

أدوات مناهج البحث في الجغرافية الطبيعية.

الحصة الخامسة: من طرائق وأدوات البحث الجغرافي الطبيعي.

1- طرق تحليل المناخات القديمة¹

مدخل

يهتم علم المناخ القديم **Paleoclimatology** بدراسة التغيرات المناخية على مستوى تاريخ الأرض بالكامل. وهو علم يستخدم مجموعة متنوعة من الطرق والأساليب السائدة في علوم الأرض والحياة للحصول على بيانات محفوظة من قبل، داخل الصخور والرواسب والغطاء الجليدي وحلقات الأشجار والمرجان والأصداف وقواقع الأحافير والمستحاثات الدقيقة، والتي تشكل سجلات يستعان بها في تحديد الحالات السابقة التي شهدتها المناطق المناخية المختلفة على سطح الأرض والنظام الجوي.

ومن بين أبرز الطرق المستخدمة لتحليل وتحديد المناخات القديمة نذكر ما يلي:

- ط. تحليل حلقات الأشجار الضخمة Dendrochronologie
- ط. تحليل رقائق الطمي الجليدية Varves؛
- ط. تحليل طبقات الأغطية الجليدية Ice core؛
- ط. تحليل ترسبات الكهوف (الصواعد والهوابط) Spéleotherms
- طرق التأريخ باستخدام النظائر المشعة Méthodes Radioactives؛
- الكربون المشع: C14؛ سلسلة اليورانيوم ... Ur 235, Ur 238؛ Rb/St, K/Ar؛ نظائر الأكسجين: O16, O18...
- طرق أخرى: أثرية (المراكب والقوارب، الفخار، الزراعة...)؛ طبيعية (الأحماض الأمينية، حبات الطلع، معدلات الترسيب عند قيعان المحيطات، طبقات التيفرا البركانية...)

طريقة تحليل حلقات الأشجار الضخمة (التقويم النباتي Dendrochronology)

¹ - لمزيد من التفصيل يمكن الرجوع مثلا إلى كتاب "التغيرات المناخية" للدكتور علي حسن موسى.

كان عالم نباتات بازل هاينريش زولر Heinrich Zoller قد نشر في الخمسينيات من القرن الماضي دراسة تستخدم الحلقات السنوية في بعض النباتات العشبية. وبفضل ذلك، قام بتقييم عمر العديد من نباتات السهوب الجافة العشبية في منطقة فاله Valais، لكن عمله لم يلاحظه أحد نسبيًا.

ويرجع تطوير هذه الطريقة خلال القرن العشرين إلى الباحث الأمريكي دوغلاس A.E. Douglass مؤسس مختبر الأبحاث المتعلقة بحلقات الأشجار في جامعة أريزونا Laboratory of Tree-Ring Research

وتمكن هذه الطريقة من تقدير أعمار الأشجار، من خلال حساب عدد الحلقات الدائرية المتحددة المركز (وسمكها) التي يتألف منها لحاء الأشجار والتي تمثل علامة على نمو الشجرة سنة بعد أخرى، حيث تضيف الشجرة كل عام حلقة جديدة إلى لحائها

تمتد فترة نمو الأشجار من بداية الربيع حتى نهاية الصيف: خلال هذه الفترة، كل عام، تضاعف الشجرة خلاياها التي تشكل طبقة جديدة، تسمى حلقة النمو. وهكذا نلاحظ عامًا بعد عام، أن الشجرة قد نمت وأن جذعها أصبح أكثر سمكًا، وهو ما يجعلها أكثر استقرارًا.

تنمو هذه الحلقات بصفة خاصة في المناخات المتميزة الفصول في العروض المتوسطة والعليا والعروض شبه المدارية يوفر التحليل هذه الحلقات أيضًا مؤشرات عن هطول الأمطار وعن درجة الحرارة التي كانت سائدة في الوقت الذي أنتجت فيه الشجرة الحلقة، وكلما كان العام أكثر مطرًا كلما كانت الحلقة أكثر سمكًا. وفي المناطق التي تتميز بفصلين أحدهما مطير والآخر جاف، يتكون اللحاء السنوي من حلقتين، إحداها سميكة تكونت في الفصل المطير والأخرى رقيقة تشكلت في الفصل الجاف (الشكل 1).



