبقات بالنسبة لبعضها البعض وليس العمر الدقيق، أي **(بملايين السنين)** بل تحديد الأقدم والأحدث، وبعد ذلك تم تطبيق مبادئ تعاقب الطبقات المذكورة أعلاه باستخدام طريقة المضاهاة، إذ يمكن «مطابقة» طبقات الصخور، والتخمين بأنها قد تشكلت خلال نفس الفترة، ولذلك فهي عادة ما تكون في نفس العمر.



رسم تخطيطي يوضح الطبقات التي تحتوي على أحافير. خطوط تربط الطبقات بمحتوى أحفوري مكافئ.



الأحافير المرشدة Index Fossils

هي الحفريات التي توجد بشكل شائع وكذلك موزعة على نطاق واسع وهي الحفريات محدودة في هذه الفترة. هذه مفيدة في تحديد عمر الصخور العضوية وكذلك التجمعات الأحفورية الأخرى. ليس هذا فحسب، بل إنه يساعد أيضاً في إنشاء العلاقات بين الوحدات الصخرية وتحديد العمر النسبي والكشف عن البترول، وتسمى أيضاً الأحافير الإرشادية أو الحفريات الدالة. الأحافير المرشدة هي تلك الأحافير المفيدة للتأريخ وكذلك ربط الطبقات المختلفة التي وجدت فيها. تعيش بعض الأنواع في مكان وبيئة معينة ويتم الحفاظ على الحياة الحيوانية / النباتية في صخور الأرض التي هي سمة من سمات مدى معين من الزمن أو البيئة الجيولوجية. تُستخدم الأحافير المرشدة لتحديد المراحل الجيولوجية وكذلك الإشارة إليها. يستخدمها علماء كأدوات مساعدة مهمة لتحديد الارتباط وكذلك عمر أنماط الصخور. ويستخدم الجيولوجيون حفريات كبيرة للحفريات المجهرية لتحديد الزمن الجيولوجي. يستخدمون كلاً من الحفريات الكبيرة وكذلك الأحافير المجهرية أو الأحافير الدقيقة كمرشحات لتحديد الفترات الجيولوجية. إذا تحدثنا عن الأحافير الكبيرة، فإنها تتمتعون بميزة على الأحافير الدقيقة؛ لأنه من السهل رؤيتها والعثور عليها في الميدان، لكنها في الواقع نادرة في حين تستخدم صناعات الموارد المعدنية الأحافير الدقيقة بعد استخراج المعلومات المطلوبة من هذه الأحافير. هناك بعض أنواع الأحافير المرشدة التي تشمل الأمونيت Ammonites، وعضديات الأرجل Brachiopods، والخطيات Graptolites، والأحافير النانوية Nanofossils، وثلاثيات الفصوص Trilobites.



- **الأمونيت:** أحفورة الحيوانات البحرية القديمة تُعرف باسم «أحفورة مرشدة الأمونيت». خلال حقبة الدهر الوسيط، كانت شائعة (منذ 245 إلى 65 مليون سنة). بعد العصر الطباشيري، لم يتم العثور عليها لأنها انقرضت خلال انقراض K-T (قبل 65 مليون سنة).
- **عضديات الأرجل:** ظهرت قبل 550 مليون سنة. تأسست لأول مرة في العصر الكمبري. هذه حيوانات بحرية شبيهة بالرخويات، ظهرت خلال العصر الكمبري (540 إلى 500 مليون سنة) وبعضها لا يزال على قيد الحياة، وهي من أكثر الحفريات شيوعاً.
- **الخطيات:** إنها رقيقة ولامعة. تبدو العلامات على أسطح الصخور مثل علامات قلم رصاص. جاء اسم الخطيات من الكلمة اليونانية التي تعني «الكتابة على الصخور». هذه هي عبارة عن نصف حبليات Hemichordate بحرية استعمارية منتشرة. لقد عاشوا خلال فترة الكمبري تقريباً من (540 إلى 505 مليون سنة مضت) إلى أوائل منتصف العصر الكربوني (360 إلى 320 مليون سنة مضت). توجد في الصخر الزيتي والطين.
- **الأحافير النانوية:** هذه أحافير مجهرية (بقايا العوالق النانوية الجيرية، Coccolithophores) من عصور مختلفة. نظراً لمعدلاتها التكيفية، فهي خاصة بالزمن. الأحافير النانوية وفيرة جداً وتنتشر على نطاق واسع في المناطق. هناك أعداد مختلفة من الأحافير النانوية المفيدة التي تشمل المستحاثات الراديوية والمنخرجات. حتى الوقت الحالي، تعتبر الرواسب البحرية هي الطرائق الأساسية.



- **ثلاثية الفصوص:** كانت شائعة خلال عصر الباليوزويك (540 إلى 245 مليون سنة). نحو نصف حفريات الباليوزويك هي ثلاثية الفصوص. في بداية العصر الباليوزويك، تكيفت بينما انقرضت خلال أواخر العصر البرمي، أي منذ 248 مليون سنة.
- تتمتع الأحافير المرشدة بعددٍ من المزايا المختلفة منها:
- تستخدم هذه الحفريات من قبل الجيولوجيين، وكذلك علماء الحفريات كمساعدات مهمة من أجل تحديد الارتباط وكذلك عمر تسلسل أو أنماط الصخور.
- إذا تحدثنا عن الأحافير الدقيقة، عند الحاجة، تجمع المعرفة الدقيقة من الحفريات، بعد ذلك، تستخدم بشكل عام من قبل المنقبين عن النفط إلى جانب الصناعات الأخرى المهتمة بالموارد المعدنية.
- من خلال استخدام بعض الأساليب الفيزيائية أو البيولوجية، يمكن عمل الارتباطات الطباقية.
- يمكن أيضاً التحقق من التشابه الصخري بين وحدات الصخور المختلفة باستخدام واحد أو اثنين من طبقات العلامات.
- لقد ساعدت الأحافير المرشدة وقامت بدور حيوي في إنشاء نظرية الانجراف القاري. إذ بسبب أدلة الأحافير المرشدة، تمكن ألفريد لوتار فيغنر من إنشاء وتقديم (فرضية الانجراف القاري) الخاصة به في عام 1912. ووفقاً لهذا، فإن جميع قارات العالم التي يمكننا رؤيتها اليوم



نشأت من قارة واحدة عملاقة، مثل بانجيا Pangea وتقسيم بانجيا إلى أجزاء أصغر، يؤدي إلى انحراف هذه القطع عن بعضها بعضاً منذ نحو 200 مليون سنة مما يؤدي إلى تكوين القارات الحالية. وقد وجد أن بقايا الحفريات، وكذلك بنية الصخور حول السواحل في أمريكا الجنوبية وأفريقيا والهند، كانت متشابهة مع بعضها بعضاً مع أنها انفصلت عن طريق المحيطات، مثل: المحيط الأطلسي والمحيط الهندي. حتى أحافير النباتات الاستوائية مثل السراخس والسيكاسيات وغيرها عُثر عليها في جزيرة القطب الشمالي. وبالتالي، فإن وجود الأحافير المرشدة يؤدي إلى التحقق من نظرية الانجراف القاري.



بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة

بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة Paleomagnetic Signatures من الإضافات المهمة التي حدثت في القرن العشرين إلى علم الطبقات اكتشاف بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة في الصخور. حيث يظهر في صخور التتابعات الطبقيّة تتابع من أحداث القطبية المغناطيسية (أي اتجاه المجال المغناطيسي للأرض في وقت ما)، من القطبية العادية Normal Polarity أي مماثلة لاتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض والقطبية المعكوسة Reverses Polarity أي يكون اتجاه المجال المغناطيسي عكس اتجاه المجال الحالي، حيث يكون قطب الأرض الشمالي متجهاً نحو الجنوب الحالي؛ ولقد تعرض المجال المغناطيسي للأرض للانقلاب كثيراً طوال تاريخ الأرض الطويل، كما تغير موضع الأقطاب المغناطيسية كثيراً جداً أيضاً بسبب حركة الكتل المتقاربة بالنسبة للأقطاب. وهذا يقدم وسائل أخرى لتقسيم التتابعات الطبقيّة، كما يمكن به إجراء المضاهاة بين التتابعات الطبقيّة المتباعدة أيضاً.



عدم التوافق Unconformity

من الظواهر الطبقيّة المهمة التي تقيّد كثيراً في تحديد العمر النسبي والتاريخ الجيولوجي ما يعرف بـ «علاقة عدم التوافق»، ويعرف بأنه «سطح تعرية أو عدم ترسيب مدفون»، وبالتالي فهو يعبر عن جزء مفقود من السجل الجيولوجي نتيجة التعرية وعدم الترسيب. فعدم التوافق هو سطح بين طبقتين يفصل بينهما فاصل زمني. ويمكن تعريف أربعة أنواع من عدم التوافق، هي:

عدم التوافق التبايني Nonconformity

عدم التوافق التبايني وهو سطح طبقي يفصل بين صخور متبلورة (نارية أو متحولة) أقدم عمراً وأخرى رسوبية أحدث عمراً.

عدم التوافق الزاوي Angular Unconformity

عدم التوافق الزاوي وهو سطح تعرية يفصل بين مجموعتين من الطبقات مختلفتين في زاوية الميل.

عدم التوافق التخالفي Disconformity

عدم التوافق التخالفي وهو نوع يصعب تعريفه، حيث يوجد سطح تعرية متعرج الشكل بين طبقات متوازية، وفيه يقطع سطح عدم التوافق أسطح الطباقية، ويكون الشاهد عليه وجود دليل على حدوث عملية تجوية مثل وجود فتات من الصخور التي تليه في الصخور التي تعلوه، مثل صخر الكونجلومرات.



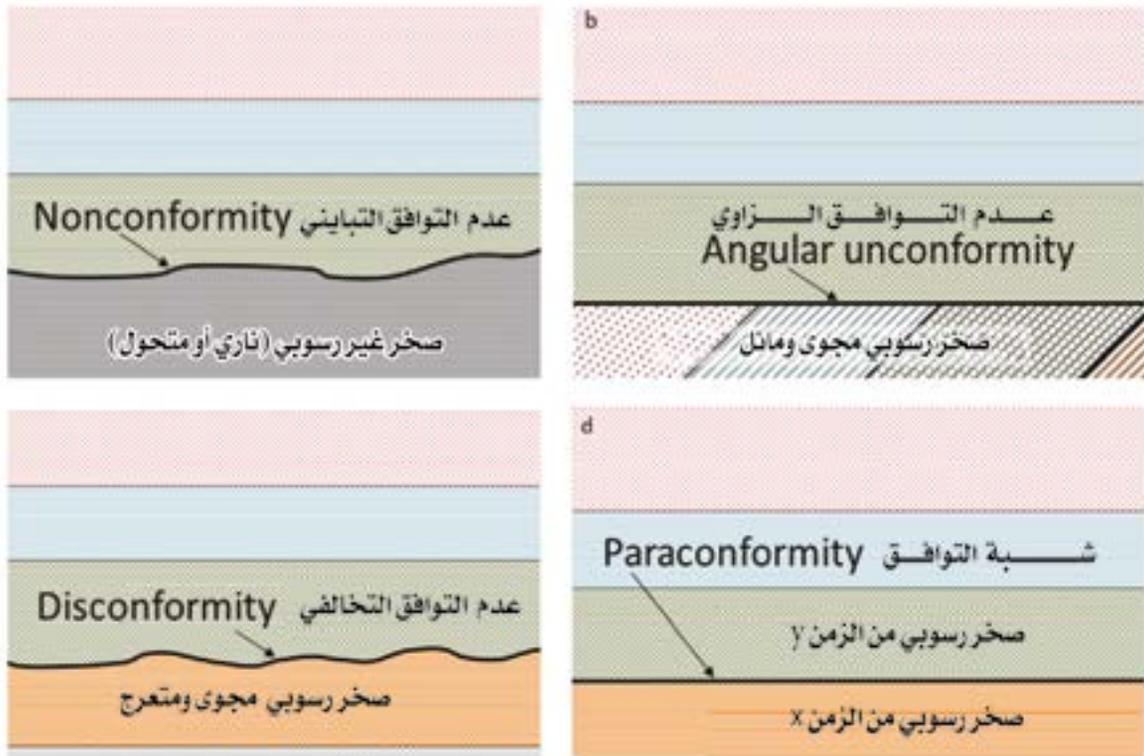
شبه التوافق Paraconformity

شبه التوافق وهو أصعب أنواع عدم التوافق، حيث يعتمد تعرفه على اختلاف عمر الطبقات التي تليه عن الطبقات التي تعلوه، ويكون الشاهد عليه اختلاف المحتوى الحفري لكلا التتابعين أسفله وأعله. ويعبر عن الفترة الزمنية المقابلة لعدم التوافق بثغرة ترسب (الثلمة) Hiatus، وهي تساوي الفرق في الزمن بين الصخور التي تقع فوق سطح عدم التوافق وتلك التي تقع تحته. وتجدر الإشارة إلى أن سطح عدم التوافق يمثل غياباً لفترة زمنية طويلة جيولوجياً. أما إذا كانت الفترة المفقودة من التتابع الطبقي قصيرة فإننا نشير إليها بالفصلة Diastem وفي العادة فإن عدم التوافق يشير إلى فقد لفترات من السنين، بينما تعبر عن فقد لفترات زمنية قصيرة نسبياً تصل إلى أسابيع أو شهوراً أو حتى قرون.

