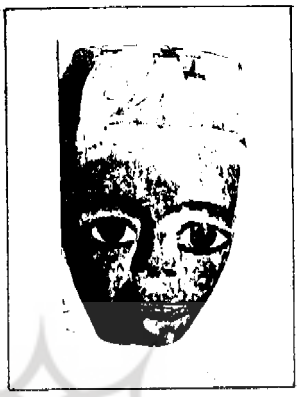
تعیین سن مطلق

ترجمه و تنظیم: محسن ـ الیاسی
دبیر دبیرستانهای شمیران



برای تعیین سن این دو شیء از کربن ۱۴ استفاده شده است. دست نوشته در کنار بحرالمیّت یافت شده و مربوط به حدود ۲۰۰۰ سال قبل است و ماسک مصری نیز حدود ۲۸۰۰ سال قدمت نشان داده است.

روشهای بیولوژیک و فیزیکی که در قرون هجدهم و نوزدهم برای تعیین سن نسبی سنگها بکار میرفت قادر به پاسخگوئی برخی از سؤالات اساسی نبود. مثلاً سن کرهٔ زمین چقدر است؟ حیات از چه زمانی آغاز شد؟ پیدایش آدمی در چه زمانی صورت گرفته است و... پاسخ به چنین سؤالاتی با کشف روشهای تعیین سن مطلق در اوایل قرن بیستم امکانپذیر شد. قبل از بررسی این روشها طبیعی است این سؤال مطرح شود که منظور از اندازه‌گیری سن چیست؟

میتوان از روشها و ابزارهای گوناگونی مانند ساعت شنی یا ساعت شماطه‌دار و... برای اندازه‌گیری گذشت زمان استفاده کرد. آنچه که اهمیت دارد این است که وجه مشترک این ابزارهای زمان‌سنج چیست؟ همگی آنها «با یک سرعت ثابت» کار میکنند. درنتیجه، گذشت زمان با مقدار دانه‌های ماسه‌ای که در داخل ساعت شنی فرو میریزد یا با تعداد نوسانی که آونگ ساعت شماطه‌ای انجام میدهد قابل اندازه‌گیری میشود. نکته اساسی این است که اصولاً هیچ عامل خارجی نتواند آهنگ کار وسیله زمان‌سنج ما را تغییر داده و یا برای مدتی آنرا به توقف بکشاند. طبیعتاً آنچه که بعنوان «ساعتهای زمین‌شناسی» برای تعیین سن سنگها بکار میرود میبایستی شرایط و ویژگیهای ذکر شده را دارا باشد.

کوششهای نخستین

زمین‌شناسان قرن نوزدهم فرایندهای زمین را بعنوان ساعت بکار میگرفتند و سن مطلق حوادث زمین‌شناسی را محاسبه می‌کردند.

در سال ۱۸۹۷، لرد کلوین (Lord Kelvin) محاسبه کرد که کرهٔ زمین ۲۰ تا ۴۰ میلیون سال زمان نیاز داشت تا از یک حالت مذاب اولیه بصورت سرد و منجمد امروزی درآید. محاسبات کلوین تا حدود زیادی دارای خطا و اشتباه بود زیرا او فکر میکرد کلیّه انرژی حرارتی زمین مربوط به زمان پیدایش کرهٔ زمین است. بعلاوه، او میزان ازدست دادن انرژی را از آن زمان تا بامروز ثابت درنظر گرفته بود. که البته این فرض او برخلاف واقع بود. امروز ما میدانیم که تخریب رادیواکتیو برخی از عناصر در داخل پوستهٔ زمین تولید حرارت می‌کند که این امر میزان سرد شدن زمین را کاهش میدهد. درنتیجه، سن کرهٔ زمین میبایستی خیلی بیش از آنچه که لرد کلوین پیش‌بینی کرده بود باشد.

در سال ۱۸۹۹ جان جولی (JohnJoly) سن کرهٔ زمین را باتوجه به میزان نمک موجود در آب اقیانوسها تخمین زد. جولی فرض کرده بود که آب اقیانوسهای اوّلیه کاملاً شیرین بوده لکن در طول زمان با ریزش آب رودها، آب اقیانوسها شور شده است. پس از اندازه‌گیری میزان متوسط املاحی که در یکسال توسط رودها وارد اقیانوسهای امروز میشود و مقایسهٔ آن با نمک اقیانوسها،

جولی به عددی حدود ۸۰ تا ۹۰ میلیون سال [illegible] یکی از ایراداتی که به تخمین جولی وارد میشود این [illegible] که او میزان ورود املاح به اقیانوسها را ثابت فرض کرده، این امر کاملاً غیر محتمل است. بعلاوه، فسیلهای جریان رود و سایر شواهد نشان میدهند که اقیانوسهای متشابه امروز در پرکامبرین به حدّ ماکزیموم املاح رسیده بودند. تمام تلاشهای مزبور و سایر کوششها با شکست روبرو شد زیرا همهٔ محقّقان تصور میکردند فرایندهای زمین‌شناسی بصورت ساعتی با یک سرعت ثابت کار میکنند درحالیکه این فرض کاملاً باطلی بود. ازطرفی، در سال ۱۸۹۶ بکرل (A. H. Becquerel) خاصیت رادیواکتیویته را کشف کرد و باین ترتیب «فرایندی با یک سرعت ثابت» دراختیار زمین‌شناسان قرار داد که میتوانست سن وقایع گذشتهٔ زمین را با دقت حداکثر تعیین کند.

رادیو اکتیویته به عنوان ابزاری برای تعیین سن

واکنش‌های هسته‌ای همواره با سرعتی ثابت انجام می‌گیرند و تغییرات دما، فشار و واکنش‌های شیمیایی بر آن هیچگونه تأثیری ندارند. در سال ۱۹۰۵ ارنست رادرفورد (Ernest Rutherford) برای نخستین بار استفاده از رادیواکتیویته را برای تعیین سن کرهٔ زمین پیشنهاد کرد. مدت کوتاهی پس از پیشنهاد رادرفورد شخص دیگری بنام ب‌ب بولتوود (B. B. Boltwood) با استفاده از تجزیه رادیواکتیو اورانیم سن برخی از کانیها را تا ۲ میلیارد سال تعیین کرد. باین ترتیب دانش تعیین سن پدیده‌های زمین‌شناسی (Geochronology) بوجود آمد.

انواع واکنش‌های هسته‌ای که در ژئوکرونولوژی به کار می‌رود

هریک از روشهای تعیین سن رادیواکتیو یکی از انواع مختلف واکنش‌های هسته‌ای را مورد استفاده قرار میدهد. محصول یک واکنش هسته‌ای رادیوژنیک (radiogenic) نامیده میشود. در هر واکنش عنصری که از آغاز وارد عمل میشود بعنوان عنصر مادر (Parent) و عنصر حاصل از تخریب آن عنصر را بعنوان عنصر دختر (daughter) نامگذاری میکنند. سه نوع واکنش هسته‌ای مهم تابحال شناخته شده است که عبارتند از: تخریب آلفا، تخریب بتا، الکترون ربایی.

