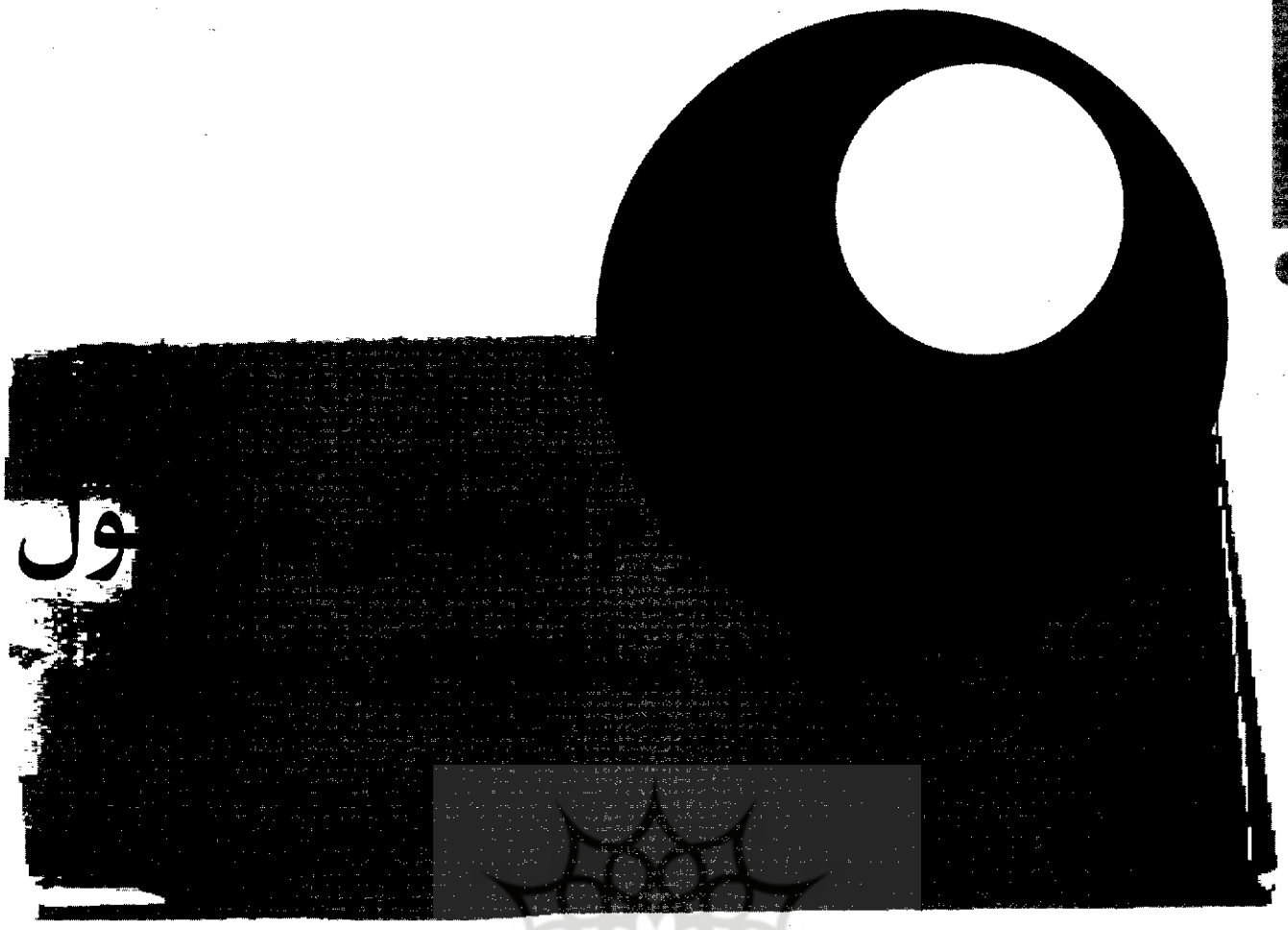


مقدمه

قبل از دهه‌ی ۱۹۶۰، برخورد اجرام آسمانی به کره‌ی زمین مهم تلقی نمی‌شد. زمین‌شناسان بر این باور بودند که گاهی، قطعات اجرام آسمانی از اتمسفر زمین می‌گذرند و به سطح آن برخورد می‌کنند که نتیجه‌ی آن به صورت مجموعه‌ای از شهاب‌سنگ‌ها و چند دهانه‌ی برخوردی کوچک و کم‌سن (در مقیاس زمین‌شناسی) قابل مشاهده است. تقریباً هیچ‌کس اعتقاد نداشت، اجرام آسمانی بتوانند اثرات زمین‌شناختی چشمگیری بر جای بگذارند یا این‌که از حد یک خطر محلی و کوچک فراتر باشند.

