الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كـلـيــة هـنـدســة الـبـتـرول
Faculty of petroleum engineering

General Geology

الجيولوجيا العامة

الوحدة السادسة

الزمن الجيولوجي
Geologic Time

لطلاب المرحلة الأولى

أ.د. محمد رياض الغزي

العام الدراسي

2019 - 2020

لمحة تاريخية

1. ماهو الزمن الجيولوجي؟ وأهمية الزمن في العلوم الأرضية: What is Geologic Time?

تتبع أهمية الزمن في علوم الأرض، من أهمية تحديد زمن بداية، ونهاية ظاهرة، أو عملية جيولوجية معينة، وعمر ما ينبثق عنها من نتائج.. وهو ما يعد بالاضافة إلى الأهمية العلمية النظرية، ذا أهمية عملية تطبيقية كبيرة، وخاصة بالنسبة للعمليات المتعلقة باستخراج الثروات الباطنية .
ويعد تحديد عمر الأرض نفسها من العمليات شديدة التعقيد، واستمر الجدل حولها لفترة زمنية طويلة جداً

كانت المسائل المتعلقة بنشأة الأرض وتطورها تعد حتى بدايات القرن الثامن عشر، من مواد علم اللاهوت، فقد رأى كبير الأساقفة (جيمس أوشر James Ussher) في العام 1650 م، أن الأرض قد ولدت في العام 404 ق.م . وفي عام 1654 م رأى نائب رئيس جامعة كامبريدج (جون لايتفوت John Lightfoot) أن الثالوث المقدس (Trinity)
قد خلق السماء والأرض في نفس الفترة الزمنية، وذلك في الساعة 9 صباحاً بتاريخ 4004/10/26 قبل الميلاد !!
قام في العام 1825 م ، الفلكي الانكليزي (إدموند هالي Edmund Halley) بحساب عمر الأرض من خلال ملوحة المحيطات، وذلك اعتماداً على الفرضية القائلة أن ملوحة مياه المحيطات العالمية تأتي من الأملاح المنقولة إليها عن طريق الأنهار. وبحساب كمية الأملاح في المحيطات وتقسيمها على المعدل السنوي، توصل هالي إلى أن عمر الأرض يقدر بحوالي 10.000 سنة ، وذلك باعتبار أن للأرض والمحيطات نفس العمر. وكان هذا التقدير قريباً من عمر خلق العالم الذي كان يعتقد فيه اللاهوت في ذلك الزمن، وهو 5000-7000 سنة .

قام جورج بيفون المختص في العلوم الطبيعية ، في القرن الثامن عشر، بحساب عمر الأرض انطلاقاً من الفرضية القائلة بأن الأرض كانت في بداية تشكلها على شكل سائل ناري، وبحساب الزمن اللازم لتبردها إلى وضعها الحالي توصل بيفون إلى أن عمر الأرض هو 75.000 سنة على الأقل.
جاءت في نهايات القرن الثامن عشر أفكار العالم الاسكتلندي (جيمس هيوتن James Hutton) ، لتشكل نقلة نوعية في علم الأرض، وذلك من خلال كتابه " نظرية الأرض" الذي نشر عام 1895م، حيث أكد هيوتون على أهمية العمليات الجيولوجية البطيئة جداً ، ولكنها المستمرة في تشكل الأرض، ورأى أن العمليات الجيولوجية التي مازالت مستمرة ، هي التي شكلت الأرض، وأن تأثيرها سيبقى في المستقبل، ورأى هيوتن أنه لايوجد أثر لنقطة البداية، ولا دليل على نهاية وجود الأرض.

أصبح المهتمون بعلم الأرض في النصف الأول من القرن التاسع عشر على قناعة بأن السجل الزمني الذي يمكن قراءته من الصخور ، يشير إلى تاريخ طويل جداً من الفعل المستمر لنفس العمليات البطيئة التي يمكن أن ترى في الزمن الحالي. وقد رأى هؤلاء المهتمين أن هذا السجل المعقد ، والذي تشكل ببطء يتطلب أزماناً طويلة جداً، بغض النظر عن تحديد رقم دقيق.
وفي العام 1859م نشر (تشارلز داروين) كتاب أصل الآنواع، رأى فيه أن تطور الكائنات الحية يتطلب زمناً طويلاً من مقياس ملايين السنين، لكن داروين لم يكن قادراً على تحديد أرقاماً محددة، ومع ذلك فإن نظريته تعني أن عمر الأرض يقدر بملايين السنين على الأقل.