تعتبر طريقة تحليل حلقات الأشجار الضخمة، واحدة من أفضل طرق التأريخ المطلق المستخدمة في علم الآثار وتغطي فترات يعود تصل إلى العصر الحجري الوسيط (حوالي 7000 سنة قبل الميلاد) ، والتي تتيح تأريخ الأشياء أو المواقع. إنها تمكن من التأريخ بدقة عالية (بالسنة)؛ لكنها تتطلب أن تكون حجم العناصر الخشبية المحفوظة كافيًا وألا تكون هناك حلقات مفقودة أو زائدة.

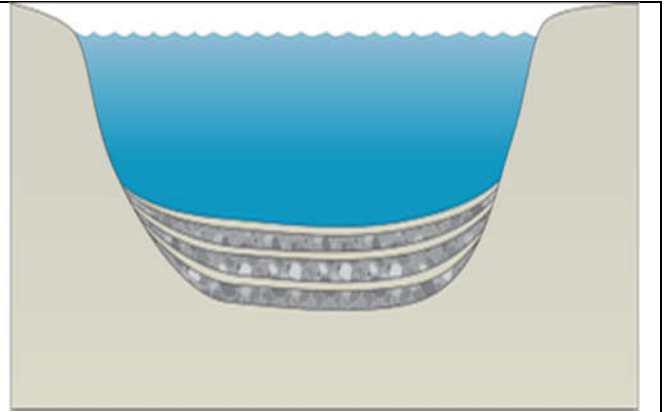
طريقة تحليل رقائق الطمي الجليدية Varve-Clay Analysis

أول من توصل لهذه الطريقة البارون السويدي جيرارد دو جير *de Geer* (1876) وتعتبر أقدم طرق التقويم التي توصل إليها علماء الجيولوجيا والآثار، وتقوم فكرتها على أن الجليديات (الثلجات *Glaciers*) ترسب ما تحمله من طمي وطين عند ذوبان الجليد في قاع البحيرات (الشكل 2.أ)، حيث يحمل الجليد بكتله الضخمة في داخله كميات من الطمي والطين والحصى الدقيق أو يخلفها على جانبيه أو أمامه أو أسفله، وعندما يذوب جليد الجليدية ترسب هذه المفتتات الدقيقة على شكل رقائق من الطمي الجليدي تأخذ شكل طبقات متعاقبة تعكس الاختلافات السنوية والفصلية في درجة الحرارة من جهة وشدة ذوبان الثلج والجليد من جهة أخرى، حيث من الواضح أن سرعة ذوبان الجليد تختلف من عام إلى آخر أو من فصل إلى آخر حسب درجة الحرارة، فتترسب نتيجة لذلك طبقة سميكة في فصل الصيف وطبقة رقيقة في فصل الشتاء (الشكل 2.ب). وتكون طبقات الطمي الجليدية أكثر سمكا في السنوات الحارة وكذا في الفصل الحار من السنة.

لقد تمكن *دو جير* من دراسة قطاع كامل من الرقائق ابتداء من الصخر الأصلي الذي رُسب الطمي فوقه حتى السطح، وحسب بدقه عدد هذه الرقائق، وبهذا أمكنه تأريخ الفترة التي تلت آخر طغيان جليدي كبير (الفورم *Würm*) والتي تمتد إلى حوالي 18000 سنة قبل الحاضر (BP؛ والحاضر يوافق سنة 1950).



الشكل 2.ب: رقائق الطمي واختلاف سمكها حسب الفصول وحسب السنوات.



