

عنوان: واکنش‌های اکسایش-کاهش و پیوندهای معدنی و آلی در دهانه جزرو، مریخ

دکتر راهوار

آریانا سیف‌اللهی 402100837- نرگس صفری 402100872

- مقدمه و هدف پژوهش
مریخ‌نورد پرسویرنس (Perseverance) ناسا نخستین مأموریتی است که با هدف جمع‌آوری و بازگرداندن نمونه‌های سنگی از مریخ طراحی شده است.
این پژوهش به بررسی دقیق سازند برآیت آنجل (Bright Angel Formation) در ناحیه نرتوا ولیس (Neretva Vallis) می‌پردازد — جایی که پرسویرنس در جریان حرکت خود در دهانه جزرو، ساختارهای رسوبی و شواهدی از واکنش‌های شیمیایی میان مواد آلی و معدنی را شناسایی کرده است.
پژوهشگران با استفاده از ابزارهای پیشرفته مریخ‌نورد، شامل PIXL، SHERLOC، SuperCam و RIMFAX، شواهدی از واکنش‌های احیاء-اکسید (Redox) میان آهن، فسفر، سولفور و مواد آلی یافتند؛ واکنش‌هایی که به احتمال زیاد در دماهای پایین و پس از رسوب‌گذاری اولیه سنگ‌ها رخ داده‌اند. هدف اصلی پژوهش، درک منشأ این واکنش‌ها و بررسی احتمال زیستی یا غیرزیستی بودن آنهاست.
- یافته‌های زمین‌شناسی
در این ناحیه، سنگ‌ها از گل‌سنگ (mudstone) و کنگلومرا تشکیل شده‌اند که حاصل رسوب‌گذاری در محیط‌های آبی آرام و کم‌عمق‌اند.
رنگ این سنگ‌ها از قرمز تا خاکستری متغیر است، که این تغییر رنگ نشانه‌ای از تفاوت در حالت اکسایش آهن در ترکیب آنهاست.
در مناطقی مانند Cheyava Falls و Apollo Temple، ساختارهای میکروسکوپی پیچیده‌ای شامل گره‌ها (nodules) و لایه‌های واکنشی (reaction fronts) شناسایی شده است. این گره‌ها در طی فرآیندهای شیمیایی پس‌رسوبی شکل گرفته‌اند و حاوی فسفات و سولفید آهن هستند.