جاء في أواسط القرن التاسع عشر الفيزيائي الاسكتلندي الشهير (وليم تومسون) والذي عرف فيما بعد (باللورد كيلفن Lord Kelvin) بفكرة عدم محدودية بداية ونهاية كوكب الأرض، وقام بتدقيق حسابات (بيفون) ، وتوصل في العام 1899م إلى أن عمر الأرض هو أكثر قليلاً من 20 مليون سنة.

كانت حسابات (تومسون) واستنتاجاته تبدو في ذلك الزمن صعبة المعارضة، وقد أوقعت الجيولوجيين في صعوبات كبيرة، فحاول بعضهم من أجل عدم التناقض مع حسابات(تومسون) اختصار عمر الأرض إلى عدة عشرات ملايين السنين، وذلك انطلاقاً من أن العمليات الجيولوجية كانت تسير في الأزمان الغابرة بسرعة أكبر مما هي عليه اليوم، بينما استمر بعضهم الآخر في الأمل بأنه لابد في النهاية من اكتشاف أي خطأ في حسابات (اللورد كيلفن) ، وبالتالي لن يكون هناك تعارض في النتيجة بين المعطيات الجيولوجية، والقوانين الفيزيائية.

قام (جون جولي John Joly) عام 1899م بتقدير عمر الأرض اعتماداً على نسبة الصوديوم التي تدخل المحيطات سنوياً ، وقد توصل إلى أن عمر الأرض هو حوالي 90 مليون سنة، لكن (جولي) لم يأخذ بالحسبان دورة الصوديوم في الطبيعة، بحيث يصبح معدل وجوده في المحيطات ثابتاً . ثم قام (جولي) من جديد في مطلع القرن العشرين بتدقيق حسابات (هالي) معتمداً على تقدير كمية (أيونات الصوديوم والكلور) التي تحملها الأنهار سنوياً إلى المحيطات، وتوصل إلى أن عمر الأرض يتراوح بين 210 – 340 مليون سنة.
يعد الاعتماد على معدل الترسيب السنوي من الطرائق التي انتشرت في القرن التاسع عشر في تقدير عمر الأرض، إلا أن نتائج هذه الطرائق وغيرها كانت تتراوح ضمن مجال واسع جداً، اعتباراً من 3 مليون سنة، لتصل إلى حوالي 1.600.000 سنة.

2. اكتشاف النشاط الاشعاعي وأثره في تحديد الزمن الجيولوجي

في عام 1896م اكتشف الفيزيائي الفرنسي (هنري بيكريل Henri Becquerel) أن عنصر اليورانيوم يبعث طاقة، تؤثر على الصور الفوتوغرافية، وقد سمى هذه العملية " النشاط الاشعاعي" . تم بعد ذلك اكتشاف أن اليورانيوم ليس هو العنصر الوحيد الذي يتميز بهذه الخاصية ، وإنما هناك أيضاً عناصر أخرى (كالثوريوم والبوتاسيوم والكربون)، وأن هذا النشاط الاشعاعي يصدر حرارة، ويؤدي إلى تحول العنصر المشع إلى عنصر جديد، وبالتالي فقد تم اختراق حسابات (تومسون) ، فالنشاط الاشعاعي الذي يقوم بعملية التسخين ، يؤثر على فكرة التبريد المستمر للأرض والتي بنى عليها تومسون حساباته، وهكذا فقد انتهت فترة صعبة على الجيولوجيين المهتمين بعمر الأرض، أعطتهم درساً هاماً مفاده ماعبرت عنه رسالة (تشيمبرلين إلى تومسون):
" إن سحر الحسابات والتحاليل الرياضية الدقيقة ، وما تتضمنه من روح الوضوح، يجب أن لا تعمينا عن الحد الذي لانستطيع بعده رؤية العيوب في المقدمة، والتي تؤثر على العملية بمجملها"

لقد أصبح من البديهي بعد ذلك أن للأرض تاريخاً طويلاً جداً، وأن عمرها هو في الحقيقة أكبر بكثير من جميع التقديرات السابقة

