

## مطالعه کرده ماه از نظر سنگ شناسی

حسین معین وزیری

مروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم

این مقاله که در واقع يك تحقیق کتابخانه‌ای است با استفاده از منابع خارجی و اطلاعات کلاسه‌های D. E. A. (پاریس - اوری ۱۹۷۱-۷۲) تهیه شده است

دریستم ژوئیه ۱۹۶۹ انسان گام بزرگی در راه تسخیر فضا برداشت. این گام هم از نظر تکنیک قابل توجه بود هم از لحاظ اطلاعات دقیقی که در خصوص کرده ماه در اختیار انسان گذاشت. قبلاً بكمك تلسكوپ‌های خیلی قوی مورفولژی و توپوگرافی سطح ماه مورد مطالعه قرار گرفته بود اما آپولوها از ماهیت سنگهای سطح ماه به ما اطلاعات تازه‌ای داده‌اند. قبلاً نیز میدانستیم، باستثناء چند نقطه، سایر مناطق سطح ماه بسیار ناهموار است. ناهمواری سطح ماه بعلمت چین خوردگی نیست بلکه بسبب عوامل داخلی (آتشفشانها) و خارجی (برخورد سنگهای آسمانی به سطح ماه) است که در نتیجه آن چاله‌های (کراتر) فراوانی در سطح ماه ایجاد شده است. هرچند که سن این آتشفشانها خیلی زیاد است اما شکل کراترها، بعلمت اینکه در این کره فرسایش وجود ندارد، به صورت اولیه و دست نخورده باقی مانده است.

مناطقى را که هموارند اصطلاحاً اقیانوس یا دریا می‌گویند. اما در این دریاها از آب اثری نیست بلکه در زمانهای خیلی قدیم دریائی از گدازه‌های آتشفشانی (بازالت) بوده است. بكمك تلسكوپ‌های قوی در دریای آرامش (Mer de la Tranquillité) قله‌ها و لابه‌های

فرایند تجزیه سنگها در سطح زمین که توسط اتمسفر زمین و آب صورت می‌گیرد، در سطح ماه به علت عدم وجود این دو عامل وجود ندارد. نیروی ثقل ضعیف ماه نتوانسته است هوا و بخار آب را در فضای اطراف و با در سنگهای خود نگه دارد. با وجود این یک نوع خاک در سطح ماه دیده شده که فضانوردان روی آن پیاده شده‌اند. این خاک را رگولیت (Régolithe) می‌نامند که از خورد شدن سنگها به طریق فیزیکی (اختلاف درجه حرارت در سطح ماه و یا برخورد سنگهای آسمانی) حاصل شده است. رگولیت یک هاسه آتشفشانی است که با خاک‌های کره زمین تفاوت زیاد دارد (۱)(۳)(۴). به علت نبودن اتمسفر در ماه، سنگهای آسمانی با سرعت اولیه خود (۲۰ تا ۳۰ کیلومتر در ثانیه) با سطح این کره برخورد می‌کنند و کراترهای مخصوص به وجود می‌آورند. قطر سنگهای آسمانی که به سطح ماه برخورد می‌کنند از یک میکرون تا چند متر متغیر است (۳). در هر صورت بهر اندازه که باشند خطر بزرگی برای فضانوردان محسوب می‌شوند.

شعاع کراترها یا چاله‌هایی که از برخورد سنگهای آسمانی با سطح ماه حاصل می‌شوند بین ۱/۰ میکرون تا ۵۰ کیلومتر متغیر است (\*) سنگهای آسمانی به محض برخورد با سطح ماه ذوب و یا تبخیر شده و بصورت پودر درمی‌آیند (۶). بنابراین بارگولیت (Régolithe) مقداری از پودر سنگهای آسمانی نیز همراه است (۲)(۳). چون خاک مباح همیشه در معرض ضربه و شوک سنگهای آسمانی است بنابراین در آن قطعاتی از سنگهایی را که بطور کامل یا ناقص ذوب شده‌اند می‌بینیم. این سنگها که شیشه‌ای (ایزوتروپ) و کروی شکل می‌باشند اسفروولیت نامیده می‌شوند. اسفروولیتها قطری کمتر از یک میلیمتر دارند (۴). علاوه بر آنچه که گفته شد در رگولیت قطعاتی از آنور توزیت (\*\*\*) دیده می‌شود (۲)(۳). تجزیه سنگهای قله‌ها و برجستگی‌های ماه نشان داده که این ارتفاعات از آنور توزیت تشکیل شده است. در اینصورت منشأ قطعات آنور توزیتی که در رگولیت پیدا شده از این ارتفاعات می‌باشد که پس از تخریب به طریق فیزیکی،

