شهاب سنگها و راز دهانه‌های ماه

دکتر علی درویش‌زاده

مقدمه

در سطح ماه نه آب وجود دارد و نه هوا، بنابراین، کلیه حوادثی که از بدو تولد ماه در سطح آن اتفاق افتاده دست نخورده باقی مانده است. با مطالعه آنها می‌توان به تاریخچه و نوع حوادث پی برد و از آن در مورد زمین و منظومه شمسی استفاده کرد. در مأموریت‌های مختلف فضایی، عکس برداری‌ها و نمونه‌برداری‌هایی از سطح ماه انجام شد که با مطالعه دقیق آنها، محققین توانستند به انواع سنگهای ماه، سن و ترکیب آنها پی برده و با توجه به شکل و ابعاد دهانه‌هایی که بر سطح ماه در نتیجه برخورد شهاب سنگها بوجود آمده، نظریه اشمیت درباره منشأ منظومه شمسی مورد حمایت قرار گرفت. در عین حال ثابت گردید که در بدو تشکیل منظومه شمسی تعداد برخوردها بر سطح ماه زیاد و ابعاد قطعات بسیار بزرگ بوده و تدریجاً از تعداد و اندازه آنها کاسته شده است از این موضوع درباره منشأ شهاب سنگها نیز استفاده شد و آن نیز مورد تجدید نظر قرار گرفت

مختصری از سنگهای سازنده ماه

گالیله فیزیک‌دان و منجم معروف ایتالیائی وقتی با تلسکوپ زمان خود (۱۵۶۴ ـ ۱۶۴۲ میلادی) به سطح ماه نظاره می‌کرد دو منطقه متفاوت در آن تشخیص داد:

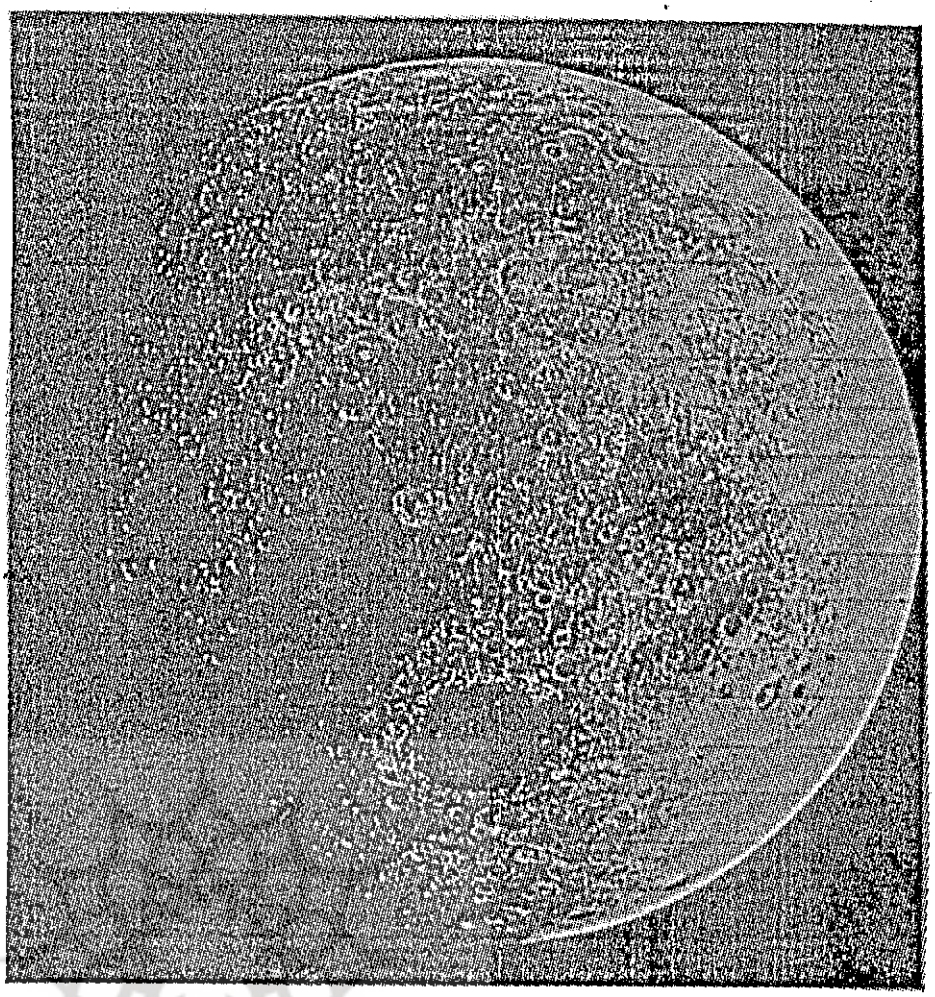
ـ یک منطقه مرتفع، ناهموار و به رنگ روشن که وی آن را ترا (Terra) (به معنی زمین) نامید

ـ یک منطقه تیره، هموار که وی آن را ماریا (Maria) یا دریاهای ماه نامید

امروزه می‌دانیم که در سطح ماه آب وجود ندارد و دریاهای گالیله، گدازه‌های منجمد شده‌ای از بازالت که به آن بازالت مار Mar (مشتق شده از کلمه ماریا) می‌گویند. بازالت مزبور تا اندازه‌ای با بازالت زمین شباهت داشته و سن نمونه‌هایی از آن که در مأموریت‌های فضایی به زمین آورده شد. بین ۳/۱۶ تا ۳/۹۶ میلیارد سال بدست آمده است.

باز الت‌های مار بسیار سیال و تقریباً فاقد مواد فرار است به نظر می‌رسد که این باز الت از ذوب بخشی سنگهای اولترا باز یک واقع در اعماق ۱۵۰ تا ۴۵۰ کیلومتری از سطح زیرین ماه بوجود آمده‌اند (میدل موست ۱۹۸۷).

ماریاهای ماه، به وسیله سرزمین‌های مرتفع یا ترا احاطه شده‌اند که در آن پستی و بلندی‌ها فراوان بوده و در عین حال مملو از دهانه‌های بیشمار است. سن سنگهای این منطقه بیش از ۴ میلیارد سال بدست آمده و بر اثر برخورد و اصابت با شهاب سنگهای متعدد به شدت در هم ریخته است. قطر بعضی از این دهانه‌ها بسیار



شکل ۱ ــ منظره از سطح ماه که در مأموریت‌های آپولو از آن به تصویر کشیده شد. مناطق تیره و مدور ماریاهای ماه را نشان می‌دهد.

بزرگ است مانند دهانه کلوزیوس که در حدود ۲۰۰ کیلومتر قطر دارد و دهانه کوپرنیک که ۹۰ کیلومتر قطر دارد. ضمناً دهانه‌هایی به قطر چند متر تا ۶۰ کیلومتر در سطح ماه بسیار زیاد است. به علت عدم وجود هوا و آب، دهانه‌های سطح ماه از ابتدای پیدایش ماه تا به امروز پابرجا مانده و فقط در نتیجه برخوردهای پی در پی در شکل آنها تغییراتی پدید آمده است. بیش از ۶۰ درصد سنگهای موجود در سرزمین‌های مرتفع، از نوع برشی بوده و ۴۰ درصد بقیه هم از انجماد مواد مذاب بوجود آمده‌اند که اکثراً در نتیجه برخورد شهاب سنگها (متئوریت‌ها) با سطح ماه و به علت گرمای ناشی از برخورد، به مایع مذاب تبدیل شده‌اند. سن این قبیل بازالتها ۳/۹ تا ۴ میلیارد سال بدست آمده و بنابراین در آخرین مرحله بمباران شهاب سنگهای بزرگ بوجود آمده‌اند.