وتسمح القواعد الأساسية السابق ذكرها بتحديد العمر النسبي بالنظر إلى مجموعة رأسية من الطبقات، أو إلى أي تتابع طبقي (استراتيجي) Stratigraphic Sequence على أنه سجل مرتب زمنياً للتاريخ الجيولوجي لمنطقة ما. ويسمى الخط الزمني المقابل والموضوع على أساس هذا التتابع بالزمن الجيولوجي Geologic Time، وهو الممثل زمنياً لهذا التتابع، أي كسجل جزئي كامل للوقت الذي انقضى منذ ترسبت أقدم الطبقات في أسفل التتابع إلى أحدث الطبقات في أعلى التتابع (يستخدم مصطلح الزمن الجيولوجي أيضاً للإشارة إلى الفترة الزمنية الممتدة، منذ انتهاء تكوين الأرض ككوكب منفصل حتى بداية التاريخ المكتوب). وتختلف التتابعات الطبقيّة عن التتابعات الرسوبية فالتتابعات الرسوبية هي تغيرات رأسية في التركيب الصخري للرواسب المتكونة في بيئة ترسيب واحدة. أما التتابع الطبقي فهو أشمل في التعريف ويضم طبقات



واسعة التغيير لكل منها أصل مختلف. وبينما يتم التأكيد في التتابعات الرسوبية على طبيعة الأنواع المتتابعة من الرواسب فإن التأكيد في التتابعات الطبقيّة (الإستراتيجية) يكون على التتابع الزمني للطبقات المكونة للتتابع وظروف الترسيب.



أشكال عدم التوافق Unconformity



العمود الجيولوجي

هو مصطلح يطلق على التتابع الكامل لجميع الصخور التي تكون القشرة الأرضية من أقدم مكوناتها حتى أحدثها ويستعمل نفس المصطلح أحياناً للدلالة على التتابع الصخري الكامل الممثل في منطقة معينة. ينقسم تاريخ الأرض إلى مجموعة هرمية من التقسيمات لوصف الزمن الجيولوجي؛ وهي: **دهر، وحقبة، وعصر، وفترة**، ويوضح الجدول سلم الزمن الجيولوجي ويظهر دهر الحياة على طول الجانب الأيسر من الجدول، ويمثل الوقت الذي عاشت خلاله غالبية الكائنات الحية الدقيقة، مثل: الطحالب، والفطريات، والنباتات والحيوانات، وعادةً ما يُشار إلى الوقت الذي يسبق دهر الحياة الظاهرة على أنه عصر ما قبل الكامبري، وتم تقسيمه إلى الحقب الثلاثة الموضحة في الجدول.

يتكون دهر الحياة الظاهرة من ثلاثة أقسام رئيسية، وتعكس هذه التقسيمات تغييرات كبيرة في بيولوجية الحيوانات القديمة، حيث يتم التعرف على كل عصر من خلال هيمنة مجموعة معينة من الحيوانات، ويُطلق على حقبة الحياة الحديثة أحياناً اسم «**عصر الثدييات**»، وحقبة الحياة المتوسطة اسم «**عصر الديناصورات**»، ويطلق على حقبة الحياة القديمة اسم «**عصر الأسماك**»، ولكن لا يعني ذلك أن هذه الأنواع من الحيوانات فقط كانت سائدة في كل حقبة، فمثلاً، بالإضافة إلى الديناصورات، عاشت أيضاً حيوانات، مثل: الثدييات، والسلاحف، والتماسيح، والضفادع، وأنواع لا حصر لها من الحشرات على الأرض خلال حقبة الحياة المتوسطة. بالإضافة إلى ذلك، تم وضع النباتات وتغيراتها في عين الاعتبار في سلم الزمن الجيولوجي؛ حيث كان هناك العديد من أنواع النباتات التي عاشت في الماضي وانقرضت، كما أنها مرت بتغييرات كبيرة أيضاً لم تكن مرافقة لتغييرات في المملكة الحيوانية.



تقدير عُمر الأرض

تطور الحياة على الأرض		الداية (سنوات مضت)	العصر أو الفترة وأحداثها	العصر الجيولوجي
	اصطف البشر الحيوانات وروصوها. وطوروا الزراعة وتعرفوا على استخدام الفطرات والعضو الخجري والغاز والنفط الأخرى. واستغلوا طاقة الرياح والأجبار لتعمل.	١١,٥٠٠	فترة الهولوسين ١١.٥ ألف سنة	العصر الحديث
	انقرضت الطيور ووحيد القرن ذو العنقود وحيوانات أخرى ولكنها لم تختف. نهاية هذه الفترة.	٢ مليون	فترة اليوسين ٢ مليون سنة	
	الحياة البحرية أصبحت كموما هذا. والطيور والحيوانات أصبحت مثل الأرواح الحديثة والمتنشرت حول العالم وظهرت حيوانات شبيهة بالإنسان.	٥ مليون	فترة البليوسين ٣ مليون سنة	العصر القديم
	ظهرت الفترة العظمى في آسيا وأفريقيا. ولشغل الحيوانات الأخرى الحفاحش والقرود والخيول والذئبة الأولية والزئبق وأعدت النباتات الزهرية والأشجار تشبه الأوباق الحديثة.	٢٤ مليون	فترة النيوسين ١٩ مليون سنة	
	ظهرت القرود الأولية. تطورت الحماض والقطط والكلاب والذئبة والخيول ووحيد القرن والقواض. اصطفت الحيوانات التي تشبه ووحيد القرن نهاية هذه الفترة.	٣٤ مليون	فترة الأيوسين ١٠ مليون سنة	العصر القديم
	كثرت الطيور والرماليات والرواحف الصغيرة والسماك. ظهرت الحفاحش الأولية والحماض والقطط والخيول والقرود ووحيد القرن والحيوانات.	٥٥ مليون	فترة الأيوسين ٢١ مليون سنة	
	كثرت النباتات الزهرية. شاعت الحفاحش والرماليات والسماك والحيوانات.	٦٥ مليون	فترة النيوسين ١٠ مليون سنة	العصر القديم
	ظهرت النباتات الزهرية. كثرت الحفاحش والرماليات. شاعت الديناصورات ذوات القرون والصفحة. بدأت الديناصورات لتفرض نهاية هذا العصر.	١٤٥ مليون	العصر الطباشيري ٨٠ مليون سنة	
	كثرت الأشجار الصنوبرية. تملكت الحياة البحرية الحمار القشري. بلغت الديناصورات أكبر حجم لها. ظهرت أولى الطيور. الثدييات كانت صغيرة وبعثية.	٢١٣ ملايين	العصر الجوراسي ٦٨ مليون سنة	العصر القديم
	كثرت الأشجار الصنوبرية. كثير من الأسماك كانت تشبه الأسماك الحديثة وكثرت الحشرات. ظهرت أولى السلاحف والسامح والديناصورات كآكل الثدييات.	٢٤٨ مليون	العصر الترياسي ٣٥ مليون سنة	
	ظهرت أولى السلائب البحرية. الأشجار الصنوبرية. كثرت الأسماك والرماليات والرواحف بكثرة.	٢٨٦ مليون	العصر البرمي ٣٨ مليون سنة	العصر القديم
	شاعت الأشجار الحشرقية والبراعم والأسن العملاق وظهرت أولى الرواحف وعاشت الحشرات العملاقة في الغابات حيث تكون الضخم جدا بعد.	٣٣٠ مليون	العصر الكربوني ٤٠ مليون سنة	
	انقرضت تقريباً ثلاثيات الفصوص (البرايلويت) وكثرت القشريات والسماك والرماليات. تكونت كثير من الشعاب.	٣٦٠ مليون	العصر الكربوني ٣٠ مليون سنة	العصر القديم
	تحت أولى الغابات في السنتاغوا. سمحت أنواع كثيرة من الأسماك لتتغذى القروش والسماك الضفح والرتوبي في البحر والنبات العديدة. ظهرت أولى الرماليات والحشرات.	٤١٠ مليون	العصر البينوني ٥٠ مليون سنة	
	ظهرت أولى السلائب السوية ذوات الأوباق. شاعت ثلاثيات الفصوص والرواحف. تكونت الشعاب المرجانية.	٤٤٠ مليون	العصر السيلوري ٣٠ مليون سنة	العصر القديم
	شاعت ثلاثيات الفصوص والرواحف والرواحف. عاشت الحيوانات الحفاحش (البرايلويت) في مجموعات متفرقة.	٥٠٠ مليون	العصر الأوردوفيشي ٦٥ مليون سنة	
	كثرت الأحافير لأول مرة. كانت حيوانات قشرية تسمى ثلاثيات الفصوص وبعض الرخويات شائعة في البحر. ظهور سمك عدم العلك.	٥٢٤ مليون	العصر الكمبري ٣٩ مليون سنة	العصر القديم
	عاش الرخويات والسماك الهلامي والذئبان في البحر قبل ١١٠٠ مليون سنة تقريباً. عاشت الكمبريا قبل ٣٠٦ مليون سنة. وقبل ذلك لتعرف أبناء حياة.	٤٠٥ مليون (٢)	رغم ما قبل الكمبري ٤ ملايين سنة تقريباً (٢)	

