

مطالعه کره ماه از نظر سنگ شناسی

حسین معین وزیری

مروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم

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

دریستم ژوئیه ۱۹۶۹ انسان گام بزرگی در راه تسخیر فضا برداشت. این گام هم از نظر تکنیک قابل توجه بود و هم از لحاظ اطلاعات دقیقی که در خصوص کره ماه در اختیار انسان گذاشت. قبلاً به کمک تلسکوپ‌های خیلی قوی مورفولوژی 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 بعلا چين 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، به‌علت 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 دریاهای از آب اثری نیست بلکه در زمانهای خیلی قدیم دریائی از گدازه‌های آتشفشانی (بازالت) بوده است. به‌کمک تلسکوپ‌های قوی در دریای آرامش (Mer de la Tranquillité) قله‌ها و لابه‌های

فرایند تجزیه سنگها در سطح زمین که توسط اتمسفر زمین و آب صورت می گیرد ، 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 یا در سنگهای خود نگه دارد . با وجود این يك نوع خاك در سطح ماه دیده شده كه فضانوردان روی آن پیاده شده اند . این خاك را رگولیت (Régolithe) می نامند كه از خورد شدن سنگها به طریق فیزیکی (اختلاف درجه حرارت در سطح ماه و یا برخورد سنگهای آسمانی) حاصل شده است . رگولیت يك هاسه آتشفشانی است كه با خاك های كره 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 كره برخورد می کنند و كراترهای مخصوص به وجود می آورند . قطر سنگهای آسمانی كه به سطح ماه برخورد می کنند از يك ميكرون تا چند متر متغیر است (۳) . در هر صورت بهر اندازه كه باشند خطر بزرگی برای فضانوردان محسوب می شوند .

شعاع كراترها یا چاله هایی كه از برخورد سنگهای آسمانی با سطح ماه حاصل می شوند بین ۱/۰ ميكرون تا ۵۰ کیلومتر متغیر است (*) سنگهای آسمانی به محض برخورد با سطح ماه ذوب و یا تبخیر شده و بصورت پودر در می آیند (۶) . بنابراین بارگولیت (Régolithe) مقداری از پودر سنگهای آسمانی نیز همراه است (۲)(۳) . چون خاك مباح همیشه در معرض ضربه و شوك سنگهای آسمانی است بنابراین در آن قطعاتی از سنگهایی را كه بطور كامل یا ناقص ذوب شده اند می بینیم . این سنگها كه شیشه ای (ایزوتروپ) و كروی شكل می باشند اسفرولیت نامیده می شوند . اسفرولیتها قطری كمتر از يك میلیمتر دارند (۴) . علاوه بر آنچه كه گفته شد در رگولیت قطعاتی از آنورتوزیت (**) دیده می شود (۲)(۳) . تجزیه سنگهای قله ها و برجستگی های ماه نشان داده كه این ارتفاعات از آنورتوزیت تشكيل شده است . در اینصورت منشأ قطعات آنورتوزیتی كه در رگولیت پیدا شده از این ارتفاعات می باشد كه پس از تخریب به طریق فیزیکی،

(*) برای كسب اطلاع بیشتر در خصوص كراترها و استروپلم های سنگهای آسمانی به مجله دانش روز از انتشارات مدرسه عالی علوم اراك . شماره سوم و چهارم ، بهمن ماه ۱۳۵۳ مراجعه شود .
(**) آنورتوزیت سنگی است سفید ، غنی از كلسیم ، آلومینیوم و سیلیسیوم كه يك فشار قوی را تحمل كرده است .

از آنورتوزیت می باشد. وزن مخصوص آنورتوزیت $2/8$ ، در حالیکه وزن مخصوص بازالت دریای آرامش $3/3$ می باشد بنابراین می توان قبول کرد که آنورتوزیت ازتفریق پلاژیوکلازهای گدازه های بازالتی حاصل شده است (۲). تجارب آزمایشگاهی نشان داده اند که ذوب بخشی بازالت تحت فشار خیلی زیاد بخار آب، مایعی می دهد با ترکیب آنورتوزیت. 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 پوسته ای ازجنس آنورتوزیت دیده شده است (۳) (۱). بعد از سفر آپولو به ماه تئوریهای زیادی در مورد منشأ آنورتوزیت زمین اظهار شده است. یکی از این تئوریها حاکیست که: در زمین نیز مانند ماه، در زمان سرد شدن و انجماد يك قشر آنورتوزیت بوجود آمده که بعداً بعلل مختلف از بین رفته است. این علل عبارتند از اشتقاق قاره ها و روراندگی آنها و فرسایش پوسته زمین. در روراندگی و یا بهتر بگوئیم در سابداکش (Suduction) قاره ها احتمال دارد که بخشی از پوسته آنورتوزیت به داخل زمین کشیده شده و پس از دگرگون شدن به سنگی بنام گرو سپیدیت 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 شده اند در دودکش های آتشفشانهای انفجاری که برای استخراج الماس عمیقاً حفاری شده اند می یابیم (سیبری و جنوب آفریقا). در اینصورت معلوم میشود که پوسته آنورتوزیت 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 می باشد که در حدود ۳ میلیارد سال

