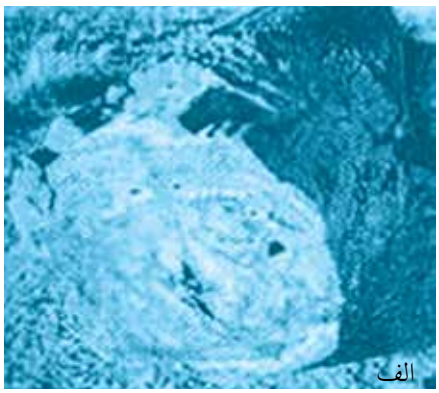
علم تافونومی

جهانبخش دانشیان و زهرا اکرمی
گروه زمین‌شناسی دانشکدهٔ علوم دانشگاه خوارزمی


الف

ب

ج

د

مقدمه

نخست این عبارت را بخوانید: «به فسیل تنهٔ این درخت (شکل ۱ – الف) توجه کنید. امروزه جنس آن از سنگ است، اما بدیهی است در گذشته همین قطعه فسیل از تنهٔ یک درخت بوده است. در این صورت چه حوادثی باعث تبدیل چوب به سنگ شده‌اند.»

کلیدواژه‌ها: تافونومی، فسیل‌شده، فسیلی‌شدن، دیاژنز (سنگ‌شدگی)، سنگ‌های رسوبی، کانی‌زایی، به‌هم‌فشردگی، تبلور

شکل ۱: تصاویر تنهٔ درخت: الف، ج و د) تنهٔ درخت فسیل‌شده؛ ب) تنهٔ درخت عهد حاضر (شکل‌ها برگرفته از: کتاب علوم زمین پیش‌دانشگاهی و سایت‌های www.martinparrsnaturepics، www.freefoto.com، هستند)

این عبارت که در ابتدای فصل هفتم از کتاب علوم زمین دورهٔ پیش‌دانشگاهی (صداقت و همکاران، ۱۳۸۱) آمده، بخشی از مطالعاتی است که فسیل‌شناسان به طور ویژه و تخصصی با عنوان تافونومی انجام می‌دهند. تافونومی علمی است که دربارهٔ قوانین تدفین بحث و بررسی می‌کند. ریشهٔ تافونومی[۱] از دو کلمهٔ یونانی تافوس[۲] به معنای مرگ و نوموس[۳] به معنای قانون است (مارتین[۴]، ۱۹۹۹).

دانش تافونومی فرایند حفظ‌شدگی و یا فسیل شدن را بررسی می‌کند و در اصل فرایند گذر بقایای جانداران از زیست‌کره به سنگ‌کره و یا فرایندهای فسیل‌شدن (Fossilization) از لحظه مرگ تا دیاژنز را مورد مطالعه قرار می‌دهد. بنا بر نظر مارتین (۱۹۹۱)، افریموف[۵] (۱۹۴۰) اولین شخصی بود که اصطلاح تافونومی را به کار برد. البته علم تافونومی چندین قرن مورد توجه بوده است (کادئی[۶]، ۱۹۹۱). غربی‌ها معتقدند که اولین تحقیقات

در مـورد تافونومی را لئوناردو داوینچی (۱۴۵۲- ۱۵۱۹) انجام داده و مشاهدات وی در خصوص صدف دوکفه‌هایی بوده که در نزدیکی کوه‌ها یافت شده‌اند. داوینچی آن‌ها را با توجه به حیات و مرگشـان مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که این صدف‌ها فسیل‌هایی نابرجا نیستند.

اما برخلاف نظـر غربی‌ها، این ابوعلی‌سـینا بود که بحث تافونومی را در کتاب شفا، فن پنجم، بیان داشت. ابوعلی‌سینا که در قرن پنجم هجری قمری و حدود پانصدسال قبل از داوینچی می‌زیست، به نحو زیبایی تافونومی فسیل‌ها یا به قول خودش «درک علت وجود بقایای حیوانات و نباتات به صورت سـنگ» را بیان داشـت و چنین پدیده‌ای را صحیح دانست و این‌چنین توضیح داد: «سبب آن قوهٔ معدنیّه و محجّره است که در بعضی نقاط سـنگی پیدا می‌شود یا دفعتاً در مواقع زمین‌لرزه از زمین منفصل می‌شود». به نظر ابوعلی‌سینا فسیل‌هایی که در کوه‌ها یافت می‌شـوند، در اثر یک طغیان آب به وجود نیامده‌اند، بلکه نتیجهٔ سلسـله‌طغیان‌هایی هستند که در مدتی طولانی کوه‌ها را به وضع فعلی درآورده‌اند. وی معترف بود که «نمی‌توان بین طغیان‌های گوناگون آب که هر یک آثار خود را بر احجار جبال عالم باقی گذاشـته‌اند امتیازی قائل شـد و آن‌ها را از همدیگر تشخیص داد» (بحیرایی و همکاران، ۱۳۹۰).