العمود الجيولوجي يطلق على التتابع الكامل لجميع صخور القشرة الأرضية





من خلال العمود الجيولوجي يمكن الربط بين التتابعات الطباقية التابعة لزمن واحد. ولقد تمكن الجيولوجيون من خلال عملية المضاهاة على مستوى العالم - من جمع عمود جيولوجي Geologic Column، هو عبارة عن قطاع رأسي مركب، يحتوي تتابع الطبقات المعروفة في ترتيب زمني على أساس محتواها الحفري، أو أي أدلة أخرى على العمر النسبي. وما زال يضاف إلى هذا المقياس العالمي، أو يتم إدخال تحسينات عليه حتى الآن، نتيجة وصف أو رسم خرائط لوحداث صخرية أكثر.



وحدات الزمن الجيولوجي

يقسم الجيولوجيون كل التاريخ الجيولوجي إلى وحدات مختلفة المدى الزمني تقابل الوحدات الصخرية للعمود الجيولوجي. وتشمل في مجموعها مقياس الزمن الجيولوجي Geologic time scale لتاريخ الأرض. ونظراً لأن تحديد العمر المطلق باستخدام المواد المشعة لم يكن معروفاً في ذلك الوقت، فإنه مقياس الزمن قد أقيم باستخدام طرق قياس العمر النسبي. وقد أضيفت التقديرات المطلقة لوحدات مقياس الزمن بعد إجازتها في القرن العشرين.

إن الدهر الذي بدأ قبل 570 مليون سنة دهر الحياة الظاهرة Phanerozoic Eon وهو مصطلح مشتق من الكلمات اللاتينية التي تعني حياة ظاهرة، وهو وصف مناسب، لأن صخور ورواسب ذلك الدهر تحوي الكثير من الحفريات التي تسجل الاتجاهات التطورية الرئيسية في الحياة. ويقسم دهر الحياة الظاهرة إلى ثلاثة أحقاب Erathems/Eras هي: حقبة الحياة القديمة Paleozoic، وحقبة الحياة المتوسطة Mesozoic، وحقبة الحياة الحديثة Cenozoic وتعكس هذه الأسماء اختلافات واضحة في شكل الحياة على مستوى العالم عند الحدود بين الأحقاب. وينقسم كل حقبة من الأحقاب الثلاثة إلى وحدات زمنية تسمى عصور Systems/Periods.

ينقسم حقبة الحياة القديمة إلى ستة عصور، وحقبة الحياة الوسطى إلى ثلاثة عصور، وحقبة الحياة الحديثة إلى عصرين. وتختلف الحياة من عصر إلى عصر، إلا أن هذه الاختلافات تقل عن تلك الاختلافات التي توجد بين حقبة وحقبة. كما يقسم كل عصر من العصور إلى أقسام أصغر، ويطلق عليها الأحيان Series/Epochs بينما يقسم الحين إلى أعمار Stages/Ages وتعتبر أصغر الوحدات وتدوم من 2 إلى 10 مليون سنة.



مثال	التعريف	وحدة الزمن الجيولوجي Geochronologic	وحدة الزمن الطبقي Chronostratigraphic
<ul style="list-style-type: none"> • دهر اللا حياة • دهر الحياة السحيقة • دهر الحياة الأولية • دهر الحياة الظاهرة 	<ul style="list-style-type: none"> • أطول وحدات مقياس الزمن الجيولوجي وقسمت إلى أربعة دهور 	Eon الدهر	Eonothem قسم صخري
<ul style="list-style-type: none"> • حقبة الحياة القديمة • حقبة الحياة المتوسطة • حقبة الحياة الحديثة 	<ul style="list-style-type: none"> • وحدة زمنية أصغر من الدهر وقسم المقياس حقبة الحياة الظاهرة إلى ثلاث حقبة. 	Era الحقب	Erathem مجموعة صخرية
<ul style="list-style-type: none"> • الكامبري - الأوردفشي - السليوري - الديفوني 	<ul style="list-style-type: none"> • وحدة أصغر من الحقب وقسم المقياس إلى 11 عصر. 	Period العصر	System نظام
<ul style="list-style-type: none"> • الباليوسين - الأيوسين - الأولوجوسين 	<ul style="list-style-type: none"> • أجزاء أصغر من العصور وقسم المقياس إلى 7 أحيان 	Epoch الحين	Series سلسلة
	<ul style="list-style-type: none"> • يقسم الحين إلى أعمار وتعتبر أصغر الوحدات وتدوم من 2 إلى 10 مليون سنة 	Age العمر	Stage مرحلة

وحدات المقياس الزمني الجيولوجي Geochronological Time Units



لا يمكن عمل تقسيم تفصيل لمقياس الزمن الجيولوجي إلا في 570 مليون سنة الأخيرة من عمر الأرض، التي تحتوي على بقايا الحياة الهيكلية المعقدة، وتمتد من بداية العصر الكمبري حتى الآن. وتقسم الأربعة بلايين سنة من عمر الأرض، والتي تسبق العصر الكمبري إلى ثلاثة دهور **Eonothems/Eons** وهي الهاديان Hadean والأركي Archean والبروتيروزي Proterozoic. وكثيراً ما يطلق على هذه الفترة الزمنية الطويلة من عمر الأرض وبصورة غير رسمية مصطلح ما قبل الكمبري Precambrian وعلى الرغم من أنه يمثل نحو 87% من عمر الأرض، فإنه لا يقسم إلى أقسام كثيرة كتلك التي تكون في دهر الحياة الظاهرة. ويرجع السبب في عدم تقسيم الفترة الزمنية الطويلة التي يشملها ما قبل الكمبري إلى أحقاب وعصور وأحيان كثيرة إلى أننا لا نعرف كثيراً عن تاريخ ما قبل الكمبري. حيث لم يبدأ الانتشار الواسع للحياة في السجل الجيولوجي إلا من بداية العصر الكمبري. أما ما قبل الكمبري فقد انتشرت أشكال بسيطة من الأحياء، مثل: البكتريا والطحالب والفطريات والديدان. وهي أشكال من الأحياء لا تحتوي على هيكل صلب، الذي يمثل أحد المتطلبات الأساسية لحفظ الكائنات الحية كحفريات. ولهذا السبب فإن السجل الحري في ما قبل الكمبري يعد هزياً.