3. مفهوم الزمن المطلق ، والزمن النسبي

يمكن لكثير من الأحداث أو الظواهر الجيولوجية أن يحسب عمرها بعدد محدد من السنوات: إن هذا العمر المحدد ندعوه العمر المطلق
أما إذا كان عمر هذه الأحداث ، غير محدد بدقة ، فإنه يتم اللجوء إلى أحداث أو ظواهر أخرى لمقارنتها معها :
إن كانت أحدث، أم أقدم، وهذا هو مفهوم العمر النسبي

4. أهم الطرائق المستخدمة في تحديد العمر المطلق

تعد الطرائق الاشعاعية هي الطرائق الأساسية التي تستخدم اليوم في تحديد العمر المطلق للصخور، وذلك على الرغم من وجود بعض الطرائق التي استخدمت في غياب إمكانية استخدام الطرائق الاشعاعية.
لكن جميع تلك الطرق المعروفة إلى الآن هي تقريبية إلى حد بعيد، وتعد أقل دقة من الطرائق الاشعاعية

4-1. تحديد العمر المطلق بالطرق الاشعاعية:

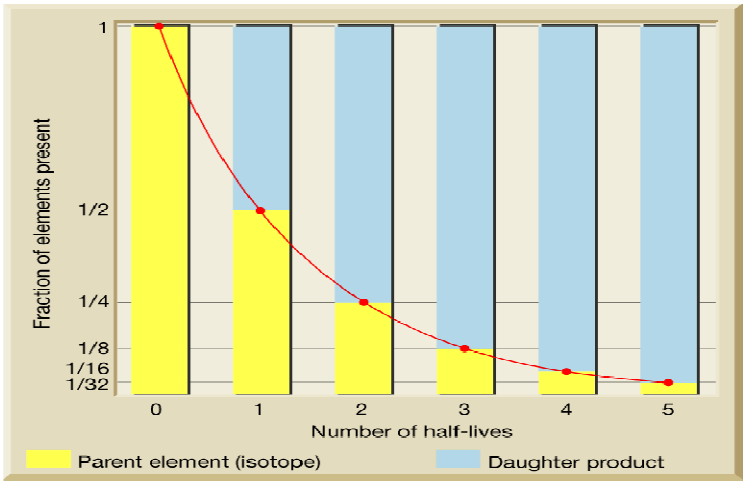
تنطلق فكرة تحديد العمر المطلق بالطرق الاشعاعية من وجود بعض العناصر الطبيعية التي تتحلل ذاتياً إلى نظائر، وعناصر أكثر استقراراً، ومن أن سرعة هذا التحلل تعد ثابتة عبر الزمن. لذلك فإن لكل عنصر من هذه العناصر المشعة زمن انشطار نصفي يعبر عنه بالعمر النصفي، وهو يمثل زمن تحلل نصف ذرات العنصر الأم إلى عنصر آخر وليد:
مثال: عنصر مشع (X) لديه 50 ذرة، وكان عمره النصفي يعادل 50.000 سنة، فإنه بعد انقضاء هذا الزمن سيبقى من العنصر (X) 25 ذرة

أهم العناصر المشعة الأكثر استخداماً في تحديد العمر المطلق

Table 1 Radioactive Isotopes Frequently Used in Radiometric Dating

Radioactive Parent	Stable Daughter Product	Currently Accepted Half-Life Values
Uranium-238	Lead-206	4.5 billion years
Uranium-235	Lead-207	713 million years
Thorium-232	Lead-208	14.1 billion years
Rubidium-87	Strontium-87	47.0 billion years
Potassium-40	Argon-40	1.3 billion years

مخطط يوضح التفكك الاشعاعي ونسبة مايتبقى من العنصر المشع بعد انقضاء العمر النصفي



A. طريقة الكربون 14:

يتشكل الكربون 14 بشكل مستمر في الغلاف الجوي العلوي وذلك من خلال قذف النيتروجين الجوي بالأشعة الكونية.
يتفاعل الكربون 14 المتشكل مع الأوكسجين ليشكل ثاني أوكسيد الكربون، والذي سيصبح بدوره جزءاً من الدورة الطبيعية لثاني أوكسيد 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، وبالتالي فإن نسبة الكربون 14 المشع إلى الكربون 14 (النظير الثابت والأكثر وفرة Isotope) ستبدأ بالتناقص، وبالتالي فإنه كلما كانت هذه النسبة في هيكل الكائن العضوي الميت أقل، كلما كان عمر هذا الكائن أكبر.
تستخدم طريقة الكربون 14 في تأريخ الأحداث الجيولوجية التي لايزيد عمرها غالباً عن 50.000 سنة، ويعود ذلك إلى العمر النصفي القليل للكربون 14 ($5.73.10^3$).