اما اکنون این دیدگاه به شدت تغییر کرده است که دو عامل را می‌توان علت آن دانست:

۱. اکتشافات منظومه‌ی شمسی توسط انسان و فضاپیماها که اهمیت برخوردها را در شکل‌گیری همه‌ی سیارات و از جمله کره‌ی زمین آشکار کرده است.

۲. توانایی تشخیص ساختارهای برخوردی قدیمی به کمک معیارهای سنگ‌شناسی.

طی سی سال اخیر، تصور ما از کره‌ی زمین و جایگاه آن در منظومه‌ی شمسی دچار تغییری شگرف شده است. برخورد اجرام آسمانی با زمین که زمانی به عنوان فرایندی عجیب و نه چندان مهم تلقی می‌شد، اکنون عامل مهمی در سرگذشت زمین‌شناسی و زیست‌شناسی کره‌ی زمین محسوب می‌شود. دانشمندان تشخیص داده‌اند که ساختارهای برخوردی کره‌ی زمین از آنچه که چند دهه قبل تصور می‌شد، فراوان‌تر، بزرگ‌تر، قدیمی‌تر، پیچیده‌تر، از لحاظ اقتصادی مهم‌تر، و حتی از لحاظ زیست‌شناختی نیز دارای اهمیت هستند. برخورد اجرام آسمانی با زمین، دست کم اثرات زیر را بر جا گذاشته است:

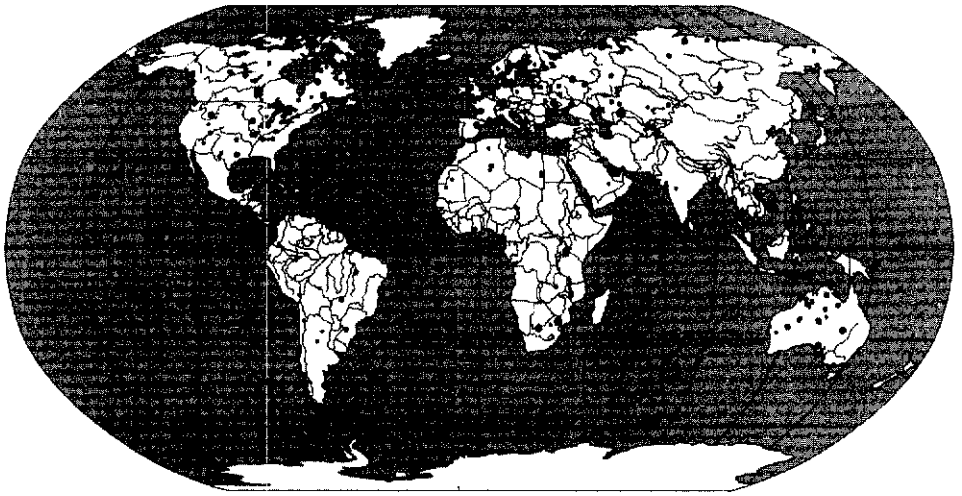
- ایجاد آشفتگی‌های بزرگ در پوسته‌ی زمین؛
- تولید حجم‌های بزرگی از سنگ‌های آذرین؛
- تشکیل مواد معدنی با ارزش و مهم؛
- نقش داشتن در یک انقراض زیست‌شناختی بزرگ (انقراض نسل دایناسورها در حدود ۶۵ میلیون سال پیش).

اثرات برخورد اجرام آسمانی به زمین

طی چند دهه‌ی اخیر، زمین‌شناسان به تدریج دریافته‌اند که برخورد اجرام آسمانی به زمین، به طور چشمگیری سطح زمین را تغییر داده، پوسته‌ی آن را دچار آشفتگی کرده و سرگذشت زمین‌شناسی آن را دگرگون ساخته است. تاکنون بیش از ۱۵۰ ساختار زمین‌شناسی مربوط به چنین برخوردهایی تشخیص داده

شده‌اند و گمان می‌رود، ساختارهای برخوردی دیگری هم وجود

نقشه‌ی ۱. پراکندگی ساختارهای برخوردی روی کره‌ی زمین. در این شکل، محل جغرافیایی ۱۴۵ ساختار برخوردی شناخته شده روی زمین مشاهده می‌شود. پراکندگی جغرافیایی منظم مربوط به عوامل زمین‌شناختی و اجتماعی است. اکثر ساختارها، سنی کم‌تر از ۲۰۰ میلیون سال دارند.



دارند که باید شناسایی شوند (نقشه‌ی ۱).

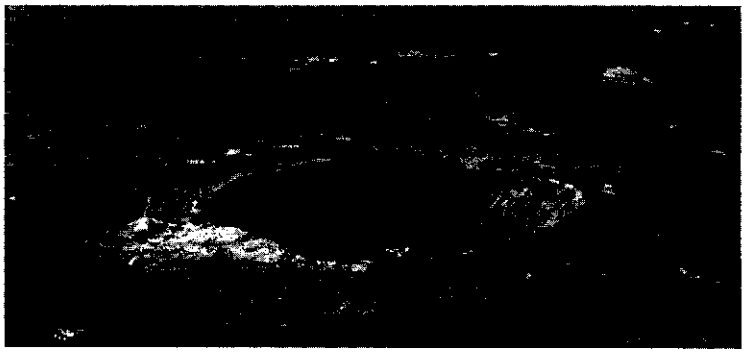
ساختارهای برخوردی شناخته شده، از کاسه‌های حلقوی کوچک با قطر چند کیلومتر یا حتی کم‌تر (تصویر ۱)، تا ساختارهای بزرگ و پیچیده با قطر بیش از ۲۰۰ کیلومتر و قدمتی در حد دو میلیارد سال، متغیرند. تشکیل ساختارهای بزرگ، همچون **سادبوری**[1] در کانادا و **وردفورت**[2] در آفریقای جنوبی، با آشفتگی‌های گسترده در پوسته‌ی زمین همراه بوده و سرگذشت زمین‌شناسی مناطق مورد برخورد را دچار تغییرات عمده‌ای کرده است.

علاوه بر تمام این موارد، برخورد اجرام آسمانی با زمین، به تشکیل ساختارهایی منجر شده است که دارای ارزش اقتصادی هستند. برای مثال ارزش اقتصادی ساختارهای برخوردی آمریکای شمالی در حدود پنج میلیارد دلار در سال بوده است. محصولات اقتصادی ساختارهای برخوردی شامل موارد گسترده‌ای همچون سنگ‌های ساختمانی، الماس و اورانیم است. به خصوص هیدروکربن‌ها (نفت و گاز) از محصولات مهم ساختارهای برخوردی محسوب می‌شوند. در برخی از موارد، رسوباتی که بعداً گودی دهانه‌های برخوردی را پُر می‌کنند، حاوی مواد باارزشی همچون ژیپس (سنگ گچ)، سرب، روی و دیاتومیت[3] هستند. در میان ساختارهای حاصل از برخورد اجرام آسمانی با زمین، ساختار سادبوری در کانادا دارای بالاترین ارزش اقتصادی است و بزرگ‌ترین مواد معدنی سولفید نیکل و مس و روی کره‌ی زمین را دارد که تولید کنونی آن نزدیک به دو میلیارد دلار در سال است.