(\*) برای کسب اطلاع بیشتر در خصوص کراترها و استروبله‌های سنگهای آسمانی به مجله دانش روز از انتشارات مدرسه عالی علوم اراک. شماره سوم و چهارم، بهمن‌ماه ۱۳۵۳ مراجعه شود.  
 (\*\*\*) آنور توزیت سنگی است سفید، غنی از کلسیم، آلومینوم و سیلیسیوم که یک فشار قوی را تحمل کرده است.

از آورتوزیت می‌باشد. وزن مخصوص آورتوزیت  $2/8$ ، در حالیکه وزن مخصوص بازالت دریای آرامش  $3/3$  می‌باشد بنابراین می‌توان قبول کرد که آورتوزیت از تفریق پلاژیوکلازهای گدازه‌های بازالتی حاصل شده است (۲). تجارب آزمایشگاهی نشان داده‌اند که نوب بخشی بازالت تحت فشار خیلی زیاد بخار آب، مایعی می‌دهد با ترکیب آورتوزیت. در اینصورت فوران چنین ماده مذاب تحت فشار خیلی زیاد مطمئناً با انفجار شدید توأم است. و این با نحوه ولکانیسم کره ماه مطابقت دارد زیرا وجود کراترهای فراوان در سطح این کره نشانه يك دوره فعالیت آتشفشانی انفجاری است (۳).

در پوسته کنونی زمین نیز، در بعضی نقاط پوسته‌ای از جنس آورتوزیت دیده شده است (۳) (۱). بعد از سفر آپولو به ماه تئوریهای زیادی در مورد منشأ آورتوزیت زمین اظهار شده است. یکی از این تئوریها حاکیست که: در زمین نیز مانند ماه، در زمان سرد شدن و انجماد يك قشر آورتوزیت بوجود آمده که بعداً بعلل مختلف از بین رفته است. این علل عبارتند از اشتقاق قاره‌ها و رورانگی آنها و فرسایش پوسته زمین. در رورانگی و یا بهتر بگوئیم در سابدکش (Suduction) قاره‌ها احتمال دارد که بخشی از پوسته آورتوزیت به داخل زمین کشیده شده و پس از دگرگون شدن به سنگی بنام گروسپیدیت متشکل از گروئای کلسیم دار، پیروکسن کلسیم دار و دیستن تبدیل شده باشد. همچنانکه امروزه قطعاتی از این سنگ را که توسط آتشفشانهای انفجاری به بیرون پرتاب شده‌اند در دودکش‌های آتشفشانهای انفجاری که برای استخراج الماس عمیقاً حفاری شده‌اند می‌یابیم (سیبری و جنوب آفریقا). در اینصورت معلوم میشود که پوسته آورتوزیت زمین بر روی سنگهای اولترا بازیک گروئادار مانتو قرار گرفته است (۱) (۳).

### دریای آرامش و اقیانوس طوفانها

دریای آرامش (mer de la Tranquillité) و اقیانوس طوفانها - (mer des tempêtes) دو منطقه فرو نشسته و وسیع در سطح ماه می‌باشد که در حدود ۳ میلیارد سال

دریای آرامش از طبقات سخت که موجب زلزله‌ها و امواج میسوزند تشکیل شده است (گدازه‌های بازالت). این طبقات سخت بر روی پیکره‌های سبکتر ولی شکسته و خورد شده قرار گرفته‌اند (آنور تو زیت). ضخامت قشر بازالت حداکثر ۲۰ کیلومتر و ضخامت پوسته آنور تو زیت در حدود ۱۰ کیلومتر میباشد (۳).

از نمونه سنگهای دریای آرامش که توسط آپولوها بد زمین آورده شده این نتایج بدست آمده که در گدازه‌های ماه نیز مانند زمین تبلور بخشی صورت گرفته است بدین ترتیب که ماده مذاب، شامل سیلیکاتهای مختلف، در یک لحظه متبلور نمی‌شود بلکه در ماده مذاب ابتدا آن دسته از سیلیکاتها متبلور می‌شوند که نقطه انجماد بالاتر دارند. بنابراین بتدریج که ماده مذاب سرد می‌شود کانیهای مختلف به تناسب نقطه انجماد خود متبلور می‌گردند و واضح است



که آخرین کانی که متبلور می‌شود یک کانی است که نسبت به سایر کانیها نقطه انجماد کمتری دارد. با توجه به این مسئله از شروع تبلور تا خاتمه تبلور، ترکیب شیمیائی ماده مذاب پیوسته

مقدار درصد این عنصر تنزل می‌یابد و یا اینکه نسبت  $\frac{Mg}{Fe}$  در شروع انجماد زیاد و در اواسط و یا اواخر انجماد تنزل می‌یابد.

