



فسیل ها در یک نگاه اجمالۃ

(رشته زمین شناسی)

کلر میلسم سوزان ریگی

ترجمه دکتر محمدرضا کبریائی زاده

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و کمک درسی (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

۱	فصل اول: مقدمه
۲۷	فصل دوم: رده‌بندی فسیل و تکامل
۴۵	فصل سوم: اسفنج‌ها
۵۵	فصل چهارم: مرجان‌ها
۷۹	فصل پنجم: بریوزوآ
۸۹	فصل ششم: بازوپایان
۱۰۵	فصل هفتم: خارپوستان
۱۲۹	فصل هشتم: تریلوئیت‌ها
۱۴۵	فصل نهم: نرم‌تنان
۱۸۵	فصل دهم: گراپتولیت‌ها
۱۹۹	فصل یازدهم: مهره‌داران
۲۳۱	فصل دوازدهم: گیاهان خشکی
۲۵۹	فصل سیزدهم: میکروفسیل‌ها
۲۹۵	فصل چهاردهم: فسیل‌های اثری
۳۰۵	فصل پانزدهم: حیات پرکامبرین
۳۱۹	فصل شانزدهم: حیات فانروئوزوئیک

پیشگفتار

اوست خدایی که خلق کرد برای شما همه موجوداتی که بر روی زمین است (سوره بقره، آیه ۲۸).

سپاس خداوند بزرگ را که توفیق خدمت‌گزاری به دانشجویان و اهل علم را به ما ازرانی فرمود. خدمت در حوزه آموزش و پژوهش از مهم‌ترین و بهترین حوزه‌های خدمت‌گزاری در هر جامعه‌ای می‌باشد زیرا که هر ملتی جهت توسعه و پیشرفت، نیازمند نیروهایی متخصص است و این مهم بدون توجه جدی به امر آموزش و پژوهش میسر نخواهد بود. لذا به پاس این نعمت بزرگ شکرگزار خداند منان خواهم بود.

فسیل‌شناسی بخشی مهم از علم بی‌کران زمین‌شناسی است که در خصوص فسیل‌های موجودات قدیمی، دوره‌های حیات روی زمین، تکامل زیست‌مندان، انقراض‌های موجودات در تاریخ زمین، جغرافیای دیرینه، و دیگر موضوعات مرتبط بحث می‌نماید. دیگر آن که فسیل‌ها ابزاری مهم جهت تعیین سن طبقات زمین هستند. دیرینه‌شناسی، علم مطالعه و بررسی فسیل‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر پیشرفت‌های بسیاری نموده است و کتب و مقالات بی‌شماری در باره آن به رشته تحریر در آمده‌اند. لیکن نادرند کتب و نوشتارهایی که به طور مختصر و مفید به تمامی مباحث فسیل‌شناسی بپردازند. کتاب *Fossils at a glance* (درآمدی بر فسیل‌ها) تألیف میلوسوم و ریگی دارای این ویژگی مهم می‌باشد. لذا اینجانب تصمیم به ترجمه این کتاب

گرفتم. کتاب درآمدی بر فسیل‌ها برای دانشجویان رشته زمین‌شناسی و دیگر علاقه‌مندان به فسیل‌ها نگارش شده است. در تألیف این کتاب سعی بر آن بود که تا کلیاتی از تمامی گروه‌های فسیلی به طور مختصر و مفید آورده شود. لذا کوشش شده است تا مطالب اساسی مورد توجه واقع شود و از ذکر جزئیات اجتناب گردد. هم چنین کتاب به گونه‌ای طراحی شده است که مطالب هر فصل مستقل از دیگر فصول باشد.

کتاب درآمدی بر فسیل‌ها در شانزده فصل تنظیم شده است. دو فصل ابتدای کتاب یعنی فصل مقدمه و رده‌بندی فسیل و تکامل، به تعریف فسیل، انواع فسیل‌ها، روش‌های گوناگون فسیل‌شدن، رده‌بندی زیست‌مندان و تکامل می‌پردازد. در فصول سوم تا چهاردهم گروه‌های مختلف فسیلی شامل بی‌مهرگان، مهره‌داران، گیاهان، میکروفسیل‌ها و اثر فسیل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. دو فصل پانزدهم و شانزدهم کتاب هم به بحث در خصوص تاریخ و وضعیت حیات در دو زمان پرکامبرین و فانروئوزوئیک می‌پردازد.

انتشار این کتاب مرهون زحمات مسئولین و کارکنان محترم مدیریت تدوین دانشگاه پیام نور است که در اینجا بر خود لازم می‌دانم نسبت به آنها سپاس‌گزار باشم. از سرکار خانم مهندس هما بهنام که تایپ و صفحه‌آرایی این نوشتار را به عهده داشتند، قدردانی می‌شود. هم چنین از ویراستار و داور محترم این کتاب که با ارائه نظرات و پیشنهادات ارزنده خود باعث پربارتر شدن آن شدند کمال تشکر را دارم. در خاتمه بر خود واجب می‌دانم که از همسر گرامی و فرزندان عزیزم که با ایجاد محیطی آرام امکان تهیه این اثر را فراهم ساختند صمیمانه قدردانی نمایم.

مترجم

محمدرضا کبریائی‌زاده

عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور

فصل اول

مقدمه

نکات کلیدی

- فسیل‌ها اطلاعاتی را از زمان زمین‌شناسی، تاریخ تکاملی و محیط‌های دیرینه مهیا می‌کنند.
- تغییر شکل سطح زمین اثرات مهمی بر روی تکامل زیست‌مندان¹ داشته است و گسترش فسیل‌ها، پراکندگی گذشته قاره‌ها را بر روی سیاره منعکس می‌نماید.
- به احتمال قوی زیست‌مندان مختلف دارای حفظ‌شدگی متفاوتی هستند و ثبت فسیلی عموماً بر مبنای زیست‌مندان دریایی صدف‌دار پایه‌گذاری و واقع شده است.
- فسیل لاگروستاتن نهشته‌هایی هستند با نمونه‌هایی که به طور استثنائی به خوبی حفظ شده‌اند. این فسیل‌ها نمایی بی‌نظیر از موجودات گذشته را ارائه می‌دهند.