ولی آنچه که سنگهای روشن ماه یا آنورتوزیت ماه نامیده می‌شود محتملاً در مرحله آغازی در ۴/۵ میلیارد سال قبل بوجود آمده و در این زمان سطح ماه از اقیانوس ماگمایی پوشیده بود. با سرد شدن و تبلور بخشی آن، پوسته‌ای غنی از پلاژیوکلاز (۴/۴ میلیارد سال قبل) در آن بوجود آمد که به علت سبکی در تراز فوقانی قرار گرفت. به این ترتیب سنگهای مهم ارتفاعات ماه بوجود آمد (۴/۰۵ تا ۴/۵ میلیارد سال قبل). جدایش بلورها ادامه یافت و از مقدار مایع مذاب باقیمانده تدریجاً کاسته شد و چون بعضی از عناصر شیمیایی مانند پتاسیم، فسفر، و خاکهای نادر نتوانستند در ساختمان پلاژیوکلاز و یا در بلورهای اولیوین و پیروکسن متمرکز شوند لذا مقدار آنها در مایع باقیمانده زیرین رفته رفته زیادتر شد و به این ترتیب در زیر آنورتوزیت‌ها، سنگهای استثنایی کریپ (KREEP یعنی سنگهای غنی از پتاسیم، عناصر خاکهای نادر و فسفر که مخفف کلمه کریپ است) به سن ۴/۴ میلیارد سال بوجود آمد. تمام پدیده‌های فوق باید در ۴/۳ میلیارد سال قبل، به اتمام رسیده باشد.

از این زمان، ماه حالت خمیری داشته و امکان تفریق زیادتر در آن فراهم نبوده است. در عین حال سطح آن در معرض برخورد و اصابت سنگهای آسمانی قرار داشت و در نتیجه دهانه‌هایی با ابعاد متفاوت در آن بوجود آمد. با برخورد شهاب سنگ‌های بزرگ، درجه حرارت درونی ماه زیادتر شد و ذوب بخشی به وقوع پیوست و به این ترتیب در محل برخورد، مواد مذاب به سطح ماه رسید و با توجه به سیالیت زیاد آنها و وفور مواد مذاب، گودیها پر شد و «دریاهای» ماه بوجود آمد. علت اختلاف سن بازالتهای ماه هم مربوط به برخورد آنها در زمان‌های متفاوت است. به نظر می‌رسد که از ۳/۲ میلیارد سال قبل، ماه به صورت سیاره‌ای مرده درآمد و تنها با برخورد سنگهای آسمانی بر سطح آن و شاید سفر فضانوردان، آرامش و سکون سطح آن برهم خورده است.

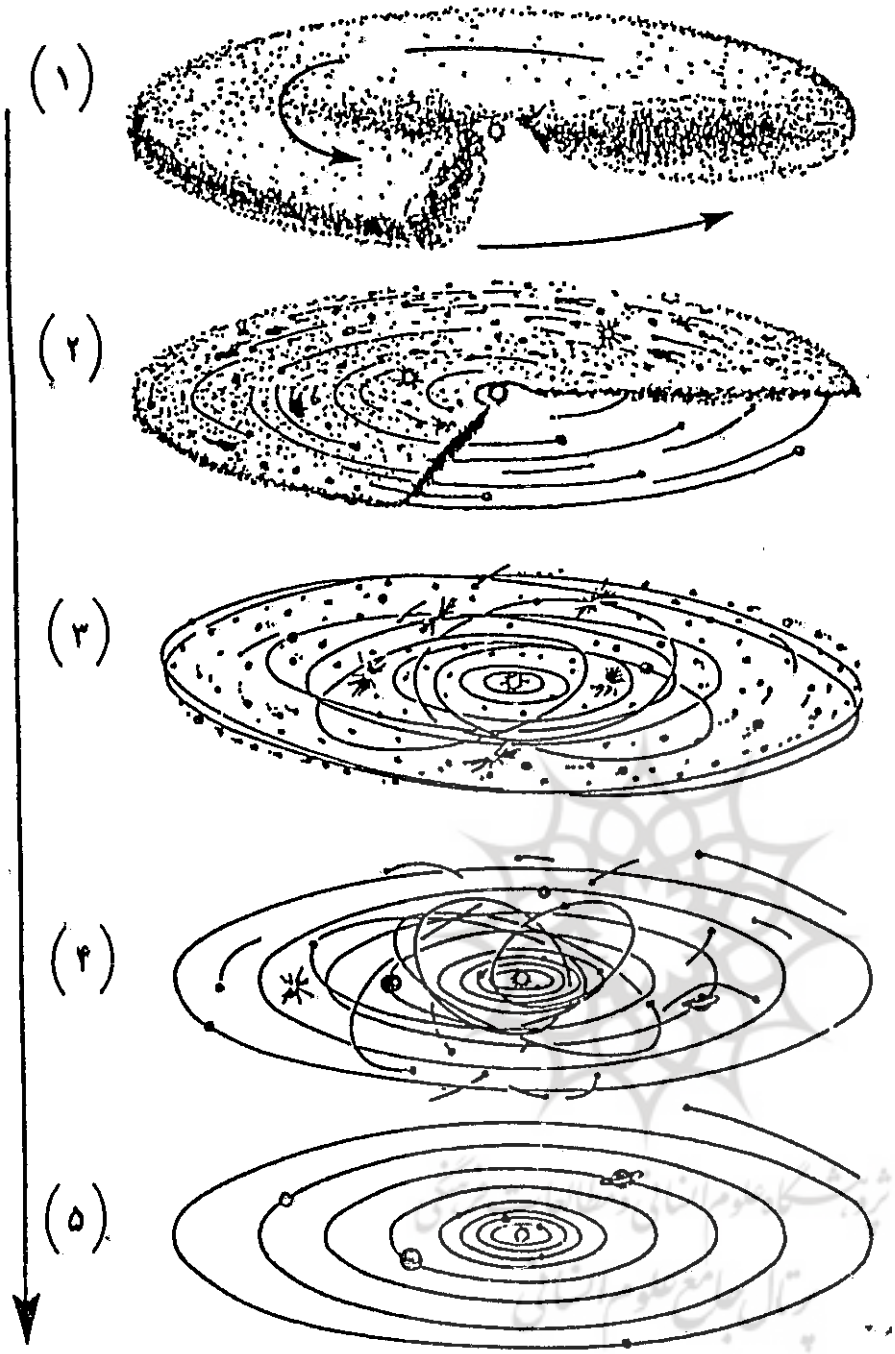
نظریه تجمع و بهم آمدن ذرات

تا قبل از اکتشافات فضایی و پیاده شدن انسان بر سطح ماه، غربی‌ها فرضیه محققین روسی را درباره منشأ سیارات منظومه شمسی

با دیده تحقیر می‌نگریستند و فرضیه اشمیت (O.y. Schmidt) را که در سال ۱۹۴۴ عرضه شده بود قبول نداشتند. ولی پس از بررسی سنگهای ماه و تعیین سن آنها و مطالعه دقیق دهانه‌هایی که در سطح ماه پراکنده است و سرانجام تعیین سن تشعشعی بعضی از سنگهای آسمانی، فرضیه پیدایش سیارات منظومه شمسی مورد تجدید نظر قرار گرفت.

فرضیه‌ای که تا چندی قبل مورد قبول منجّمین و فیزیکدانان معروف مانند لاپلاس و کانت بود فرضیه تجمع و بهم آمدن (Accretion) اجسام براثر نیروی جاذبه است که به موجب آن با سرد شدن تدریجی، بعضی از مناطق ابر گازی شکل اولیه، به صورت غبار متراکم و فشرده درآمد و به کمک نیروی جاذبه بین ذره‌ای، ماده مزبور، سریعاً به توده‌ای فشرده تبدیل شد. به عقیده محققین، تشکیل سیارات امری تصادفی و در مدت زمان کوتاه انجام شد. ولی تجسم اینکه یک سیستم اولیه به طور تصادفی بوجود آید و بعد به صورت یک منظومه سیاره‌ای که از تمام قوانین مکانیک نیوتنی تبعیت نماید بسیار مشکل است.