الشكل 2.أ: ترسب طبقات الطمي في قاع البحيرة بعد ذوبان الجليد

طريقة تحليل طبقات الأغصية الجليدية Ice Core

تتكون الأغصية الجليدية من مستويات متعاقبة ناتجة عن ضغط طبقات متتالية من الثلج عامًا بعد عام بسبب عدم قدرة حرارة فصل الصيف على إذابة كل الثلج الساقط خلال فصل الشتاء (الشكل 3.أ). لذلك فإن مقطعًا عموديًا من

الجليد (نواة جليدية Ice Core/Carotte Glaciaire) (الشكل 3.ب) يضم طبقات تزداد قِدماً في السن كلما اتجهنا نحو مركز الأرض.

يمكن دراسة خصائص تكوين الجليد والمركبات والعناصر الكيميائية الموجودة فيه بهدف إعادة بناء المناخ الذي ساد في الزمن الماضي بشكل دقيق نسبياً. كما يمكن استخلاص معلومات حول تلوث الهواء منذ عصر ما قبل الصناعة أو منذ العصور القديمة (التلوث بواسطة مصاهر الرصاص في العصر الروماني على سبيل المثال).



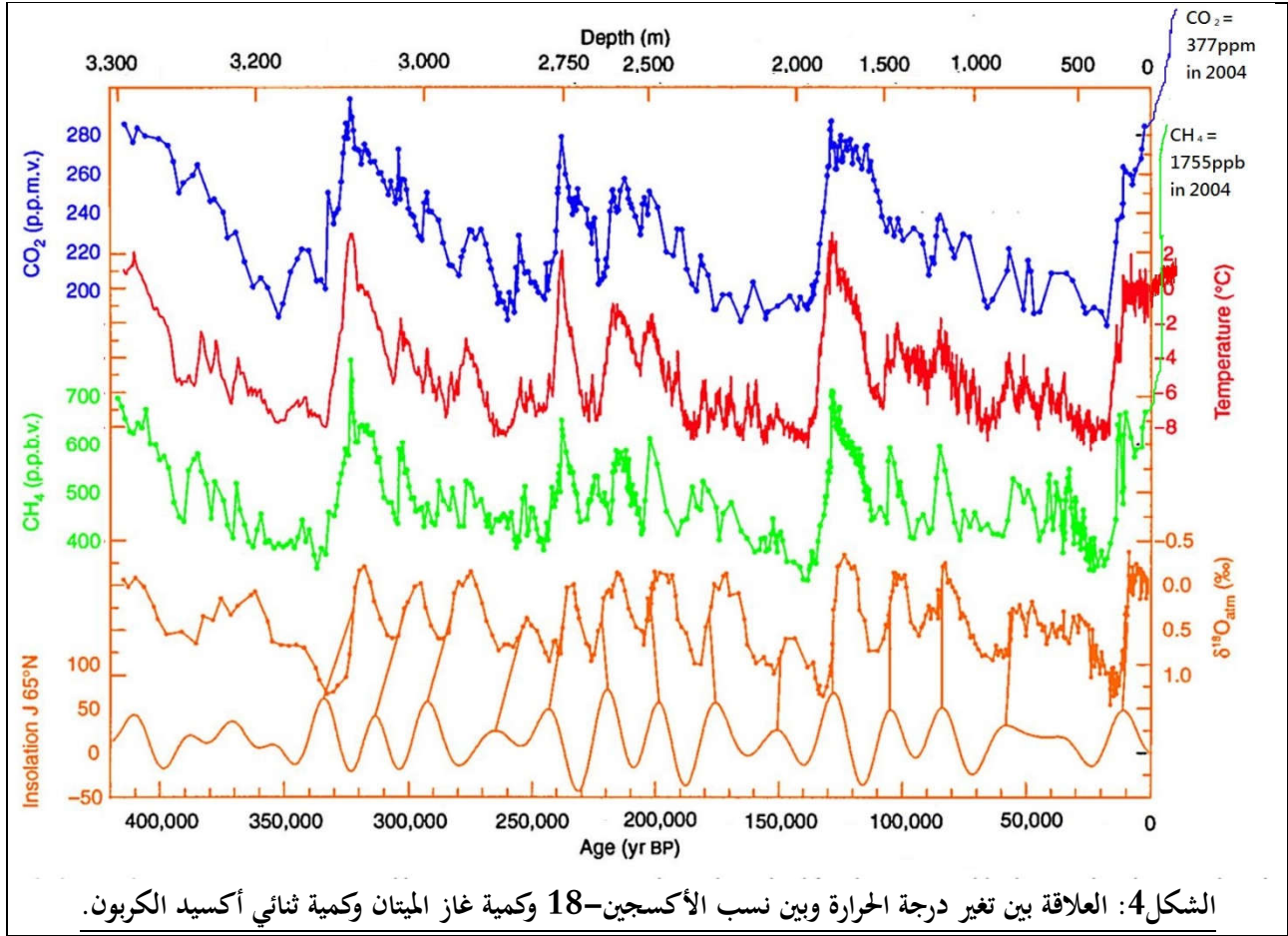
تعتبر النوى الجليدية سجلات ممتازة للتغيرات البيئية الماضية (درجة الحرارة وحجم المحيط ومستوى هطول الأمطار والكيمياء وتكوين غازات التروبوسفير؛ وتدايعات الثورات البركانية والتغيرات في النشاط الشمسي والإشعاع الكوني، تفاعلات الهواء الثلجي المحلية، وامتداد الصحاري، وحرائق الغابات الباردة...)