در طـول تاریخ، افراد دیگری نیز بـه تافونومی پرداختند، ماننـد نیکلاس اسـتنو[۷] در اواخر قرن هفدهـم میلادی که با بررسـی سنگی که در عامه زبان‌سـنگ اطلاق می‌شد، پی برد که این سـنگ درواقع دندان‌های کوسه است. همچنین رابرت هوک نیز سـاختار سلولی چوب‌پنبه را نسبت به ساختار چوب سنگ‌شده مورد مطالعه قرار داد. نزدیک به اواخر قرن نوزدهم و در طول قرن بیستم فسیل‌شناسان بیشتری به ویژه اروپایی‌ها علم تافونومی را مورد توجه قرار دادند؛ محققانی نظیر آلیسون و بریگـز[۹] (۱۹۹۱، b و a)، والتر ویتینگتون و کانوی موریس[۱۰] (۱۹۰۴، ۱۹۱۰)، شـیلاچر[۱۱] (۱۹۷۰، ۱۹۷۶)، آبـل[۱۲] (۱۹۱۲، ۱۹۲۳، ۱۹۳۵)، ویگلـت[۱۳] (۱۹۲۸) از جملـه اولین محققانی بودند که توانستند بیواستراتونومی[۱۴] یا تاریخچهٔ رسوب‌گذاری فسـیل‌ها را از زمان مـرگ[۱۵] تا دفن نهایی مورد بررسـی قرار دهند. البته بیشـتر محققان ترجیح می‌دهند به جای اصطلاح بیواستراتونومی از واژهٔ تافونومی استفاده کنند. به هر حال ارائهٔ تحقیقات متنوع توسـط محققان به آنجا رسید که بهرنسمر و کیدول[۱۶] (۱۹۸۵) تافونومی را مطالعهٔ فرایندهای حفظ‌شدگی دانستند و نظر خود را مبنی بر اینکه آن‌ها چگونه بر شکل‌گیری فسیل‌ها تأثیر می‌گذارند، ارائه کردند. با پیشرفت علم تافونومی و مطرح شـدن آن به صورت شاخهٔ علمی مستقل و جداگانه، کم‌کم این امکان فراهم شد که استفاده از فسیل‌ها در مطالعات اکولوژی و فیلوژنی امکان‌پذیر شود (تاوه[۱۷]، ۱۹۸۷).

بررسی روش‌شناسی علم تافونومی حاکی از آن است که در گذشته مبنا به جای آزمایش و تجربه بیشتر مطالعه و مقایسه بوده است. در دانش تافونومی دیرینه‌شناسی، رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری، از شـاخه‌های علوم زمین‌شناسی تاریخی اهمیت زیـادی دارند، زیرا شـاخه‌های مربوط به تاریـخ حیات زمین هستند که در سنگ‌ها ثبت شده‌اند. درواقع تافونومی شبیه به تاریخ است و مانند جاده یا گذرگاهی است که اطلاعات گذشته را از طریق مجموعه‌های فسـیلی را پشت سر می‌گذارد که به اجمال به آن‌ها می‌پردازیم.

دانش تافونومی فرایند حفظ‌شدگی و یا فسیل شدن را بررسی می‌کند و در اصل فرایند گذر بقایای جانداران از زیست‌کره به سنگ‌کره و یا فرایندهای فسیل‌شدن (Fossilization) از لحظه مرگ تا دیاژنز را مورد مطالعه قرار می‌دهد

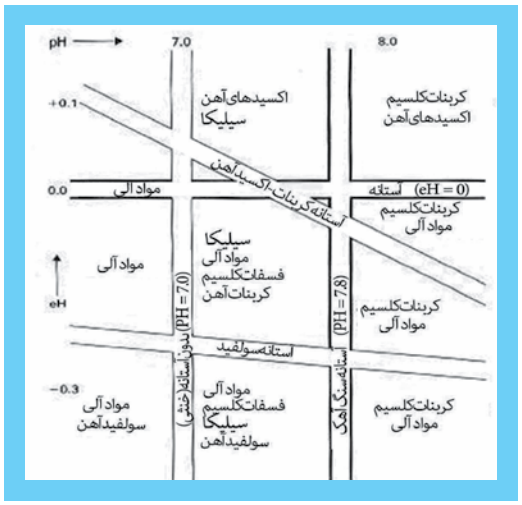
فسیلی‌شدن[۱۸]