بررسی سنگهای برداشت‌شده از دریای آرامش کره ماه نشان می‌دهد که تبلور بخش فوق‌الذکر در گدازه‌های بازالتی دریای آرامش نیز صورت گرفته است اما ادامه این تحولات شیمیائی که در موقع انجماد ماده مذاب در سطح زمین دیده شده، در سنگهای ماه بطور کامل مشاهده نشده‌است. بدین ترتیب که، در انجماد ماده مذاب در سطح زمین، در پایان انجماد، ماده مذاب باقیمانده از سدیم، پتاسیم، روییدیم، سزیم، سرب، روی، تالیم، آب، گاز کربنیک و اکسیژن غنی می‌شود در حالی که چنین تکامل و تحولی در سنگهای ماه دیده نشده‌است. بنظر میرسد که در طول انجماد ماده مذاب در سطح ماه، برعکس زمین، یک سیر نزولی و فقر تدریجی از نظر این مواد در ماده مذاب بوجود آمده باشد (۳).

عدم مشاهده عناصر فرار در این سنگها علت دیگری نمی‌تواند داشته باشد مگر اینکه بر اثر خلاء موجود در سطح ماه و بعثت حرارت زیاد گدازه‌ها (حد اقل ۱۲۰۰ درجه)، این مواد در فضا پراکنده شده باشند و در ساختمان کانیها نتوانسته‌اند وارد شوند (۱)(۲)(۳). همچنانکه میدانیم خلاء در سطح ماه بقدری زیاد است که ما در سطح زمین و در آزمایشگاه نتوانسته‌ایم چنین خلالتی را ایجاد کنیم. از مطالب فوق چنین نتیجه می‌گیریم که از روی تجزیه شیمیائی نمونه‌های ماه نمیتوانیم به ترکیب شیمیائی دقیق گدازه‌های این کره پی ببریم (۳).

### پتروگرافی سنگهای ماه

آپولوی ۱۴ در فوریه ۱۹۷۱ در دپرسیون امبریوم (dépression d'imbrium) فرود آمد. این بخش فرو رفته از سطح کره ماه دارای ۳۰۰۰ کیلومتر قطر و ۱۰۰ کیلومتر عمق می‌باشد. در این بخش کراترهای آتشفشانی متعدد دیده می‌شوند که ارتفاع آنها در حدود چند ده متر است (۵). سنگهای این قسمت از ماه قدیمی‌ترین سنگهای ماه است که ۴۳ کیلوگرم آن توسط آپولوی ۱۴ به زمین حمل گردید. علاوه بر این، دو سونداژیکی به عمق ۳۹/۵ سانتی‌متر و دیگری به عمق ۱۲/۵ سانتی‌متر در روی سطح ماه بعمل آمد. از سونداژ اول ۲۰۹ گرم و

آپولوی ۱۳ - بازالت و برش

آپولوی ۱۴ برش (Brèche)

همه این سنگها از لحاظ پلاژیوکلازغنی می باشند. علاوه بر پلاژیوکلازکانیهای فـر و منیزین در ترکیب آنها دیده می شود.

- ساخت سنگها متنوع است به طوری که ساخت های: هیالوپورفیریک، میکرولیتیک، انترسرتال، میکروگرنو (بازالت گرانولیتیک)، و گاهی ساخت دیپلکتیک (Structure diaplectique) که حد واسط ساخت شیشه ای و متبلور است دیده شده است (۵).

- رنگ سنگها سفید مایل به خاکستری و یا خاکستری تیره است.

- ترکیب کانی شناسی آنها به قرار زیر می باشد (۵):

۱- پلاژیوکلاز + کلینوپیروکسن

۲- پلاژیوکلاز + کلینوپیروکسن + اولیوین + ایلمنیت

۳- پلاژیوکلاز + ارتوپیروکسن + ایلمنیت

۴- اولیوین + شیشه

علاوه بر کانیهای فوق الذکر مقداری مس خالص نیز با این سنگها همراه است. کلینوپیروکسن، از نوع پیژئونیت، اوژیت، و دیوپسید بوده، اسپینل از نوع پیکوتیت می باشد.