مقدمه

زمین تنها سیاره‌ای است که در روی آن حیات وجود دارد. تاریخ طولانی زمین نشان می‌دهد حیات و سیاره‌ای که بر روی آن حیات ساکن است، دارای روابط پیچیده‌ای هستند. اکسیژن آزاد در اتمسفر، سپر اُزن، حرکت کربن به داخل منابع عظیم و دیرینه اعماق اقیانوس‌ها و هوازدهی سریع سنگ‌های روی خشکی، مثال‌های آشکاری از این روابط هستند.

تاریخ تکاملی حیات روی زمین، رشد یک سری از فونا را نشان می‌دهد که محیط‌های متغیر خشکی و دریا را اشغال نموده‌اند. از طریق سایت‌هایی با حفظ‌شدگی استثنایی (لاگروستاتن‌ها)، امکان تصور جوامع ناپدیدشده و بازیابی برخی از رفتارها و کنش‌های آنها وجود دارد. به علاوه، فرایند تکامل (از طریق انتخاب طبیعی داروین) در پیشینه فسیلی ثبت می‌شود. فسیل‌ها تنها منبع اطلاعات مستقیم در خصوص ماهیت اجدادمان و اجداد هر حیات روی زمین امروزی می‌باشند (اگرچه در محل‌هایی ناقص‌اند). مطالعه فسیل‌ها یک نمای گذشته را در همه مقیاس‌های زمان و مکان ارائه می‌دهد. از یک لحظه منفرد برای مثال عمل ساخت یک رد پا برای مطالعه تکامل چهارپایان یا از مطالعه یک محل برای بررسی اثر خردشدن پانزله‌آ بر روی تکامل دایناسورها، ثبت فسیل منبع اصلی اطلاعات است. فسیل‌شناسان از مطالعه فسیل‌ها (اغلب بی‌مهرگان) که به مقدار فراوان در محیط‌های کم‌عمق دریایی حفظ شده‌اند تفاسیر و بررسی دقیقی می‌سازند.

در این کتاب مقدمه‌ای بر روش‌های مطالعه فسیل‌ها ارائه شده و اصول فرایندهای فسیل‌شدن و چگونگی بررسی آن برای یک محل فسیلی خاص شرح داده می‌شود. همچنین مقدمه‌ای بر تئوری تکامل ارائه می‌شود که مبنایی است برای شرح تغییرات پیوسته شکل فسیل‌ها که در طول زمان دیده می‌شود.

در این کتاب گروه‌های اصلی فسیل‌های بی‌مهرگان را تشریح می‌نماییم که لایه‌های منظم سنگی را شکل می‌دهند و همچنین اغلب مباحث مقدماتی در این باره توصیف می‌شوند. همچنین میکروفسیل‌ها، گیاهان و مهره‌داران مورد بحث قرار می‌گیرند. این موجودات اگرچه عمومیت کمتری دارند لیکن در فهم حیات بر روی زمین اهمیت دارند. در پایان به طور خلاصه تکامل حیات بر روی زمین شامل دوره‌های گوناگونی عظیم و انقراض عظیم، به صورت آنچه امروزه می‌دانیم شرح داده می‌شود. در سرتاسر این کتاب روش‌های زیادی بحث خواهند شد که در آنها فسیل‌ها در اصلاح و تغییر درک ما از سیستم زمین نقش دارند. برای مثال از طریق تعیین دقیق سن نسبی سنگ‌ها یا به عنوان نماینده‌ای برای مکان و زمان محیطی خاص.

در انتهای این کتاب، شما می‌بایستی قادر به شناسایی اغلب فسیل‌های رایج باشید و بر اساس آنالیز دقیق شکل‌شان در خصوص اکولوژی و محیط زیست‌شان بحث

نمایید و نیز درک کنید که چطور هر گروه در مطالعات وسیع‌تر فسیل‌شناسی و علم سیستم زمین سهم دارد و اهمیتش را در نقاط خاصی از تاریخ زمین بدانید. شما باید یک درک وسیع از چگونگی حیات روی زمین داشته باشید و آن را در بررسی هر تکامل در سیاره دخالت دهید. شما می‌بایستی این کتاب را به ترتیب بخوانید و یا به طور مختصر و به دلخواه مطالعه نمایید. شما در خواهید یافت که برخی از بخش‌ها ادامه بخش قبلی هستند اما در اغلب موارد اطلاعات در ادامه صفحه مقابل نشان داده می‌شود. در این کتاب، در موارد لزوم از نمودارها و تابلوها برای خلاصه‌کردن اطلاعات استفاده شده است و چندین روش ممکن برای ارائه مواد فسیلی به کار برده شده است.

انواع فسیل‌ها

فسیل‌های اثری

فسیل‌های اثری، اثرات فعالیت‌های زیست‌شناختی هستند که حفظ شده‌اند و شواهد غیرمستقیمی از زندگی گذشته را فراهم می‌کنند. آنها فقط نشانه‌های مستقیمی از رفتار فسیلی هستند. همچنین فسیل‌های اثری معمولاً درجا حفظ می‌شوند که نشانه‌های بسیار خوبی برای محیط‌های رسوبی گذشته هستند. آثار فسیلی که به وسیله تریلوبیت‌ها ساخته شده‌اند اطلاعاتی را در مورد نحوه زیست، به خصوص راه‌رفتن، تغذیه، حفاری و رفتار جفت‌گیری آنها فراهم کرده‌اند.

فسیل‌های شیمیایی

هنگامی که بعضی موجودات متلاشی می‌شوند علائم شیمیایی خاصی از خود برجای می‌گذارند. چنین آثار شیمیایی، شواهد غیرمستقیمی را برای زندگی در گذشته فراهم می‌کنند. برای مثال، وقتی گیاهان تجزیه می‌شوند کلروفیل موجود در آنها به مولکول‌های ارگانیکی پایدار مشخصی تبدیل می‌شود. این چنین مولکول‌هایی در سنگ‌هایی با قدمت بیش از ۲ میلیارد سال شناخته شده‌اند و حضور گیاهان بسیار اولیه را نشان می‌دهند.