- شناسایی مواد آلی و معدنی
بزار طیف‌سنجی SHERLOC وجود کربن آلی را در چند نقطه از سازند برایت آنجل تأیید کرده است. به‌طور هم‌زمان، تحلیل‌های PIXL نشان داده‌اند که این نواحی شامل ترکیباتی از فسفات آهن (ویوانیت – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) و سولفید آهن (گریگیت – Fe_3S_4) هستند. این مواد معمولاً در زمین در محیط‌های آبی کم‌اکسیژن و در حضور مواد آلی شکل می‌گیرند. داده‌های SuperCam نیز نشان‌دهنده حضور رسی‌ها، سیلیکا، و سولفات کلسیم (ژپس و بازانیت) است که تأییدکننده وجود آب در زمان تشکیل این سازندهاست.
- ساختار و ترکیب شیمیایی
تحلیل عنصری سنگ‌ها نشان می‌دهد که در زمان تشکیل اولیه، محیط نسبتاً اکسیدکننده بوده است. اما بعدها در بخش‌هایی از رسوبات، به دلیل حضور مواد آلی و واکنش‌های احیایی، ترکیبات جدیدی شکل گرفته‌اند. وجود فسفات‌ها و سولفیدهای آهن در کنار کربن آلی، گواهی بر وقوع واکنش‌های اکسایش-کاهش در مقیاس میکروسکوپی است.
در تصاویر میکروسکوپی، توده‌های گرد و لکه‌دار کوچکی (که تیم علمی آن‌ها را «دانه‌های خشخاشی» و «نقاط پلنگی» نامیده) دیده می‌شوند. این ساختارها بیانگر مناطق موضعی هستند که در آن‌ها واکنش‌های شیمیایی فعال بوده است.
- تعبیر زمین‌شیمیایی
شواهد موجود نشان می‌دهد که محیط رسوب‌گذاری سازند برایت آنجل آبدار و قابل‌زیست بوده است. پس از رسوب‌گذاری، واکنش‌های میان مواد آلی و ترکیبات آهنی باعث شکل‌گیری مواد معدنی احیایی مانند ویوانیت و گریگیت شده‌اند. در زمین نیز چنین واکنش‌هایی معمولاً در محیط‌های دریاچه‌ای یا دلتایی رخ می‌دهند که اکسیژن در آن‌ها محدود است و میکروب‌ها از ترکیبات آهن یا سولفات به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. بنابراین، شباهت این الگوها در مریخ با نمونه‌های زمینی، احتمال وجود فرآیندهای زیستی را تقویت می‌کند.
- فرضیه‌های منشأ واکنش‌ها
۱. فرآیندهای غیرزیستی
واکنش‌های طبیعی میان مواد معدنی و ترکیبات آلی ساده بدون نیاز به حیات می‌توانند این مواد را تولید کنند. با این حال، چنین واکنش‌هایی معمولاً در شرایط خاص دما و ترکیب شیمیایی اتفاق می‌افتند که در داده‌های مریخ به‌طور کامل دیده نمی‌شود.
۲. فرآیندهای زیستی
در سناریوی زیستی، میکروب‌های باستانی می‌توانسته‌اند با کاهش ترکیبات آهن یا سولفات در محیط‌های بی‌هوازی، مواد معدنی مشاهده‌شده را تولید کنند.

در زمین، ترکیباتی مانند ویوانیت و گریگیت غالباً محصول مستقیم فعالیت‌های میکروبی‌اند. حضور هم‌زمان مواد آلی، نشانه‌های طیفی مشخص، و ساختارهای احیایی از این فرضیه حمایت می‌کند.

- اهمیت علمی

ترکیب شواهد معدنی، آلی و بافتی در این سازند یکی از قوی‌ترین شواهد برای وجود محیط‌های زیست‌پذیر گذشته در مریخ است.

یافته‌ها نشان می‌دهند که مریخ در گذشته دارای چرخه‌های شیمیایی پیچیده‌ای بوده که شامل تبادل الکترونی میان مواد آلی و معدنی است — فرآیندی که بر روی زمین پایه بسیاری از اشکال حیات میکروبی است. بنابراین، سازند برای آنجل می‌تواند بخشی از تاریخ شیمیایی مریخ را نمایان کند، زمانی که شرایط برای پشتیبانی از زندگی ساده وجود داشته است.

- چشم‌انداز آینده

مریخ‌نورد پرسویرنس نمونه‌ای از سنگ‌های این ناحیه را با نام **Sapphire Canyon** جمع‌آوری کرده است. این نمونه‌ها قرار است در مأموریت آینده **Mars Sample Return** به زمین بازگردانده شوند تا در آزمایشگاه‌های دقیق‌تر منشأ مواد آلی و معدنی آن‌ها بررسی شود.

چنین بررسی‌هایی ممکن است برای نخستین بار پاسخ دهد که آیا حیات میکروبی واقعاً زمانی بر سطح مریخ وجود داشته است یا خیر.

- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که دهانه جزرو و سازند برای آنجل حاوی شواهدی از محیطی آبی، سرد و شیمیایی فعال هستند که در آن واکنش‌های اکسایش-کاهش میان آهن، فسفر و مواد آلی رخ داده است. هرچند هنوز شواهد قطعی از حیات به‌دست نیامده، اما داده‌ها نشان می‌دهند که مریخ زمانی شرایط زیست‌پذیر مشابه زمین اولیه را داشته است.

به همین دلیل، این منطقه یکی از کلیدی‌ترین مکان‌ها برای جست‌وجوی نشانه‌های حیات باستانی در منظومه شمسی محسوب می‌شود.