ضریب رنگینی این سنگها (in.col.) به قرار زیر است (۵):

در سنگهای مزوکرات: ۴۲ درصد پلاژیوکلاز، ۵۱ درصد پیژئونیت، ۵ درصد اولیوین،

۲ درصد کریستوبالیت، ۱ درصد مس خالص

در سنگهای لوکوکرات: ۵۰-۷۰ درصد پلاژیوکلاز، ۳۱ درصد کلینوپیروکسن، مقدار

کمی آهن خالص و ایلمنیت.

ظاهر این سنگها نشان می دهند که همگی کم و بیش متحمل دگرگونی ضربه ای و شوک شده اند. در بعضیها که شوک ضعیف بوده فقط خوردشدگی دیده می شود. در سنگهایی که تحت تأثیر

زیر دیده می شود :

۱- نبودن آب در سنگهای ماه - در سنگهای ماه کانیهای تیدراته و یا نیدروکسیل دار دیده نشده . با وجود این در بعضی بررسیها مختصری آب که حداکثر در حدود ۳۰۰ پ پ ام\* بوده است دیده شده که احتمال دارد به صورت ادخال در حفرات بازالتها نگهداری شده باشد (۱) (۲) .

۲- فشار بخشی اکسیژن - در گدازه های بازالتی ماه فشار بخشی اکسیژن بسیار ضعیف بوده است  $f(O_2) = 10^{-12}$  bar در ۱۲۰۰ درجه و یا  $f(O_2) = 10^{-15}$  bar در ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد ) .

فشار خیلی کم اکسیژن سبب شده که در بازالتهای ماه بجای مانیسیت ، ایلمنیت متبلور شود (۱) .

۳- مقدار درصد تیتان (Ti) - در سنگهای ماه کانیهای تیتان دار مانند Ilménite , Pérowskite , Ulvöspinelle و Armalcolite (\*\*\*) دیده شده که نشانه فراوانی مقدار درصد تیتان در این بازالتها نسبت به بازالتهای زمین می باشد (۱) .

به طور کلی می توان چنین خلاصه کرد که سنگهای ماه از عناصر لیتوفیل غنی و از عناصر کالکوفیل و سیدروفیل فقیرند . در صفحه ۳۰ ترکیب شیمیائی سنگهای ماه و انواع کانیهای موجود در آنها درج شده است .

### سن سنگهای ماه :

از آنجائی که زمین يك کره فعال می باشد و دائماً پوسته آن در تغییر است نمی توان انتظار داشت که سنگهای بسیار مسن و خیلی قدیمی در سطح آن پیدا شود . تخریب سنگهای آذرین ، و رسوب گذاری مواد حاصل از تخریب این سنگها در ژئوسکلینالها ، و دیگر گونی رسوبات تاجائی که به ذوب آنها منتهی می شود ، همه اینها مانع از آنست که سنگهای خیلی مسن و قدیمی تا به امروز در جای خود ، و بدون تغییر باقی مانده باشند . بنابراین عجیب نیست که بگوئیم  $\frac{2}{3}$  از سنگهای تشکیل دهنده پوسته زمین سنی کمتر از ۲۰۰ میلیون سال رانشان میدهند و حتی  $\frac{1}{9}$  \*

(\*) هر پ پ ام مساوی يك میلیونیم است .

(\*\*) آرمالکولیت مخفف اسامی سه فضاورد بنامهای زیر میباشد :

Armstrong, Aldrin, Collins .

سن سنگهای آ پولوی ۱۱ تا ۲/۸ و سنگهای آ پولوی ۱۲ تا ۳/۷ تا ۲/۸ میلیارد سال می باشد (سنگهای آ پولوی ۱۱ تا ۲/۸ و سنگهای آ پولوی ۱۲ تا ۳/۷ میلیارد سال) (۱)(۲) .

این سن از روی درجه تجزیه اورانیوم و توریم به سرب و تجزیه رویدیم به استر و نسیوم تعیین شده است. گر دوغباری که محتوی ذرات تخریبی برجستگی های ماه (آنورتوزیت) می باشد سنی بیش از بازالت های ماه یعنی ۴/۶ میلیارد سال را نشان میدهد (۱) (۲) . بنابراین معلوم می شود که پیکره دریای آرامش در ۴/۶ میلیارد سال و پهنه های وسیع بازالت که این دریا را پر کرده اند در حدود ۳ میلیارد سال قبل تشکیل شده است .