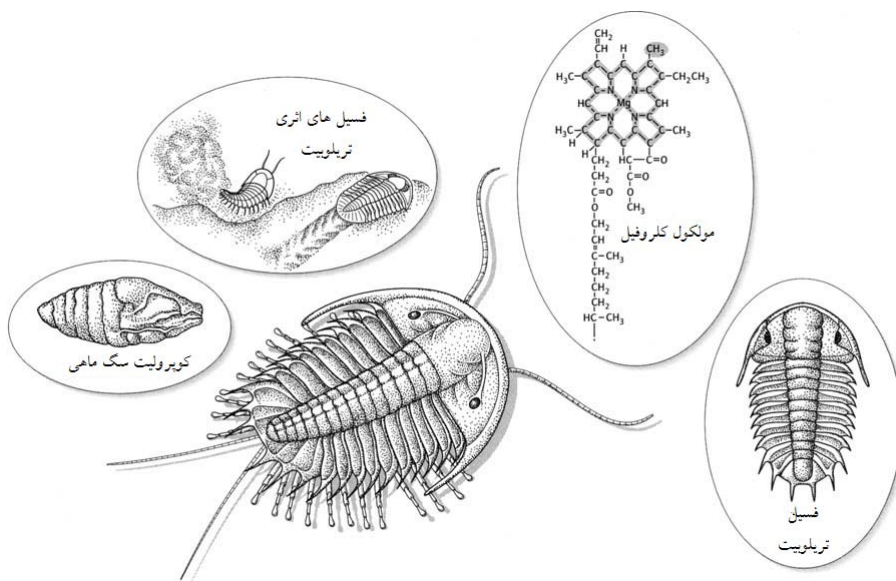
کوپرولیت‌ها

کوپرولیت‌ها مدفوع فسیل‌شده حیوانات هستند. آنها ممکن است به عنوان شکلی از

فسیل اثری در نظر گرفته شوند که فعالیت یک زیست‌مند را ثبت می‌کند. در برخی از کوپرولیت‌ها، قسمت‌هایی قابل تشخیص از گیاهان و حیوانات حفظ می‌شوند که اطلاعاتی در مورد روش تغذیه و حضور موجودات هم‌زیست را فراهم می‌کنند.

فسیل‌های پیکری

فسیل‌های پیکری بقایای موجودات زنده‌اند و شواهدی مستقیم از زندگی گذشته می‌باشند. معمولاً فقط بافت‌های سخت مثل صدف‌ها، استخوان‌ها یا پوسته یا کاراپاس^۱ حفظ می‌شوند. در شرایط محیطی خاص، بافت‌های نرم ممکن است فسیل شوند ولی این حالت به طور کلی به ندرت اتفاق می‌افتد. اغلب فسیل‌های پیکری، بقایای حیواناتی هستند که مرده‌اند. ولی مرگ یک شرط نیست زیرا برخی فسیل‌های پیکری، قسمت‌هایی از یک حیوان را نشان می‌دهند که در طول زمان زندگیش ریخته (افتاده) است. مثلاً تریلوبیت‌ها اسکلت خارجی خود را هنگامی که رشد می‌کنند و بزرگ‌تر می‌شوند می‌اندازند (پوست‌اندازی کردن) و این ریخته‌ها ممکن است در ثبت فسیلی حفظ شوند.



شکل ۱-۱ انواع فسیل‌ها

زمان و فسیل‌ها

زمان زمین‌شناختی را می‌توان به طور مطلق یا نسبی تعیین کرد. برای تعیین سن سنگ‌ها به طور عددی از عناصر رادیواکتیوی استفاده می‌شود که به مقدار کم در سنگ‌ها و کانی‌های خاص حضور دارند. سن نسبی واحدهای مختلف سنگ‌ها با استفاده از توالی سنگ‌ها و فسیل‌های زون^۱ یا فسیل‌های شاخص تعیین می‌شوند. رسوبات در لایه‌ها مطابق با اصل روی هم قرارگرفتن لایه‌ها یا اصل برهم‌نهی^۲ نهشته می‌شوند که به طور ساده‌ای بیان می‌دارد که در یک توالی بدون به هم‌ریختگی، سنگ‌های قدیمی‌تر در زیر سنگ‌های جوان‌تر قرار دارند و توسط آنها پوشیده می‌شوند.

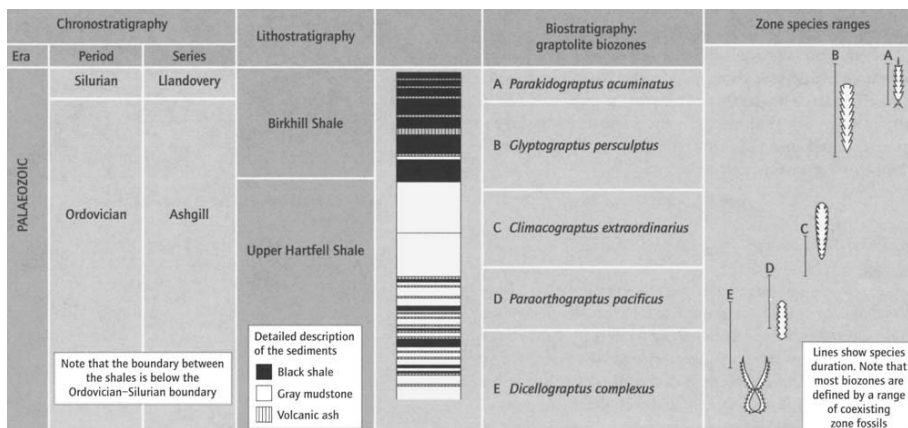
فسیل‌های زون، فسیل‌هایی با یک سن نسبی مشخص و شناخته‌شده هستند. برای این که زونی به طور جهانی کاربرد داشته باشد می‌بایستی دارای فسیل‌های فراوان و با گسترشی در مقیاس جهانی باشد. اغلب زیست‌مندان با این چنین گسترشی پلاژیک هستند و در دریا‌های آزاد زندگی می‌کنند. همچنین پتانسیل حفظ‌شدگی این زیست‌مندان نیز می‌بایستی بالا باشد یعنی می‌باید مقداری بافت سخت داشته باشند که بتوانند به راحتی حفظ شوند.

چینه‌نگاری

مطالعه توالی سنگ‌ها را چینه‌نگاری^۳ می‌نامند. سه جنبه اصلی در این مطالعه عبارت‌اند از چینه‌نگاری زمانی یا کرونواستراتیگرافی^۴، چینه‌نگاری سنگی یا لیتواستراتیگرافی^۵ و چینه‌نگاری زیستی یا بیواستراتیگرافی^۶ (شکل ۱-۲).