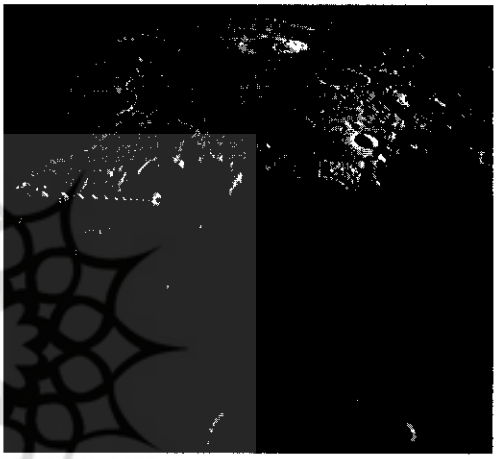
زندگی جانداران روی زمین نیز از این بمباران‌های کیهانی در امان نبوده است. شواهد فراوان جمع‌آوری شده طی ۲۰ سال اخیر، نشان می‌دهد، دست کم یک حادثه‌ی برخوردی بزرگ در حدود ۶۵ میلیون سال پیش، به انقراض بزرگی انجامیده و تکامل جانداران را دچار تغییر کرده است. با این برخورد، نسل دایناسورها منقرض گشت و بعد از آن پستانداران بر زمین حاکم و فراوان شدند. اکنون دهانه‌ی بزرگ ناشی از این برخورد به خوبی شناسایی شده که همان ساختار **چیکسولوب**[4] در مکزیک است و حداقل ۱۸۰ کیلومتر قطر دارد. این ساختار به طور کامل زیر رسوبات جوان‌تر شبه‌جزیره‌ی **یوکاتان**[5] مدفون شده است. البته هنوز درباره‌ی این‌که حادثه‌ی مذکور چگونه به انقراض نسل دایناسورها منجر شد و آیا برخوردهای دیگری از این نوع، باعث انقراض‌های بزرگ و کوچک دیگری در سرگذشت زمین شده‌اند یا خیر، همچنان بحث و اختلاف‌نظر وجود دارد.

پی بردن به اهمیت برخورد شهاب‌سنگ‌ها به زمین، به طور عمده از مطالعه‌ی سیارات دیگر نتیجه شده است. اکتشاف ماه و منظومه‌ی شمسی توسط انسان و فضاپیماهای بدون سرنشین در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ نشان داده است، برخورد اجرام آسمانی، فرایندی مؤثر در شکل‌گیری و تکامل همه‌ی اجرام جامد منظومه‌ی شمسی (از عطارد تا اقمار نپتون) بوده و هنوز هم هست. دهانه‌های برخوردی فراوان سطح کره‌ی ماه (تصویر ۲) از زمان **گالیله** شناخته شده بودند و منشأ برخوردی یا آتشفشانی آن‌ها، سالیان دراز محل بحث و اختلاف نظر بود. اما با بررسی سطح ماه توسط فضاپیمای آپولو و نیز با بررسی

نمونه‌های آورده شده از سطح آن معلوم شد، که بیش‌تر این



تصویر ۱. یک دهانه‌ی برخوردی ساده. دهانه‌ی برخوردی برینگر در آریزونا که دهانه‌ای جوان با قطر ۱/۲ کیلومتر دارد و نمونه‌ی بارز دهانه‌های کوچک کاسه‌ای شکل و ساده است. این دهانه درحدود ۵۰ هزار سال پیش، دراثر برخورد شهاب‌سنگی به قطر تقریبی ۳۰ متر تشکیل شده است.



تصویر ۲. سطح پر حفره‌ی کره‌ی ماه. در انتهای افق، دهانه‌ی برخوردی بالی آلدیوس (Balialdus) قرار دارد که دهانه‌ای پیچیده با قطر حدود ۶۰ کیلومتر است.

دهانه‌ها منشأ برخوردی دارند.

علاوه بر این، فضاپیماها وجود دهانه‌های برخوردی را بر سطح هر جسم جامدی که قابل رؤیت است، آشکار کرده‌اند. سیارات زمینی دیگر ـ عطارد، زهره (تصویر ۳) و مریخ (تصویر ۴) ـ اقمار سیارات گازی غول‌پیکر در قسمت‌های بیرونی منظومه‌ی شمسی (تصویر ۵) و حتی سیارک‌های کوچک (تصویر ۶)، همگی دارای دهانه‌های برخوردی هستند. پذیرفتن منشأ برخوردی برای ماه و اجرام سیاره‌ای دیگر، مبتنی بر چندین شاهد است:

۱. فراوانی دهانه‌های برخوردی بر سطح همه‌ی اجرام سیاره‌ای جامد؛

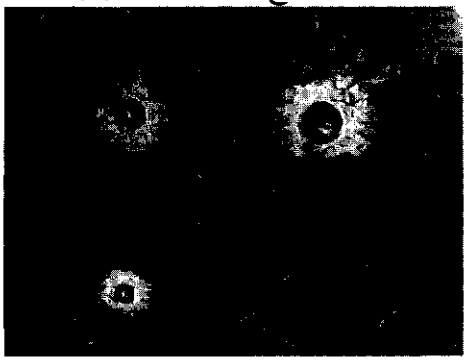
۲. وجود دهانه‌های برخوردی روی اجرامی که تفاوت ترکیبی زیادی دارند (یخی در برابر سنگی)؛

۳. وجود دهانه‌های برخوردی بر سطح اجرامی که سن متفاوت دارند؛

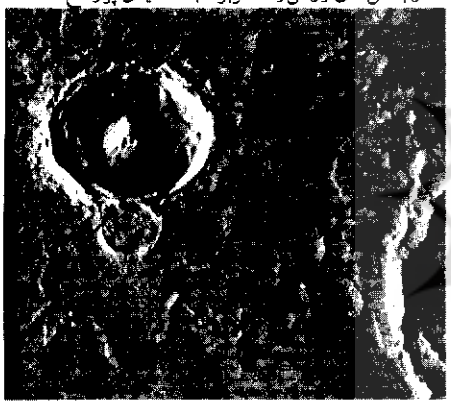
۴. اندازه‌ی متفاوت دهانه‌های برخوردی مشاهده شده (قطر کوچک‌تر از یکی میلی‌متر روی سنگ‌های ماه، تا حوضه‌های حلقوی بزرگ با قطر بیش از دو هزار کیلومتر)؛

۵. شکل هماهنگ و منظم دهانه‌های برخوردی؛

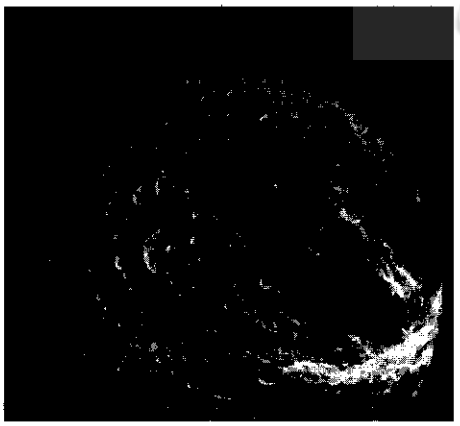
۶. وجود دهانه‌های برخوردی بر سطح اجرام کوچک (مثلاً بر سطح سیارک‌ها، تصویر ۶)، در



تصویر ۳. دهانه‌ی برخوردی ساده روی سیاره‌ی زهره. وجود دهانه‌های برخوردی کاملاً مشخص روی سیاره‌ی زهره، توسط فضاپیمای ماژالان آشکار شده است. در این تصویر که با سیستم رادار ماژالان گرفته شده است، سه ساختار برخوردی بزرگ مشاهده می‌شود. بخش‌های تیره‌رنگ مربوط به قسمت‌های کم‌ارتفاع و پست دهانه و بخش‌های روشن‌رنگ مربوط به حاشیه‌ی پرارتفاع آن است.



تصویر ۴. یک دهانه‌ی برخوردی پیچیده روی مریخ. این دهانه‌ی برخوردی جوان و پیچیده، با قطر ۱۹ کیلومتر که یوتی (Yuty) نامگذاری شده، چند ویژگی شاخص را نشان می‌دهد: حاشیه‌ی حلقوی، دیواره‌های پلکانی درون دهانه، قله‌ای در وسط دهانه، و پوششی از مواد پرتاب شده در اطراف دهانه.



تصویر ۶: دهانه‌های برخوردی بر سطح یکی از اقمار زحل. این قمر که به نام دیون (Dione) معروف است، قطری معادل با ۱۱۲۰ کیلومتر دارد و عمدتاً از یخ تشکیل شده است.

تصویر ۷ : دهانه‌های برخوردی بر سطح یکی از سیارک‌ها : سیارک‌های کوچکی که منجر به تشکیل دهانه‌های برخوردی بر سطح سیارات بزرگ‌تر شده‌اند، خود نیز توسط اجرام بزرگ‌تر و کوچک‌تر بمباران شده‌اند. برخورد اجرام بزرگ‌تر می‌تواند باعث شکستن و قطعه قطعه شدن سیارک‌ها شود. این تصویر مربوط به سیارک گاسپرا (Gaspra) است که اندازهٔ آن ۱۱×۱۲×۱۹ کیلومتر می‌باشد. بزرگ‌ترین دهانه‌هایی که در این تصویر نشان داده شده، قطری در حد ۱ تا ۲ کیلومتر دارند.

حالی که می‌دانیم کوچک بودن این اجرام، مانع از وجود فعالیت آتشفشانی در آن‌ها شده است.

حتی قبل از سفر آپولو، معلوم شده بود که آهنگ بمباران سطح ماه در طول زمان ثابت نبوده، و در بخش‌های مرتفع ماه نسبت به قسمت‌های مسطح سیاه رنگ آن، هزاران بار بیش‌تر بوده است. آهنگ بمباران ماه در حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش حداکثر بوده، ولی بعد از آن تا زمان حدود ۳/۸ میلیارد سال به سرعت کاهش یافته و بعد از آن به صورت ثابت درآمده است.

اکنون این مسأله پذیرفته شده است که برخوردها، به خصوص انواع بزرگ آن‌ها، نقش عمده‌ای در تشکیل و سرگذشت اولیه‌ی منظومه‌ی شمسی و اجرام جامد آن داشته است. نظریه‌های جدیدی که بعد از سفر آپولو ارائه شدند، بر این موضوع صحه گذاشتند که برخوردهای بزرگ بر رشد و تکامل سیارات تأثیر گذاشته‌اند و ممکن است، مشکلات ناخواسته‌ی مربوط به حرکت، ترکیب و اتمسفر سیارات را باعث شده باشند. طبق این نظر، دراثر برخورد جسمی به بزرگی مریخ به زمین اولیه (که بزرگ‌تر بوده است) در حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش، کره‌ی ماه تشکیل شده است. ممکن است برخوردهایی از این نوع، باعث از دست رفتن اتمسفر اولیه‌ی سیارات شده وحتی به تغییر محور اورانوس تا بیش از ۹۰ درجه منجر شده باشند.

وجود دهانه‌های برخوردی فراوان در سرتاسر منظومه‌ی شمسی نشان از آن دارد که دهانه‌ها باید به همان اندازه روی زمین هم فراوان باشند. از سوی دیگر، سطح مملو از دهانه در سیارات دیگر، این امکان را می‌دهد که شدت و اثرات برخورد اجرام آسمانی به زمین را تخمین بزنیم. از آن‌جا که در سیارات دیگر، فرسایش و حرکات پوسته‌ای گسترده نبوده است، می‌توان دهانه‌های برخوردی مرتفع با شکل حلقوی کاملاً مشخص، ذرات پرتاب شده به اطراف دهانه، و حتی آثار مواد ناشی از ذوب سنگ‌ها را به راحتی مشاهده کرد. از سوی دیگر، با توجه به اندازه‌ی بزرگ‌تر، سطح بزرگ‌تر و جرم بیش‌تر زمین، باید انتظار داشت که کره‌ی زمین ۲۰ برابر بیش‌تر از کره‌ی ماه، اجرام آسمانی را به سوی خود کشیده و در معرض برخورد بوده باشد. بنابراین، ثبت آثار برخورد روی زمین، باید ۲۵۰ برابر بیش‌تر از ماه باشد. با وجود این، احتمالاً تحت تأثیر عوامل زیر، دهانه‌های برخوردی زمین به مقدار زیاد از بین رفته‌اند:

۱. فرسایش شدید در سطح زمین؛

۲. مدفون شدن دهانه‌ها زیر رسوبات جدید؛

۳. وسعت زیاد اقیانوس‌ها و در نتیجه، مشاهده نشدن دهانه‌ها؛

۴. اتمسفر ضخیم زمین که زمین را در برابر بمباران اجرام آسمانی محافظت می‌کرده است؛

۵. حرکات پوسته‌ی زمین، به خصوص در اقیانوس‌ها که آثار برخورد را به درون زمین کشیده است.

بر خلاف فرایندهای زمین‌شناسی دیگر، برخورد شهاب‌سنگ‌های بزرگ به زمین، پدیده‌ای نادر محسوب می‌شود و خوشبختانه، هیچ مثال تاریخی از چنین حوادثی مشاهده نشده است. در نظر اکثر مردم، فرایند برخورد اجرام آسمانی فقط به صورت سقوط شهاب‌سنگ‌های کوچک بروز می‌کند که هیجان‌انگیز است و فقط در برخی موارد خسارت اندکی به بار می‌آورد. اما بر خلاف برخورد اجرام آسمانی که هیچ انسانی آن را تجربه نکرده است، سایر پدیده‌های زمین‌شناسی فاجعه‌بار همچون سیل، زمین‌لرزه و فوران‌های آتشفشانی، برای انسان آشنا و در عین حال ترسناک و غم‌انگیز است (البته لازم است یادآور شویم، در قصه‌های قرآن کریم به سرنوشت اقوامی اشاره می‌شود که بعد از نافرمانی، در معرض غضب خداوند قرار گرفته و بارانی از سنگ بر سر آن‌ها باردیده است. شاید بتوان این باران سنگ را نوعی بارش شهاب‌سنگ‌ها بر سر آن‌ها دانست).

برخورد اجرام بزرگ، به آزاد شدن انرژی عظیمی می‌انجامد که از انرژی زمین‌لرزه‌ها و فوران‌های آتشفشانی بیش‌تر است. این انرژی عظیم، از سرعت زیاد برخورد ناشی می‌شود. مثلاً جرمی با قطر چند متر، معادل با یک بمب اتمی انرژی دارد و می‌تواند شهری بزرگ را ویران سازد. برخورد جرمی به قطر چند کیلومتر می‌تواند طی چند ثانیه، انرژی زیادی آزاد کند، در صورتی که همین مقدار انرژی توسط سایر فرایندهای زمین‌شناسی (مثل آتشفشان، زمین‌لرزه و...) در فاصله‌ی صدها تا هزاران سال آزاد می‌شود. تفاوت عمده‌ی دیگری که میان برخورد اجرام

آسمانی و سایر فرایندهای زمین شناسی وجود دارد، آنی و لحظه‌ای بودن آزاد شدن انرژی هنگام برخورد است؛ به طوری که این انرژی به صورت امواج ضربه‌ای با سرعت چند کیلومتر بر ثانیه آزاد می‌شود. به این ترتیب، حجم عظیمی از سنگ‌ها طی چند ثانیه ضربه می‌بینند، تغییر شکل پیدا می‌کنند، ذوب می‌شوند و فقط در عرض چند دقیقه، ساختار برخوردی بزرگی شکل می‌گیرد. برای مثال، دهانه‌ی برخوردی به قطر یک کیلومتر (نزدیک به اندازه‌ی دهانه‌ی برخوردی **برینگر**[6] در آریزونا) در عرض چند ثانیه تشکیل می‌شود، یا ساختار برخوردی به قطر ۲۰۰ کیلومتر (مثلاً ساختار **سادبوری** در کانادا و ساختار **وردفورت** در آفریقای جنوبی) در زمانی کم‌تر از ۱۰ دقیقه به وجود می‌آید. بنابراین، برخورد یک جرم آسمانی کوچک، در حد چند میلیون تُن «تی ان تی»[7]، (تقریباً معادل با انرژی آزاد شده از یک بمب هیدروژنی) که اثرات آن محلی خواهد بود. اما برخورد اجرام بزرگ سبب ایجاد اثرات زیست‌محیطی فاجعه‌بار در مقیاس قاره‌ای یا در مقیاس کل زمین خواهد شد.

از آن‌جا که بیش‌ترین انرژی برخورد در نزدیکی سطح زمین رها می‌شود، بر جانداران تأثیر می‌گذارد و به انقراض آن‌ها می‌انجامد. برای مثال، برخورد یک جرم آسمانی به زمین در حدود ۶۵ میلیون سال پیش، باعث تشکیل دهانه‌ی برخوردی چیکسولوب شد. در این برخورد، ۲۵ تا ۵۰ درصد از انرژی اولیه به گرما تبدیل شده است. این گرما، نه تنها جسم برخورد کرده را بخار نموده، بلکه حجم بزرگی از سنگ‌ها را نیز ذوب و بخار کرده است. در نتیجه، مقدار زیادی گاز CO_2 و SO_2 آزاد شده است. ورود این گازها به اتمسفر زمین، به همراه گرد و غبار ناشی از حادثه‌ی برخورد، باعث ایجاد اثرات زیست‌محیطی چشمگیری همچون: تاریک و سرد شدن هوا، گرم شدن هوای کره‌ی زمین به دنبال این حادثه، و ایجاد باران اسیدی شده است. ترکیبی از این موارد می‌تواند، انقراض گسترده‌ی جانداران را سبب شده باشد.

جمع‌بندی

در پایان می‌توان گفت، به رغم این‌که تا امروز بیش از ۱۵۰ دهانه‌ی برخوردی روی زمین شناسایی شده، در هیچ کدام از آن‌ها اثری از خود شهاب‌سنگ اولیه مشاهده نشده است. این موضوع را می‌توان به دو صورت توجیه کرد:

۱. در اثر سرعت زیاد برخورد، خود شهاب‌سنگ نیز ذوب و بخار شده است.

۲. به مرور زمان عوامل گوناگونی همچون آب، باد، گرما و سرما، شهاب‌سنگ را تجزیه کرده و از بین برده‌اند.

وجود دهانه‌های برخوردی فراوان در سرتاسر منظومه‌ی شمسی ما را به این تصور می‌کشاند که برخوردها در تکامل سیارات (و از جمله زمین) و اقمار آن‌ها در منظومه‌ی شمسی، نقش مهمی بر عهده داشته‌اند. بر این اساس می‌توان گفت، زمین بمباران یکسان و حتی بیش‌تری نسبت به سایر سیارات داشته است؛ چراکه اندازه‌ی آن بزرگ‌تر است. اما به علت تأثیر عوامل فرسایشی، بسیاری از آثار برخورد از بین رفته است. در عین حال، بسیاری از آن‌ها نیز به اقیانوس‌ها برخورد کرده و از دید ما پنهان شده‌اند. به هر حال می‌توان تصور کرد، برخورد اجرام آسمانی به زمین نتایجی همچون انقراض برخی گونه‌های جانداران (مثلاً انقراض نسل دایناسورها)، تغییرات سطح دریاها و تولید سنگ‌های آذرین گسترده در برخی نقاط کره‌ی زمین (مثل فلات دکن درهند و...) را دربرداشته است. اثبات کامل این تغییرات و اثرات احتمالی دیگر ناشی از برخوردها، به کاوش‌های بیش‌تری نیاز دارد. شاید در ایران زمین نیز آثار چنین برخوردهایی وجود داشته باشد که باید بررسی شود.

* دبیر زمین‌شناسی شهرستان قوچان

زیرنویس

1. Sudbury
2. Vredefort
۳. دیاتومیت نوعی سنگ رسوبی روشن رنگ با ترکیب سیلیسی است که عمدتاً از پوستهٔ سیلیسی دیاتومه‌ها (نوعی گیاه تک‌سلولی) تشکیل شده است.
4. Chicxulub
5. Yucatan
6. Barringer Meteor Crater
۷. TNT: تری نیترو تولوئن، نوعی جامد بلوری با رنگ زرد کم‌رنگ با نقطه‌ی ذوب ۸۲ درجه‌ی سانتی‌گراد که قدرت انفجاری زیادی دارد.

منابع

1. French, B.M. (1998). Tracers of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in terrestrialMeteorite Impact Structures: LPI Contribution. No. 954.
Lunar and Planetary Institute. Houston. 120.pp.
2. Price, N.J. (2001). Major Impacts and Plate Tectonics. Routledge. London. 416.pp.
3. Jones, A.P.; Price,G.D; Price, N.J.; DeCarli, P.S. & Clegg, R.A. (2002). Impact induced melting and the development of large igneous provinces. EPSL. No.202. 551-561.pp.