ساعة الأرض الرملية

ربما بدافع من ورقة **كلفن** السابقة (1864م)، حاول العديد من الجيولوجيين المشهورين في ذلك الوقت تحديد علمهم الوليد من خلال تقدير عمر الأرض من إجمالي سمك طبقات العمود الجيولوجي المعروف. يسرد الجيولوجي البريطاني **آرثر هولمز** A. Holmes (توفي 1965م)، في كتابه عصر الأرض (1913م)، تسع عشرة محاولة من هذا القبيل بين عامي 1860م و 1909م. الطريقة الطبقيّة بسيطة من حيث المبدأ؛ إذا كان سمك السجل الطبقي معروفاً وكان معدل ترسب الطبقات مقدراً أو مفترضاً (بالسنوات لكل وحدة سمك)، فإن وقت تجميع الطبقات هو ببساطة:

$$\text{عمر الأرض} = \text{سمك الرواسب} \times \text{معدل الترسيب}$$

تماشياً مع نظرية الوتيرة الواحدة، افترض هؤلاء الجيولوجيون معدل ترسيب ثابت في جميع أنحاء العمود الجيولوجي؛ لكنهم اختلفوا فيما بينهم على هذا المعدل. كما لاحظ **آرثر هولمز** «أثبتت الوتيرة الواحدة تقدماً كبيراً، ولكن بالتفصيل من المناسب أن يضلنا إذا جرى تطبيقه بشكل دوغمائي جداً». استبعدت معظم هذه التقديرات الرسوبية صخور ما قبل العصر الكمبري، التي لم يُعرف عنها سوى القليل في ذلك الوقت؛ ولكن كما نعلم حالياً، تبلغ هذه الفترة نحو 88% من كل الزمن الجيولوجي، لذلك لم يكن لهذه التقديرات فرصة أن تكون قريبة من التصحيح. من المثير للاهتمام متابعة محاولات أحد الجيولوجيين لتأريخ السجل الرسوبي لحقب الحياة البرية (الكمبري إلى الحديث).



تقدير عمر الأرض

كان **وليم جونسون سولاس** W. J. Sollas (توفي 1936م) مهتماً بمسألة عمر الأرض ونشر ثلاث أوراق بحثية بناءً على السجل الطبقي للموضوع. جرى تلخيص تقديرات العمر المستمدة من **سولاس** في منشوراته في الجدول التالي:

العمر (مليون سنة)	معدل الترسيب (سنة / متر)	سماكة طبقية (10 ³ متر)	تاريخ النشر
17	328	50	1895
26.5	328	81	1900
80	328	102	1909

نتائج الدراسات الطباقية التي قام بها سولاس (O'Hara, 2018).

مع توفر المزيد من المعلومات الجيولوجية، زاد سمك العمود الطبقي في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، لكن العمر التقديري **لسولاس** زاد بعامل أكبر بكثير في دراسته عام 1909. في الدراستين الأوليين، جرى حساب الرواسب الكمبرية والأصغر سناً فقط. في أحدث دراسة (1909)، أعطي العمر الذي جرى الحصول عليه بضرب العمود 2 في العمود 3 من الجدول عمراً قدره **33.5 مليون سنة فقط**. نظراً لأن هذا أقل بكثير من عمر المحيطات الذي حسبته جولي أعلاه (**90 مليون سنة**)، كانت هناك مشكلة خطيرة بالنسبة **لسولاس** حيث ترسبت الرواسب بالكامل تقريباً في المحيط مما يعني فترة زمنية طويلة خالية من أي ترسب محيطي.





زاد **سولاس** تقديره إلى **80** مليون سنة من خلال طريقتين: لقد شمل وقتاً لرواسب ما قبل **الكمبري** (أضاف **17.5** مليون سنة بعد مناقشة البيانات الجيولوجية المتفرقة)، ثم قام بتضمين زمن الطبقات المفقودة في حالات عدم المطابقة. بعد مناقشة البيانات الجيولوجية لستة حالات عدم توافق رئيسية، أضاف **24** مليون سنة ولخمسة حالات عدم توافق طفيفة أضاف **5** ملايين، وبذلك يصل المجموع إلى **80** مليون سنة.

نظراً لأنه لم يُعرف سوى القليل جداً عن طبقات ما قبل الكمبري والوقت المفقود الذي يمثله عدم المطابقة، يمكن اعتبار هذه الإضافات مجرد تخمينات بدلاً من كونها إشارة إلى اتفاق بين عمر المحيطات بناءً على تقدير جولي والسجل الطبقي. قدم **سولاس** هذه النتائج في خطابه السنوي للجمعية الجيولوجية في عام **1909م**. هناك، يضع تعليقه التمهيدي وضع الجيولوجيين في سياقهم التاريخي: «لقد توقفت مسألة الزمن الجيولوجي عن أن تكون سبباً للغيب بالنسبة لنا، ولم نعد نشته في وجود حساب مكشوف في بنك الوقت المجازي: في الواقع، بما أن الفيزياء، بلغة البورصة، قد تخلت عنها دور الدب في دور الثور، يبدو أننا مهددون بالإحراج الجديد المتمثل في وجود المزيد من الوقت بين أيدينا مما نعرف كيفية التخلص منه».

كان **سولاس** يشير بالطبع إلى جدل **كلفن** عندما سُمح للجيولوجيين فقط بنحو **25** مليون سنة من الزمن، وإلى فترة اكتشاف ما بعد النشاط الإشعاعي حيث كانت أعمار المعادن الإشعاعية تعطي حالياً أعمار تزيد على مائة مليون سنة فقط بعد عقد من الزمان. اكتشاف النشاط الإشعاعي في أواخر تسعينيات القرن التاسع عشر. هذا المجال البحثي الناشئ حديثاً سيؤدي في النهاية إلى التقدير الصحيح لعمر الأرض (O'Hara, 2018).