ويرجع ذلك إلى الطريقة التي يتحول بها الثلج إلى جليد، من خلال عمليات الترسيب وإعادة الترتيب المختلفة، يحتوي الثلج الطري، الذي يسقط على السطح، على غازات وشوائب (الجسيمات الأصلية على وجه الخصوص)، والمواد المشعة... والتي سيتم استيعابها بطرق مختلفة في طبقات الجليد المستقبلية.

وكلما استطالت النواة الجليدية، كلما كان من الممكن العودة إلى الماضي بشكل أبعد. وقد درس العلماء أولاً عينات الجليد التي تسمح بالعودة بضع سنوات إلى الوراء فقط. وقد تمكنوا من خلال عمليات الحفر الحديثة من الحصول على نوى سجلت مئات الآلاف من السنين (حتى 800000 سنة بالنسبة لعينة EPICA).

إن تحديد نظائر الأكسجين (^{16}O و ^{18}O) الموجودة في فقاعات الهواء المأخوذة من نوى الجليد وكذلك نظائر الهيدروجين (^1H و ^2H) تمكن من استنتاج درجة الحرارة المحيطة التي كانت للأرض عند لحظة الجمد عن طريق حساب النسب النظائرية (**Rapports Isotopiques**)، وكلما كانت النظائر الثقيلة في طبقة من نوى الجليد أكثر مقارنة بالنظائر الخفيفة كلما كان الجو الذي تشكلت فيه الطبقة الجليدية أكثر سخونة، لأن تغير كمية الأكسجين-18

في طبقات الثلج يدل على التغيرات التي طرأت على متوسط درجة حرارة سطح المحيط. وتتبخر جزيئات الماء التي تحتوي على غاز الأكسجين-18 الأثقل عند درجات حرارة أعلى من جزيئات الماء التي تحتوي على نظير الأكسجين-16 الطبيعي وترتفع بالتالي نسبة الأكسجين-18 إلى الأكسجين-16 مع ارتفاع درجات الحرارة (الشكل 4)



طريقة تحليل ترسبات الكهوف (الصواعد والهوابط... Speleothems)