تخریب آلفا

تخریب آلفا در عده‌ای از ایزوتوپهای اورانیم مورد دیگر، منظور ما از کلمهٔ ایزوتوپ اتمهای مختلف یک [illegible] است که تعداد نوترونهای آنها متفاوت ولی عدد اتمی یعنی تعداد پروتون در آنها یکسان باشد. عدد اتمی اورانیم ۹۲ است (یعنی این اتم ۹۲ پروتون دارد). یکی از ایزوتوپهای معمولی اورانیم $^{238}_{92}U$ است که ۱۴۶ نوترون دارد و درنتیجه، جرم اتمی آن ۲۳۸ = ۱۴۶ + ۹۲ است. ایزوتوپ دیگر اورانیم $^{235}_{92}U$ است که ۱۴۳ نوترون دارد و درنتیجه، جرم اتمی آن ۲۳۵ = ۹۲ + ۱۴۳ است. هردو اورانیم ۲۳۵ و ۲۳۸ رادیواکتیوند. و هردو پس از تخریب هسته‌ای طبق واکنش زیر به ایزوتوپ توریم تبدیل میشوند:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha + \text{انرژی}$$

$$^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{231}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha + \text{انرژی}$$

براساس واکنش‌های فوق براحتی میتوان دریافت که اورانیم دو نوترون و دو پروتون بصورت ذره آلفا ازدست داده است. واکنش هسته‌ای که در آن ذرّهٔ آلفا آزاد شود بنام تخریب آلفا نامیده میشود.

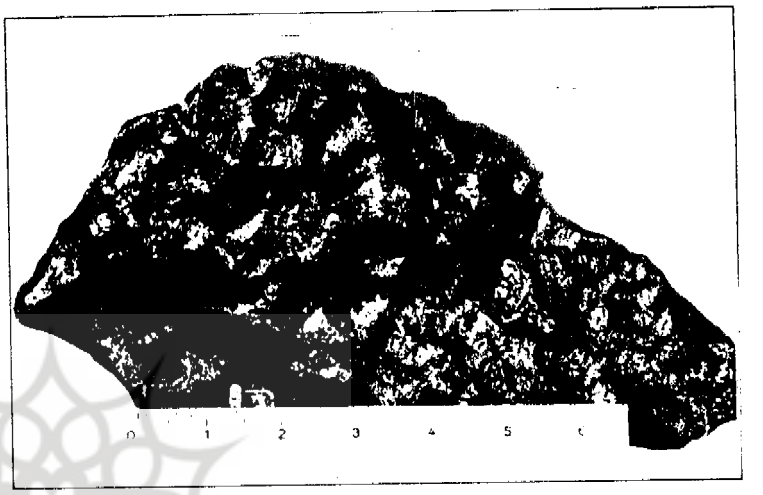
در برخی از موارد، عناصر دختر مانند $^{234}_{90}Th$ و $^{231}_{90}Th$ نیز خود رادیواکتیوند. عناصر رادیواکتیو دختر به تخریب هسته‌ای بصورت توالی پیوسته رادیواکتیو ادامه میدهند تا سرانجام یک عنصر دختر پایدار (غیر رادیواکتیو) بوجود آید. درمورد $^{234}_{90}Th$ عنصر دختر پایدار ایزوتوپ $^{206}_{82}pb$ است یک چنین تخریبی را که یکسری مراحل حد واسط بین عنصر مادر و عنصر دختر پایدار وجود دارد بنام تخریب متوالی (زنجیره‌ای) (series decay) مشهور است.

تخریب بتا

تخریب هسته‌ای که در آن انتقال از عنصر مادر به عنصر دختر با آزاد شدن الکترون همراه است تخریب بتا نامیده میشود و ذره‌ای که در این تخریب بکار میرود یعنی الکترون، ذرّه بتا β نام دارد. بهترین مثال تخریب بتا تبدیل ایزوتوپ رادیواکتیو روبیدیم $^{87}_{37}Rb$ به استرانسیم $^{87}_{38}Sr$ است.

$$^{87}_{37}Rb \longrightarrow {}^{87}_{38}Sr + \beta + \text{انرژی}$$

باید توجه داشت که عنصر دختر یک پروتون دریافت کرده، درحالیکه تغییری در جرم اتمی آن بوجود نیآمده است. پروتون اضافی از کجا آمده است؟ چگونه ممکن است بدون تغییر جرم عنصر دختر از عنصر مادر یک پروتون اضافی ظاهر شود؟ بعلاوه، ذرّه بتا خواص فیزیکی الکترون را دارد. لیکن چگونه یک الکترون میتواند از هستهٔ اتمی خارج شود که فقط از پروتون و نوترون تشکیل شده است؟ به چنین سؤالاتی زمانی میتوان پاسخ داد که بپذیریم نوترون خود ترکیبی از پروتون و الکترون است.



این سنگ، نوعی شیستسنگ است که در قاره استرالیا یافت شده و با استفاده از روش اورانیوم ــ سرب، قدمت آن را حدود ۴/۶ میلیارد سال تعیین کرده‌اند.

همانطور که میدانیم جرم نوترون تقریباً برابر جرم پروتون و الکترون است و بعلاوه، خنثی بودن نوترون با توجه به ترکیب مزبور کاملاً قابل قبول است. هرگاه یک نوترون درهستهٔ $^{87}_{37}Rb$ به یک پروتون و یک الکترون تبدیل شود جرم اتمی بدون تغییر باقی میماند در حالیکه عدد اتمی با ظاهر شدن یک پروتون در هسته یک واحد افزایش مییابد. الکترون هم بصورت یک ذرّهٔ بتا از هسته خارج میشود (از آنجا که جرم الکترون در مقابل جرم پروتون بسیار کم است میتوان از جرم آن صرفنظر کرد و در نتیجه، خروج آن از هسته تغییری در جرم اتمی بوجود نمی‌آورد). الکترون ربایی درتخریب پتاسیم $^{40}_{19}k$ به گازآرگون $^{40}_{18}Ar$ بصورت زیر دیده میشود:

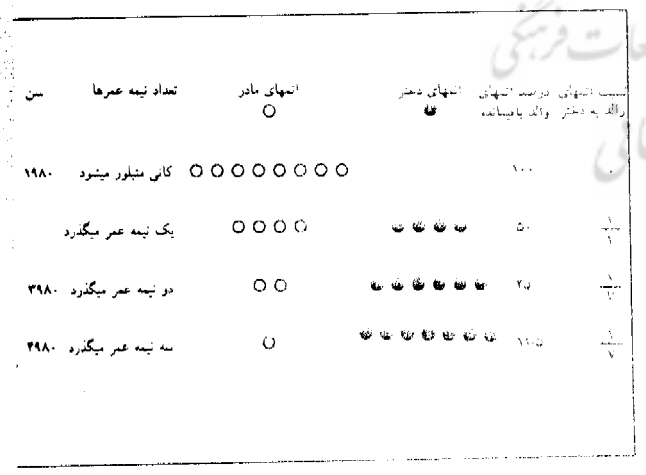
$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{18}Ar + \text{ژ}$$

در این حالت عدد اتمی یک واحد کاهش مییابد و جرم اتمی تغییری نمیکند. در واقع یک الکترون از مدار

وارد هسته اتم شده و با یک پروتون معمولاً در داخلی‌ترین لایه هسته ترکیب شده و تشکیل یک نوترون میدهد. در این فرایند هیچگونه ذرّه‌ای از هسته خارج نمیشود لیکن انرژی تولید میشود.