مشكلات تحديد الأعمار في مقياس الزمن الجيولوجي

على الرغم من أنه أمكن التوصل إلى تقديرات دقيقة لأعمار مختلف أقسام **العمود الجيولوجي**، فإن هذا لا يعني أن الأمر يخلو من صعوبات. تكمن الصعوبة الأولى في وضع تقدير دقيق للعمر في أنه لا يمكن تقدير عمر الصخور باستخدام الطرق الإشعاعية، وذلك يرجع إلى أنه لكي تكون عملية التقدير دقيقة، فلا بد أن تكون كل المعادن الموجودة في الصخر قد تكونت في وقت واحد. ولهذا لسبب، فإننا نستخدم النظائر المشعة لتحديد متى تبلورت المعادن المكونة للصخر الناري، ومتى وصلت درجة الحرارة والضغط إلى الحد، الذي يساعد على تكوين معادن جديدة في الصخر المتحول. أما **الصخور الرسوبية** فإنها نادراً ما يمكن تحديد عمرها باستخدام المواد المشعة مباشرة. وعلى الرغم من أن الصخور الرسوبية الفتاتية قد تحتوي على حبيبات بها نظائر مشعة، فإن عمر الصخر نفسه لا يمكن تحديده بطريقة دقيقة؛ لأن الحبيبات المكونة للصخر لا تنتمي إلى عمره نفسه. كما أن الرواسب تأتي من صخور مختلفة العمر بالتجوية. كما أن الرواسب تأتي من **الصخور المتحولة** قد يصعب تفسيرها؛ لأن عمر معدن معين في الصخر المتحول لا يمثل بالضرورة عمر تكوين الصخر الأصلي، بل قد يمثل مرحلة من مراحل التحول اللاحقة. أما إذا كان **الصخر الرسوبي** لا يحتوي على مواد مشعة مناسبة **لتقدير عمره المطلق**، فإنه يتحتم على الجيولوجي ربط الطبقات الرسوبية بأجسام نارية يمكن تحديد أعمارها المطلقة، حيث تكون الطبقات الرسوبية أقدم عمراً من الجسم الناري القاطع له، كما تكون أحدث عمراً من الأجسام النارية غير المتأثرة بها في التتابع نفسه. ومن مثل هذا النوع من الشواهد، يمكن **للجيولوجي** أن يقدر عمر الصخور الرسوبية تقديراً مطلقاً. كما يتضح مدى أهمية الربط بين الدراسات العملية والمشاهدات الحقلية عند القيام بهذه المهمة.



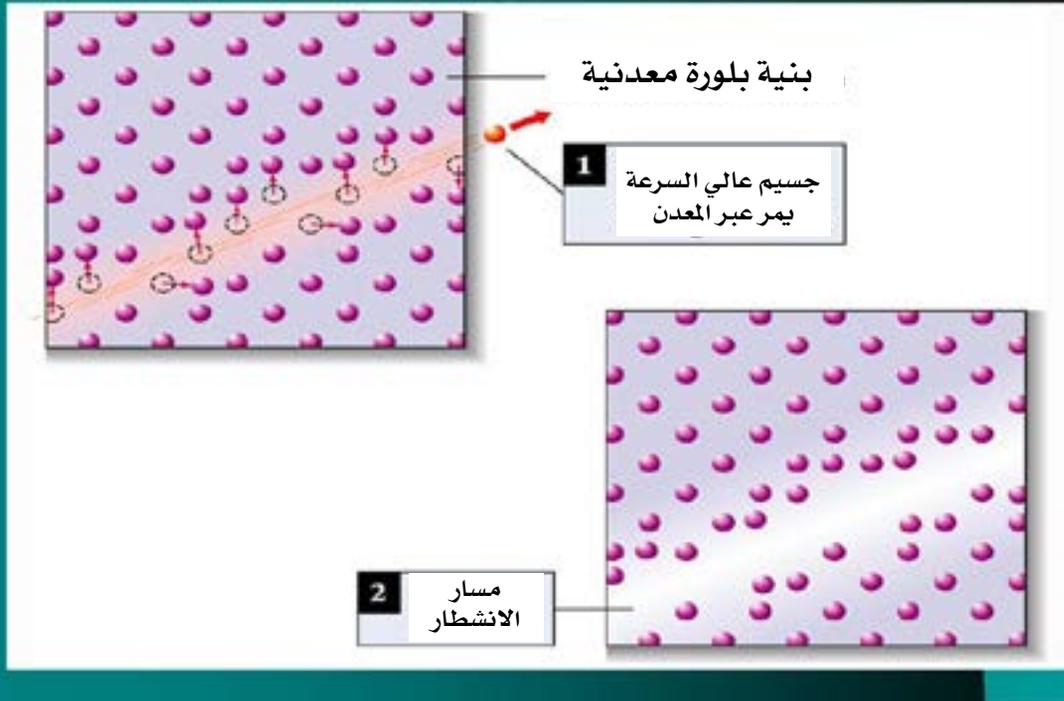
طرق أخرى لتحديد العمر الجيولوجي

تحديد العمر باستخدام مسارات الانشطار

يمكن استخدام مسارات **الانشطار** Fission Track Dating كطريقة حديثة لتقدير العمر المطلق ثبت نجاحها. وهي عبارة عن ندوب تشبه الأنفاق الدقيقة للغاية التي لا ترى إلا تحت تكبيرات عالية في بعض بلورات المعادن. وتنتج هذه المسارات عندما تتطلق بعض الجسيمات عالية الطاقة من نويات ذرات اليورانيوم 238 أثناء الانشطار اللحظي إلى نواتين أو أكثر أخف وزناً، وبالإضافة إلى بعض الجسيمات النووية. وتتطلق الجسيمات داخل تركيب الشبكة البلورية للمعدن تاركة بصمة للمسار الذي سلكته، والذي يكون سعته ذرات قليلة. ويكون المعدل الطبيعي لإنتاج مسارات الانشطار في ذرات اليورانيوم شديد البطء، ويحدث بمعدل ثابت. وبحساب عدد مسارات الانشطار يمكن تحديد عدد الذرات التي اضمحلت فعلاً، ويتعرض البلورة لمجال نيوتروني يحدث اضمحلال لبقية الذرات، ثم يعاد عد مسارات الانشطار مرة ثانية، وبإيجاد النسبة بين الذرات الوليدة الأولى والذرات الولودة يمكن حساب العمر المطلق. ويبدو أن معادن، مثل الأباتيت والزركون والسفين تعطي نتائج جيدة، كما أن هذه الطريقة تستخدم لتحديد أعمار عينات يقل عمرها عن عدة قرون من السنين، كما تستخدم لتحديد أعمار صخور يصل عمرها إلى عدة **بلايين من السنين**، إلا أنها أكثر استخداماً لتقدير عمر عينات تتراوح بين **40000 سنة ومليون سنة** مضت، وهي فترة زمنية لا تستخدم فيه التقنيات الأخرى بصورة عملية. ولكن هذه الطريقة كغيرها من طرق قياس العمر المطلق لها عوامل محددة. فدرجات الحرارة العالية يمكن أن تؤدي إلى اختفاء المسارات، كما يمكن أن يؤدي قذف الأشعة الكونية إلى زيادة سرعة انشطار، مما يؤدي إلى تقديرات خاطئة.