چون سن مطلق سنگهای آسمانی که تاکنون بررسی و اندازه گیری شده ۴/۵ میلیارد سال می باشد لذا احتمال می رود که سن ۳/۶ و یا ۴/۵ میلیارد سال سن منظومه شمسی باشد . ولی این اشکال وجود دارد که منشأ سنگهای آسمانی به طور دقیق معلوم نشده و مطمئن نیستیم که این سنگها از منظومه شمسی می آیند و یا از نقاط دورتر (۳) - با تعیین سن مطلق سنگهای مسن و جوان ماه ، برای ما روشن شد که فعالیت کره ماه بعد از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلیون سال که از انجماد آن گذشته متوقف شده است (۱)(۲) . این زمان تقریباً با آغاز پرکامبرین یعنی زمانی که تحولات سنگها و تکامل موجودات زنده در زمین شروع شده است مطابقت دارد



|                                | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵     |
|--------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Si 0 <sub>r</sub>              | 40,4 | 46,9 | 43,8 | 46,0 | 43,73 |
| Al <sub>r</sub> 0 <sub>r</sub> | 9,4  | 10,1 | 13,7 | 27,3 | 27,48 |
| Σ Fe 0                         | 19,3 | 19,8 | 19,4 | 6,2  | 4,44  |
| Mn 0                           | 0,3  | 0,3  | 0,2  | 0    | -     |
| Mg 0                           | 7,2  | 7,8  | 7,1  | 7,9  | 7,53  |
| Ca 0                           | 11,1 | 10,7 | 10,4 | 14,1 | 12,14 |
| Na <sub>r</sub> 0              | 0,5  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 1,53  |
| K <sub>r</sub> 0               | 0,2  | 0,1  | 0,2  | tr   | 0,66  |
| Ti 0 <sub>r</sub>              | 10,9 | 3,3  | 4,9  | 0,3  | -     |
| Cr <sub>r</sub> 0 <sub>r</sub> | 0,3  | 0,5  | 0,3  | 0,2  | -     |

: کانیهای موجود در سنگهای ماه بترتیب فراوانی در این سنگها عبارتند از (۱)(۲) :

- |  |   |
|--|---|
| 1)- Pyroxène   | 12)- Quartz   |
| 2)- Plagioclase  | 13)- Armalcolite (Fe,Mg) Ti <sub>r</sub> O <sub>6</sub>           |
| 3)- Ilménite   | 14)- Zircon   |
| 4)- Olivine  | 15)- Baddléyite Zr O <sub>2</sub>                                 |
| 5)- Cristobalite - Tridymite                                 | 16)- Apatite  |
| 6)- Pyroxferroïte (Si 0 <sub>r</sub> ), (Ca,Fe) <sub>r</sub> | 17)- Whitlockite Ca <sub>r</sub> (P 0 <sub>i</sub> ) <sub>r</sub> |
| 7)- Chromite   | 18)- Rutile   |
| 8)- Ulvöspinelle (Ti 0 <sub>i</sub> ) Fe <sub>r</sub>        | 19)- Pérowskite Ca Ti 0 <sub>r</sub>                              |
| 9)- Kamacite (Fe,Ni)   | 20)- Spinelle Mg 0Al <sub>r</sub> 0 <sub>r</sub>                  |
| 10)- Troïlite Fe S   | 21)- Tranquillityite(FeTi,Zr,Si)0 <sub>r</sub>                    |
| 11)- Feldspath alcalin                                       | 22)- Cohenite Fe <sub>r</sub> C                                   |

## منابع مورد استفاده :

- 1)- AUBOUIN, J. BROUSSE, R. LEHMAN, J - Précis de géologie, tome 1 deuxième édition (1975), p.51-57.
- 2)- BROWN.G.M,(1972)- Géochimie de la lune, Durham (traduction française )
- 3)- O, HARA. M. J.,-(1071) - La géologie de la lune à lumière du programme Apolo, Endeavour, (traduction française) .
- 4)- TOLANSKY. S,(1971)- Les sphérules de verre dans la poussière lunaire. s. nature, ( traduction française) .
- 5)- سخنرانی های آقای پروفیسور بروس در کلاسهای ( 1971-72 ) D.E.A. پاریس - اورسی .
- 6)- معین وزیری - حسین (۱۳۵۳) - کراترها و آستروبلیم های سنگهای آسمانی مجله دانش روز - مدرسه عالی علوم اراک - شماره سوم و چهارم .