گردآوری داده‌های رادیومتریک (پرتوسنجی)

زمانیکه یک کانی متبلور میشود، در شبکهٔ اتمی ساختمان بلورین آن ممکن است اتمهای رادیو اکتیو شرکت داشته باشند. این اتمها با یک میزان ثابت شروع به تخریب هسته‌ای میکنند که سرعت تخریب نامیده میشود سرعت تخریب برای کلیّه عناصر رادیو اکتیو که در ژئوکرونولوژی مورد استفاده قرار میگیرند با استفاده از تجربیات آزمایشگاهی محاسبه و اندازه‌گیری شده است. نیمه عمر یک ایزوتوپ رادیواکتیو عبارت از مدت زمانی است که جرم یک عنصر مادر رادیو اکتیو نصف شود. پدیدهٔ نیمه عمر درطرح زیربه نمایش درآمده است. زمانیکه کانی موجود درطرح زیرمتبلور میشود اتمهائی در ساختمان کانی شرکت میکنند که دارای نیمه عمر ۱۰۰۰ سال میباشند. پس از یک هزار سال (یک نیمه عمر) ۵۰ درصد اتمهای مادر اولیه به اتمهای دختر تبدیل میشوند. پس از گذشت هزار سال بعد فقط ۲۵ درصد اتمهای مادر اولیه باقی میمانند و این عمل بهمین ترتیب ادامه مییابد. توجه داشته باشید همانطور که درصد عنصر مادر کاهش



تغییر در نسبت اتمهای مادر به دختر در یک بلور برحسب زمان. نیمه عمر اتم مادر یکهزار سال است. با گذشت زمان درصد اتمهای مادر بدلیل تخریب هسته‌ای پیاپی برای تشکیل اتمهای دختر کاهش مییابد. تعداد اتمهائی که در شکل نمایش داده شده است صرفاً برای بیان مطلب است زیرا در واقعیت تعداد بیشتری از اتمها وجود دارند.

میابد درصد عنصر دختر افزایش مییابد (تشکیل [illegible] حال مجموع اتمهای دختر و مادر در هر [illegible] ثابت باقی میماند.

برای تعیین سن رادیومتریک کانیها سنگ را کاملاً خرد و کانیهای مناسب را جدا میکنند. این کانیها را تجزیه کرده و نسبت اتمهای مادر به دختر را تعیین می‌کنند. از آنجا که نیمه عمر شناخته شده است سن کانی به آسانی قابل محاسبه است. بعنوان مثال در صورتیکه نسبت اتمهای مادر به دختر $\frac{1}{1}$ باشد از زمان تشکیل کانی معادل طول یک نیمه عمر گذشته است.

از تمام سنگها برای تعیین سن نمیتوان استفاده کرد. سنگهای آذرین و دگرگونی چون در زمان تشکیل بصورت بلوری در می‌آیند برای تعیین سن از مناسبترین سنگها هستند. بعکس اغلب کانیهای سنگهای رسوبی چون از تخریب سنگهای قدیمیتر بوجود آمده‌اند بطور دقیق زمان تشکیل سنگ رسوبی را نشان نمیدهند. اخیراً در تعیین سن کانی گلوکونیت (Glauconite) غنی از پتاسیم موجود در سنگهای رسوبی موفقیتهائی بدست آمده است زیرا کانی مزبور زمانی تشکیل میشود که رسوبات متمرکز و مجتمع شوند.

دقت داده‌های رادیومتریک
تنظیم کردن ساعتهای زمین‌شناسی

در کلیهٔ روشهای تعیین سن رادیومتریک که براساس تخریب عنصر مادر به عنصر دختر کار میکنند سه نکتهٔ مهم را باید در نظر گرفت تا تعیین سن رادیومتریک مربوط به زمان تبلور کانی از دقت و صحت کافی برخوردار باشد. کانی (یا سنگ) دارای عنصر مادر و عنصر دختر حداقل بقدر قابل اندازه‌گیری باشد. سیستم میبایستی از نوع سیستمهای بسته باشد یعنی بغیر از تخریب عنصر مادر به عنصر دختر هیچ عامل خارجی دیگری وارد یا از سیستم خارج نشده باشد. در صورتیکه هر عنصر دختر تولید شده در زمان تشکیل کانی در داخل کانی به تله افتاده باشد بایستی بتوان مقدار آنرا محاسبه و براساس آن تعیین سن را تصحیح و بمقدار واقعی نزدیک کرد. در غیراینصورت سن تعیین شده بیش از مقدار واقعی خواهد بود. اشتباهات و خطاهائی هم ممکن است در هنگام نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل پیش آید. در تعیین سن رادیو متریک همیشه مقداری خطا وجود دارد لیکن در حالت ایدال حداقل خطا حدود ۲٪ درصد است.

در صورتیکه سنگی دگرگون شود ممکن است مواد ایجاد شده از داخل بلور خارج نمیشوند. در صورتیکه چنین بازیری تعیین سن شود، چون عنصر دختر کمتری در آن وجود دارد زمان تعیین شده کمتر از زمان تشکیل سنگ خواهد بود. در صورتیکه عنصر دختر ایجاد شده بصورت گاز باشد (مانند آرگون در روش تعیین سن پتاسیم ـ آرگون) زمان بدست آمده زمان تبلور اولیه کانی نیست بلکه آخرین زمان تغییرات دگرگونی را نشان می‌دهد. در حالتیکه عنصر دختر ایجاد شده بصورت گاز نباشد، تغییرات دگرگونی ممکن است آنرا از داخل بلوری که در آن شکل گرفته خارج کند و احتمال دارد که هنوز از خود تودهٔ سنگ خارج نشده باشد. در صورتیکه هیچیک از عناصر دختر ایجاد شده قبل از دگرگونی و در حین دگرگونی از داخل سنگ هدر نرفته باشد نسبت عنصر مادر به عنصر دختر در کل سنگ سن رادیومتریکی را در اختیار میگذارد که مربوط به زمان تشکیل اولیه سنگ میشود. تعیین سن رادیومتریک به این روش بنام تعیین سن تودهٔ سنگ خوانده میشود.