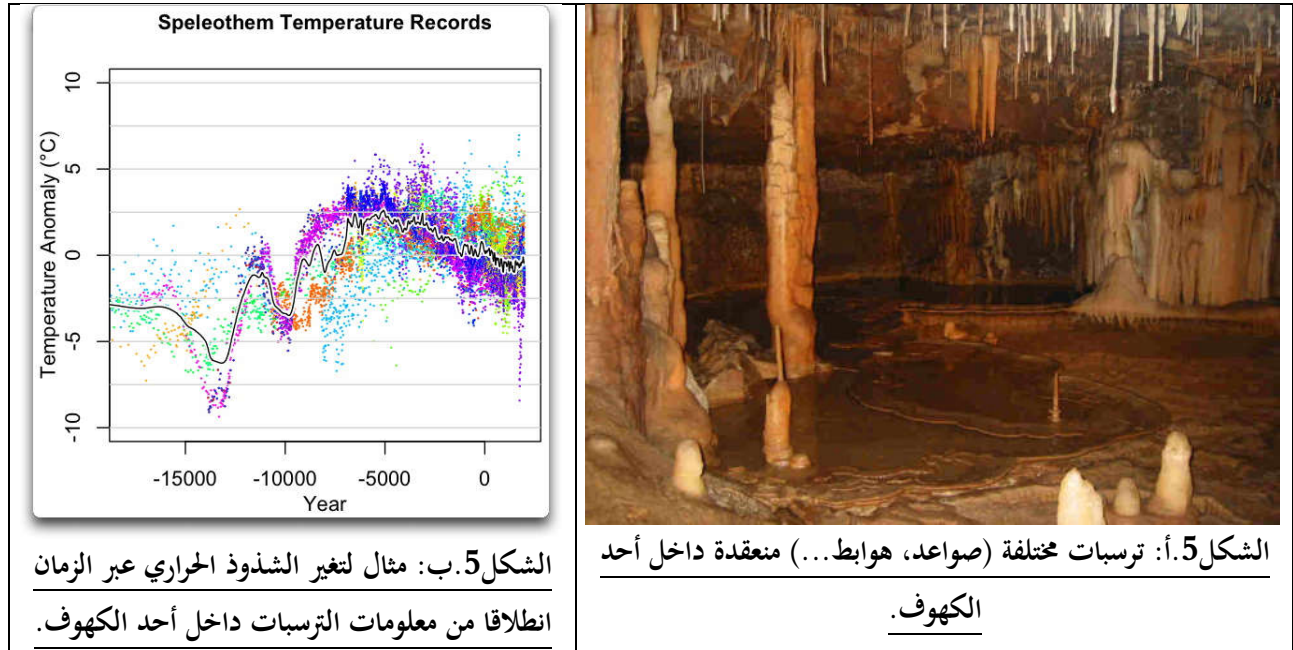
ترسبات الكهوف Speleothems (والمندرجة بشكل واسع تحت مسمى الانعقادات concrétions)، عبارة رواسب معدنية تتوضع في تجويف طبيعي تحت الأرض (كهف، تشقق، ..). وتتخذ في الغالب أشكالاً متنوعة نذكر منها: الصواعد والهوابط وورود الجبس... (الشكل 1.5أ).

تتكون هذه الانعقادات بشكل عام، من كربونات الكالسيوم (الكالسييت والأراجونيت) أو كبريتات الكالسيوم (الجبس) المنقولة في محلول في ماء الترشيح. عند التماس مع الهواء الأكثر دفئاً في التجويف، يمكن أن يترسب المحلول، بينما يتقطر أو يندفع، نتيجة لتبخر الماء و / أو لتفريغ ثنائي أكسيد الكربون.

تعتمد سرعة الانعقاد بشكل أساسي على كمية ثنائي أكسيد الكربون (CO₂) في المحلول وعلى درجة الحرارة والرطوبة. ويحدد شكل وطبيعة تراكم الرواسب، الذي يمكن أن يستغرق عشرات الآلاف من السنين، نوع الترسبات الكهفية.

يحتفظ الكالسيت في الذاكرة بالخصائص النظيرية (caractères isotopiques) لمياه الترشيح، وبالتالي يمكن استخدامه كأحد عناصر التأريخ وكمؤشر على المناخ القديم (الشكل 5.ب).