دریای آرامش از طبقات سخت که موجب رزناش و انقباض می‌شوند تشکیل شده است (گدازه‌های بازالت). این طبقات سخت بر روی پیکره‌های سبکتر ولی شکسته و خورد شده قرار گرفته‌اند (آنور توزیت). ضخامت قشر بازالت حداکثر ۲۰ کیلومتر و ضخامت پیوسته آنور توزیت 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 برداشت شده 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 نشده است. 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 نشده است. 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 (حداقل ۱۲۰۰ درجه)، این مواد در فضا پراکنده شده باشند و در ساختمان کانیها نتوانسته‌اند وارد شوند (۱)(۲)(۳). همچنین میدانیم خلاء در سطح ماه بقدری زیاد است که ما در سطح زمین و در آزمایشگاه نتوانسته‌ایم چنین خلائی 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 پلاژیوکلاز غنی می باشند. علاوه بر پلاژیوکلاز کانیهایی فرو منیزین در ترکیب آنها دیده می شود.

- ساخت سنگها متنوع است به طوری که ساخت های: هیالوپورفیریک، میکرو لیتیک، انترسرتال، میکرو گرنو (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 کافی 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 کانیهایی فوق الذکر مقداری مس خالص نیز با این سنگها همراه است. کلینوپیروکسن، از نوع پیژئوئیت، اوژیت، و دیوپسید بوده، اسپینل از نوع پیکوتیت می باشد.

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

در سنگهای مزو کرات: ۴۲ درصد پلاژیوکلاز، ۵۱ درصد پیژئوئیت، ۵ درصد اولیوین،

۲ درصد کریستوبالیت، ۱ درصد مس خالص

در سنگهای لو کوکرات: 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 تیدرانه و یا تیدروکسیل 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 1200° درجه و یا $f(O_2) = 10^{-15}$ bar در 1000° درجه سانتی گراد () .

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

۳- مقدار درصد تیتان (Ti) - در سنگهای ماه کانیهای تیتان دار مانند Ilménite , Armalcolite , Pérowskite , Ulvöspinelle (*) 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 كره 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 ژئوسنکلینالها ، و دگرگونی 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 فضانورد 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 روییدیم به استرونتیوم تعیین شده است. گر دوغباری که محتوی ذرات تخریبی برجستگی های ماه (آ نورتوزیت) 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 ۴/۶ 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 پراکندگی زمین یعنی زمانی که تحولات سنگها و تکامل موجودات زنده در زمین شروع شده است مطابقت دارد

	۱	۲	۳	۴	۵
Si O _r	40,4	46,9	43,8	46,0	43,73
Al _r O _r	9,4	10,1	13,7	27,3	27,48
Σ Fe O	19,3	19,8	19,4	6,2	4,44
Mn O	0,3	0,3	0,2	0	-
Mg O	7,2	7,8	7,1	7,9	7,53
Ca O	11,1	10,7	10,4	14,1	12,14
Na _r O	0,5	0,3	0,4	0,3	1,53
K _r O	0,2	0,1	0,2	tr	0,66
Ti O _r	10,9	3,3	4,9	0,3	-
Cr _r O _r	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 ₂ O ₃ |
| 3)- Ilménite | 14)- Zircon |
| 4)- Olivine | 15)- Baddléyite Zr O ₂ |
| 5)- Cristobalite - Tridymite | 16)- Apatite |
| 6)- Pyroxferroïte (Si O _r) _r (Ca,Fe) _r | 17)- Whitlockite Ca ₂ (P O ₄) ₂ |
| 7)- Chromite | 18)- Rutile |
| 8)- Ulvöspinelle (Ti O ₂) Fe ₂ | 19)- Pérowskite Ca Ti O ₂ |
| 9)- Kamacite (Fe,Ni) | 20)- Spinelle Mg OAl ₂ O ₃ |
| 10)- Troïlite Fe S | 21)- Tranquillityite (FeTi,Zr,Si)O ₂ |
| 11)- Feldspath alcalin | 22)- Cohenite Fe ₃ 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., - (1971) - 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)- سخنرانی‌های آقای پروفیسور بروس در کلاسهای (1971-72) D.E.A. پاریس - اوریسی .
- 6)- معین وزیری - حسین (۱۳۵۳) - کراترها و آستروبلیم‌های سنگهای آسمانی مجله دانش روز - مدرسه عالی علوم اراک - شماره سوم و چهارم .