مطالعهٔ کرهٔ ماه از نظر سنگ شناسی

حسین معین وزیری

گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم

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

دربیستم ژوئیهٔ ۱۹۶۹ انسان گام بزرگی درراه تسخیر فضا برداشت . این گام هم از نظر تکنیك قابل‌توجه بودوهم از لحاظ اطلاعات دقیقی که درخصوص کرهٔ ماه دراختیار انسان گذاشت .

قبلا بکمك تلسکوپ‌های خیلی قوی مورفولژی و توپوگرافی سطح ماه مورد مطالعه قرارگرفته بوداما آپولوها ازماهیت سنگهای سطح ماه به ما اطلاعات تازه‌ای داده‌اند .

قبلا نیز میدانستیم ، باستثناء چند نقطه ، سایر مناطق سطح ماه بسیار ناهموار است . ناهمواری سطح ماه بعلت چین‌خوردگی نیست بلکه بسبب عوامل داخلی (آتشفشانها) وخارجی (برخورد سنگهای آسمانی به سطح ماه) است که در نتیجهٔ آن چاله‌های (کراتر) فراوانی در سطح ماه ایجاد شده است . هرچند که سن این آتشفشانها خیلی زیاد است اما شکل کراترها ، به‌علت اینکه در این‌کره فرسایش وجود ندارد ، به صورت اولیه ودست نخورده باقی مانده است .

مناطقی راکه هموارند اصطلاحاً اقیانوس یا دریا می‌گویند . اما در این دریاها از آب اثری نیست بلکه در زمانهای خیلی قدیم دریائی ازگدازه‌های آتشفشانی (بازالت) بوده است. به‌کمك تلسکوپ‌های قوی دردریای آرامش (Mer de la Tranquillité) قله هاولبه‌های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

فرآیند تجزیهٔ 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 ویا در سنگهای خود نگه دارد . با وجود این یك نوع خاك در سطح ماه دیده شده که فضانوردان روی آن پیاده شده‌اند . این خاك را رگولیت (Régolithe) می‌نامند که ازخوردشدن سنگها به طریق فیزیکی (اختلاف درجه حرارت در سطح ماه و یا برخورد سنگهای آسمانی)حاصل شده است . رگولیت یك ماسهٔ آتشفشانی است که با خاك‌های کره زمین تفاوت زیاد دارد(۱)(۳)(۴) . به‌علت نبودن اتمسفر درماه ، سنگهای آسمانی با سرعت اولیه خود (۲۰ تا ۴۰کیلومتر درثانیه) باسطح این‌کره برخورد می‌کنند و کراترهای مخصوص به وجود می‌آورند . قطرسنگهای آسمانی‌که به‌سطح ماه برخورد می‌کنند از یك میکرن تاچند متر متغییراست (۳) . درهرصورت بهراندازه‌که باشند خطر بزرگی برای فضانوردان محسوب می‌شوند .

شعاع‌کراترها یا چاله‌هائی‌که از برخورد سنگهای آسمانی با سطح ماه حاصل می‌شوند بین ۰/۱ میکرن تا ۵۰کیلومتر متغییر است (*) سنگهای آسمانی به محض برخورد با سطح ماه ذوب ویاتبخیر شده وبصورت پودر درمی‌آیند(۶). بنابراین بارگولیت (Régolithe)مقداری از پودر سنگهای آسمانی نیز همراه است (۲)(۳) . چون خاك ماه همیشه در معرض ضربه و شوك سنگهای آسمانی‌است بنابراین درآن قطعاتی از سنگهائی راکه بطورکامل یا ناقص ذوب شده‌اندمی‌بینیم . این‌سنگها که شیشه‌ای (ایزوتروپ) وکروی شکل می‌باشنداسفرولیت نامیده می‌شوند . اسفرولیتها قطری کمتر از یك میلیمتر دارند (۴) . علاوه برآنچه که گفته شد در رگولیت قطعاتی‌ازآنورتوزیت(**)دیده می‌شود(۲)(۳) . تجزیه سنگهای‌قله‌ها وبرجستگی‌های ماه نشان داده که این ارتفاعات از آنورتوزیت تشکیل شده است . در اینصورت منشأ قطعات آنورتوزیتی‌که دررگولیت پیداشده ازاین ارتفاعات می‌باشدکه پس ازتخریب به‌طریق فیزیکی،

(*) برای‌کسب اطلاع بیشتردرخصوص کراترها و استروبلم‌های سنگهای آسمانی به مجله دانش روز از انتشارات مدرسه عالی علوم اراك . شماره سوم وچهارم ، بهمن‌ماه ۱۳۵۳ مراجعه شود .