موجودات زنده پس از مرگشـان در نتیجـهٔ فرایندی به فسیل تبدیل می‌شوند، این فرایند که فسیل‌شدن نام دارد به شـکل‌های مختلف انجام می‌شود. تنوع در این فرایند به علت ویژگی‌های منحصر به فرد موجودی است که فسیل می‌شود. بنابراین، فرایند فسیلی‌شدن از نظر گستردگی می‌تواند سطوح مختلفی داشـته باشـد. برای مثال ممکن اسـت در حد یک سـلول یا اندام یک موجود یا در سطحی وسیع‌تر، یعنی بدن کامل موجود باشـد. بدن موجودات زنده دارای قسـمت‌های نرم و سـخت هستند و پس از مرگ، بافت‌های نرم به سرعت می‌پوسـند و از بین می‌روند و فقط قسـمت‌های سخت باقی می‌ماننـد. البته گاهی امـکان دارد بافت‌های نرم یک موجود زنده پس از مرگ در حالات کاملاً استثنایی به صورت فسیل حفظ شـوند. در هر حال داشـتن بخش‌های سخت به مقدار زیادی شـانس فسیل‌شـدن جانداران را پس از مرگ افزایش می‌دهد. اما حتی قسـمت‌های سـخت نیز فناناپذیر نیستند و احتیاج دارند در شـرایط مناسـب قـرار گیرند تا از تخریب مصون بمانند (برگرفته از دانشـیان، ۱۳۹۸). شرایط مناسب برای حفظ‌شدگی و باقی ماندن قسمت‌های سخت به چندین عامل بسـتگی دارد (تاوه، ۱۹۸۷): سـاختمان و ترکیب مادهٔ تشـکیل‌دهندهٔ پیکرهٔ جانداران (شکل ۲)، فراوانی جانداران از نظر تعداد، روش زیست جانداران و چگونگی محفوظ ماندن و دیاژنز یا به عبارت دیگر، محیط رسوبی و تغییرات رسوبی که در گذشته به وقوع پیوسته‌اند (شکل ۳).

شکل ۲

تاکسا	مواد معدنی				مواد آلی			
	کربنات‌ها	فسفات‌ها	سیلیکا	اکسیدهای آهن	کیتین	سلولز	کوتاژن	کوتین
پروکاریوت‌ها	X	x		x		x		
جلبک‌ها	X		x		x	X		
گیاهان عالی	x		x	x		X		
پروتوزوها	X		X	X	x	x		
قارچ‌ها	x	x		x	X	X		
اسفنج‌ها	X		X	x			X	
نیدریا	X				x		x	
بریوزوا	X	x			X		x	
براکیوپودا	X	X			X		x	
نرم‌تنان	X	x	x	x	x		x	
تلیبا	X	X		x	x		X	
بندپایان	X	X	x	x	X		x	
خارتنان	X	x	x				X	
طناب‌داران	x	X		x		x	X	X

شـکل ۲: مواد اصلی تشکیل‌دهندهٔ پیکرهٔ گروه‌های تاکسونومیکی مختلف
X: میزان موادی که در تشـکیل بدن بیشـتر بـه کار رفته‌اند. X: میـزان مـوادی که در ترکیب بـدن کمتر بـه کار رفته‌اند. هرچه در ترکیـب پیکرهٔ جانداران مواد معدنی بیشـتری باشـد، امکان فسیل‌شـدگی آن‌ها با فراهم بودن شـرایط فسیلی‌شـدن بیشتر می‌شود (برگرفته از تاوه، ۱۹۸۷).



شکل ۳: مرزهای تعیین‌شده براساس eH-pH و شرایط شیمیایی محیط که به حفظ مواد معدنی می‌انجامند. برای مثال در pH بالای ۷/۸ کربنات کلسیم به خوبی حفظ می‌شود و در pH کمتر از آن، سایر مواد حفظ‌شدگی خوبی دارند. به عبارت دیگر، در شکل فوق حدود آستانهٔ شیمیایی حضور مواد مختلف در pH-eH مختلف را نشان می‌دهد و براسـاس آن می‌توان دریافت که در فرایند حفظ‌شدگی چه شرایطی حکم‌فرما بوده‌اند (برگرفته از تاوه، ۱۹۸۷).