در سال ۱۹۴۰، از پشت پرده آهنین، که از نظر علمی با دنیای خارج جدا بود محققین روسی به رهبری اشمیت سناریوی دیگری طرح ریزی کردند. به نظر اشمیت، یکی از نکات اساسی دینامیک در منظومه شمسی، وجود مسیرهای تقریباً دایره‌ای است که تمام سیارات در حول خورشید به حرکت خود ادامه می‌دهند. اگر سیارات براثر ریزش‌های جاذبه‌ای بوجود آمده باشند حرکت و جابجایی آنها باید در مسیرهای بیضوی دلخواه انجام می‌شد. بنابراین سیارات اولیه در حول مدارهای بیضوی با مسیرهای متفاوت و در جهات مختلف در حرکت بوده‌اند به نظر اشمیت، تنها طریقی که مسیرهای تقریباً دایره‌ای بوجود می‌آید آنست که به تدریج میانگینی از مسیرهای بیضوی دلخواه انجام می‌شود. (شکل ۲). با این ترتیب اشمیت و



شکل ۲ ــ در این شکل مراحل تکوین سیارات خلاصه شده است. تصور می‌شود که مرحله اول تا چهارم ۵ تا ۱۰ میلیون سال و از مرحله چهارم تا پنجم نیز ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون سال طول کشیده است.

شاگردانش لوین (Levin) و سافر ولف «۱۹۶۹» فرضیه ریاضی تجمع تدریجی ذرات را توسعه دادند. در این نظریه فرض براینست که ابتدا با برخورد ذرات جامد گلوله‌های کوچکی بوجود می‌آید. از برخورد گلوله‌های مزبور تیله‌های بزرگتر تشکیل شد، و بالاخره، تیله‌ها در تشکیل گلوله‌های بزرگ بکار رفته و این عمل ادامه یافته است (شکل۳) با گسترش و

توسعه فرآیند مزبور، از تعداد گلوله‌ها کاسته می‌گردید و بر تعداد اجسام بزرگ افزوده می‌شد.

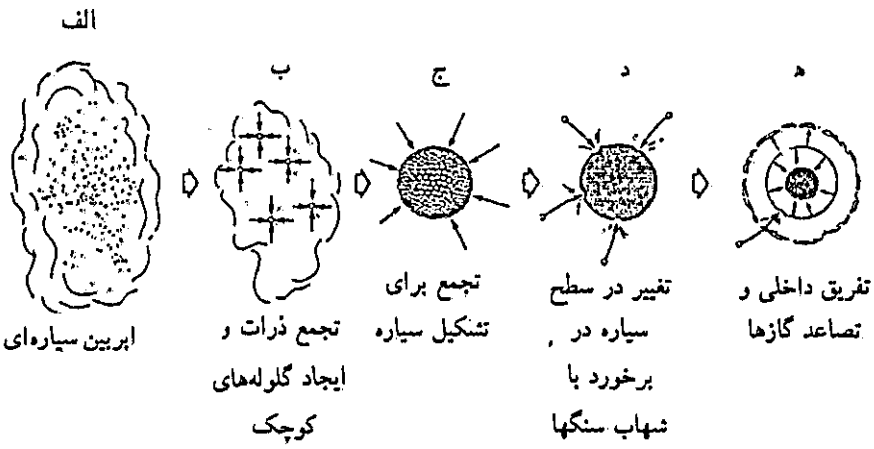
حال باید دید این برخوردها و تجمع چگونه انجام شده است. در منظومه شمسی، تمام اجسام متحرکند و حرکت آنها بر روی مداری بیضوی شکل در حول خورشید انجام می‌شود. هر ماده جامد یا هر سیاره صغار، دارای مسیر خاص و سرعت خاص خود است. هنگامی که دو سیاره صغار به هم می‌رسند ممکن است حالات مختلفی بروز نماید.

ــ اگر آن دو، هم اندازه باشند ممکن است براثر تصادم یکدیگر را پرتاب و هر یک در مسیری جدید قرار گیرد. یا احتمالاً تصادم ممکن است آنقدر شدید باشد که منجر به خرد شدن آنها شود، و در نتیجه هزاران قطعه کوچکتر از آن تولید شود که در فضا به حرکت خود ادامه می‌دهند.

ــ یا ممکن است بهم جوش خورده و گلوله‌ای بزرگتر بوجود آید.

با این ترتیب سیارات صغار اندازه‌های مختلف داشته‌اند. معمولاً کرات بزرگتر بر اثر نیروی جاذبه قطعات کوچکتر را جذب نموده و بدین ترتیب وزن و حجم آن زیادتر می‌شود. سقوط شهاب سنگها بر روی زمین نمونه‌ای از این حالت است. ضمناً این حالات را می‌توان به برخورد گلوله‌های برفی بزرگ مشابه دانست که ممکن است بر اثر تصادم خرد شده و یا بهم جوش خورده و گلوله‌ای عظیم‌تر بوجود آید که در عین حال ضمن حرکت، قطعات حول و حوش خود را جمع می‌کنند.

اصولاً، برای آنکه سیارات شکل کروی داشته باشند باید شعاع آنها از ۱۰۰۰ کیلومتر بیشتر بوده و تا اندازه‌ای حالت پلاستیک داشته باشد تا شکل آن بر اثر دوران‌های متعدد و جاذبه به حالت کروی درآید. در این مورد فوبوس (Fobus) یکی از اقمار مریخ که شعاعی ۱۵ کیلومتر دارد ــ مثال جالبی بشمار می‌رود. این قمر شبیه یک سیب‌زمینی بزرگ



شکل ۳ ــ مراحل تکوین و تشکیل یک سیاره
مرحله الف ــ ابرها و گازهای بین ستاره‌ای
مرحله ب ــ تجمع ذرات کوچک
مرحله ج ــ تجمع و بهم آمدن ذرات برای تشکیل سیاره
مرحله د ــ تغییرات در سطح سیاره براثر برخورد شهاب سنگها
مرحله ه ــ جدایش بخش‌های درونی و تشکیل آتمسفر

است (شکل ۴)، درحالی که ماه با شعاع ۱۷۰۰ کیلومتر به صورت کروی است. آقمار سایر سیارات هم به شکل کروی هستند. لازم به یادآوری است که شعاع میماس (Mimas) و انسلاد (Encelade) قمر زحل در حدود ۲۰۰ کیلومتر است ولی شکل کروی دارند. زیرا قسمت اعظم این دو، از یخ ساخته شده که شکل‌پذیرتر از سنگ است.