طريقة تحديد العمر باستخدام مسار الانشطار



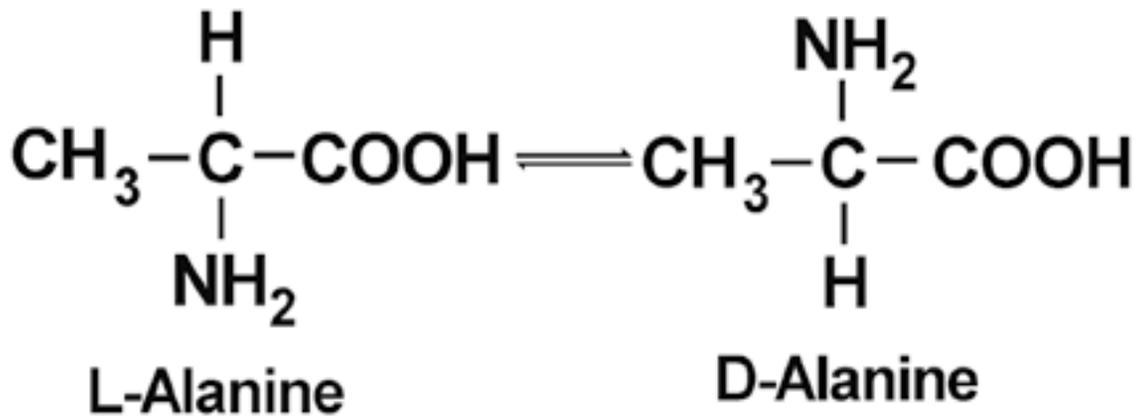
استخدام مسارات الانشطار كطريقة حديثة لتقدير العمر المطلق



تحديد العمر باستخدام الأحماض الأمينية

إن تحديد العمر المطلق باستخدام الأحماض الأمينية Amino Acids Dating يعتبر طريقة أخرى حديثة، تعتمد على تحليل نسبة الحمض الأميني D إلى الحمض الأميني L في عظام حفريات ومواد أصداف العصر الرابع Quaternary، حيث ثبت جدواها. وقد أثبتت الأبحاث التي أجريت في سبعينيات القرن الماضي أن عملية تدعى تفاعل **ريسمة الحمض الأميني** Amino Acids Racemization يمكن استخدامها بمحاذاير معينة، عند تحديد عمر مادة هيكلية، حيث إن الأحماض الأمينية المعروفة بـ L-Amino Acids توجد فقط في بروتينات الكائنات الحية. وعندما يموت الكائن وتمضي فترة زمنية تتحول هذه L-Amino Acids إلى الأحماض الأمينية غير البروتينية والمعروفة بـ D-Amino Acids خلال عملية تعرف بالريسمة Racemization. وتزيد بثبات نسبة D-Amino Acids إلى L-Amino Acids في المادة الهيكلية مع الزمن حتى تصل هذه النسبة L/D إلى 1.0. أما إذا زادت فتصبح النسبة زائفة؛ لأنه عكس سلاسل الاضمحلال الإشعاعي فإن التفاعل يكون عكسياً. وبتحديد المدى الذي وصلت إليه عملية الريسمة في عينة المادة الهيكلية، يمكن تحديد عمرها، آخذين في الاعتبار أنه يمكن معايرة العينة بعينة أخرى محددة العمر سلفاً.

وبمقارنة طريقة الريسمة هذه بطريقة الكربون المشع، يتضح أننا نحتاج في هذه الطريقة إلى مقدار أقل من المادة العضوية، كما تطبق في مجالات أوسع من طريقة الكربون المشع. فهي تطبق في تحديد أعمار الحفريات البشرية المبكرة والشرفات البحرية، التي تكونت خلال مئات الآلاف من السنين الأخيرة.



طريقة تحديد العمر المطلق باستخدام الأحماض الأمينية التي تعتمد على تحليل نسبة الحمض الأميني D- إلى الحمض الأميني L-



التلألؤ الحراري Thermoluminescence

التلألؤ (اللمعان الحراري): التأريخ بالنظائر المشعة ليس الطريقة الوحيدة للعلماء لتحديد الأعمار الرقمية. يقيس التأريخ اللامع الوقت المنقضي منذ أن تعرضت بعض **معادن السيليكات**، مثل الرواسب الخشنة لمعادن السيليكات، لآخر مرة للضوء أو الحرارة على سطح الأرض. تتعرض جميع الرواسب المدفونة للإشعاع من إشعاع الخلفية الطبيعي من عملية التحلل الموصوفة أعلاه. بعض هذه الإلكترونات محاصرة في الشبكة البلورية لمعادن السيليكات مثل الكوارتز. عند تعرضها على السطح، تطلق الأشعة فوق البنفسجية والحرارة المنبعثة من الشمس هذه الإلكترونات، ولكن عندما تُدفن المعادن على بُعد بضعة بوصات تحت السطح، تُحبس الإلكترونات مرة أخرى. يتم تحليل عينات من الرواسب الخشنة التي تم جمعها على بُعد بضعة أقدام فقط من السطح عن طريق تحفيزها بالضوء في المختبر. يطلق هذا التحفيز الإلكترونات المحاصرة كفوتون ضوئي يسمى اللمعان. يشير مقدار اللمعان المنطلق إلى المدة التي تم فيها دفن الرواسب. يعد التأريخ اللامع مفيداً فقط في تحديد تاريخ الرواسب الصغيرة التي يقل عمرها عن **مليون عام**.



Thermoluminescence

تقنية اللمعان الحراري

IRRADIATION **التشعيع**
LOCAL IONIZING RADIATION INTRODUCES ELECTRONS TO THE CRYSTAL LATTICE, SOME OF WHICH ARE TRAPPED AT IMPERFECTIONS AND 'STORED'. SOURCES: AMBIENT ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ...

STORAGE **التخزين**
SOME ELECTRONS ARE 'TRAPPED', AS THEY LACK SUFFICIENT ENERGY TO ESCAPE THE LATTICE.

EVICTON **الإخلاء**
ELECTRONS ARE PROVIDED THE MEANS TO ESCAPE FROM AN OUTSIDE STIMULUS (EG. UV WAVELENGTHS OR HEAT).
THE AMOUNT OF THERMOLUMINESCENCE FROM A HEATED SAMPLE IS USED TO DETERMINE THE NUMBER OF TRAPPED ELECTRONS RESULTING FROM THE ABSORPTION OF ALPHA RADIATION.

Quartz Structure
(looking down c-axis)

يوضح الرسم البياني تفاصيل تقنية Thermoluminescence التلألؤ الحراري، ويظهر الإلكترونات المحاصرة.



أوجه الشبه والاختلاف بين العمر النسبي والعمر المشع المطلق

أولاً : أوجه التشابه بين العمر النسبي والعمر المشع المطلق

- التأريخ النسبي والتأريخ الإشعاعي طريقتان لتحديد عُمر الأحافير والصخور.
- تعتبر دراسة الأحافير مهمة لتحديد نوع الكائن الذي يمثله، وكيفية معيشتة، وكيفية الحفاظ عليه على سطح الأرض على مدار 4.6 مليار سنة الماضية.

ثانياً : أوجه الاختلاف بين العمر النسبي والعمر المشع المطلق

التعريف

يشير التأريخ النسبي إلى علم تحديد الترتيب النسبي للأحداث الماضية، دون تحديد العمر المطلق بالضرورة. من ناحية أخرى، يشير التأريخ الإشعاعي إلى التقنية المستخدمة لتأريخ المواد مثل الصخور أو الكربون، حيث تم دمج الشوائب النذرة والمشعة بشكل انتقائي أثناء تكوينها.

الدلالة

يحدد التأريخ النسبي العمر النسبي لطبقات الصخور وفقاً لعمقها النسبي. ومع ذلك، يحدد التأريخ الإشعاعي العمر المطلق باستخدام المنتجات المتحللة للنظائر المشعة الطبيعية.



الدقة

الدقة في العمر المشع أعلى منها في العمر النسبي.

الكمي - الكيفي

العمر المضبوط يمثل قياسات كمية بينما العمر النسبي يمثل قياسات عينية.

التكلفة والزمن

العمر المضبوط أعلى تكلفة ويأخذ وقتاً أطول، بينما العمر النسبي أقل تكلفة ويأخذ وقتاً أكثر.

المبدأ

في الصخور الرسوبية غير المشوهة، تكون كل طبقة سفلية أقدم من تلك الموجودة فوقها (**قانون تعاقب الطبقات**)، وبالمقارنة فإن التأريخ الإشعاعي يقيم تأثيرات النشاط الإشعاعي على تراكم الإلكترونات في مصائد في التركيب البلوري للمعدن.

التقنيات

أيضاً، يعتمد التأريخ النسبي على مبدأ الأفقية الأصلية، ومبدأ التراكب، ومبدأ العلاقات المتقاطعة، ومبدأ الوتيرة الواحدة، ومبدأ التعاقب الأحفوري، بينما الرنين المغزلي للإلكترون والتلألؤ الحراري ومسارات الانشطار هما التقنيات المستخدمة في **التأريخ الإشعاعي**.



نوع المواد المراد تاريخها

يعد التأريخ النسبي مُهماً لتاريخ الصخور الرسوبية والبركانية بينما يعد التأريخ الإشعاعي مُهماً لتأريخ الأحافير والصخور.

الأهمية

يحدد التأريخ النسبي العمر فيما يتعلق بعمر الطبقات العليا والسفلى بطريقة نسبية. بينما يحدد التأريخ الإشعاعي العمر المطلق كقيمة عددية.

باختصار، التأريخ النسبي هو طريقة لتحديد العمر النسبي للأحفورة. بشكل عام، يعتمد ذلك على عمر الطبقتين العلوية والسفلية لتسلسل غير مشوه من الصخور الرسوبية.

في المقابل، التأريخ الإشعاعي هو طريقة لتحديد العمر المطلق للحفرة. ومع ذلك، فإنه يستخدم بقايا الآثار المشعة. أيضاً، التقنيات المتضمنة في العملية هي الرنين المغزلي للإلكترونات أو اللامعان الحراري أو مسار الانشطار لذلك، فإن الاختلاف الرئيسي بين التأريخ النسبي والتأريخ الإشعاعي المضبوط هو مبدأ ونوع التأريخ.



المراجع العربية

- البيروني**، أبو الريحان، تحديد نهايات الأماكن لتصحيح مسافات المساكن، تحقيق: ب. بولجاكوف، نشرها معهد المخطوطات العربية في مجلته، المجلد 8، 1962م، وقد أعاد معهد المخطوطات العربية بجامعة فرانكفورت بإعادة نشرها ضمن سلسلة الجغرافيا الإسلامية المجلد 25، 1992م.
- ابن سينا**، أبو علي، الشفاء (الطبيعيات)، تحقيق: محمد رضا مدور، إمام إبراهيم أحمد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1980م.
- أبو حامد الغرناطي**، محمد بن عبد الرحيم، تحفة الألباب ونخبة الإعجاب، مخطوطة مكتبة غوته، برلين، رقم (Ms. Orient. A 1502).
- جريبين**، جون، الحياة السرية للشمس، ترجمة: لبنى الريدي، ط1، سلسلة الألف كتاب الثاني، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 2008م.
- رونن**، كولين، تاريخ عمر الأرض، مجلة آفاق علمية، العدد 24، مارس-إبريل، تصدر عن مؤسسة عبد الحميد شومان، عمّان، 1990م.
- ضاي**، ميادة، الملامح الهندسية لعلم الأراضة في التراث العربي، رسالة ماجستير غير منشورة، معهد التراث العلمي العربي، جامعة حلب، حلب، 1994م.
- العمري**، ابن فضل الله، مسالك الأبصار في ممالك الأمصار، تحقيق: كامل سلمان الجبوري ومهدي النجم، ط1، ج 4، دار الكتب العلمية، بيروت، 2010م.



العمري، عبدالله محمد . الجيوفيزياء التطبيقية . جامعة الملك سعود . فهرسة
مكتبة الملك فهد الوطنية . ردمك: 5-981-507-603-978 , 2021 م .

الفندي، محمد جمال وأحمد، إمام إبراهيم، البيروني، سلسلة أعلام العرب
(77)، دار الكاتب العربي، القاهرة، 1968م .

القزويني، زكريا بن محمد، عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات، تحقيق
ومراجعة: سعد كريم الفقي، وكرم السيد الأزهري، دار ابن خلدون،
الإسكندرية، (د.ت).

المسعودي، أبو الحسن، أخبار الزمان، ط2، المكتبة الحيدرية، النجف الأشرف،
1966م .

يعقوب، مصطفى، الأشجار المتحجرة، مجلة القافلة، يولييه/أغسطس، العدد3،
المجلد 44، الظهران، 1995م .



المراجع الأجنبية

Braterman, Paul S., (2013), How Science Figured Out the Age of Earth, Scientific American, October 20.

Dalrymple, G. Brent (2001). “The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved”. Special Publications, Geological Society of London. 190 (1): 205–221.

Knell, S. J. & Lewis, C. L. E., (2001), Age of the Earth, The Geological Society of London, Cambrian Press, Aberystwyth.

O’Hara, Kieran D., (2018), A Brief History of Geology, University of Cambridge, Cambridge.

المراجع على الشبكة (الإنترنت)

https://en.wikipedia.org/wiki/Nebular_hypothesis

<https://en.wikipedia.org/wiki/Trilobite>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Eurypterid>

https://en.wikipedia.org/wiki/Steppe_mammoth





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 ATGS.
- ❖ 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 مدعمة من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمة 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 180 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 30 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 وورش 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 أ بها 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.

دروع التكريم

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





تقدير عُمر الأرض





موسوعة أمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



6
المد
والجزر



5
المعادن
والتعدين



4
التركيب
الداخلي للأرض



3
الجادبية
الأرضية وتطبيقاتها



2
شكل
الأرض وحركتها



1
تقدير
عمر الأرض



12
الأغلفة
المحيطة بالأرض



11
جيولوجية
القمر



10
البراكين
وسبل مجاباتها



9
تقييم
مخاطر الزلازل



8
الزلازل
والتفجيرات



7
موجات
التسونامي



18
التصحّر
والجفاف



17
السيول
والسدود المائية



16
الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



15
التشجير
التحديات والحلول



14
التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



13
المشاكل
البيئية وحلولها



24
كتابة الرسائل
والمشاريع الجيولوجية



23
الجيولوجيا
الطبيعية



22
الجيوفيزياء
النووية



21
الجيولوجيا
السياسية



20
الطاقة
الحرارية الأرضية



19
هل انتهى
عصر النفط؟



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