کرونواستراتیگرافی سن توالی‌های سنگی و روابط زمانی‌شان را تعیین می‌کند. برش‌های الگو^۷ اغلب تثبیت می‌شوند. اینها کامل‌ترین و نماینده توالی سنگ‌هایی معادل با حد فاصل زمانی خاص هستند. برای مثال سری‌های ونلوک^۸ که در امتداد کناره ونلوک در شورپ‌شایر^۹ انگلستان رخنمون دارند، برش الگوی سری‌های ونلوک سیلورین است.

-
1. zone fossils
 2. principle of superposition
 3. stratigraphy
 4. chronostratigraphy
 5. lithostratigraphy
 6. biostratigraphy
 7. Type sections
 8. wenlock
 9. shropshir



شکل ۲-۱ تشریح چینه‌نگاری توالی سنگ‌های گذر اردوویسین - سیلورین در اسکاتلند (Dobb's Linn, Southern Uplands). زمان زمین‌شناسی براساس روش آنالیز به زون‌های مختلفی تقسیم می‌گردد. کروئوئاستراتیگرافی برش را به دو دوره تقسیم می‌کند. آنالیز لیتوئاستراتیگرافی این توالی را به دو شیل تقسیم می‌نماید. همچنین بیوئاستراتیگرافی (که توسط فسیل‌های زون تعیین می‌شود) یک تقسیم‌بندی دقیق‌تری را از سن نسبی توالی ارائه می‌دهد.

یک نقطه در یک توالی، برگزیده‌ای است که یک لحظه در زمان زمین‌شناختی را نشان می‌دهد و همچنین معادل با نخستین ظهور یک عضو از یک سری شاخص از فسیل‌های زون است. مقیاس زمان نسبی می‌تواند با اشاره به این نقاط دقیق ثابت شود. این نقاط را میخ‌های طلایی^۱ می‌نامند.

تفکیک سنگ‌ها به واحدهایی (معمولاً سازند نامیده می‌شود) با خصوصیات فیزیکی مشابه به لیتوئاستراتیگرافی مصطلح است. واحدها با ارجاع به یک برش الگو در یک ناحیه الگو تشریح می‌شوند که می‌توان بدون توجه به ضخامت در سرتاسر یک ناحیه جغرافیایی وسیع، به صورت نقشه در آورده شوند.

در بیوئاستراتیگرافی، حد فاصل‌های زمان زمین‌شناسی به وسیله لایه‌های سنگی نشان داده می‌شوند که توسط تاکسای فسیلی شاخص و جوامع فسیلی مشخص می‌شوند. برای مثال، فسیل‌های غالب در سنگ‌های پالئوزوئیک، بازوپایان، تریلوبیت‌ها و گراپتولیت‌ها هستند.

زمان زمین‌شناسی بر اساس روش آنالیز به زون‌های مختلفی تقسیم می‌گردد.

1. golden spikes

کرونواستراتیگرافی برش را به دو دوره تقسیم می‌کند. آنالیز لیتواستراتیگرافی این توالی را به دو شیل تقسیم می‌نماید. همچنین بیواستراتیگرافی (که توسط فسیل‌های زون تعیین می‌شود) یک تقسیم‌بندی دقیق‌تری را از سن نسبی توالی ارائه می‌دهد.

حیات و تکامل قاره‌ها

حیات بر روی یک جهان فیزیکی در حال تغییر وجود دارد و این تغییرات هم تکامل زیست‌مندان را کنترل کرده است و هم توسط ثبت فسیلی‌شان ثبت شده است. تکامل بر روی جمعیت‌های کوچک به سرعت عمل می‌کند و نیز وقتی که یک گروه از زیست‌مندان از طریق تغییر در چشم‌انداز اطراف‌شان جدا می‌شوند، به سرعت از جمعیت والدشان متفاوت می‌گردند. زیست‌مندان از طریق پل‌های خشکی و یا در امتداد راه‌های جدید دریایی مهاجرت می‌کنند. همچنین نواحی که زمانی جدا بودند توسط همین راه‌ها قابل دسترس می‌گردند. مهاجرت پستانداران کیسه‌دار مانند اوپوسوم‌ها به داخل امریکای شمالی که بیش از ۲ میلیون سال به طول انجامید یک مثال خوب برای این فرایند است. بررسی گسترش گذشته زیست‌مندان به عنوان جغرافیای زیستی دیرین یا پالئوبیوژئوگرافی^۱ شناخته می‌شود.

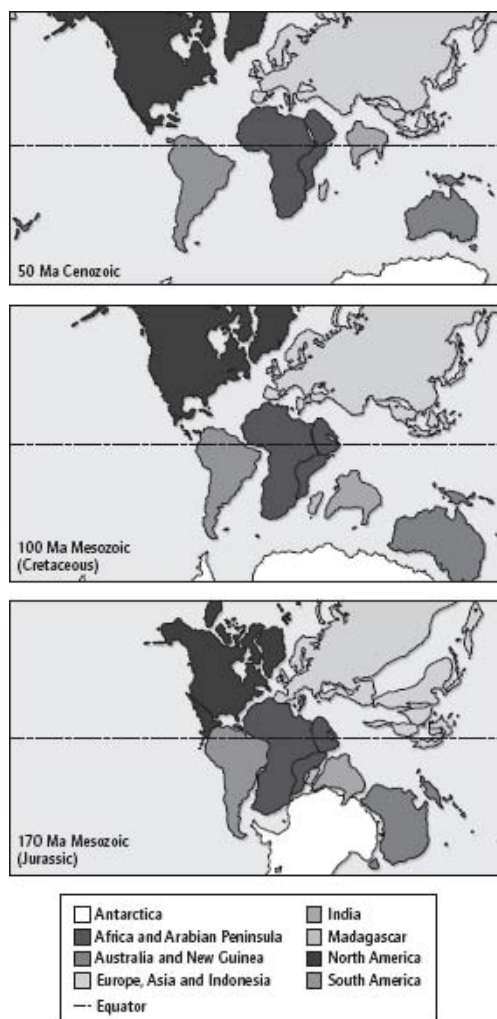
زمین‌ساخت و رقی مسبب تغییرات نقشه جهان

شکل قاره‌ها و اقیانوس‌ها در کل زمان تغییر می‌کند همچنین پوسته توسط نیروهای تکتونیک صفحه‌ای تولید می‌شود و تغییر می‌کند. پوسته جدید اقیانوسی در برآمدگی‌های میان‌اقیانوسی تشکیل می‌شود جایی که جبهه به سطح می‌رسد و ذوب می‌گردد و در نتیجه پوسته اقیانوسی وسیع‌تر می‌گردد. این پوسته اقیانوسی در مرزهای مخرب پوسته هضم و مصرف می‌شود، جایی که پوسته سنگی متراکم می‌گردد و به داخل جبهه فرو می‌رود. با این فرایند اقیانوس‌ها می‌توانند کوچک‌تر شوند و یا به طور کلی ناپدید گردند. حجم پوسته قاره‌ای توسط افزوده‌شدن بقایای کمان جزیره‌ای و رسوبات بستر اقیانوسی افزایش می‌یابد. تصادم قاره‌ای و پیوستن این قطعات به هم، توده‌های بزرگی را شکل می‌دهد. جهت تشکیل اقیانوس‌های جدید این قطعات در

1. paleobiogeography

جهت مخالف هم کشیده می‌شوند.

سرگذشت نقشه جهان در ۲۰۰ میلیون سال اخیر به خوبی شناخته می‌شود زیرا توسط سنگ‌های اقیانوسی بستر دریای جدید ثبت می‌گردد. این سنگ‌ها مانند یک نوار نقاله می‌باشند که جدیدترین سنگ‌ها دارای نزدیک‌ترین فاصله به برآمدگی‌ها هستند و قدیمی‌ترین سنگ‌ها در دورترین فاصله به برآمدگی‌های اقیانوسی می‌باشند. کاهش سن سنگ به طرف عقب (برآمدگی‌ها) می‌تواند وضعیت قبلی قاره‌ها را آشکار کند (شکل ۱-۳).

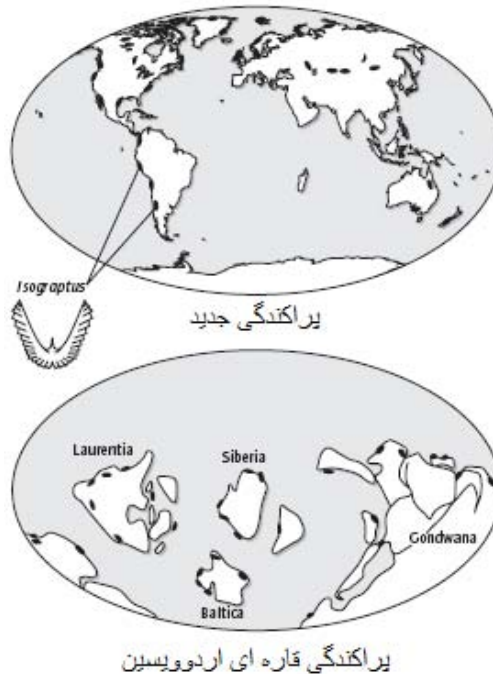


شکل ۱-۳ جغرافیای دیرین. نقشه‌های ۲۰۰ میلیون سال گذشته جهان

بازسازی وضعیت قاره‌ها و اقیانوس‌ها در پیش از ۲۰۰ میلیون سال قبل (سنگ‌های در اطراف مرز تریاس- ژوراسیک) بسیار سخت است زیرا پوسته اقیانوسی کمی از این سن باقی می‌ماند تا یک نقشه دقیق را تولید نماید. برای نقشه‌های قدیمی‌تر جهان، بازسازی توسط تنوعی از روش‌ها صورت می‌گیرد، اما عمدتاً توسط ردیابی عرض جغرافیایی که سنگ‌ها در زیر نقطه کوری سرد شده‌اند و در داخل کانی‌هایشان جهت شمال مغناطیسی ثبت می‌شود، انجام می‌گردد. با این حال این تکنیک میزانی از طول جغرافیایی را نمی‌دهد که آن هم مجبور است از انواع کیفی‌تری از اطلاعات حدس زده شود. یکی از مفیدترین این روش‌ها (روش‌های کیفی) گسترش بقایای فسیلی زیست‌مندان می‌باشد.

شواهد فسیلی برای پراکندگی قاره‌های قدیمی

بر اساس اطلاعات دیرینه‌مغناطیسی می‌دانیم که در مدت زمان پالئوزوئیک، قاره‌ها نسبتاً کوچک و به طور وسیعی پراکنده بودند. توده خشکی که در حال حاضر آمریکای شمالی و قسمت‌هایی از اسکاتلند را شکل می‌دهد، در آن زمان نزدیک به استوا بود در حالی که مناطقی که در حال حاضر اروپا، آفریقا و انگلستان را تشکیل می‌دهند دورتر بودند یعنی در اطراف ۶۰ درجه جنوب قرار داشتند. این قاره‌های جزیره‌ای توسط اقیانوس‌های عمیقی احاطه می‌شدند که هم اکنون مدت زمان طولانی است که ناپدید شده‌اند اما موقعیت‌شان توسط یک جاندار دریای باز (یک نوع کلنی گراپتولیت) به نام ایزوگراپتوس^۱ ثبت می‌شود. این جاندار فقط در اقیانوس‌های باز می‌زیست و کلنی‌ها در لایه‌های شیل دریای عمیق فسیل می‌شدند. اینها بعضی مواقع که پوسته اقیانوسی به داخل جبه کشیده می‌شد، به صورت اثراتی بر روی قطعات باریک سنگ‌های تغییر شکل‌یافته لبه قاره‌ها حفظ می‌شدند. یک نقشه جدید پراکندگی ایزوگراپتوس حضورشان را در این نوارهای باریک تصادم آشکار می‌کند و یک نقشه قدیمی می‌تواند توسط جداسازی قاره‌های جدید در امتداد این باندها یا نوارها بازسازی گردد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ پراکندگی ایزوگراپتوس بر روی نقشه جدید جهان پیاده شده است و بازسازی اقیانوس‌های باستانی (بر اساس پراکندگی) که آنها در آن می‌زیستند.