وتعطي انعقادات الصواعد (stalagmites) أفضل النتائج. وتعطي النسب النظيرية للأكسجين ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) والكربون ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) في الصواعد إشارة إلى الظروف المناخية والنباتات المعاصرة لمياه الأمطار التي ترشحت وأدت إلى الخرسانة.



طرق التأريخ باستخدام النظائر المشعة (Radioactive isotopes).

النظائر المشعة عبارة عن مواد تصدر من تلقاء نفسها إشعاعات مختلفة (أشعة ألفا وغاما وبيطا)، وتكون بالتالي ذرات العناصر النشطة إشعاعياً غير مستقرة، تتحطم (تنشط) تلقائياً متحوّلة إلى ذرات أخرى غير مستقرة، تنشط هي الأخرى، حتى تصل في النهاية إلى ذرة مستقرة

والتأريخ الإشعاعي (أو قياس العمر إشعاعياً) طريقة لتقدير عمر المواد (منها المستحاثات أيضاً) وتعني تحديد العمر بالطريقة الإشعاعية، وهي تعتمد على النشاط الإشعاعي للنظائر الطبيعية².

تتفكك النظائر المشعة إلى عناصر أكثر استقراراً بمعدل معروف وقار، وهو ما يتيح تأريخ الحوادث التي حدثت من خلال المواد التي تكونت منذ ملايين السنين وتسمى المدة التي يتفكك بانقضائها نصف كمية ذرات المادة المشعة نصف حياة العنصر *demi vie*، يكون بعضها قصيراً جداً كنصف حياة عنصر الراديوم (10^{-6} ثانية) وبعضها الآخر طويلاً

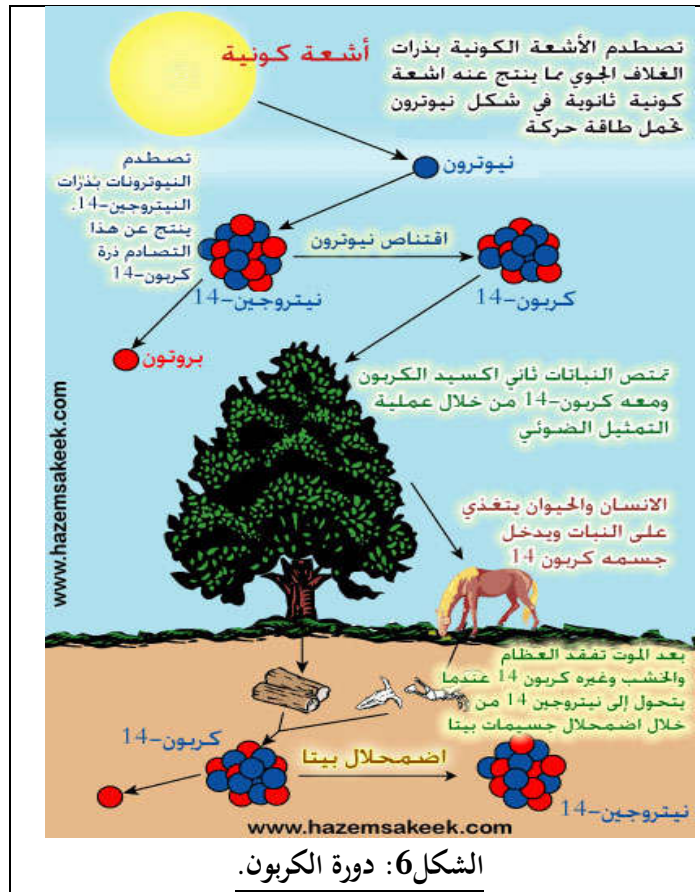
² - نظائر العناصر الكيميائية هي ذرات لنفس العنصر الكيميائي لها نفس العدد الذري Z ، ولكنها تختلف في الكتلة الذرية بسبب اختلاف عدد النيوترونات.

جدا كئصف حياة عنصر اليورانيوم-238 (4510 سنوات). وهناك طرق عديدة للقيام بذلك وتستعمل كل طريقة نظاما نظائريا مختلفا عن الأخرى وتختلف كل طريقة عن الأخرى في مستوى الدقة والتكاليف والحدود الزمنية لتقدير عمر المادة.

التأريخ باستخدام الكربون المشع

التأريخ باستخدام الكربون المشع هو التأريخ عن طريق تقنية الإشعاع بحيث يستخدم اضمحلال الكربون-14 ^{14}C لتقدير عمر المواد العضوية، مثل الخشب والجلود، وتصل إلى نحو 58,000 إلى 62,000 سنة ماضية. وقد توصل ويلارد لبيي، الحاصل على جائزة نوبل في الكيمياء، إلى طريقة التأريخ بواسطة الكربون المشع في عام 1949.

يحتوي الغلاف الجوي للأرض نظائر مختلفة من الكربون، تقريبا بنسب ثابتة. وتشمل هذه النظائر: النظير المستقر الرئيسي ^{12}C والنظير غير المستقر ^{14}C ، من خلال عملية التمثيل الضوئي، حيث تمتص النباتات كلا نظيري ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وعندما يموت الكائن الحي، فإنه يحتوي على نسبة قياسية بين ^{14}C و ^{12}C ولكن ^{14}C يضمحل مع عدم وجود إمكانية التجديد (الشكل 6)، وبالتالي تختل النسبة بين ^{14}C و ^{12}C بمقدار ثابت ومعروف. وقياس النسبة المتبقية من النظير الكربوني في المواد العضوية يعطي تقديرا لعمرها (العمر الكربوني). ومع ذلك، فهناك تقلبات صغيرة في نسبة ^{14}C إلى ^{12}C في الغلاف الجوي، وقد سجلت هذه التقلبات في الطبيعة ويمكن ملاحظتها في حلقات بعض جذوع الأشجار وأحجار الكهوف. هذه السجلات تتيح للباحثين تعديل أو "معايرة" التأريخ الكربوني لإعطاء تقدير أكثر دقة للعينة. وأحد الاستخدامات الأكثر شيوعا لطريقة الكربون المشع هو تقدير عمر البقايا العضوية من المواقع الأثرية.



خاتمة.

تتعدد طرائق وأدوات تأريخ المناخات القديمة، وتختلف من حيث المبادئ والحقول المعرفية وشكل الملاحظة وحدود الاستخدام الزمني. ويلخص الجدول 1 خصائص بعض الطرق المعروفة في هذا المجال.

الحد الزمني	الجهاز	المبدأ	النوع	الطريقة
10000 سنة قبل الزمن الحاضر	العين المجردة أو المجهر	أشرطة سنوية لنمو لنسيج الأشجار تتميز بتباين فصلي	بيولوجية	تحليل حلقات الأشجار الضخمة Dendrochronology
13000 سنة قبل الزمن الحاضر	العين المجردة أو المجهر	أشرطة سنوية من المواد المترسبة في البحيرات الجليدية تتميز بتباين فصلي لقد العناصر.	جيولوجية	تحليل رقائق الطمي الجليدية Varve-Clay Analysis
800000 سنة قبل الزمن الحاضر	كيميائية مع جهاز قياس كتلة الطيف	طبقات سنوية (أو دورية) لبلورات جليدية متباينة داخل الأنهار والقمم الجليدية	جيولوجية	تحليل طبقات الأغصية الجليدية Ice Cores
500000 سنة قبل الزمن الحاضر	العين المجردة أو المجهر	طبقات من رواسب الصواعد أو الهوابط المختلفة موسميا داخل كهوف الصخور الكلسية	جيولوجية	تحليل ترسبات الكهوف Speleothems
542000000 سنة قبل الزمن الحاضر	جهاز قياس كتلة الطيف	نسبة الأكسجين-18 إلى الأكسجين-16 في الكالسيت من رواسب أعماق البحار والنوى المرجانية.	جيوكيميائية مناخية	تحليل نظائر الأكسجين المشعة Oxygen isotope

الجدول 1: بعض الطرق المستخدمة لتأريخ المناخات القديمة