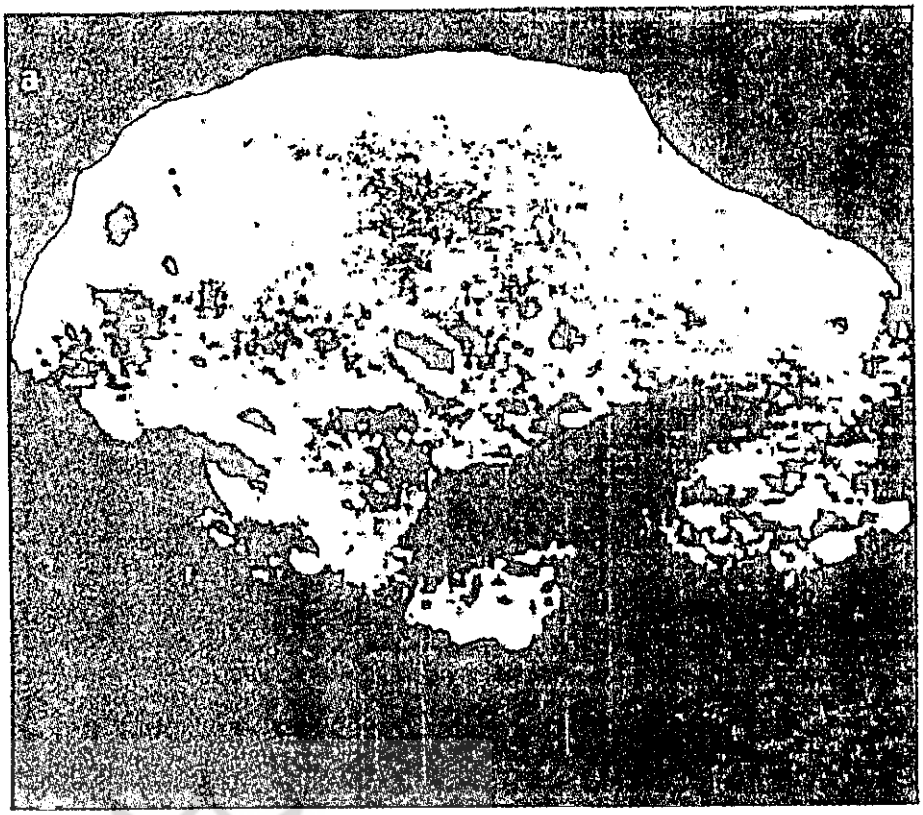
دهانه‌های ماه

اکنون به عقب برمی‌گردیم و لحظه‌ای را بیاد می‌آوریم که آرمسترانگ در ۱۸ ژوئیه ۱۹۶۹ (۲۸ تیرماه ۱۳۴۸) با سفینه مه‌نورد بر سطح ماه فرود آمد. هنگامی که نامبرده پا بر سطح ماه نهاد با منظره غیرمترقبه‌ای روبرو شد یعنی درست مانند آنکه روی زمینی انباشته از غبار راه برود پاهایش در خاک نرم ماه فرو می‌رفت. این خاک متشکل از غبار، خاکستر و قطعات سنگهایی از نوع آتشفشانی بود که «زمین اصلی» ماه را اینجا و آنجا از نظر مخفی می‌داشت. در اطاقک مه‌نورد، کنراد همکار وی با ولع هرچه تمامتر از تمام زوایا و با تمام طول موجهای ممکن از سطح ماه و دوست خود عکسبرداری می‌کرد. سرانجام با پایان ماموریت این فضانوردان حقایق زیر آشکار شد:

الف ــ در سطح ماه دهانه‌های اصابتی بسیار زیادی وجود دارد که قطر اکثرشان از چند متر تا ۶۰ کیلومتر در تغییر است.

ب ــ در محل برخورد و اصابت «زمین اصلی» ماه، متلاشی شده و بجای آن قطعات سنگی و غبارهایی از مواد آتشفشانی رویهم انباشته بود.

مطالعه دهانه‌ها با حوصله و دقت زیاد دنبال شد. نتایج حاصل اعجاب‌انگیز بود. درواقع تمام دهانه‌ها، ساختمانی یکنواخت داشته یعنی شامل یک برآمدگی حلقه مانند در اطراف و گودالی مملو از قطعه سنگ در داخل آن بوده



شکل ۴ ــ فوبوس، یکی از اقمار مریخ که شبیه سیب‌زمینی بزرگ بوده و در آن دهانه‌های زیادی وجود دارد.

است. بعلاوه در مرکز آن تپه کوچکی وجود دارد (شکل ۵). در اطراف دهانه یعنی کمی دورتر از محل اصابت، قشری از قطعات سنگی در حد شن و ماسه و غبار با ضخامت متفاوت روی «زمین اصلی» گسترده شده‌اند ولی میان گسترش و ضخامت این قشرها در دهانه‌های مختلف متفاوت است و بستگی به قطر دهانه یعنی عظمت شهاب سنگ داشته است. هرگاه دو یا چنددهانه در کنار هم باشند. با توجه به نحوه پراکندگی سنگها و شکل دهانه می‌توان تقدّم و تأخّر تشکیل هریک را تعیین کرد (شکل ۶ الف). ضمناً می‌توان تجسم نمود که در بعضی از این دهانه‌های مجاور هم، لایه‌هایی از مواد فوق بر روی هم قرار گیرند و به این ترتیب به ازاء اصابت‌های مختلف، توالی‌ای ازچینه‌هابوجود می‌آید(شکل۶ ــ ب).

با شمارش دهانه‌ها و تهیه آمارهای مختلف ثابت شده است که:

اوّلاً: تعداد دهانه‌های کوچکتر، به مراتب زیادتر از دهانه‌های بزرگتر است.

ثانیاً: به ازاء هر دهانه بزرگ، هزاران دهانه کوچک وابسته به آن وجود دارد.

در آزمایشگاه، دوباره نحوه تشکیل دهانه‌ها، در مدلهای کوچکتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای این کار در مساحتی مسطح، مواد مختلف شبیه به خاک و سنگ ماه روی هم انباشته نمودند. سپس گلوله‌هایی با سرعت مختلف بر سطح مزبور شلیک کردند. در این عمل دهانه‌هایی بوجود آمد که شکل و قطر دهانه‌ها تابع وزن و سرعت گلوله بود. گلت (Gault) از مرکز تحقیقات ناسا (N.A.S.A) به نتایج بسیار جالبی دست یافت. با استفاده از نتایج گلت، نحوه تشکیل دهانه‌های سطح ماه مورد بررسی مجدد قرار گرفت:

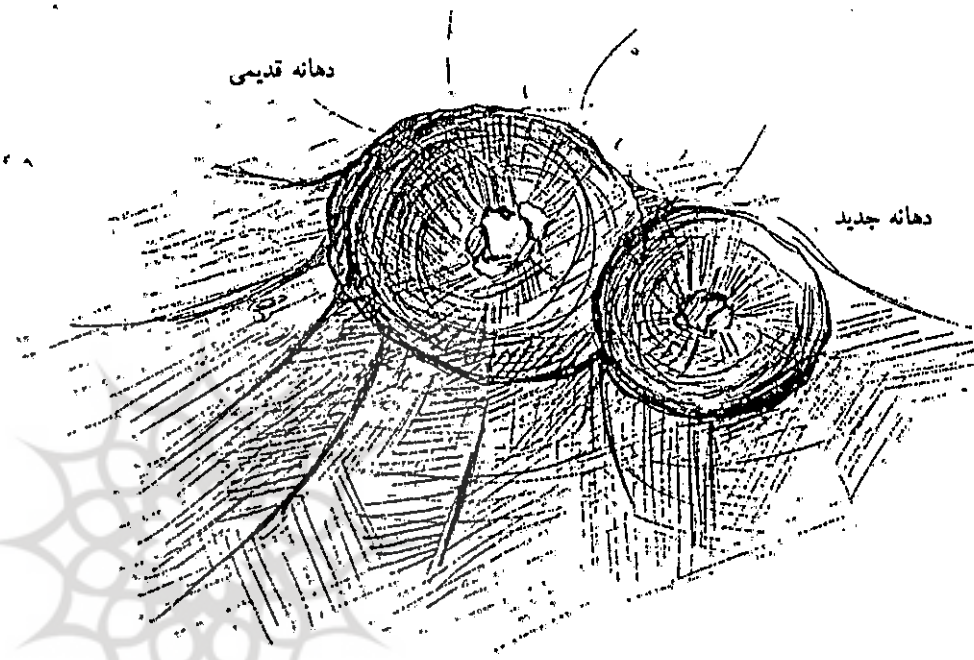
یکی از نتایج جالب، تعداد دهانه در واحد سطح بود. در شرایط یکسان، هرقدر تعداد دهانه در یک منطقه بیشتر باشد آن محل تحت بمباران زیادتری بوده و لذا از نظر سنی قدیم‌تر است زیرا زودتر، تحت بمباران قرار داشته است. به این ترتیب و به کمک این روش، سن نسبی بخش‌های مختلف تعیین شد و داده‌های سن مطلق نیز مشاهدات فوق را در نمونه‌های ماه تأئید کرد.