(**) آنورتوزیت سنگی است سفید ، غنی ازکلسیم ، آلومینیوم وسیلیسیوم که یك فشار قوی را تحمل‌کرده است .

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

از آنورتوزیت می‌باشد. وزن مخصوص آنورتوزیت ۲/۸، در حالیکه وزن مخصوص بازالت دریای آرامش۳/۳ میباشد بنابراین می‌توان قبول کرد که آنورتوزیت ازتفریق پلاژیوکلازهای گدازه‌های بازالتی حاصل شده‌است(۲). تجارب آزمایشگاهی نشان داده‌اندکه ذوب بخشی بازالت تحت فشارخیلی زیاد بخار آب، مایعی می‌دهد با ترکیب آنورتوزیت. دراینصورت فوران‌چنین 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 این‌کره نشانه یك دوره فعالیت آتشفشانی انفجاری است(۳).

در پوسته کنونی زمین نیز، در بعضی نقاط پوسته‌ای ازجنس آنورتوزیت دیده شده است(۳)(۱). بعد ازسفر آپولو به ماه تئوریهای زیادی در مورد منشأ آنورتوزیت زمین اظهار شده است. یکی ازاین تئوریها حاکیست‌که: درزمین نیز مانند ماه، در زمان سردشدن وانجماد یك قشر آنورتوزیت بوجودآمده‌که بعداً بعلل مختلف ازبین رفته است. این علل عبارتند از اشتقاق قاره‌ها و روراندگی آنها و فرسایش پوستهٔ زمین. در روراندگی ویا بهتر بگوئیم در سابداکشن (Suduction) قاره‌ها احتمال داردکه بخشی از پوستهٔ آنورتوزیت به‌داخل زمین کشیده شده وپس از دگرگون‌شدن به سنگی بنام گروسپیدیت متشکل از گرونای کلسیم‌دار، پیروکسن کلسیم‌دارودیستن تبدیل شده‌باشد. همچنانکه امروزه قطعاتی ازاین سنگ را که‌توسط آتشفشانهای انفجاری به بیرون پرتاب شده‌اند در دودکش‌های آتشفشانهای انفجاری‌که برای استخراج الماس عمیقاً حفاری شده‌اند می‌یابیم (سیبری وجنوب آفریقا). در اینصورت معلوم میشود که پوستهٔ آنورتوزیت زمین بر روی سنگهای اولترا بازیك گرونادار مانتو قرارگرفته است (۱) (۳).

دریای آرامش و اقیانوس طوفانها

دریای آرامش (mer de la Tranquillitè) و اقیانوس طوفانها (mer des – tempétes) دو منطقه فرو نشسته و وسیع در سطح ماه می‌باشد که در حدود ۳ میلیاردسال

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

(گدازه‌های بازالت). این طبقات سخت بر روی پیکره‌ای سبکتر ولی شکسته وخورد شده قرار گرفته‌اند (آنورتوزیت). ضخامت قشر بازالت حداکثر ۲۰ کیلومتر وضخامت‌پوستهٔ آنورتوزیت در حدود ۱۰کیلومتر میباشد (۳) .

از نمونه سنگهای دریای آرامش‌که توسط آپولوها بهزمین‌آورده شده این نتایج‌بدست آمده‌که در گدازه‌های ماه نیز مانند زمین تبلور بخشی صورت گرفته است بدین ترتیب که مادهٔ مذاب، شامل سیلیکاتهای مختلف، دریك لحظه متبلور نمی‌شود بلکه در مادهٔ مذاب ابتدا آن دسته از سیلیکاتها متبلور می‌شوندکه نقطهٔ انجماد بالاتر دارند. بنابراین بتدریج‌که ماده مذاب سرد می‌شودکانیهای مختلف به تناسب نقطهٔ انجماد خود متبلور می‌گردند و واضح است

که آخرین‌کانی‌که متبلور می‌شود یك کانی است‌که نسبت به سایرکانیها نقطهٔ انجماد کمتری دارد. با توجه به این مسئله ازشروع تبلور تا خاتمه تبلور، ترکیب شیمیائی ماده‌مذاب پیوسته

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

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

بررسی سنگهای برداشت‌شده از دریای آرامش کرهٔ ماه نشان می‌دهد که تبلور بخش فوق‌الذکر در گدازه‌های بازالتی دریای آرامش نیز صورت گرفته است اما ادامهٔ این تحولات شیمیائی‌که در موقع انجماد مادهٔ مذاب در سطح زمین دیده شده، در سنگهای ماه بطور کامل مشاهده نشده‌است. بدین ترتیب‌که، در انجماد ماده مذاب در سطح زمین، در پایان انجماد، ماده مذاب باقیمانده از سدیم، پتاسیم، روبیدیم، سزیم، سرب، روی، تالیم، آب، گازکربنیك و اکسیژن غنی می‌شود در حالی‌که چنین تکامل و تحولی درسنگهای ماه دیده نشده‌است. بنظر میرسدکه درطول انجماد مادهٔ مذاب درسطح ماه، برعکس زمین، یك سیر نزولی وفقرتدریجی از نظر این مواد در مادهٔ مذاب بوجودآمده باشد(۳).

عدم مشاهده عناصر فرار دراین سنگها علت دیگری نمی‌تواند داشته باشد مگر اینکه براثر خلاء موجود درسطح ماه و بعلت حرارت زیاد گدازه‌ها (حداقل ۱۲۰۰ درجه)، این مواد درفضا پراکنده شده باشند و درساختمان کانیها نتوانسته‌اند وارد شوند(۱)(۲)(۳). همچنانکه میدانیم خلاء درسطح ماه بقدری زیاد است‌که ما درسطح زمین و در آزمایشگاه نتوانسته‌ایم چنین خلائی را ایجادکنیم. از مطالب فوق چنین نتیجه میگیریم‌که از روی تجزیه شیمیائی نمونه‌های ماه نمیتوانیم به ترکیب شیمیائی دقیق گدازه‌های این‌کره پی‌ببریم(۳).

پتروگرافی سنگهای ماه

آپولوی۱۴درفوریه ۱۹۷۱ در دپرسیون‌امبریوم (dépression d'imbrium) فرود آمد. این بخش فرو رفته از سطح‌کره ماه دارای ۳۰۰۰ کیلومتر قطر و ۱۰۰ کیلومتر عمق می‌باشد. دراین بخش کراترهای آتشفشانی متعدد دیده می‌شوندکه ارتفاع آنها در حدودچند ده متراست(۵). سنگهای این قسمت از ماه قدیمی‌ترین سنگهای ماه است‌که ۴۳ کیلوگرم‌آن توسط آپولوی۱۴ به‌زمین حمل‌گردید. علاوه براین، 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

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

آپولوی ۱۳ بازالت و برش

آپولوی ۱۴ برش (Brèche)

همه این سنگها از لحاظ پلاژیوکلازغنی می‌باشند. علاوه بر پلاژیوکلازکانیهای فرو منیزین در ترکیب آنها دیده می‌شود.

ـ ساخت سنگها متنوع است به‌طوری‌که ساخت‌های : هیالوپورفیریك ، میکرولیتیك ، انترسرتال ، میکروگرانو (بازالت گرانولیتیك) ، و گاهی ساخت دیاپلکتیك ـ Structure) diaplectique) که حد واسط ساخت شیشه‌ای ومتبلور است دیده شده است (۵).

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

ـ ترکیب کانی شناسی آنها به‌قرار زیر می‌باشد(۵):

۱ـ پلاژیوکلاز + کلینوپیروکسن

۲ـ پلاژیوکلاز + کلینوپیروکسن + اولیوین + ایلمنیت

۳ـ پلاژیوکلاز + ارتوپیروکسن + ایلمنیت

۴ـ اولیوین + شیشه

علاوه برکانیهای فوق‌الذکر مقداری مس خالص نیز با این سنگها همراه است.

کلینوپیروکسن ، ازنوع پیژئونیت، اوژیت ، ودیوپسید بوده ، اسپینل ازنوع پیکوتیت می‌باشد .

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

در سنگهای مزوکرات: ۴۲ درصد پلاژیوکلاز، ۵۱ درصد پیژئونیت، ۵ درصداولیوین ، ۲ درصد کریستوبالیت ، ۱ درصد مس خالص

در سنگهای لوکوکرات: ۵۰ـ ۷۰ درصد پلاژیوکلاز، ۳۱ درصد کلینوپیروکسن ، مقدار کمی آهن خالص و ایلمنیت.

ظاهراً این سنگها نشان می‌دهندکه همگی‌کم و بیش متحمل دگرگونی ضربه‌ای و شوك شده‌اند. دربعضیهاکه شوك ضعیف بوده فقط خوردشدگی‌دیده می‌شود . درسنگهائیکه تحت‌تأثیر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

ازلحاظ ترکیب شیمیائی و در هنگام تشکیل با ماگمای بازالتهای ماه و بازالتهای زمین اختلافات زیر دیده می‌شود :

۱ـ نبودن آب در سنگهای ماه ـ در سنگهای ماه کانیهای ئیدراته و یا ئیدروکسیل دار دیده نشده . با وجود این در بعضی بررسیها مختصری آب که حداکثر در حدود ۳۰۰پ پ ام* بوده است دیده شده که احتمال دارد بـه صورت ادخـال در حفرات بازالتها نگهداری شده باشد (۱) (۲) .

۲ـ فشار بخشی اکسیژن ـ درگدازه‌های 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 درجهٔ سانتی گراد) . فشار خیلی کم اکسیژن سبب شده که در بازالتهای ماه بجای مانیتیت ، ایلمنیت متبلور شود(۱).

۳ـ مقدار درصد تیتان (Ti) ـ در سنگهای ماه کانیهای تیتان‌دار مـانند Ilménite ، Ulvöspinelle ، Pérowskite و Armalcolite (**) دیـده شده که نشانه فراوانی مقدار درصد تیتان در این بازالتها نسبت به بازالتهای زمین می‌باشد (۱) .

به طور کلی می‌توان چنین خلاصه کرد که سنگهای ماه ازعناصر لیتوفیل غنی وازعناصر کالکوفیل وسید روفیل فقیرند . درصفحهٔ ۳۰ ترکیب شیمیائی سنگهای ماه و انواع کانیهای موجود در آنها درج شده است .

سن سنگهای ماه :

از آنجائی که زمین یك کره فعال می‌باشد ودائماً پوسته آن در تغییر است نمی‌توان انتظار داشت که سنگهای بسیار مسن وخیلی قدیمی درسطح آن پیدا شود . تخریب سنگهای آذرین، ورسوب گذاری موادحاصل از تخریب این سنگها درژئوسنکلینالها ، ودگرگونی رسوبات تاجائی که به ذوب آنها منتهی می‌شود ، همه اینها مانع از آنست که سنگهای خیلی مسن و قدیمی تا به امروز در جای خود ، وبدون تغییر باقی مانده باشند . بنابراین عجیب نیست که بگوئیم $\frac{3}{4}$ از سنگهای تشکیل دهنده پوسته زمین سنی کمتر از ۲۰۰ میلیون سال رانشان میدهند وحتی ۰/۹

(*) هر پ پ ام مساوی یك میلیونیم است .

(**) آرمالکولیت مخفف اسامی سه فضانورد بنامهای زیر میباشد :
Armstrong, Aldrin, Collins .