همچنان که پالئوزوئیک زیرین ادامه یافت این قطعات قاره‌ای جدا، شروع به تصادم با هم نمودند. یکی از بهترین برخوردهای مطالعه‌شده بین انگلستان و اسکاتلند است که در مدت زمان سیلورین پسین (۴۲۰ میلیون سال قبل) رخ داد. خط تصادم در امتداد شرق به غرب است و در مسیر سولوی فرت^۱ ادامه دارد و اثر این تصادم می‌تواند در سنگ‌های دریایی عمیق دیده شود که در بالازدگی‌های جنوبی و ساختارهای لرزه‌ای جبهه زیر اسکاتلند حفظ شده‌اند. زیست‌مندانی که بر روی هر سمت این اقیانوس می‌زیستند، خاتمه پیشروی آن را ثبت می‌کنند. همچنین ابتدا زیست‌مندان دریایی عمیق و سپس زیست‌مندانی که به طور پیشرونده‌ای ساکن آب‌های کم‌عمق‌ترند، در هر دو سوی این راه آبی عمومیت پیدا می‌کنند. آمیختن فونای ماهی آب شیرین با سن پسین‌ترین بخش سیلورین، نشانه‌هایی بسته‌شدن این اقیانوس می‌باشد.

1. Solway firth

قاره‌های جدید و پستانداران

تکامل قاره‌ها منطبق با (به طور مستقیمی متأثر از) خردشدن ابرقاره پانژه آ شد. دو تا از عمومی‌ترین گروه‌های پستانداران امروزی یعنی پستانداران جفت‌دار (که فرزندشان را در داخل بدن نگه می‌دارند) و پستانداران کیسه‌دار (که فرزندشان به صورت نوزاد نارس متولد شده و در داخل کیسه تغذیه می‌شود) در سرتاسر پانژه آ یافت می‌شوند و همچنان که آن قاره خرد می‌گردید، آنها قادر بودند که از طریق پل‌های خشکی به سرتاسر قاره‌های امروزی مهاجرت کنند. در امریکای جنوبی پستانداران برای ۶۰ میلیون سال اخیر به طور مستقلاً ظاهر شده‌اند و تماس کمی با دیگر قسمت‌های جهان داشته‌اند، قطع نظر از (جدای از) مهاجرت متناوب جانداراتی مانند میمون‌ها و بی‌دندان‌ها از امریکای شمالی.

پستانداران غالب در امریکای جنوبی کیسه‌داران بودند با گونه‌های غیرمعمولی همانند تنبل‌های زمینی عظیم‌الجثه^۱ و آرمادیلوها^۲. بسیاری از این گروه‌ها به خاطر مهاجرت جفت‌داران رقیب (وقتی که تنگه پاناما شکل گرفت) منقرض شدند و هنگامی که انسان‌ها در چندین هزار سال قبل به این قاره رسیدند فرایند انقراض تسریع گشت. استرالیا، نیوزیلند و قاره قطب جنوب در مدت زمان کرتاسه از بقایای پانژه آ جدا شدند و آنها نیز در سنوزوئیک پیشین به ترتیب از هم جدا شدند. فونای جداشده و ایزوله استرالیا و نیوزیلند در هر دو توده خشکی به طور مستقلاً ظاهر شدند و در آنها کیسه‌داران غالب گشتند.

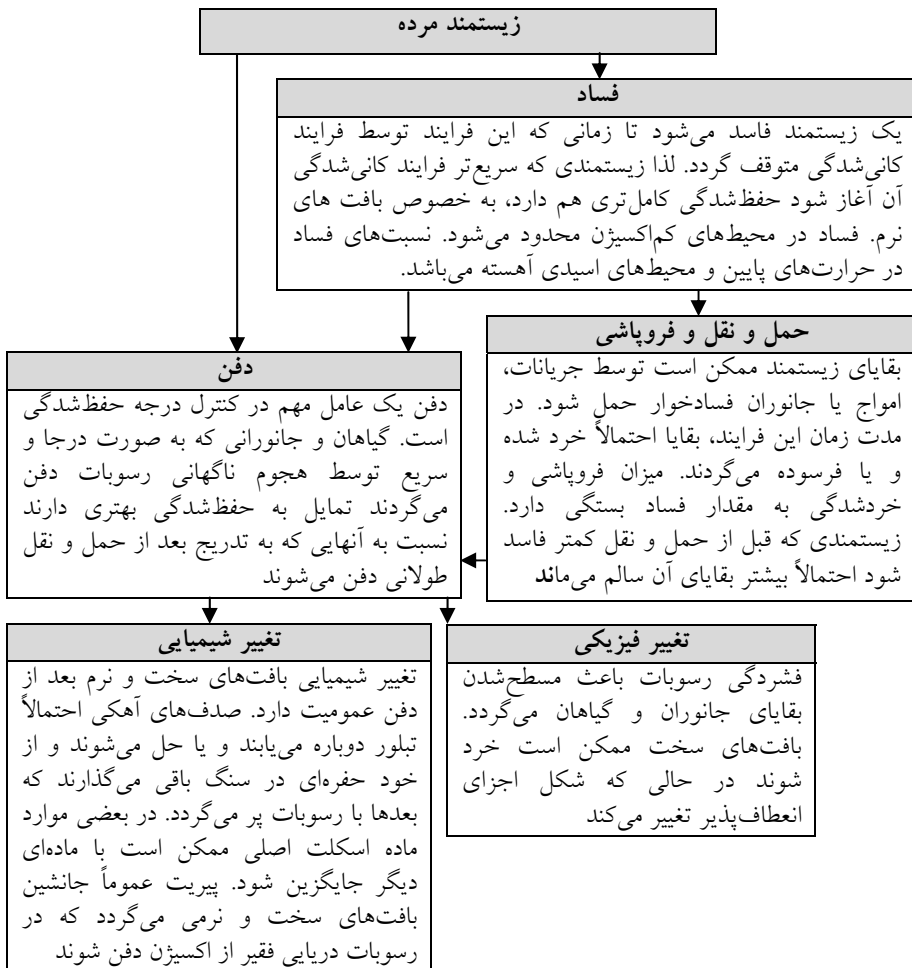
افریقا نیز در کرتاسه پسین از بقیه قاره‌ها جدا گردید و یک مرکز تکامل برای پستانداران جفت‌دار شد و گروه‌های عمدتاً دریایی (مثل نهنگ‌ها و گاوهای دریایی) را در برگرفت. فیل‌ها و دیگر چرنده‌های بزرگ نیز در همین جا (افریقا) ظاهر شدند. تبادل فونا با آسیا در میوسن پیشین آغاز شد با گریه‌های تازه واردی که شکارچی غالب افریقا شدند و اپ‌ها^۳ و فیل‌ها که به خارج از افریقا (به طرف شمال و شرق) مهاجرت کردند. فونای پستاندار شاخص از قاره‌های متفاوت امروزی، محصول خردشدن قاره‌ای در سنوزوئیک و نتیجه جدایش گروه‌های جانداران هستند.

1. giant ground sloths
2. armadillos
3. ape

حفظ‌شدگی فسیل

ثبت فسیلی ناقص است. اغلب زیست‌مندان فسیل نمی‌شوند و اغلب فسیل‌ها نیز تنها بخشی از بقایای زیست‌مندی هستند که زمانی می‌زیستند. زیست‌مندی که فسیل می‌شوند معمولاً متحمل تغییراتی می‌گردند. اغلب گیاهان و جانوران در وضعیت حیاتشان (وضعیت اولیه) فسیل نمی‌شوند و ترکیب‌شان معمولاً تغییر می‌کند.

مطالعه تاریخ یک زیست‌مند از زمان مرگ تا کشف درون سنگ یا رسوب به عنوان تافونومی^۱ شناخته می‌شود (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵ فرایند فسیل‌شدگی (تافونومی)

بعد از مرگ یک زیستمند، فرایندهای فیزیکی و زیستی با بقایای آلی آن واکنش می‌دهند. این پدیده میزان فسیل‌شدن و نیز ماهیت فسیل را تعیین می‌کند. تاریخ تافونومی عمومی یک فسیل چنان است که در ادامه می‌آید. پس از مرگ، بافت‌های نرم زیستمند متلاشی می‌شود. سپس بافت‌های سخت باقی‌مانده حمل می‌شوند که منجر به منفصل‌شدن و نیز احتمالاً خردشدن آنها می‌گردد. پس از آن بافت‌های سخت خردشده، دفن می‌شوند و به طور شیمیایی و فیزیکی تجزیه می‌گردند. تغییر و تبدیل پس از تدفین را دیاژنز^۱ گویند. این سلسله رویدادها منجر به فقدان اطلاعات در مورد زیستمند و روش زندگی آن می‌شود.

جانبداری در ثبت فسیلی

ثبت فسیلی بی‌نهایت انتخابی است. اصطلاح پتانسیل حفظ‌شدگی برای شرح احتمال فسیل‌شدن یک زیستمند زنده استفاده می‌شود. زیستمندانی با پتانسیل حفظ‌شدگی بالا، فسیل‌های عمومی و متداول هستند. ماهیت مورفولوژی آنها و محیطی که فسیل در آنجا زندگی می‌کرده است، عوامل مهمی در تعیین این که آیا آن موجود فسیل خواهد شد، می‌باشند. این تمایلات ذاتی، نظر ما را به حیات گذشته منحرف می‌کند. به طور کلی، موارد جانبدارانه در ثبت فسیل عوامل زیر می‌باشند:

- زیستمندانی با بافت مقاوم در برابر تجزیه
- زیستمندان دریایی
- زیستمندانی که در محیط‌های کم‌انرژی زندگی می‌کنند
- زیستمندان جدیدتر
- زیستمندانی که عمومیت داشتند

زیستمندانی با بافت مقاوم در برابر تجزیه

زیستمندانی با قسمت‌های بدنی که به راحتی تجزیه نشوند با احتمال بیشتری نسبت به حیواناتی با بدن نرم در ثبت فسیلی حفظ می‌شوند. در حیوانات مهره‌دار، دندان‌ها و

1. diagenesis

استخوان‌ها معمولاً عمومی‌ترین اعضای فسیل‌شونده هستند. بی‌مهرگانی که اغلب صدف و پوسته دارند برای تجزیه‌شدن مستعد نیستند. بافت‌های چوبی گیاهان، هاگ‌ها و گرده‌های گیاهی به احتمال زیاد قسمت‌هایی از گیاهان هستند که در ثبت فسیلی حفظ می‌شوند.

صدف‌های اغلب بی‌مهرگان از کربنات کلسیم به شکل کلسیت یا آراگونیت تشکیل می‌شود. آراگونیت ممکن است در مدت زمان دیاژنز فسیل به کلسیت تبدیل شود. این تغییر می‌تواند به وسیله تغییر در ساختار بلوری صدف، از لایه‌هایی با بلورهای سوزن‌مانند به بلورهای بلوکی شکل بزرگ مشخص شود. برخی بی‌مهرگان همچون اسفنج‌ها دارای اسکلت‌هایی متشکل از سیلیس هستند که در ثبت فسیلی باقی می‌مانند. اسکلت گراپتولیت‌ها (رابدوزوم) از کلاژن تشکیل شده، یک پروتئین که در مقابل تجزیه‌شدن بسیار مقاوم و بادوام است. حیوانات با اسکلت خارجی، همچنان که رشد می‌کنند، پوست‌اندازی می‌نمایند و این تعداد فسیل‌های بالقوه را افزایش می‌دهد. مواد گیاهی به طور خاصی مستعد تجزیه می‌باشند، اگرچه بافت‌های چوبی که ساقه و برگ‌ها را تشکیل می‌دهد، همراه با هاگ‌ها و گرده‌ها یک روکش مقاوم مومی دارند که ممکن است در ثبت فسیلی حفظ شوند.

ساختار اسکلتی یک زیستمند کامل بودن حفظ‌شدگی را تعیین می‌کند. بافت‌های سختی که به شکل یک قسمت منفرد (برای مثال صدف شکم‌پایان) هستند به احتمال زیادتر به طور کامل در ثبت فسیلی حفظ می‌شوند تا اسکلت‌هایی که از قسمت‌های زیادی (مانند شقایق‌های دریایی) ساخته می‌شوند.

زیست‌مندان دریایی

زیست‌مندان دریایی به احتمال بیشتری نسبت به نمونه‌های خشکی حفظ می‌شوند. بر روی خشکی فرسایش بیشتر و نهشتگی رسوبات کمتر است و در نتیجه شانس کمتری برای دفن وجود دارد. گیاهان و جانوران زمینی که در نزدیکی نواحی نهشتگی (برای مثال کنار دریاچه) زندگی می‌کنند پتانسیل حفظ‌شدگی بیشتری دارند نسبت به آنهایی که در نواحی شبکه فرسایش همانند کوهستان‌ها زندگی می‌کنند.

ماهیت بستری که زیستمند بر روی آن زیست می‌کند به نظر نمی‌رسد که تأثیری

بر روی پتانسیل حفظ‌شدگی حیوان دریایی داشته باشد، هر چند که اکولوژی احتمالاً بر روی یک حیوان دریایی که فسیل می‌شود اثر دارد. حیوانات بی‌حرکت، تغذیه‌کنندگان فیلتری و علف‌خواران به طور معمول‌تری نسبت به جانداران گوشت‌خوار در ثبت فسیلی حفظ می‌شوند. حیوانات بی‌حرکت مثل مرجان‌ها، تمایل به سنگینی و تنومند شدن دارند در حالی که شکارچیان فعال، اسکلت‌های سبک‌تری ساخته‌اند. به علاوه، حیوانات متحرک می‌توانند از دفن شدن به وسیله رسوبات بگریزند.

زیست‌مندانی که در محیط‌های کم‌انرژی زندگی می‌کنند

در محیط‌های کم‌انرژی فرایندهای مکانیکی مثل جریان‌ها، امواج و باد که بقایای گیاهان و حیوانات را تخریب می‌کنند، شدت کمتری دارند. بنابراین زیست‌مندانی که در این محیط‌ها زندگی می‌کنند با احتمال بیشتری حفظ می‌شوند. به هر حال، این موضوع می‌تواند یک نظر بسیار ساده‌انگارانه‌ای باشد، زیرا زیست‌مندانی که در محیط‌های پرانرژی زندگی می‌کنند ممکن است اسکلت‌های مقاوم‌تر و توسعه‌یافته‌تری داشته باشند. بنابراین پتانسل حفظ‌شدگی‌شان را افزایش می‌دهد یا این که آنها ممکن است با سرعت بیشتری دفن شوند و از این رو از آسیب‌های پس از مرگ محفوظ بمانند.

فسیل‌هایی که به طور استثنایی حفظ شده‌اند

نهشته‌های فسیلی فوق‌العاده به عنوان لاگروستاتن^۱ فسیل شناخته می‌شوند. لاگروستاتن یک کلمه آلمانی است که برای نهشته‌هایی که اهمیت اقتصادی دارند به کار می‌رود. اصطلاح لاگروستاتن فسیلی برای تشریح سازندهای فسیل‌داری است که به طور ویژه‌ای غنی از اطلاعات دیرینه‌شناسی می‌باشند. دو نوع لاگروستاتن فسیل وجود دارد: لاگروستاتن فراوانی^۲ و لاگروستاتن حفظ‌شدگی^۳ (شکل‌های ۱-۶ و ۱-۷). حضورهایی که تعداد فسیل‌های حفظ‌شده بیش از حد معمول باشد به عنوان لاگروستاتن فراوانی یا نهشته‌های متمرکز مصطلح هستند. در لاگروستاتن حفظ‌شدگی یا نهشته‌های نگهداری، کیفیت حفظ‌شدگی استثنایی است و بافت‌های نرم فسیل می‌شوند و اسکلت‌ها نیز به

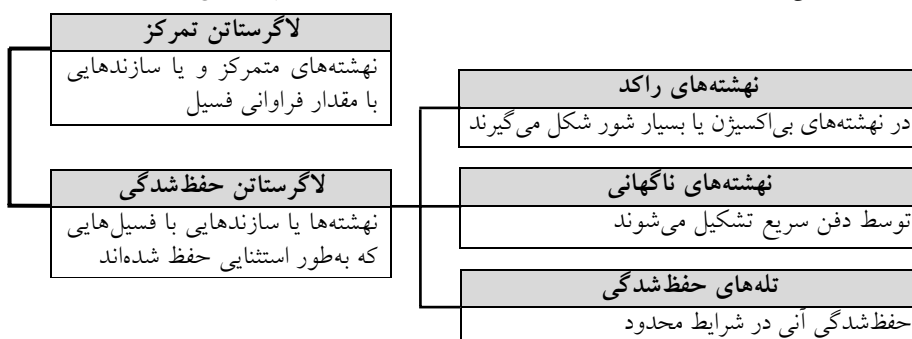
1. Lagerstätten

2. Lagerstätten-Konzentrat

3. Lagerstätten-Konservat

هم متصل و بندبند هستند و تکه‌تکه و خردشده نیستند. لاگرستاتن حفظ‌شدگی یک منبع غنی از اطلاعات دیرینه‌شناسی است. حفظ‌شدگی بافت‌های نرم به تشریح دیرینه‌زیست‌شناسی زیست‌مندان منقرض‌شده کمک می‌کند و حفظ‌شدگی تمام یک جامعه، نگرشی در مورد ساختار اکوسیستم‌های دیرینه مهیا می‌نماید. لاگرستاتن حفظ‌شدگی می‌تواند به عنوان دریچه‌های حفظ‌شدگی^۱ محسوب شوند که یک دیدگاه استثنایی از حیات گذشته را فراهم می‌کنند.

لاگرستاتن حفظ‌شدگی عموماً در محیط‌هایی تشکیل می‌شوند که فاقد حیات است یا در محیط‌هایی که نرخ رسوب‌گذاری بسیار بالا است. اجساد ممکن است که به داخل دریاچه‌های خیلی شور یا بی‌اکسیژنی حمل شوند که عاری از فسادخواران است. چنین اتفاق‌هایی نهشته‌های راکد^۲ تولید می‌کند. دفن سریع همچنین تأثیر فسادخواران را به حداقل می‌رساند. این پدیده می‌تواند در محیط‌های دریایی عمیق رخ دهد، جایی که جریان‌های توربیدیتی ممکن است به طور ناگهانی حجم بزرگی از رسوبات را ته‌نشین کنند یا در یک دلتا یعنی جایی که حجم زیادی از مواد رسوبی به داخل دریا تخلیه می‌شوند. این نهشته‌ها، نهشته‌های ناگهانی^۳ نامیده می‌شوند. لاگرستاتن حفظ‌شدگی همچنین با شرایطی همراه است که باعث حفظ‌شدگی آنی می‌شود. این موقعیت‌ها به عنوان تله‌های حفظ‌شدگی شناخته می‌شوند و شامل حشرات حفظ‌شده در درون کهربا (رزین فسیل‌شده درخت) و حیوانات گیرافتاده در باتلاق‌های پیت می‌شود.



شکل ۱-۶ رده‌بندی لاگرستاتن فسیل

1. preservation windows
2. stagnation deposits
3. obrution deposits