مطابق شکل (۷)، هرگاه، تعداد دهانه‌ها را برحسب سن مطلق نمونه‌ها ترسیم نمائیم ثابت می‌شود که میزان سقوط و بمباران از ۴/۵ میلیارد سال تا به امروز به نحو بارزی کاهش یافته است. در ارتفاعات ماه، تعداد دهانه‌ها بیشتر و بی‌نظمی حاصل از برخورد زیادتر از «دریاهای» ماه است مفهوم این نکته آنست که ارتفاعات ماه ابتدا وجود داشته و دهانه‌ها بعداً روی آن بوجود آمده و ضمناً «دریاهای» ماه جوان‌تر از کوههای ماه است که داده‌های سن مطلق این مطلب را به اثبات می‌رساند.

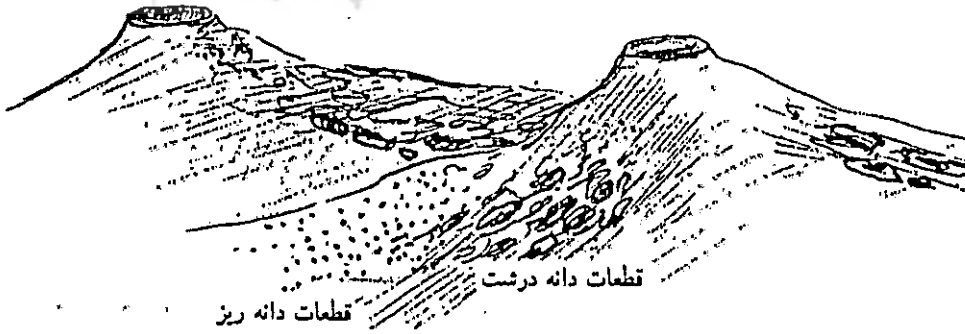
ضمناً کاهش تعداد دهانه‌ها از ۴/۵ میلیارد سال به اینطرف و مخصوصاً با توجه به شکل ۷، از سه میلیارد سال تاکنون (که یکی از نتایج اصلی اکتشافات و نمونه‌برداری از ماه است) ثابت می‌نماید که پدیده برخورد و تجمع در ۴/۵ میلیارد سال قبل به اوج خود بود سپس به سرعت از تعداد آن کاسته شد. دلیل امر، مسلماً تنها به کاهش گلوله‌ها (قطعات پرتابی) در ارتباط است. با توضیحات فوق می‌توان چنین

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۵ ــ طرح کلی یک دهانه اصابتی



شکل ۶ الف ــ دو دهانه اصابتی چسبیده به هم.
با توجه به شکل فوق می‌توان سن نسبی هریک از دهانه‌ها را تخمین زد. مسلماً دهانه سمت چپ قدیم‌تر از دهانه سمت راست است، که تعیین سن مطلق نمونه‌های هریک از دهانه‌ها این مسئله را تأئید می‌کند.



شکل ۶ ب ــ توالی چینه‌ای از برخورد دو سنگ‌های آسمانی با سطح ماه ــ در جهت قائم و افقی اندازه قطعات متفاوت است.

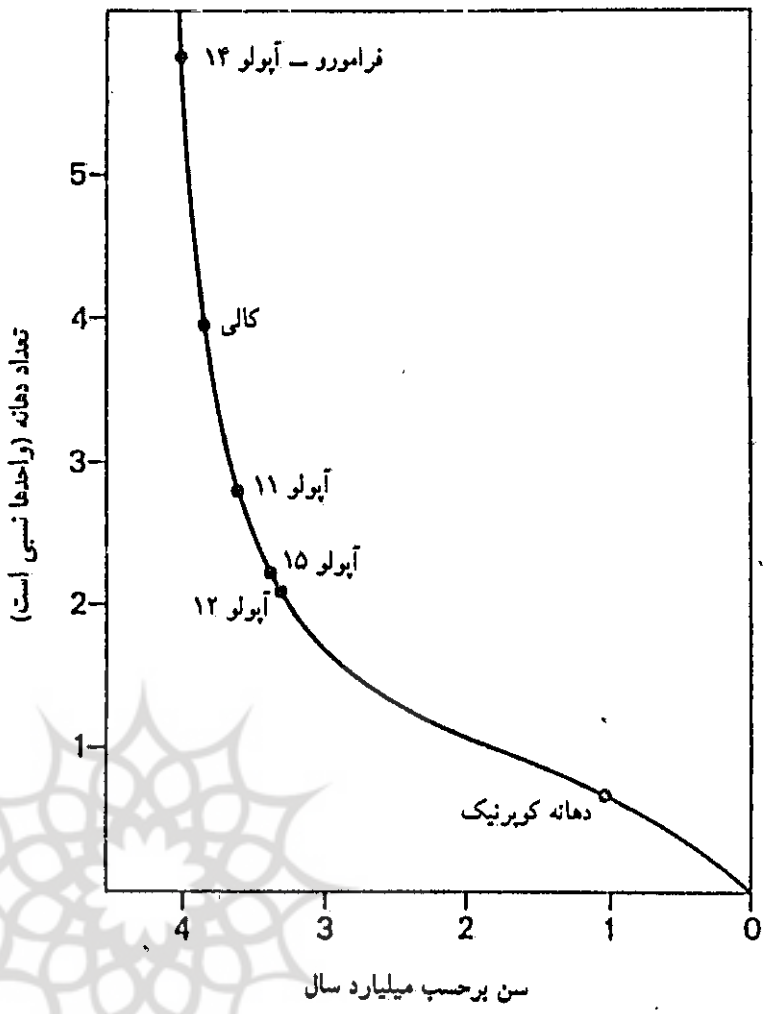
پنداشت که پرتاب و بمباران شدید بر سطح ماه در ۴/۵ میلیارد سال پیش مربوط به زمانی است که سیارات شکل می‌گرفته‌اند.

ضمناً رابطه‌ای بین قطر دهانه‌ها و فراوانی آنها وجود دارد و ثابت می‌شود که در زمان‌های اولیه اصابت و برخوردهای عظیم اتفاق افتاده است. زیرا با دقت در شکل «دریاهای» ماه ــ که بعضی شکل مدور و بعضی در داخل یکدیگرند ــ ثابت می‌شود که بعضی از دریاهای ماه بر اثر اصابت قطعات عظیمی که مثلاً در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر قطر داشته‌اند بوجود آمده است. با بهره‌گیری از معادلات مکانیک و استفاده از کامپیوتر، نتیجه گرفته‌اند، که «گلوله‌های» مولّد این گودالها، در حدود ۱۰۰ کیلومتر قطر داشته و مقدار ماده‌ای که بر اثر این برخورد جابجا شده در حدود 10^{23} گرم یعنی تقریباً معادل وزن پوسته قاره امریکای شمالی بوده است. با این قبیل برخورد، گرمای زیاد تولید شد و سبب ذوب مواد درون ماه گردید که نتیجه آن تشکیل ماگمای بازالتی است که با بیرون‌ریزی آن، کف گودالها از مواد آتشفشانی بازالتی پر شد و «دریاهای»ماه پدید آمد. میزان گرمای حاصل از برخورد نیز به اندازه، سرعت برخورد و نوع سنگها بستگی دارد.