B. طريقة اليورانيوم:

يعد اليورانيوم مثالاً 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 الرصاص 207.
فإذا بدأنا من 1 غ من من اليورانيوم 235، فإنه سيبقى عند نهاية العمر النصفي نصف غرام منه، وبعد انقضاء العمر النصفي من جديد يبقى ربع غرام، وفي نفس الوقت تتزايد نسبة العنصر الوليد وهو الرصاص 207، لذلك فإن نسبة العنصر الوليد إلى العنصر الأصلي ستتزايد مع الزمن .

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 التأريخ الجيولوجي، وهذا يعود من جهة إلى العمر النصفي الكبير لليورانيوم(الجدول السابق)، ومن جهة أخرى(وهذا شديد الأهمية) إلى وجود سلسلتي تفكك، تسمح كل منهما بتدقيق نتائج الأخرى، فإذا تطابقت النتائج فإننا نكون أمام تأريخ صحيح للحدث الجيولوجي، أو الصخر الذي نقوم بتحديد عمره.

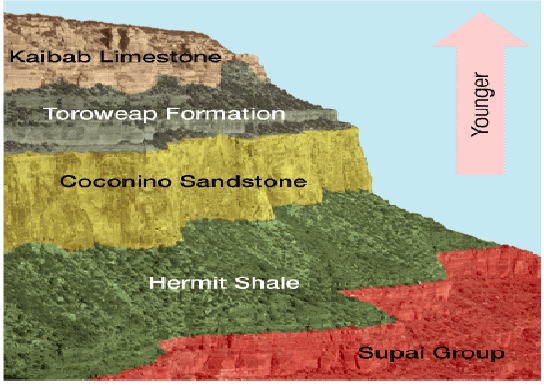
C. طريقة البوتاسيوم والروبيديوم

يستخدم كل من البوتاسيوم 40، والروبيديوم 87 بشكل واسع في التأريخ الجيولوجي ، حيث يتميز الأول بعمر نصفي يقدر بحوالي 27.10^9 وبالتالي يمكن استخدامهما في تقدير الأعمال الجيولوجية القديمة جداً، كما أنه يمكن استخدامهما

في التعرف من خلال تقدير نسبة العناصر الوليدة الناتجة عنهما (الأرغون 40، والستونثيوم 87) إليهما في مجمل الصخر، وليس فقط في فلز محدد من مكونات هذا الصخر.

2-4. تحديد العمر المطلق بطريقة التعاقب الطبقي:

تظهر بعض الصخور الرسوبية تعاقباً لطبيقات رسوبية رقية(رقائق)، وتوجد بعض الدلائل في أمكنة معينة بأن كل رقية من هذه الرقائق تمثل سنة واحدة من الترسيب، ويمكن أن يظهر بعضها تأثير تعاقب فصول السنة على صفات الطبقات المترسبة، وبالتالي يمكن من خلال عدُ هذه الطبيقات معرفة عدد السنوات التي احتاجتها ليتكون مجموعها.



من عيوب هذه الطريقة:

يمكن تطبيقها فقط على أنواع محددة من الصخور الرسوبية وفي أمكنة محددة

كما أنها تشير فقط إلى الزمن الذي استغرقه تشكل هذه الصخور دون أن تدل على بدايته أو نهايته

3-4. طريقة العمر النسبي

يصعب في كثير من الأحيان تحديد العمر المطلق لكثير من الظواهر الجيولوجية، فيتم عندها اللجوء إلى طرائق تحديد العمر النسبي، والتي في الحقيقة تم استخدامها منذ زمن بعيد، قبل التعرف على طرائق تحديد العمر المطلق.

تعمل طرائق تحديد العمر النسبي على مبدأ المقارنة لتحديد الصخور أو الطبقات الصخرية الأقدم، والأحدث، وهي لا تسمح بوضع ظاهرة جيولوجية معينة في وحدة زمنية مطلقة، ولكنها تستطيع أن تحدد بدقة عالية العمر النسبي للصخور المتوضعة مع بعضها.

تعد كل من الطريقة الستراتيغرافية، البتروغرافية والباليونتولوجية، من أهم طرائق تحديد العمر ا لنسبي

A. الطريقة الطبقية (الستراتيغرافية)

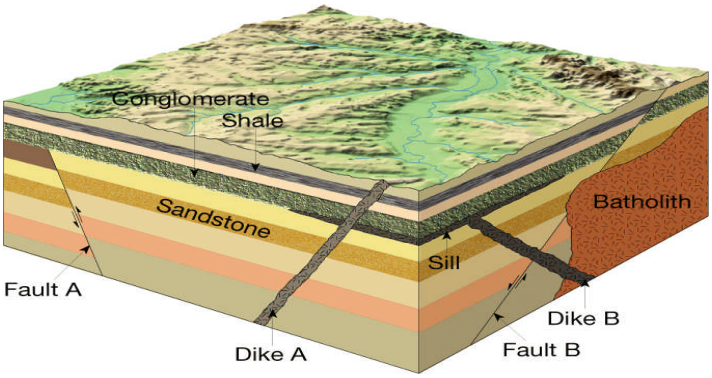
تعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين مواقع الطبقات ، وتنطلق من مبدأ مايسمى بقانون الموقع الأميز (Law of Superposition)،

فعندما تتوضع الرسوبيات في أحواض الترسيب كالمحيطات، والبحيرات، فإن الرسوبيات المتوضعة أولاً ستكون دائماً فوق القاع مباشرةً، وستتوضع فوقها الرسوبيات الأحدث، فالأحدث، وبالتالي فإن الطبقات الأقل عمراً ستكون في أعلى التعاقب الطبقي، بينما يزداد عمر الطبقات بالاتجاه نحو الأسفل.

يمكن لهذا النوع من التعاقب أن نراه في كثير من الأحيان في الطبقات الصخرية المتكشفة على جوانب الأودية.
لكن في كثير من الأحيان لايكون توضع الطبقات المتكشفة في الطبيعة بتلك البساطة، كما هو الحال في التتابع النظامي للطبقات الأفقية ، أو القريبة من الوضعية الأفقية.
ففي كثير من الحالات تؤدي الحركات التكتونية إلى تجعد الطبقات، أو إلى تشكل الفوالق، التي تؤدي إلى تراكم الطبقات الأقدم فوق الطبقات الأحدث، وفي مثل هذه الحالات لابد في البداية من دراسة وجود الظاهرة الجيولوجية نفسها:
(كالفالق على سبيل المثال، ثم العمل على ربط الطبقات ومضاهاتها لتحديد الأقدم والأحدث منها).

B. التقاطع والصخور المقتحمة *Cross-Cutting Relationships*

عند مقارنة الأعمار فإن أية صخور مقتحمة لطبقات صخرية أخرى، كالاندساسات النارية، والجدر القاطعة، تعد أحدث من أحدث طبقة صخرية تمكنت من اقتحامها.

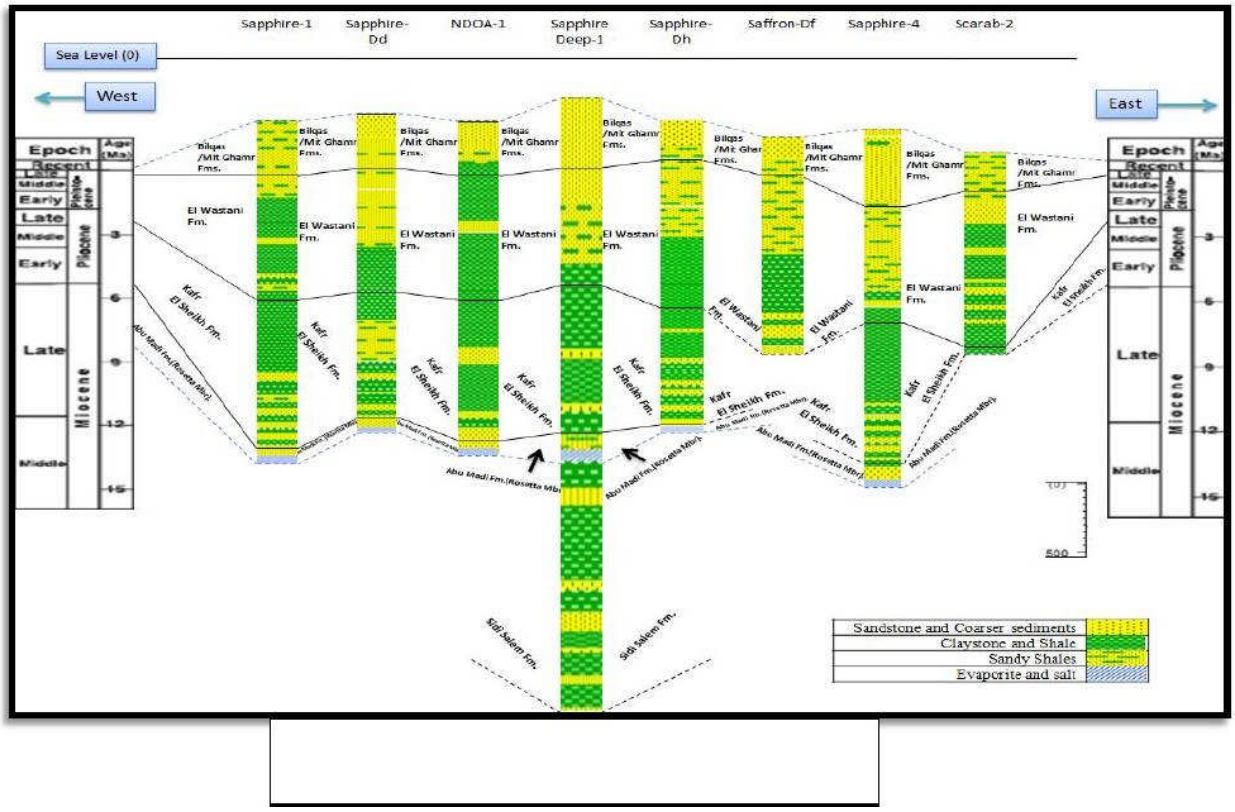


يمكن للصخور المقتحمة أحياناً أن تؤدي إلى فساد أوتحول في الصخور المحيطة بمنطقة الاقتحام، وهو ما يساعد أيضاً في تحديد العمر النسبي. كما أن أي فالق يعد أحدث عمراً من جميع الصخور التي تمكن من قطعها، وأقدم من جميع الصخور التي توضعت فوقه، وفي حال عدم وجود عدم توافق زاوي، أو عدم توافق زاوي، فإن الصخور الواقعة فوق سطح عدم التوافق، هي أحدث من الصخور الواقعة تحته.

C. الطريقة البتروغرافية

تعتمد الطريقة البتروغرافية على دراسة ومقارنة تركيب الصخور في الآبار المتجاورة، فإذا كان التتابع الطبقي في بئرين متجاورين يتمثل بطبقة رملية، تعلوها طبقة كلسية، ثم طبقة طينية، فإنه من الواضح أن هذه الطبقات تشكلت ضمن نفس الفترة الزمنية، وأن للطبقات المتماثلةأعمار متماثلة أيضاً.
تتم مقارنة وربط الطبقات عادة من خلال خطوط المضاهاة، وهو ما يسمح بتتبع تغيرات سماكات الطبقات المدروسة.
إلا أنه يصبح من الصعب استخدام الطريقة البتروغرافية في حالة الطبقات المتغيرة جانبياً بشكل سريع، أو التي يتكرر فيها التركيب بنوع من من النظامية.

استخدام الطريقة البتروغرافية في مضاهاة الطبقات في الآبار المتجاورة، وتحديد الأعمار النسبية لها



D. الطريقة الباليونتولوجية

تعتمد الطريقة الباليونتولوجية على دراسة هياكل العضويات الميتة (المستحاثات) وتعد هذه الطريقة إحدى أهم طرائق تحديد العمر النسبي، وأكثرها انتشاراً.

تستند الطريقة الباليونتولوجية في تحديد الأعمار النسبية على:

- ❖ مبدأ تطور العالم العضوي عبر الزمن الجيولوجي:

فالكائنات البدائية الأولية ازدادت أجسامها مع الزمن تنظيماً وتعقيداً، مما أدى إلى ظهور مجموعات جديدة من الكائنات الحية

- ❖ تناقص أو انقراض المجموعات القديمة،

لذلك فإن كل طبقة صخرية رسوبية ستحتوي على بقايا الكائنات التي كانت تعيش في زمن ترسبها، وبالتالي فإن طبقة أو تشكيلة صخرية ستتميز مكوناتها من البقايا العضوية عن مكونات التشكيلات الصخرية الأقدم والأحدث منها عمراً.

تعتمد الطريقة الباليونتولوجية على مبدأين أساسيين، هما:

1) مبدأ التطور: ويؤكد على أن جميع أنواع الكائنات الحية تتطور بشكل مستمر غير عكوس، وبالتالي لايمكن لهذه الكائنات أن تعيد نفسها أثناء تاريخ تطورها، حتى ولو تشابهت الظروف التي عاشت بها خلال الزمن الماضي.
2) مبدأ الهوية الباليونتولوجية: وينص على أنه إذا تميزت مجموعة من الطبقات أو التشكيلات الصخرية، بنفس المكونات من المستحاثات المرشدة، فإن لهذه الطبقات أو التشكيلات نفس العمر الزمني.

حيث يشير مصطلح المستحاثات إلى بقايا، أو آثار الكائنات الحيوانية أو النباتية، المحفوظة في القشرة الأرضية، بينما يشير مصطلح المستحاثات الدالة(او المرشدة) إلى بقايا، أو آثار الكائنات الحية التي انتشرت في فترة زمنية محددة ، مما يجعل وجودها في طبقة صخرية ما، دليلاً على أن عمر تلك الطبقة يعود إلى ذلك الزمن الذي انتشرت فيه تلك الكائنات.

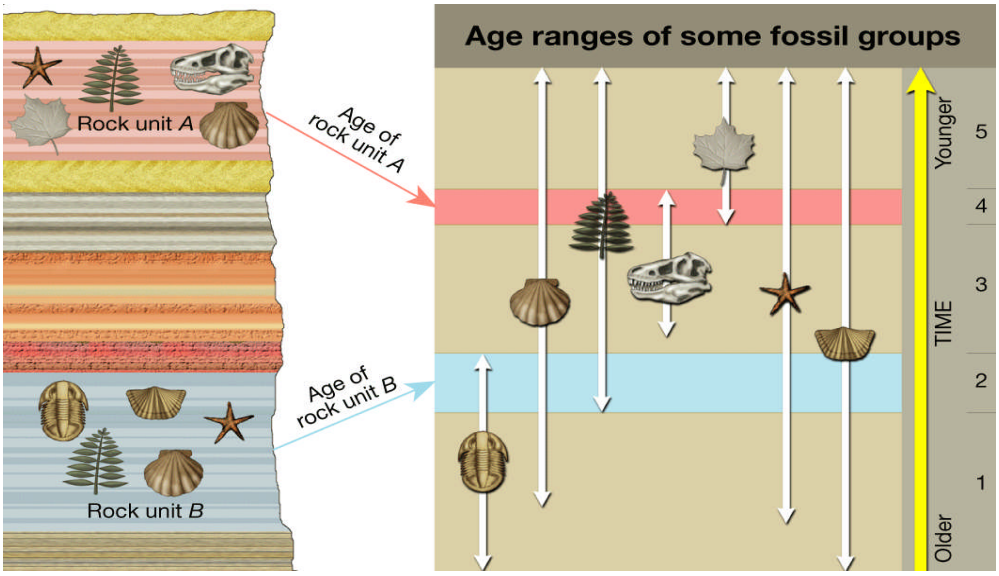
تتميز المستحاثات الدالة، بالصفات الآتية:

1. انتشار رأسي محدود في المقاطع الجيولوجية، بحيث تميز فترات زمنية محددة.
2. انتشار أفقي واسع
3. وفرة أنواعها المحفوظة في الصخور الرسوبية، مما يسهل عملية تمييزها، ووصفها وتسميتها.

- يمكن للمستحاثات أن تكون (جهرية)، بحيث يمكن رؤيتهاوتمييزها بالعين المجردة، ويمكن أن تكون دقيقة بحيث لايمكن تمييزها إلا عن طريق (المجهر)، فيطلق عليها تسمية (المستحاثات المجهرية)
- يعود أقدم دليل مستحاثي على وجود أثر الحياة البدائية على الأرض، إلى حوالي 3.5 مليار سنة مضت، وذلك في مجموعة Warrawoona Group الصخرية في شمال غرب استراليا.

دور الطريقة الباليونتولوجية في الاستكشاف البترولي

Roles of microfossils for petroleum exploration are as follows:

1) ***geologic time determination (biostratigraphy),***
2) ***stratigraphic correlation,***
3) ***reconstruction of paleoenvironment (paleontology, paleogeography, paleoceanography, paleoecology, paleoclimatology, etc.),***
4) ***contribution to sequence stratigraphy,***

assessment of hydrocarbon source rock potential and thermal maturity.