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

سن سنگهائی که ازدریاهای ماه برداشت شده‌اند بین ۳/۷ تا ۲/۸ میلیارد سال می‌باشد (سنگهای آپولوی ۱۱ـ۲/۸ وسنگهای آپولوی ۱۲ـ۳/۷ میلیارد سال)(۱)(۲) .

این سن ازروی درجه تجزیه اورانیوم وتوریم به سرب و تجزیه روبیدیم به‌استرونسیوم تعیین شده‌است . گردوغباری که محتوی ذرات تخریبی برجستگی‌های ماه (آنورتوزیت) می‌باشد سنی بیش از بازالتهای ماه یعنی ۴/۶ میلیارد سال را نشان میدهد (۱) (۲) . بنابراین معلوم می‌شودکه پیکره دریای آرامش در ۴/۶ میلیارد سال و پهنه‌های وسیع بازالت‌که این دریا را پرکرده‌اند درحدود ۳ میلیارد سال قبل تشکیل شده است .

چون سن مطلق سنگهای آسمانی که تاکنون بررسی واندازه‌گیری شده ۴/۵ میلیاردسال می‌باشد لذا احتمال می‌رودکه سن ۴/۶ و یا ۴/۵ میلیارد سال سن منظومه شمسی باشد . ولی این اشکال وجود داردکه منشأ سنگهای آسمانی به طور دقیق معلوم نشده و مطمئن نیستیم که این سنگها ازمنظومه شمسی می‌آیند و یا ازنقاط دورتر(۳) . با تعیین سن مطلق سنگهای مسن وجوان ماه ، برای ما روشن شدکه فعالیت‌کره ماه بعد از۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلیون سال‌که ازانجماد آن‌گذشته متوقف شده‌است (۱)(۲) . این زمان تقریباً با آغازپرکامبرین یعنی زمانی که تحولات سنگها وتکامل موجودات زنده در زمین شروع شده است مطابقت دارد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

Si 0_2	40,4	46,9	43,8	46,0	43,73
$Al_2 0_3$	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
$Na_2 0$	0,5	0,3	0,4	0,3	1,53
$K_2 0$	0,2	0,1	0,2	tr	0,66
Ti 0_2	10,9	3,3	4,9	0,3	–
$Cr_2 0_3$	0,3	0,5	0,3	0,2	–

کانیهای موجود درسنگهای ماه بترتیب فراوانی دراین سنگها عبارتند از (۱)(۲) :

1)- Pyroxène
2)- Plagioclase
3)- Ilménite
4)- Olivine
5)- Cristobalite - Tridymite
6)- Pyroxferroïte $(Si\ 0_2)_2\ (Ca,Fe)_2$
7)- Chromite
8)- Ulvöspinelle $(Ti\ 0_2)\ Fe_2$
9)- Kamacite (Fe,Ni)
10)- Troïlite Fe S
11)- Feldspath alcalin
12)- Quartz
13)- Armalcolite $(Fe,Mg)\ Ti_2 0_5$
14)- Zircon
15)- Baddléyite $Zr\ 0_2$
16)- Apatite
17)- Whitlockite $Ca_2\ (P\ 0_4)_2$
18)- Rutile
19)- Pérowskite $Ca\ Ti\ 0_3$
20)- Spinelle $Mg\ 0Al_2 0_3$
21)- Tranquillityite$(FeTi,Zr,Si)0_3$
22)- Cohenite $Fe_3\ C$

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]

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 (traduetion française)

3)- O, HARA. M. J.- (1071) - La géologie de la lune à lumière du programme Apolo, Endeavour, (traduction francaise) .

4)- TOLANSKY. S,(1971)- Les sphérules de verre dans la poussière lunaire. s. nature, (traduction francaise) .

۵)- سخنرانی‌های آقای پروفسور بروس درکلاسهای (72-1971) D.E.A. پاریس - اورسی .

۶)- معین وزیری - حسین (۱۳۵۳) - کراترها و آستروبلم‌های سنگهای آسمانی مجلهٔ دانش روز - مدرسهٔ عالی علوم اراك - شماره سوم وچهارم .

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-12-23]