دهانه‌های ماه و نظریه اشمیت

توضیحات و استدلال فوق برمبنای گزارشاتی بود که گروههای مختلف فضانوردان با خود به ارمغان آورده بودند و تا اینجا، ظاهراً ارتباطی با نظریه اشمیت نداشت. جرج ودریل (G.wetherill ــ ۱۹۷۶) با شایستگی هرچه تمامتر توضیحات و استدلال فوق را با فرضیه تشکیل سیارات اشمیت که بنام فرضیه تجمع و بهم آمدن ناشی از برخورد موسوم است منطبق ساخت. به نظر ودریل، اندازه قطعات و تعداد تصادم متئوریتها با سطح ماه از ۴/۵ میلیارد سال تا به امروز تدریجاً کاهش یافت و آنچه که امروز اتفاق می‌افتد

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۷ ــ هرقدر تعداد دهانه‌ها در سطح ماه بیشتر باشد سن آن قسمت زیادتر است. قطر بعضی از دهانه ممکن است به ۱۰۰ کیلومتر برسد. در این حالت می‌توان اندازه قطعه مشوریت را برابر یک قاره زمینی درنظر داشت (الگر ۱۹۸۵).

پایان یا دنباله پدیده بهم آمدن و تجمع ذرات است. با استدلال ودرریل، بزودی توجه همگان به نظریه اشمیت جلب شد و رفته رفته مورد قبول قرار گرفت و حتی به کمک کامپیوتر و صرف وقت زیاد و مطالعه برخورد گلوله‌های برف در شرایط مختلف، فرضیه اشمیت تکمیل شد کاری که هیچگاه به فکر اشمیت هم خطور نمی‌کرد. با توجه به جو حاکم در دو بلوک شرق و غرب، فرضیه‌ای که بوسیله روسها ابراز شده بود از جانب غربی‌ها، از جهات مختلف دقیقاً موشکافی شد و برای این کار، طول مدت پدیده فوق، تعداد سیارات، درجه حرارت اجسام مولد سیارات، شرایط تجمع و بهم آمدن بارها و بارها به کامپیوتر داده شد و سرانجام ثابت گردید که عبور از مرحله غبار به اجسامی که یک کیلومتر قطر داشته‌اند چندان مشکل نبوده و در شرایط منظومه شمسی اولیه، این عمل در حدود یک تا ۱۰ میلیون سال طول کشیده است (الگر ۱۹۸۳). درعوض برای عبور از این مرحله تا مرحله تشکیل سیاره، مرحله‌ای سخت و طولانی وجود داشت که زمان لازم برای انجام آن ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون سال بوده است.

سرانجام باید عمل گازها در فرآیند تجمع و بهم آمدن را به عنوان یک عامل مکمل مورد توجه قرار دهیم. این گازها که اصولاً از آنها تحت عنوان مواد فرار گفتگو می‌شود در فرآیند مذکور، مخصوصاً در مراحل اولیه تجمع نقش بزرگی به عهده داشته و مانند ترمزهایی، سرعت تصادم را کند می‌کردند و در عین حال ذرات کوچک، بر اثر برخورد با گاز، ضمن کاهش سرعت خود، گرم‌تر می‌شوند.

با طرح مسائل فوق اکنون می‌توان به سؤالات زیر جواب داد

س ۱ ــ چرا و چگونه حرکت سیارات به دور خورشید از نظم خاصی پیروی می‌کند؟

ج ۱ ــ اولاً حرکت ذرات اولیه در یک جهت، در حول مرکز بوده است و ثانیاً، حرکت آن دسته از ذرات جامد که مسیری دلخواه داشته‌اند مسلماً امکان برخورد بیشتر داشته و پس از برخورد با ذرات دیگر با مسیر حرکت آنها تصحیح شد و یا متلاشی گردیدند.

س ۲ ــ اگر نظریه تجمع و بهم آمدن ذرات در پیدایش منظومه شمسی مورد قبول باشد چرا ترکیب شیمیائی سیارات این منظومه نسبت به هم متفاوت است؟

ج ۲ ــ چنانکه گفته شد مواد سبک وزن غبار و گاز اولیه که خود حول مرکزی در حرکت بود با توجه به دما و وزن حجمی مواد، تفریق و تفکیک انجام گردید به نحوی که عناصر سنگین در مرکز و عناصر سبکتر به

خارج متمایل گردید. مسلماً هرگاه ذرات نزدیک به هم تجمع یابد ترکیب شیمیائی کرات واقع در محلهای مختلف فعلی با هم متفاوت خواهد بود.

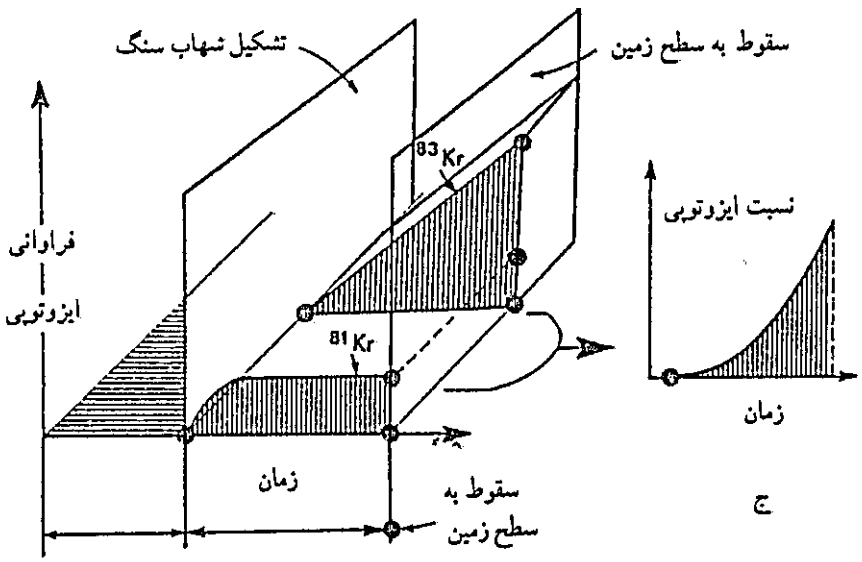
س ۳ــ چرا تعداد سقوط متئوریتها در مراحل اولیه تشکیل و تکوین منظومه شمسی زیادتر از امروز بوده است؟

ج ۳ــ اوّلاً تعداد قطعات پراکنده در فضای منظومه شمسی اولیه بسیار زیاد بوده است ثانیاً، مسیر حرکت قطعات اولیه از نظم واحدی پیروی نمی‌کرده و این خود باعث تشدید برخوردها گردید و با تنظیم مسیر حرکت از تعداد برخوردها کاسته شد ثالثاً، با برخورد و تجمع ذرات از تعداد آنها کاسته و فاصله بین آنها بیشتر گردید و در نتیجه امکان برخورد کمتر شد.