روشهای تعیین سن رادیومتریک

اکثر ایزوتوپهای مواد رادیواکتیو که در تعیین سن مواد زمین (رسوبات، بقایای مواد آلی و سنگها) بکار گرفته میشود و در جدول زیر نشان داده شده‌اند، برای تعیین سن کانیها و سنگها به کار میروند. یکی از روشها (روش کربن ۱۴) فقط برای تعیین سن مواد کربن‌داری بکار میرود که قدمت آنها کمتر از ۷۰۰۰۰ سال باشد. هریک از زوجهای مادر ـ دختر نیمه عمر متفاوتی دارند و در نتیجه محدودهٔ تعیین سن مؤثر توسط آنها متفاوت است. اکثر سن‌های رادیومتریک بدست آمده از سنگهایی که قدمت آنها مربوط به بعد از پرکامبرین است به روش تخریب پتاسیم ـ آرگون و روبیدیم ـ استرونسیم تعیین شده است. اغلب سنگهای پرکامبرین با روش تخریب روبیدیم ـ استرونسیم و اورانیم ـ سرب و بعضی بروش پتاسیم ـ آرگون تعیین سن شده است. تنها یک روش برای تعیین سن پدیده‌های بسیار جوان بکار گرفته شده است و آنهم روش کربن ۱۴ است.

روش	عنصر مادر	عنصر دختر	نحوه تخریب	نیمه عمر عنصر مادر (سال)	محدودهٔ سن قابل تعیین (سال)	موادی که تعیین سن میشود	ملاحظات
اورانیم ــ سرب	$^{238}_{92}U$	$^{206}_{82}Pb$	زنجیره‌ای از تخریب اورانیوم	۴/۵ میلیارد	۱۰۰ تا ۴/۵ میلیارد سال	زیرکن، اورانینیت تمام سنگها	در کلیه سنگهای حاوی اورانیم هر دو ایزوتوپ ۲۳۸ و ۲۳۵ با یکدیگر دیده میشوند. تعیین سن رادیومتریک توسط یک ایزوتوپ را میتوان بکمک ایزوتوپ دیگر تایید نمود.
	$^{235}_{92}U$	$^{207}_{82}Pb$	زنجیره‌ای از تخریب اورانیوم	۷۰۱ میلیارد	۱۰۰ تا ۴/۵ میلیارد سال	زیرکن، اورانینیت تمام سنگها	
روبیدیم ــ استرونیسیم	$^{87}_{37}Rb$	$^{87}_{38}Sr$	تخریب بتا	۴۷ میلیارد	۱۰۰ میلیون تا ۴/۵ میلیارد	موسکوویت، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم‌دار تمام سنگهای آذرین و دگرگونی	در مطالعه سنگهای دگرگونی بسیار مفید میباشد قدیمیترین سنگ کره زمین با این روش تعیین سن گردیده است.
پتاسیم ــ آرگون	$^{40}_{19}K$	$^{40}_{18}Ar$	الکترون ربائی	۱/۳ میلیارد	۱۰۰ هزار تا ۱۰ میلیون سال	موسکوویت، بیوتیت هورنبلند، گلوکونیت سایر تمام سنگها	روش پتاسیم ــ آرگون روی بهنه‌های آتشفشانی در بین لایه‌های رسوبی راجع فسیل استخوانهای انسان سن مربوط به اوائل تکامل انسان را در اختیار قرار داده است. اگر سنگی را حرارت دهیم آرگون رادیوژنیک از سنگ خارج و سن گیری نسبت به سن واقعی پست میاید
کربن ۱۴	$^{14}_{6}C$	$^{14}_{7}N$	تخریب بتا	۵۷۳۰	۱۰۰ تا ۵۰۰۰۰ و با تکنیکهای ویژه تا ۷۰۰۰۰	مواد مختلف حاوی کربن شامل: چوب، ذغال، استخوان، پارچه، کاغذ، رسوبات داخل غارها، آبهای زیرزمینی، آبهای اقیانوسها	

تعیین سن اورانیم ــ سرب

اولین روشی بود که بمنظور تعیین سن کانیها بکار گرفته شد. تعیین سن براساس تخریب رادیواکتیو دوتا از ایزوتوپهای اورانیم U ۲۳۵ و U ۲۳۸ صورت میگیرد. ^{235}U در نهایت به سرب پایدار ^{207}Pb وایه سرب پایدار تبدیل میشود. تمام نهشته‌های اورانیم که بطور طبیعی یافت میشود شامل هر دو نوع ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵ و اورانیم ۲۳۸ است. درنتیجه، سنگها را میتوان با هر دو ایزوتوپ تعیین سن کرد. تعیین سنی که به کمک ایزوتوپ دوّمی صورت میگیرد بیشتر بمنظور تایید کردن نتایج حاصل از ایزوتوپ اولی است. در آغاز تنها کانیهای اورانیم را با این روش تعیین سن میکردند. با این حال، کانیهای اورانیم معمولاً در سنگها یافت نمیشوند و این خود محدودیتی در این روش ایجاد میکرد. تجربیات در حال ترقی روی تکنیکهای آزمایشگاهی مدرن این امکان را فراهم کرد تا بتوان مقادیر جزئی اورانیم و سرب موجود در کانی زیرکن $ZrSiO_4$ و سایر کانیهایی را که در بسیاری از سنگهای آذرین دیده میشوند آنالیز کرد. پیشرفتهای اخیر در تعیین سن اورانیم ــ سرب ژئوکرونولوژیست‌ها را قادر کرد تا بتوانند موارد زیر را تعیین کنند.

(۱) آیا از زمان تشکیل سنگ، سرب یا اورانیومی به آن اضافه، یا از آن کاسته شده است؟

(۲) در چه زمانی این تبدیل صورت گرفته است؟

(۳) سن صحیح سنگ با وجود تجزیه‌ای که صورت پذیرفته است، چقدر است؟

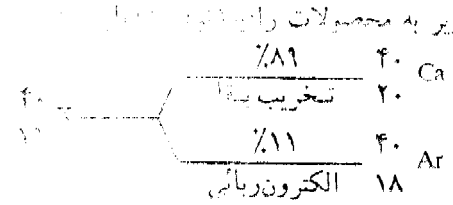
تعیین سن روبیدیم ــ استرونیسم

روبیدیم ۸۷ با تخریب بتا به استرونسیم ۸۷ تبدیل میشود. اشکال اساسی در استفاده از این روش این است که استرونسیم۸۷غیر رادیوژنیک ممکن است در کانی مورد آزمایش موجود باشد. با این حال میزان استرونسیم ۸۷ غیر رادیوژنیک را میتوان تعیین کرد، زیرا عنصر مزبور بانسبت ثابتی با استرونسیم ۸۶ که بطور مطلق غیر رادیوژنیک است همراه میباشد. در نتیجه میزان استرونسیم۸۷غیر رادیوژنیک را میتوان تعیین کرده و از کل مقدار استرونسیم ۸۷ کم کرد تا مقدار استرونسیم رادیوژنیک۸۷(عنصر دختر) تعیین شود. سنگهای دگرگونی معمولاً از طریق روش کل توده سنگ بروش روبیدیم ــ استرونسیم تعیین سن می‌شوند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تعیین سن پتاسیم ــ آرگون

ایزوتوپ رادیواکتیو پتاسیم ۴۰ تخریب و متلاشی شده و بصورت زیر به محصولات رادیواکتیو و پایدار تبدیل میشود:



بیشتر پتاسیم ۴۰ (۸۹ درصد) با تخریب بتا به کلسیم رادیوژنیک ۴۰ تبدیل میشود. این تخریب برای تعیین سن رادیومتریک مفید نیست، زیرا کلسیم ۴۰ رادیوژنیک را نمیتوان از کلسیم ۴۰ غیررادیوژنیک که از قبل در کانی وجود دارد تفکیک کرد. حدود ۱۱ درصد پتاسیم ۴۰ با الکترون‌ربایی به آرگون ۴۰ تبدیل میشود که از نظر شیمیائی گازی غیرفعال بوده و در داخل بلور اندوخته میشود. این تخریب، در تعیین سن رادیومتریک مفید است زیرا آرگون ۴۰ غیر رادیوژنیک در تشکیل کانیها اساساً شرکت ندارد. از آنجا که آرگون ۴۰ بصورت یک گاز است گرم شدن سنگها در طول فرایند دگرگونی ممکن است قسمتی و یا تمامی آرگون ۴۰ را از بلور خارج کند. درنتیجه، سن رادیوژنیک سنگ بعد از دگرگونی کمتر از سن‌واقعی‌خواهدبود و بیشتر، معرّف زمان دگرگونی است.

نیمه عمر کوتاهتر پتاسیم ۴۰ نسبت به سایر ایزوتوپهایی که در تعیین سن بکار میروند این امکان را در اختیار میگذارد تا بتوان موادی را که بین ۱۰۰۰۰۰ سال تا ۱۰ میلیون سال قبل تشکیل شده‌اند تعیین سن نمود. این محدوده زمانی را که تغییرات تکاملی انسان اتفاق افتاده نیز دربرمیگیرد. تعیین سن پتاسیم ــ آرگون روی نهشته‌های آتشفشانی که بین لایه‌های رسوبی قرار دارند حساوی فسیلهای انسان است، باعث شده تا مردم شناسان مراحل متوالی تکامل آدمی را تعیین سن کنند.

تعیین سن کربن ۱۴
دریچه‌ای به گذشتهٔ نزدیک زمین

در اکثر قریب به اتفاق روشهای تعیین سن رادیومتریک که در زمین شناسی مورد استفاده قرار میگیرد از ایزوتوپهای رادیواکتیو بغیر از کربن ۱۴ استفاده میشود. با این حال، روش کربن ۱۴ یقیناً از بهترین روش‌های شناخته شده است، زیرا کاربرد بسیار وسیعی در باستان‌شناسی، مردم شناسی و زمین‌شناسی برای تعیین سن بقیه‌های یخچالی و سایر پدیده‌هایی دارد که قدمت آنها کمتر از ۷۰۰۰۰ سال است. روش کربن ۱۴ بندرت برای تعیین سن سنگها بکار گرفته میشود. کربن ۱۴ (نیمه عمر کربن ۱۴ (۵۷۳۰ سال) این امکان را فراهم نموده است تا صرفاً موادی را تعیین سن کنند که قدمت آنها کمتر از ۷۰۰۰۰ سال است. البته اغلب سنگهای رسوبی قدمتی بیش از این مقدار دارند. و. اف. لیبی (W.F.Libby) که تکنیک تعیین سن کربن ۱۴ را توسعه داده در سال ۱۹۶۰ موفق به اخذ جایزه نوبل در رشته شیمی شد.

کربن دارای ۶ پروتون است (عدد اتمی ۶). دو تا از ایزوتوپهای آن (۱۲C) دارای شش نوترون و ۱۴C دارای هشت نوترون است. کربن ۱۲ پایه‌دار و کربن چهارده رایواکتیو است. کربن چهارده بطور پیوسته در بخش فوقانی آتمسفر در زمانی تشکیل می‌شود که نوترونهای تولید شده از اشعه کیهانی نیتروژن پایدار ۱۴N را بمباران کرده و با آزاد کردن یک پروتون ایزوپ رادیواکتیو ۱۴C را بوجود میآورد. اتمهای کربن ۱۴ همراه با اتمهای پایدار کربن ۱۲ با ترکیب با اکسیژن، CO_2 ایجاد میکند. این گاز بسرعت با هوا در اقیانوسها، دریاچه‌ها، آبهای زیرزمینی و یخچالها مخلوط می‌شود. گیاهان از این گاز قند و نشاسته میسازند و هنگامیکه جانوران این گیاهان را میخورند، کربن ۱۴ در بافتهای آنها وارد میشود.

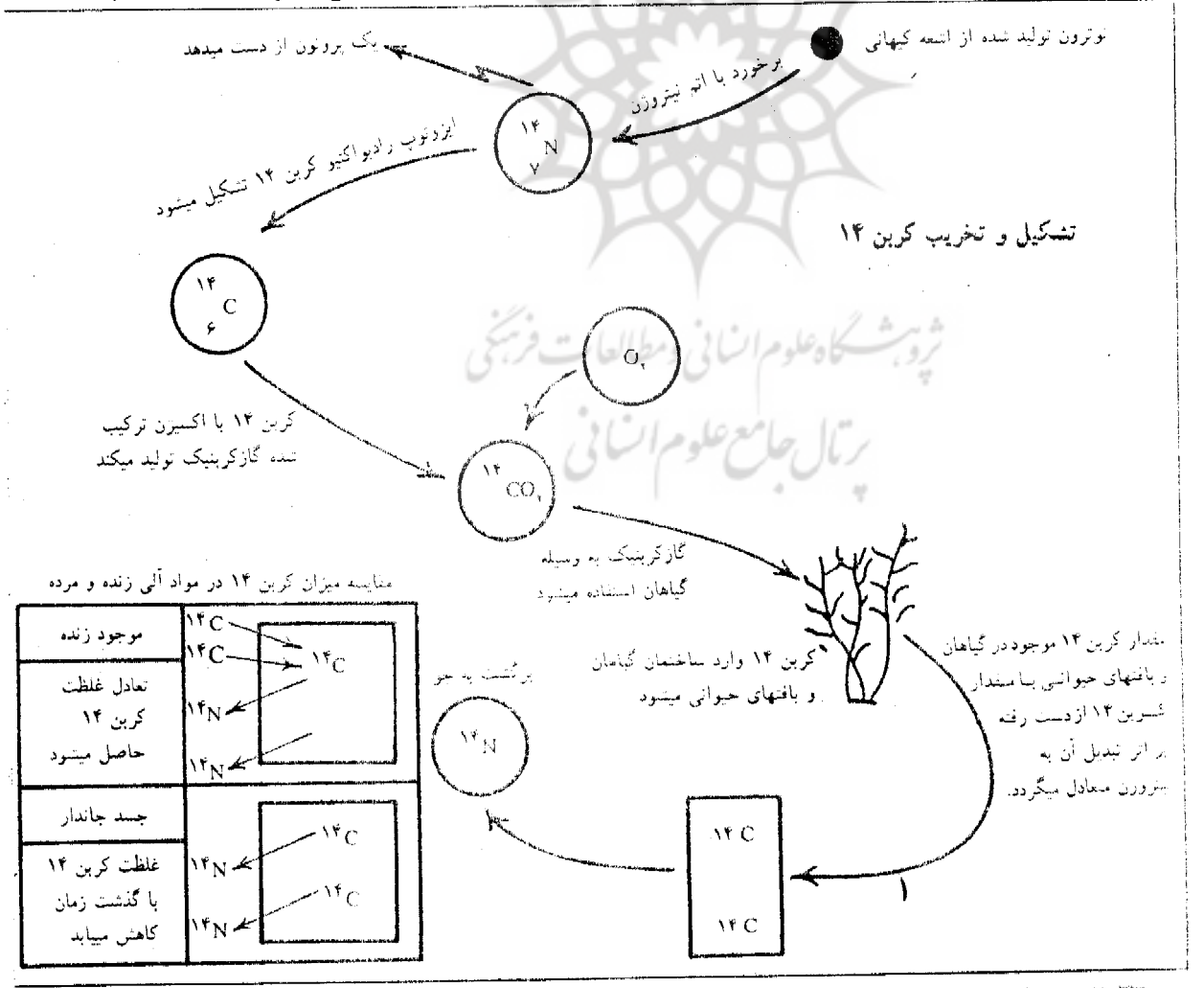
کربن ۱۴ به سرعت با تخریب بتا به نیتروژن تبدیل میشود. با این حال، تا زمانیکه موجود زنده در قید حیات است کربن ۱۴ جدید با مبادله با آتمسفر، هیدورسفر یا هر دو وارد بدن موجود زنده میشود. باین ترتیب مقدار کربن ۱۴ در بدن موجود زنده به حد مشخصی از غلظت میرسد که معادل غلظت کربن ۱۴ در آتمسفر و هیدروسفر است. لیکن بعد از مرگ، کربن ۱۴ دیگر نمیتواند جایگزین شود و میزان کربن رادیواکتیو بطور یکنواخت در جسد شروع به کاهش می‌کند. سن رادیومتریک برای یک ماده از طریق اندازه‌گیری تعداد ذرات بتا که از نمونهٔ موردنظر بر اثر تخریب حاصل میشود، قابل دسترس است. بعنوان مثال پس از گذشت ۵۷۳۰ سال (یک نیمه عمر) تراکم کربن ۱۴ نصف تراکم آن در آتمسفر خواهد بود.