تاریخچهٔ تافونومی بیشتر فسیل‌ها شامل سه مرحلهٔ قبل از دفن، هنگام دفن و پس از دفن است. مرحلهٔ دفن کوتاه‌ترین مرحله و پس از دفن طولانی‌ترین مرحله است

درواقع برای شـناختن فسـیل‌ها باید به موجوداتی فکر کرد که اغلب، بدنشـان در میان سـنگ‌های رسوبی دفن و برای میلیون‌ها سـال محافظت شده‌اند. باید توجه داشت که حفظ بدن موجودات در رسوبات به صورت ثابت و در شرایط اولیـه زندگی، موجود زنده نبوده اسـت، بلکه تا درجاتی نیز تغییر می‌کند. البته همان‌طور که اشـاره شد میزان تغییرات بـه خصوصیـات بافتی و شـیمیایی موجود زنده و شـرایط فیزیکوشـیمیایی محیط در هنگام فسیل‌شدن آن‌ها در بین رسـوبات بستگی دارد. از سـوی دیگر نیز تحت تأثیر پدیدهٔ سنگ‌شـدگی یا دیاژنز قرار دارد. علمی که به مطالعهٔ شرایط دفن شـدن موجودات زنده پـس از مرگشـان می‌پردازد و همچنین چگونگی استقرار آن‌ها در لایه‌های رسوبی را مورد بحث و بررسـی قرار می‌دهد، تافونومی نـام دارد. به عبارت ساده‌تر، تاریخچهٔ تغییراتی را که فسیل‌ها در حالات مختلف حفظ‌شـدگی تحمـل کرده‌اند، تافونومی گویند (شـکل ۴). تاریخچهٔ تافونومی بیشـتر فسیل‌ها شامل سه مرحلهٔ قبل از دفن، هنگام دفن و پس از دفن است. مرحلهٔ دفن کوتاه‌ترین مرحله و پس از دفن طولانی‌ترین مرحله اسـت (دانشـیان، ۱۳۸۹). این مراحل را در ذیل به اختصار مرور می‌کنیم.

قبـل از دفن: موجـود زنده پس از مـرگ و قبل از دفن احتمالاً تغییراتی را متحمل می‌شـود که عبارت‌اند از: انتقال و جابه‌جایی، تغییرات زیست‌شـناختی و تغییرات شیمیایی. در انتقال ممکن اسـت بقایای موجودات از محیط و مسـکن اولیه‌شان پراکنده و به محیط دیگر منتقل شوند. جریان‌های مواج سـاحلی، امواج شـدید و توفانی و حرکت یخچال‌ها به جابه‌جایـی و حتی تأثیرگذاری بر آن‌ها می‌انجامند. همچنین ممکن است موجودات با پوشـش خاصی که دارند محافظت شـوند یا به دلیل تغییرات زیست‌شناختی رو به نابودی روند که البته این تخریب به دو شـکل بیرونی و درونی اسـت. در حالت درونی، نابودی از درون موجود به وسیلهٔ باکتری‌ها انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر از جسد موجود آغاز می‌شود. در نوع بیرونی ممکن اسـت موجوداتی نظیر خرچنگ‌ها بدن موجود را قطعه‌قطعه کنند. تغییرات شـیمیایی نظیر تغییر اسیدیتهٔ محیط نیز سبب تخریب و انحلال موجود می‌شود یا کانی‌زایی یا سنگی‌شدن بدن موجود از نظر شیمیایی تغییر می‌یابد.

در هنـگام دفن: یکی از مواردی که هنگام دفن شـدن مورد مطالعه قرار می‌گیرد، سرعت آن است. به عبارت دیگر، امکان دارد دفن آهسـته انجام شـود یا با یک تغییر ناگهانی و سـریع همراه باشـد، مثل ریزش‌های ناگهانی رسوبات که موجود زنده را در محل سـکونت خود دفن می‌کنند یا اینکه جسـد موجود را تا مسافتی چند حرکت می‌دهد و در پایان در درون انبوهـی از رسـوبات دفن می‌کنـد. از طرفی نیز، موجودات زنده ممکن است در همان محل که مرده‌اند، دفن شـوند، برای مثال موجودات دریازی که در رسوبات دانه‌ریز زندگـی می‌کنند یا هنگام دفن از محل مرگ به محلی دیگر منتقل می‌شوند که میزان آن از روی ساییدگی و گردشدگی آن‌ها مشـخص خواهد شد. در حالت اول به فسیل‌ها برجا و در حالت دوم به آن‌ها نابرجا گویند.

پس از دفن: طولانی‌تریـن مرحلهٔ تافونومی مرحلهٔ پس از دفن اسـت؛ مرحله‌ای که موجود بـا توجه به خصوصیت بافتی و شیمیایی خود (به‌ویژه قسمت‌های سخت) و شرایط فیزیکوشـیمیایی محیـط و پدیدهٔ سنگی‌شـدن به سـمت فسیلی‌شدن پیش می‌رود.

همان‌گونه که اشـاره شد، اسـکلت‌ها و صدف‌هایی که در داخل رسـوبات قرار می‌گیرند عموماً متحمل تغییراتی می‌شوند که زمین‌شناسان به آن دیاژنز گویند. دیاژنز شامل تمامی دگرسانی‌ها و تغییراتی است که در درون نهشته‌های یک رسـوب اتفاق می‌افتند و موجب می‌شوند که رسوب به سنگ تبدیل شود. این تغییرات را می‌توان به دو بخش قبل از سنگی‌شدن[19] و بعد از سنگی شدن[20] تقسیم کرد. در مرحلهٔ قبل از سنگی‌شـدن در اثر فشار لایه‌های بالایی امکان دارد بدن موجودی که در داخل رسوب قرار گرفته است از حالت

شکل ۴- فرایند فسیلی شدن (Martin,1999)

اولیه خارج شـود و به اصطلاح به پهن‌شدگی فسیل‌هایی که انحناپذیرند بینجامد. همچنین ممکن اسـت باکتری‌ها بدن موجودات را از داخل متلاشـی کنند یا موجودات دیگری از خارج بدن باعث از بین رفتن آن شـوند یا از نظر شـیمیایی تحت تأثیر قرار گیرند و متلاشـی شـوند و از طرفی ممکن است با کانی‌زایی حفظ شوند.

در مرحلهٔ پس از سـنگ شـدن، بدن موجودات ممکن اسـت از نظـر سـاختاری تغییر شـکل پیدا کند یـا دچار هوازدگی و فرسـایش شود یا از نظر شیمیایی مواردی چون تبلور مجدد، کانی‌زایی، جانشـینی و... رخ دهد که جداگانه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

برخی از انواع فسیل‌شدن

حفظ‌شـدگی جانداران یا به عبارتی فسیل‌شـدن آن‌ها با روش‌های بسـیار گوناگون انجام می‌شـود کـه در زیر به متداول‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود (دانشیان، ۱۳۸۹).

الـف) کانی‌زایی[۲۱]: به طور خلاصه منظـور از کانی‌زایی تجزیهٔ مواد آلی پس از مرگ جانداران و پر شـدن هر حفره یـا فضای خالی در بدن موجود با موادمعدنی اسـت. در این روش که یکی از متداول‌ترین حالات فسیل‌شدن است بیشتر اختصاصات مربوط به موجود به حالت فسـیل باقی می‌ماند. روش فـوق زمانی رخ می‌دهد که فضاهای خالی در گیاهان، اسـتخوان‌ها یا صدف‌های مدفون‌شـده در محیطی اشباع از مواد معدنی قـرار می‌گیرند و جای مواد آلی آن‌ها با کانی‌ها عوض می‌شود و در نتیجه فسیل‌هایی به شکل موجود اولیه تشـکیل می‌شـوند که از نظر جنس با مواد تشـکیل‌دهندهٔ اولیه متفاوت و از نظر وزنی سـنگین‌ترند. به عبارت دیگر به ازای هـر مولکول از مواد طبیعی اسـکلت که به خارج از آن منتقل می‌شـود یک مولکول از محلول‌های کانی‌ساز موجود در محیط جانشـین آن می‌شـود. در کانی‌زایـی موجودات فسیل‌شـده از نظر شـکل ظاهری تغییر نمی‌کننـد و ابعاد خـود را همان‌گونه که هسـتند حفظ می‌کنند و به اصطلاح فسـیل‌های سـه‌بعدی هسـتند. در چنین حالتـی می‌توان سـاختمان‌های داخلی و خارجی آن‌هـا را مورد مطالعه قرار داد. کانی‌زایی نه تنها به قسمت‌های سخت نظیر استخوان‌ها و صدف‌هـا محدود نیسـت، بلکه می‌تواند در قسـمت‌های نرم بدن نیز رخ دهد. سیلیسـی شـدن[۲۲]، پیریتی شدن [۲۳] و کربناتی شدن[۲۴] زیرمجموعه‌ای از کانی‌زایی یا سنگی‌شدگی هسـتند. در سیلیسی شدن، مادهٔ معدنی جایگزین، سیلیس (SiO_2) اسـت، در حالی که در پیریتی‌شـدن سولفور آهن

اسکلت‌ها و صدف‌هایی که در داخل رسوبات قرار می‌گیرند عموماً متحمل تغییراتی می‌شوند که زمین‌شناسان به آن دیاژنز گویند

(FeS_2) و در کربناتی‌شدن انواع کربنات‌ها از قبیل کلسیت و دولومیت هستند. تصویر درخت فسیل‌شده در شکل ۱، فسیل تنهٔ درخت، درواقع فسیلی‌شدن از نوع کانی‌زایی و سیلیسی‌شدن است که در آن سیلیس جایگزین بافت چوبی درخت شده است.

ب) به هم فشردگی[۲۵]: نتیجهٔ این نوع فسیل‌شدگی، فسیلی دوبعدی و فاقد حجم است که از فشرده‌شدن بقایای یک موجود سه‌بعدی به دست آمده است. به عبارت دیگر، به علت فشردگی، موجود شکل اصلی خود را آن‌چنان از دست داده که به جای سه‌بعد، دارای دوبعد شده است. این نوع فسیل‌شدگی که اصولاً در گیاهان رخ می‌دهد، خود، دارای دو حالت کربنی شدن [۲۶] و تقطیر[۲۷] است. در کربنی‌شدن در اثر تجزیهٔ موادآلی در محیط‌های غیرهوازی و فشار از طرف دیگر گازهای هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن به تدریج از پیکرهٔ گیاه خارج می‌شوند و فقط کربن باقی می‌ماند، این کربن خیلی از خصوصیات موجود فسیل‌شده را حفظ می‌کند. اما در تقطیر، عناصر فرار، نظیر گازها و مایعات تقطیر می‌شوند و در نتیجه قشر بسیار اندکی از کربن روی سنگ از موجود فسیل‌شده باقی می‌ماند و خصوصیات به خوبی حفظ نمی‌شوند. این نوع فسیل‌شدگی اغلب در حواشی رگه‌های زغال‌سنگ مشاهده می‌شود.

ج) فشرده شدن[۲۸]: در فسیل‌شدگی به روش فشرده شدن، همچون به هم فشردگی، موجودات تحت فشار قرار می‌گیرند، اما این فشار آن‌چنان زیاد نیست و فقط باعث تغییر و پهن شدن بدن موجود می‌شود. به عبارت دیگر، فسیل تغییر شکل می‌دهد، اما حالت سه‌بعدی خود را از دست نمی‌دهد و مواد آلی با کاهش حجم کمی باقی می‌مانند.

د) اثرگذاری[۲۹]: این نوع فسیل‌شدگی درواقع آثار باقی‌مانده از موجودات فسیل‌شده و اغلب به حالت دوبعدی است و هیچ‌گونه مواد آلی ندارد. اثرگذاری در حقیقت آثار به‌جای‌مانده از فعالیت زیستی موجود زنده در زمان حیاتش بوده است. آثار ردپا، آثار باقی‌مانده از تونل‌ها یا کانال‌های حفرشده به دست موجودات حفار، فضولات و مدفوعات فسیل‌شدهٔ پلت و کوپرولیت ۳۰ از این نوع فسیل‌شدگی هستند (دانشیان و رمضانی دانا، ۱۳۸۷؛ دانشیان و همکاران ۱۳۸۵).

هـ) قالب‌ها (قالب و کست[۳۱]): حالت دیگری از فسیل‌شدگی سه‌بعدی قالب و کست است که درواقع ویژگی‌های فیزیکی موجودات هستند که روی سنگ‌ها اثر می‌گذارند و باقی می‌مانند و قالب را به وجود می‌آورند.

به عبارت دیگر از آنجا که هر موجودی مثل صدف دارای یک سطح خارجی و یک سطح داخلی است و این دو با دیواره‌ای از هم جدا می‌شوند، اگر مواد رسوبی صدف را در برگیرد یا به داخل آن نفوذ و آن را پر کند، پس از سخت شدن رسوبات، شکل‌هایی حاصل می‌شوند که به آن‌ها قالب گویند. شکل‌هایی که آثار و سطح خارجی صدف را نشان می‌دهند. قالب خارجی نامیده می‌شوند. اما اگر موادی جانشین صدف شوند یا پس از ساخته شدن دو نوع قالب داخلی و خارجی، مواد معدنی فضای خالی را پر کنند و بین قالب‌ها ته‌نشین شوند، کَست تشکیل می‌شود، به این معنا که به جای فسیل به طور کامل ماده‌ای دیگر جایگزین می‌شود. این حالت فسیل‌شدن را که جانشینی[۳۲] گویند، عموماً برای صدف‌هایی از جنس آراگونیت رخ می‌دهد که به سرعت به وسیلهٔ سیالات مهاجر در سنگ انحلال می‌یابند و فضای خالی به جای می‌گذارند، این فضای خالی دقیقاً شکل صدف قدیمی است.

و- تبلور مجدد[۳۳]: این نوع فسیل‌شدگی با جانشینی فرق دارد، چون مستلزم داشتن فضای خالی نیست و مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ فسیل شکل بلوری خویش را خودبه‌خود تغییر می‌دهد. به عبارت دیگر، ساختمان طبیعی با به هم آمیختن مولکول‌ها و در نتیجه عمل انحلال و ته‌نشست دوباره تغییر می‌کند. در این فرایند ساختمان ذره‌بینی اولیه، جابه‌جا، به طور کامل محو می‌شود و صدف به شکل موزائیکی از بلورهای به‌هم‌پیوسته تبدیل می‌شود. ظاهر خارجی چنین فسیل‌هایی حفظ می‌شود و حجم آن‌ها تغییراتی پیدا می‌کند. تبلور مجدد نیز اغلب در صدف‌های آراگونیتی صورت می‌گیرد و به شکل پایدارتر یعنی کلسیت تبدیل می‌شود. فسیل‌های حاصل از تبلور مجدد را شاید بتوان به طریقی به عنوان کست معرفی کرد، زیرا اگرچه جانشینی و تغییر در ترکیب اسکلت رخ نداده است، اما آرایش بلوری آن شکل جدیدی به خود می‌گیرد.

ز- محبوس‌شدن در کهربا[۳۴]: نوع دیگری از فسیل‌شدن وجود دارد که در آن موجود در یک محیط ساکن از نظر زیستی به دام می‌افتد و به طور کامل حفظ می‌شود. در این روش بیشتر حشرات و عنکبوتیان به صورت فسیل دیده می‌شوند (دانشیان، ۱۳۸۳).

در هر حال این‌گونه تصور می‌شود که از بیش از میلیون‌ها گونه جاندار موجود شاید کمتر از ده درصد آن‌ها به صورت فسیل باقی بمانند (تاوه، ۱۹۸۷) و جاندارانی که پس از مرگ دوام بیشتری در مقابل شرایط فیزیکی و شیمیایی بیاورند، به صورت فسیل بیشتر حفظ خواهند شد. بنابراین تافونومی و به عبارت حفظ‌شدگی جانداران به شکل فسیل در علم دیرینه‌شناسی بسیار مهم است و این علم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. به دست آوردن اطلاعات در زمینه‌های تاکسونومی، فیلوژنی، چینه‌نگاری زیستی، تنوع،

جغرافیای زیستی دیرینه، جغرافیای دیرینه، پالئواکولوژی، ظهور و انقراض گونه‌ها و... همگی تابع بررسی و میزان حفظ‌شدگی است و هرچه اطلاعات ارائه‌شده در زمینه‌های مورد اشاره بیشتر و دقیق‌تر باشد، حاکی از حفظ‌شدگی خوب فسیل‌هایی است که داده‌ها از آن‌ها استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

پی‌نوشت

1. Taphonomy 2. Taphos 3. Namas 4. Martin
5. Efremove 6. Gadee 7. Nicolas Steno8. Tonguestone
9. Allison and Briggs 10. walter whitting ton and Conway Morris 11. Seilacher 12. Abel 13. weigelt
14. Biostratonomy 15. Necrolysis
16. Behrensmer and Kidwel 17. Towe 18. Fossilization
19. Perlithification 20. Postlithification
21. Permineralization 22. Silicification
23. Pyritization 24. Carbonate mineralization
25. Compression 26. Carbonization
27. distillation 28. Compaction 29. Impression
30. Pellet and Coprolite 31. mold and cast
32. Replacement 33. Recrystallization 34. Amber

منابع

کتاب‌ها و مقالات فارسی

۱- بحیرایی، ز.، کرمی، م.، ناصری سندانی، م و سلیمانی، ز. (۱۳۹۰)؛ «بررسی پیشینهٔ تاریخ زمین‌شناسی در ایران و کشورهای اسلامی (زمین‌شناسی در دیدگاه ابوعلی‌سینا)»، طرح تحقیقاتی دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم تهران)، انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی.

۲- دانشیان، ج.، (۱۳۸۳)؛ «کهربا و اهمیت آن در دیرینه‌شناسی»، مجلهٔ رشد آموزش زمین‌شناسی، سال دهم، شمارهٔ ۳۸، وزارت آموزش‌وپرورش.

۳- دانشیان، ج.، (۱۳۸۹)؛ «جزوهٔ دیرینه‌شناسی ۱»، دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم تهران).

٤- دانشیان، ج.، کلنات، ب.، و قنبری، م.، (۱۳۸۵).؛ «بررسی فسیل تخم و جنین دایناسورها»، مجلهٔ رشد آموزش زمین‌شناسی، دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ ۲، ص ۱۲ تا ۱۸، وزارت آموزش‌وپرورش.

۵- دانشیان، ج.، و رمضانی دانا، ل.، (۱۳۸۷)؛ «کوپرولیت و اهمیت آن در زمین‌شناسی»، مجلهٔ رشد آموزش زمین‌شناسی ۲۵۳، دورهٔ سیزدهم، شمارهٔ ٤.

٦- صداقت، م.، دانشفر، ج.، حسینی، ا.، مدنی، ح و هاشمی، ع.، (۱۳۸۱)؛ علوم زمین دورهٔ پیش‌دانشگاهی، وزارت آموزش‌وپرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.

کتاب‌ها و مقالات انگلیسی

7- Allison, P. A. and Briggs, D. E. G. 1991a. The taphonomy of soft-bodied animals. In: S.K. Donovan (ed.) The processes of Fossilization, pp. 120-140. London: Bellhaven Press.

8- Allison, P. A. and Briggs, D. E. G. 1991b. Taphonomy of nonmineralized tissues. In: P. A. Allison and D. E. G. Briggs (eds) Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record, pp. 25-70. New York: Plenum Press.

9- Behrensmeyer, A. K. and Kidwell, S. M. 1985. Taphonomy's contributions to paleobiology. Paleobiology 11:105-119.

10- Cadee, G. C. 1991. The history of Taphonomy. In: S. K. Donovan (ed.) The Processes of Fossilization, pp. 3-21. London: Belhaven Press.

11- Efremov, J. A. 1940. Taphonomy: new branch of paleontology. Pan- American Geologist. 74:81-93.

- Martin, R. E. 1991. Beyond biostratigraphy: micropaleontology in transition? Palaios 6:437-438.

12- Martin, R. E. 1999. Taphonomy: A process approach. Cambridge Palaeobiology, Series 4, Cambridge University Press.

13- J. Rowell, 1987, Fossil Invertebrates; Blackwell Scientific Publication.

14- Seilacher, A. 1970. Begriff und Bedutung der Fossil- Lagerstatten. Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie, Monatshefte 1970:34-39.

- Towe, K. M. (1987). Fossil preservation, pp. 36-41. In: R. S. Boardman, A. H. Cheetham, and A.

15- Walther, J. 1904. Die Faun der Solnhofener Plattenkalk, Bionomisch betrachtet. Jenaische Denekchriften 11:133-214.

16- Walther, J. 1910. Die Sedimente der TaubenbanK im Golfe von Neapel. Aabhandlungen der koeniglich Preussishen Akademie der wissenschaften. Philosophisch Historische Classe 1910: 1-49.

17-Weigelt, J. 1928. Die Pflanzenreste des mitteldeutschen Kupferschiefers und ihre Einschaltung ins Sediment. Fortchritte der Geologie und Palaontologie. 6:395-592.

18- Whittington, H. B. and Conway Morris, S. (eds.) 1985. Extraordinary fossil biotas: their ecological and evolutionary significance. Philosophical TYransaction of Royal Society of London (B) 311: 1-192.

وبگاه‌ها

- www.freefoto.com
- www.martinparrsnaturepics.com