قطعه قطعه شدن و منشأ شهاب سنگها

ما تاکنون از پدیده تجمع و بهم آمدن ذرات سماوی صحبت کرده‌ایم ولی وقتی با دوربینهای نجومی به فاصله بین مریخ و مشتری نظاره کنیم هزاران هزار قطعه سنگ می‌بینیم که با جنس، شکل و ابعاد مختلف در مسیر بیضوی شکل (مانند سایر سیارات) به دور خورشید در حرکت‌اند. این قطعات را آستروئید (شبه سیارات) و مسیر حرکت آنها را کمربند شبه سیارات می‌گویند. درباره نحوه تشکیل آنها از فرضیه انهدام و قطعه قطعه شدن استفاده می‌شود که خلاصه‌ای از آن ذیلاً شرح داده می‌شود:

در فضای کیهانی، جریانی از ذرات با انرژی بسیار زیاد برقرار است که فراوان‌ترین و پرانرژی‌ترین آنها، ذرات پروتون است. اگرچه تاکنون در مورد منشأ آنها، عقیده واحدی ابراز نشده است ولی همگان قبول کرده‌اند که این ذرات از منظومه شمسی نشأت نمی‌گیرند لذا آنها را تحت عنوان R.C.G که مخفف کلمات تشعشعات کیهانی ــ کهکشانی است (Rayonement Cosmique - galactique)



شکل ۸ــ در این شکل می‌توان به نحوه تعیین سن تشعشع (مدت زمانی که نمونه به صورت مستقل و منفرد در معرض بمباران‌های کیهانی قرار داشته) پی برد. در قسمت الف دیاگرام، متئوریت در داخل سیاره وجود دارد.
در قسمت ب دیاگرام، فرض کرده‌ایم که متئوریت مزبور به صورت قطعه‌ای در معرض تشعشعات کیهانی قرار داشته است. در این حالت کریپتون ۸۱ (^{81}Kr) را ملاحظه می‌کنیم که بر اثر تشعشعات کیهانی بوجود می‌آید و خود عنصری رادیواکتیو است که بعد از یک دوره افزایش، مقدار آن، طبق شکل مزبور، بر حسب زمان تغییر نمی‌کند (یعنی به حالت تعادل نسبی می‌رسد). کریپتون ۸۳ (^{83}Kr) نیز بر اثر تشعشعات کیهانی بوجود می‌آید و چون این عنصر رادیو اکتیو نیست تا مادامی که در معرض تشعشعات کیهانی باشد مقدار آن افزایش می‌یابد. بنابراین نسبت $^{81}kr/^{83}kr$ به مرور زمان افزایش می‌یابد (دیاگرام ج). با تعیین نسبت مزبور می‌توان، مدت زمانی که نمونه به صورت متئوریت در معرض بمباران کیهانی ــ کهکشانی قرار داشت پی برد.

نامیده‌اند. در عین حال خاطرنشان می‌کنیم ذرات کم انرژی‌تری هم از خورشید ساطع می‌شود که مورد بحث ما نیست.

پروتون‌هایی که انرژی زیاد داشته باشند در ماده نفوذ می‌کنند و موجب واکنش‌های هسته‌ای می‌شوند و در نتیجه ماهیت بعضی عناصر آن را تغییر می‌دهند. معذالک این نفوذ در ماده عمق چندانی ندارد و به قول الگر ۱۹۸۵، مقدار آن از چند دسیمتر تجاوز نمی‌کند. بنابراین یک سنگ سرگردان و منفرد در کیهان، تحت تأثیر این جریان کیهانی قرار می‌گیرد ولی سنگهای درون یک سیاره در

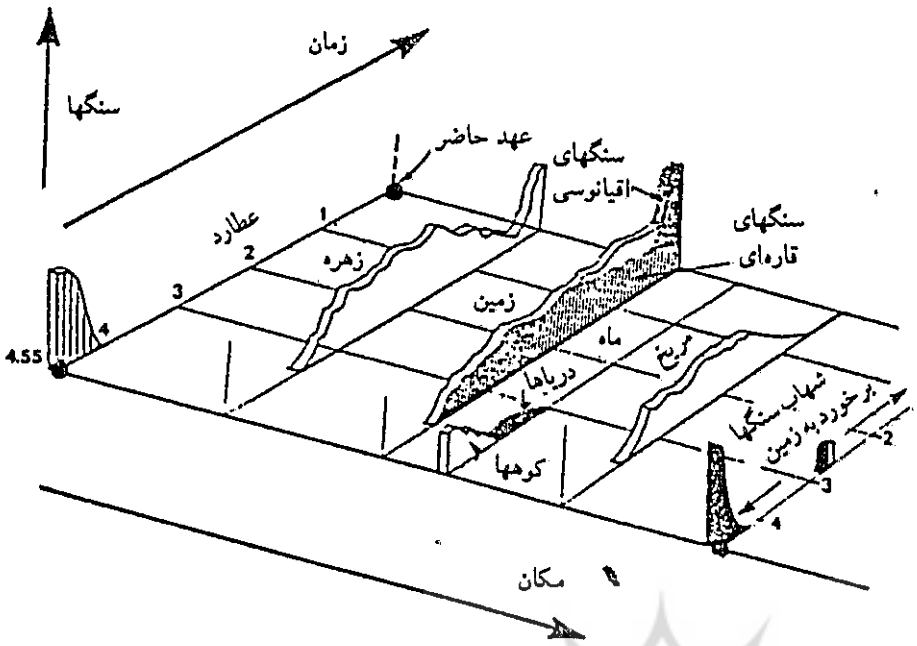
مقابل این تشعشع در امان است.

بنابراین، اگر عکس قضیه مورد توجه قرار گیرد می‌توان به این نتیجه رسید «اگر در یک سنگ، ترکیبات ایزوتوپی بسیار غیرعادی باشد آن سنگ در کیهان به طور منفرد سرگردان بوده و تحت تأثیر تشعشعات کیهانی ــ کهکشانی فوق قرار داشته است». مطالعه ایزوتوپی متئوریت‌ها نشان داده است که ترکیبات ایزوتوپی بعضی از عناصر آن حالتی بسیار غیرعادی دارد. این موضوع راهنمای خوبی است تا متئوریت بودن یک سنگ را که در سطح زمین پیدا می‌کنیم ــ با قاطعیت ارزیابی کنیم (آلگر ۱۹۸۵).

در این مورد خاطرنشان می‌کنیم که ترکیبات ایزوتوپی کلسیم یا پتاسیم در متئوریتهای آهنی، حالتی کاملاً غیرعادی دارد. این دو عنصر غیرعادی از واکنش‌های هسته‌ای ساده‌ای نتیجه شده‌اند. ضمناً می‌دانیم که هر قدر زمان تشعشع طولانی‌تر باشد ایزوتوپهای غیرعادی بیشتری تشکیل می‌شود. بنابراین، با اندازه‌گیری میزان ایزوتوپ‌های غیرعادی، می‌توان مدت زمانی را که نمونه تحت تأثیر تشعشع کیهانی بوده بدست آورد. این زمان را سن تشعشعی (âgeirradiation) می‌گویند و به کمک آن توانسته‌اند سن قطعه قطعه شدن متئوریت‌ها را تعیین کنند. یعنی زمانی که نمونه به صورت یک سنگ مستقل و آزاد وجود داشته است (شکل ۸). نتایج حاصل از تعیین سن تشعشعی متئوریت‌ها بسیار جالب توجه است. در متئوریت‌های سنگی (از نوع کندریت یا آکندریت) سن تشعشعی، بین ۲۰ تا ۱۵۰ میلیون سال بدست می‌آید ولی در مورد متئوریت‌های آهنی سن مزبور بین ۵۰ تا ۲۰۰۰ میلیون سال در نوسان است. ضمناً می‌دانیم که سن تشکیل متئوریت‌ها ۴/۵ میلیارد سال قبل بوده و سن قطعه قطعه شدن، بعد از تجمع و تشکیل اتفاق افتاده است و چون سن تشعشعی بسیار متفاوت است لذا باید نتیجه گرفت که قطعه قطعه شدن سیاره مادر، بدون انقطاع از چند میلیارد سال انجام شده است که خود جزیی از حوادث عادی حیات پرتکاپوی آستروئیدها به شمار می‌آید.