روش تعیین سن کربن ۱۴ درحالیکه در یک محدودهٔ معینی از تعیین سن قرار دارد واجد کاربرد بسیار زیاد است. کربن ۱۴ را برای تعیین سن چوب، زغال، پارچه،

دانه گرده، برگها و سایر مواد کربن‌دار در مطالعات باستان‌شناسی و مردم‌شناسی بکار میگیرند. سن خط نوشته‌های بحرالمیت با تعیین سن پوششی که در اطراف آن خط نوشته‌ها بود تعیین شد. غلظت کربن ۱۴ در اجاقهای زغالی و سایر اشیاء برای تعیین قدمت مردمان باستان بکار گرفته شده است. گرچه کربن ۱۴ برای تعیین سن سنگها خیلی بندرت بکار گرفته شده، لیکن در تعیین سن برخی از وقایع زمین شناسی اخیر به خوبی کاربرد داشته است. بعنوان مثال تعیین سن کربن ۱۴ روی کوه دماوند نشان داد که آخرین فعالیت آتشفشانی دماوند تقریباً در ۳۸ هزار سال قبل صورت گرفته است.

اخیراً تعیین سن بوسیلهٔ کربن ۱۴ وارد دورهٔ انقلابی شده است. با استفاده از شتاب دهنده‌های ذرّات با انرژی بالا براحتی میتوان تعداد کربن ۱۴ موجود در یک نمونه را بطور مستقیم اندازه‌گیری کرد. امید است بزودی با اصلاح در روش فوق بتوان تا ۱۰۰۰۰۰ سال قبل را مورد اندازه‌گیری قرارداد. این موفقیت شکاف زمانی بین روشهای پتاسیم ـ آرگون و کربن چهارده را پر خواهد کرد. بعلاوه، تعیین سن بوسیلهٔ شتاب دهنده‌های ذرّات، فرآیندهای مربوط به تجزیه و تحلیل را بطور وسیعی سرعت بخشیده (چند ساعت بجای چند روز) و میتواند نمونه‌هایی به اندازهٔ یک هزارم نمونه‌های قبلی را تجزیه و تحلیل کند.

تعیین سن کربن ۱۴ همواره در معرض خطا واقع میشود. اگر موادی که برای تعیین سن آماده شده با کربن عهد حاضر آغشتگی پیدا کند (مثلاً در اثر عملکرد آبهای زیرزمینی)، سن تعیین شده دارای خطا خواهد بود. شکل دیگر این است که مقایسه سن تعیین شده با شمارش تعداد حلقه‌های رشد درختان با کربن ۱۴ روی همان حلقه‌ها نشان میدهد که برخی از سن‌های تعیین شده بطریق کربن ۱۴ کمتر و برخی سن بیشتری را نسبت به سن واقعی درخت نشان میدهد. از آنجا که سرعت تخریب کربن ۱۴ ثابت است این اعتقاد امروزه قوّت گرفته است که اختلاف فوق ناشی از نوسان تولیدکربن ۱۴ است. نوسانات مزبور بدلایل متعددی مانند تغییر در میدان مغناطیس زمین، چرخه‌های لکه‌های خورشید، سوزاندن سوختهای فسیل و حتی آزمایشات بمبهای اتمی ممکن است ایجاد شده باشد.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سن‌هایی که توسط کربن ۱۴ تا ۸۲۸۴ سال قبل از حال تعیین شده‌اند امروزه با شمارش تعداد حلقه‌ها در گیاهان کنترل و تصحیح شده است. با توجه به مطالب فوق امکان عدم قطعیت در بعضی سن‌های بیشتر زمین شناسان را بر آن داشت تا از واژهٔ «سالهای رادیوکربن» در تعیین سن کربن ۱۴ استفاده کنند درنتیجه، سال رادیوکربن میتواند از لحاظ طول، با سال تقویمی اختلاف داشته باشد.

سایر روش‌های تعیین سن

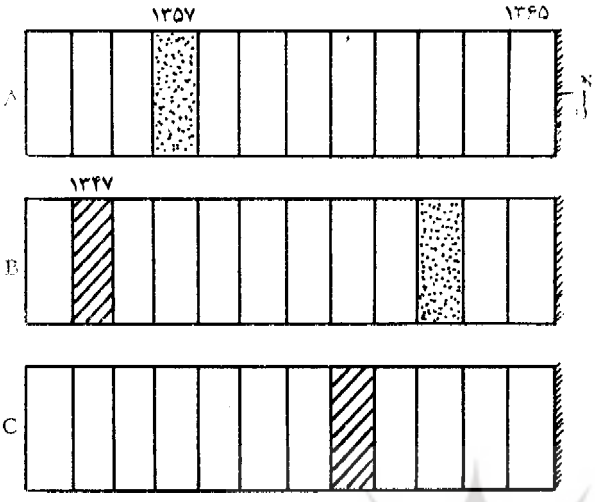
واروها (varves)

غالباً در محلهای ذوب یخچالها دریاچه‌هایی تشکیل میشود. در فصل تابستان رسوبات روشن نسبتاً دانه درشت و در فصل زمستان رسوبات دانه‌ریز تیره‌رنگ حاوی سیلت و مواد آلی تشکیل میشوند. این رسوبات را وارو مینامند. با شمارش تعداد لایه‌های وارو در یک بیرون زدگی امکان محاسبهٔ طول زمانی که برای تجمع و تشکیل آنها لازم است فراهم می‌آید. این امر براین اساس است که هر وارو (مجموعهٔ یک لایه روشن و یک لایه تیره) در یکسال تشکیل شده است و کلیهٔ واروهای ایجاد شده محفوظ باقی مانده‌اند. بعنوان مثال، شمارش واروها اطلاعاتی در مورد طول زمانی که دریاچه از ذوب یخچال تغذیه میکرده و دوام آن را در یک محل مشخص، قابل بررسی میسازد.

تعیین سن به کمک حلقه‌های رشد درختان

در مناطق معتدل، بر قطر تنه و شاخه‌های یک درخت معمولاً با هر فصل رشد معادل یک لایه اضافه میشود. اگر درختی قطع شود، این لایه‌ها بصورت دوایر متحدالمرکزی دیده میشوند. از آنجا که هر لایه مقدار رشد مربوط به یکسال را نشان میدهد بنام حلقه رشد سالانه خوانده میشود. طرح حلقه‌ها اطلاعاتی را مربوط به وضع آب و هوای گذشته نیز در اختیار قرار میدهد. بعنوان مثال حلقه‌هایی که در سالهای مرطوبتر تشکیل میشوند ضخیمتر از حلقه‌هائی هستند که در سالهای خشک بوجود آمده‌اند. بعلاوه، با شمارش حلقه‌ها میتوان طول زندگی گیاه را نیز برآورد کرد.

در عمل معمولاً بایستی یک ویژگی مربوط به حلقه‌های رشد یک گیاه زنده بسیار مسن را معلوم کرده و همان ویژگی را در مورد گیاهان مرده نیز یافت و آنرا بهمان طریق در گیاهان قدیمتر مقایسه کرد تا سن گیاه مورد نظر بدست آید. بعنوان مثال با توجه به طرح پائین اگر مقطع شماره ۱ مربوط به گیاه زنده کنونی باشد میخواهیم زمان پیدایش گیاه ۲ را مشخص کنیم:



یک حالت ویژه آب و هوایی در گیاهٔ A دیده میشود (این حالت بصورت نقطه چین نمایش داده شده است) که عیناً در گیاه مردهٔ B نیز دیده میشود. واضح است که با شمارش حلقه‌های رشد این حالت مربوط به سال ۱۳۵۷ است (برای سادگی هر لایه را مربوط به یکسال فرض کردیم).

در گیاه B حالت دیگری دیده میشود که در گیاه C نیز مشابه آن ثبت است و مربوط به سال ۱۳۴۷ میشود. پس گیاه C در سال ۱۳۳۹ رشد خود را آغاز کرده است، یعنی این گیاه مربوط به ۲۶ سال قبل بوده و پس از ۱۴ سال زندگی خشک و یا قطع شده است. با روش فوق‌الذکر توانسته‌اند سن مطلق برخی از گیاهان را تا ۸۲۸۴ سال قبل تعیین کنند.

تعیین سن بوسیله اسید آمینه

در مورد استخوانهای فسیل، با گذشت زمان، سرعت شناخته شده‌ای از تغییرات روی نسبت دو نوع متفاوت اسیدهای آمینه (ایزومرهای D و L) بچشم میخورد. پس از گذشت یک زمان طولانی دو نوع اسید آمینه از نظر فراوانی به تعادل می‌رسند. یک سن تقریبی را میتوان براساس محاسبهٔ نسبت D/L اسیدهای آمینه اندازه‌گیری و

برآورد کرد. روش تعیین سن مزبور برای موادی بکار میرود که قدمت آنها بیشتر از ۲۰۰ سال و کمتر از ۱۰۰۰۰۰ سال باشد.

اندازه‌گیری لایه هیدراته ابسیدین

ابسیدین تازه تشکیل شده اگر در معرض هوا قرار گیرد با رطوبت هوا واکنش کرده و هیدراته میشود. در صورتیکه سرعت جذب رطوبت نوع مشخصی از ابسیدین معلوم باشد عمق لایه شیشه‌ای هیدراته شده سن تقریبی را برای نمونهٔ شیشه‌ای در اختیار میگذارد. این سن درست از زمانی ثبت میشود که شیشه برای نخستین بار در معرض هوا واقع شده است (زمانی که انسانهای اولیه ابسیدین را برای ساختن نیزه و ابزار خرد کردند و شکستند). این روش در مورد نمونه‌هایی اعمال میشود که سن آنها بیشتر از ۵۰۰ سال و کمتر از یک میلیون سال باشد.

تعیین سن بکمک خراشهای ناشی از شکافت هسته اتم

زمانیکه هستهٔ ایزوتوپهای رادیو اکتیو مانند اورانیم ۲۳۸ تخریب پیدا میکند ذراتی با انرژی بسیار زیاد آزاد میشوند. این ذرات به مناطق اطراف صدمه میزنند و یکسری خراشهای باریک و پیوسته در ساختمان بلورین ایجاد میکنند. موقعیکه سطح بلور کاملاً صیقل باشد و در معرض یک حلال قوی قرار گیرد خراشتهای مزبور بیشتر قابل رؤیت می‌شوند و میتوان آنها را شمرد. اندکی پس از متبلور شدن کانی، خراشهای اولیه ایجاد میشوند و تعداد خراشها در واحد سطح که چگالی خراش نامیده میشود با گذشت زمان افزایش مییابد. چگالی خراش همچنین با فراوانی مقدار اورانیم نسبت مستقیم دارد. لذا قبل از تعیین سن از روی مقدار خراشها میزان اورانیم داخل کانی بایستی تعیین و اندازه‌گیری شود. انواع بلورها و شیشه‌ها با این روش تعیین سن شده‌اند. این روش در مورد موادی بکار میرود که سن آنها کمتر از یکصد سال تا قدیمترین سنگها باشد.

تعیین سن مغناطیسی

یکی از جدیدترین روش‌های تعیین سن سنگهاست. این روش است که بر اساس تغییرات شدت میدان مغناطیسی زمین نسبت به زمان استوار شده است. امروزه میدانیم که در زمانهای گذشته، چندین بار میدان مغناطیسی زمین معکوس شده است (جای قطب شمال و جنوب عوض شده است). این تغییرات در دوره‌های نامنظمی صورت گرفته است. در هر زمانی که میدان مغناطیسی معکوس شده، این پدیده در ذرات رسوبی حاوی آهن و بلورهای در حال انجماد ماگما ثبت شده است. با تعیین سن لایه‌های سنگ بوسیلهٔ ایزوتوپهای رادیو اکتیو، نوعی مقیاس تعیین سن مغناطیسی بدست میآید. بکمک این مقیاس در هر محلی با تشخیص خواص مغناطیسی سنگها میتوان سن سنگها را برآورد کرد.

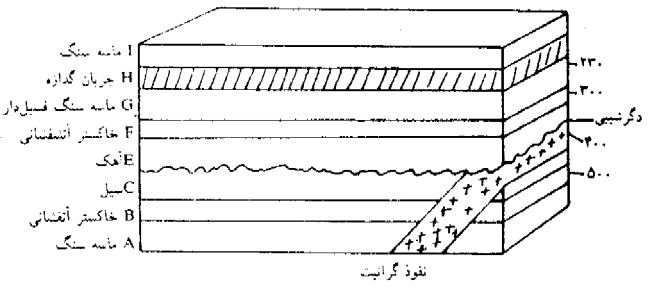
مقیاس زمان رادیومتریک

هنگامیکه زمین‌شناسان می‌خواهند سن لایه‌های سنگی را در یک منطقه تعیین کنند، روشهای مختلفی بکار گرفته میشود. سنگهای آذرین و دگرگونی مستقیماً بوسیلهٔ تعدادی از ایزوتوپهای رادیو اکتیو تعیین سن می‌شوند. سنگهای رسوبی یعنی فراوانترین سنگها در سطح زمین که عمدتاً حاوی فسیل اند فقط در شرایطی که واجد کانیهای اوتی‌ژن مانند گلوکونیت باشند بطور مستقیم تعیین سن می‌شوند. با این حال، سن سنگهای رسوبی در صورتیکه توسط سنگهای آذرین قطع یا بموازات آنها قرار گرفته باشند قابل اندازه‌گیری است. تکنیک عمل با آنالیز لایه‌های سنگی همانطور که در شکل نشان داده شده است صورت می‌پذیرد. توالی سنگ ترکیبی از رسوبات حاوی فسیل و بدون فسیل است که لابلای آن خاکستر آتشفشانی و جریانهای گدازه موجود و توسط یک دایک گرانیتی قطع گردیده است. سن نسبی لایه‌های مختلف با استفاده از اصول انطباق، ارتباط تقاطع لایه‌ها، ادخالها و فسیلها (به ستون سن نسبی شکل مراجعه کنید) تعیین می‌شود. سن رادیومتریک خاکستر آتشفشانی (لایه F) ۳۰۰ میلیون سال است و در مورد جریان گدازه (لایه H) ۳۲۰ میلیون سال. بکمک تعیین سن نسبی میتوان دریافت که ماسه سنگ فسیل دار (لایه G) جوانتر از لایه F و قدیمتر از H است و همچنین میتوان فرض کرد که ماسه سنگ زرین ۳۱۰ تا ۳۰۰ میلیون سال قدمت دارد. لایه‌های A تا [illegible] میتوان به همان طریق تعیین سن کرد.

[illegible] لایه‌های سنگی را در چند منطقه

تعیین سن کردند، غالباً با استفاده از از این لایه‌ها سایر مناطق را نیز تعیین سن میکنند. بعنوان مثال پس از تعیین سنگهای رسوبی، قابل تعیین سن بوسیله [illegible] دگرگونی نیستند. با این حال، اگر با تلاش و کوشش برای یک لایه رسوبی که حاوی فسیل شاخصی باشد که در لایه G شکل دیده میشود میتوان اطمینان حاصل کرد که لایه مزبور بالایه G تطابق دارد.

سن‌های رادیومتریک برحسب میلیون سال قبل است



لایه	سن نسبی	سن یا حدود سن واقعی برحسب میلیون سال قبل
I	جدیدتر از H	جدیدتر از ۲۳۰
H	جدیدتر از G قدیمتر از I	۲۳۰
G	جدیدتر از F قدیمتر از H	۳۰۰ ـ ۲۳۰
F	جدیدتر از E قدیمتر از G	۳۰۰
E	جدیدتر از D قدیمتر از F	۴۰۰ ـ ۳۰۰
D	جدیدتر از B,A و C قدیمتر از E	۴۰۰
C	جدیدتر از B قدیمتر از D	۵۰۰ ـ ۴۰۰
B	جدیدتر از A قدیمتر از D و C	۵۰۰
A	قدیمتر از D قدیمتر از B	قدیمتر از ۵۰۰

جدیدترین

قدیمترین

منابع:

Physical Geology Allan ludman and Nicholas k. coch (۱۹۸۲)
Putnam's Geology.Edwin E.Larsen Peter W.Birkeland (۱۹۸۲)
Encyclopedia Britanica

بقیه از صفحه ۳

پیشگفتار

اصلاحهای جزئی (و گاه کلی) در مطالب فصلهای مختلف آنها صورت گرفته است. اما عده‌ای (از جمله اعضای کمیسیون برنامه‌ریزی) هنوز هم کتابها را مطلوب نمی‌دانند و عقیده دارند که نوع مطالب آنها باید ساده‌تر، جالبتر و کارآتر باشد و در عین حال به وضع زمین شناسی کشور خودمان بیشتر توجه شود. اما به وجود آوردن چنین تغییراتی چندان هم آسان نیست. به همین سبب از شما خواننده عزیز کمک می‌طلبیم و با توجه به اهدافی که در مجله شماره یک (صفحه ۴۸) آورده شده، انتظار داریم که نظر دقیق خود را در مورد کتابهای زمین شناسی سالهای سوم و چهارم متوسطه (رشته علوم تجربی) با ما درمیان بگذارید و اگر نظر معینی در مورد نوع محتوا، یا روش ارائه مطلب دارید، آن را برای ما بنویسید.

ذکر این نکته ضرورت دارد که در دبیرستان، هدف ایجاد تخصص نیست و تنها یک سری اطلاعات عمومی از هر رشته علمی به دانش‌آموز داده می‌شود تا دید او وسیع شود و جهان اطراف و پدیده‌های آن را بهتر بشناسد. در درس زمین شناسی دبیرستانی هم کسی را تربیت نمی‌کنیم که زمین شناس شود، یا حتماً به رشته زمین شناسی و رشته‌های وابسته آن در دانشگاه وارد شود. ولی باید در دانش‌آموزان نسبت به این علم پراهمیت (به ویژه در کشور ما) ایجاد علاقه شود و اگر کسی بخواهد همین رشته را ادامه بدهد، باید بداند که چه نوع مطالبی را مطالعه خواهد کرد و آینده شغلی او چگونه خواهد بود.

نکته قابل یادآوری این است که لطفاً در اظهارنظرها کلی گویی نفرمایید (مانند اینکه: در کتابها مطالب جالبتری بنویسید، یا از ایران مثال بیاورید!) ، بلکه، با ذکر صفحه مشخص بفرمائید که کدام مطالب، به کدام علت و چگونه باید عوض شوند. بدیهی است که دفتر تحقیقات از افرادی که بخواهند در کار تدوین و تألیف هم شرکت داشته باشند، کاملاً استقبال می‌کند.