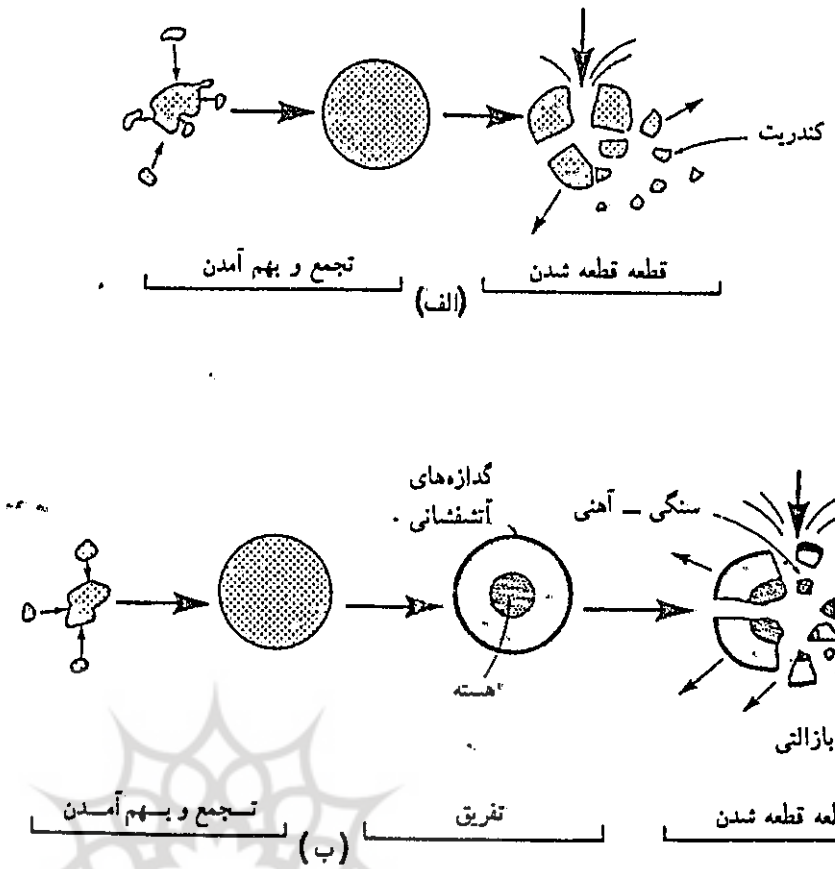
و اما چرا سن تشعشعی متئوریت‌های آهنی زیادتر از انواع سنگی است. آلگر (۱۹۸۵)، این مسئله را به سختی و استحکام متئوریت‌های آهنی در ارتباط می‌داند و معتقد است که متئوریت‌های سنگی و بخصوص نوع کندریتی، بسیار ظریف و شکننده بوده و بلافاصله پس از تشکیل به صورت قطعات بسیار کوچک در آمده‌اند. به همین دلیل سن تشعشعی آنها کمتر از انواع آهنی‌ها است (شکل ۱۰).

حال به بازسازی حوادثی که منجر به تشکیل سنگهای آسمانی گردید صحبت می‌کنیم. ابتدا به حوادثی که در ۴/۵ میلیارد سال قبل اتفاق افتاد اشاره می‌کنیم. در این مرحله، در نقاط مختلف منظومه شمسی، اجسام سیاره‌ای تجمع حاصل کردند. در محل کمربند شبه سیارات هم، اجسام سیاره‌ای بسیار زیاد شروع به تجمع کردند. بعضی که از تجمع مواد ابتدایی بوجود آمدند ابعاد متوسطی بدست



شکل ۹ ــ در این شکل سه بعدی، مراحل تکوین و تاریخچه «زمین شناسی» بعضی از سیارات منظومه شمسی شهاب سنگ‌ها دیده می‌شود. سن تشکیل سنگهای هر سیاره و اقسام سنگهای ماه هم در این شکل ملاحظه می‌کنیم. در مورد شهاب سنگها، یک سن تشکیل سیاره آنها (۴/۵۵ میلیارد سال) و یک سن متئوریتی در آنها منظور شده است. شکل مربوط به زهره و مریخ کاملاً فرضی است. در مورد زمین به سن سنگهای قاره‌ای (۳۸۰۰ میلیون سال) و سنگهای اقیانوسی (۲۰۰ میلیون سال) توجه شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۰ ـ طرح فرضی از مراحل تشکیل شبه سیارات
الف ـ مراحل تشکیل کندریت‌ها
ب ـ مراحل تشکیل متئوریت‌های تفریق یافته

آوردند و کندریت‌ها از آن نشأت گرفتند (شکل ۱۰ ـ الف). بعضی دیگر، بر اثر تجمع ابعاد بسیار بزرگی پیدا کردند و انرژی حاصل از برخورد افزایش یافت، دمای درونی آنها زیاد شد و موجبات ذوب فراهم گردید. نتیجه این واقعه، پیدایش هسته‌ای مرکزی (بر اثر تفریق) در مرکز سیاره و بروز پدیده‌های آتشفشانی در سطح آن بود (شکل ۱۰ ـ ب). طبق نظریه آلگر، هیچ‌یک از این اجسام سیاره‌ای توانایی تجمع و بهم آمدن کافی را برای تشکیل یک سیاره واحد نداشتند. لذا، در محلی که امروز به نام کمربند آستروئید می‌گوئیم، فرآیند تجمع و بهم آمدن متوقف گردید و به جای تشکیل یک سیاره منفرد، پدیده عکس اتفاق افتاد یعنی به جای آنکه قطعات مختلف تجمع نمایند و به هم به پیوندند، بر اثر برخورد، قطعه قطعه شده و از هم جدا شدند و سرانجام به صورت خرده‌هایی (شبه سیارات یا آستروئید) درآمدند. می‌توان آثار ناشی از برخورد و ضربه را در بعضی متئوریت‌ها مشاهده کرد به نحوی در بسیاری از آنها، ساختمانی مجتمع و متشکل از قطعات زاویه‌دار قابل رویت است.

با توضیحاتی که در بالا داده شد، به نظر می‌رسد بین تجمع و قطعه قطعه شدن تعادل دقیق و ظریف وجود داشته باشد. در جایی برخورد و تصادم موجب سازندگی و در جای دیگر موجب انهدام شده است. حال این سؤال پیش می‌آید، چرا در مورد تمام سیارات منظومه شمسی، بجز یکی از آنها، تعادل ناشی از برخورد منجر به سازندگی شده است و در آن یکی موجب انهدام؟ شاید همسایگی با سیاره بزرگ مشتری (که تا این زمان تشکیل و تکوین آن خاتمه یافته بود) در فرآیند تجمع، اغتشاش بوجود آورد (توضیح آنکه وزن مشتری ۳۱۸ برابر زمین است). اگر در این مورد به بررسی بیشتری بپردازیم ملاحظه می‌کنیم که در اطراف سیارات بزرگ، تعدادی قمر وجود دارد و همچنین حلقه‌هایی دیده می‌شود که خود از هزاران هزار اجسام سنگی ساخته شده است. همانند شبه سیارات، ممکن است حلقه‌ها نیز، نشانه‌ای از قطعه قطعه شدن، بجای تجمع و بهم آمدن باشند. چنانکه در مقیاس سیاره‌ای، مثلاً در اطراف زحل، حلقه‌ها می‌توانستند یک قمر تشکیل دهند ولی قطعه قطعه شده و به صورت هاله‌ای در اطراف زحل قرار گرفتند، درست نظیر آنچه که حلقه آستروئید در اطراف خورشید قرار دارد.

منابع:

Allègre, C. G. – (1985): l'Ecume de la Terre: Fayard, Paris: 366 P.

Allègre, C.G. – (1985): De la Pierre à l'Etoile; Fayard, Paris: 300 P.

Middlemost, A. K. – (1987): Magmas and magmatic rocks.

ترجمه شده به فارسی بوسیله ع. درویش‌زاده و ع. آسیابانها
انتشارات دانشگاه تهران ـ ۱۳۷۰ ـ ۵۱۵ صفحه.

Schmidt, O.Y. – (1944): Metoritic theory of the origin on the Earth and planets. Dokl Akad. Nantz., U.R.S.S., 45245 – 263.

Wetherill, G.W. – (1976): Proc. Seventh Lunar Sci. Conf., 3245 – 3257.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی