کاربرد جغرافیای طبیعی در یافتن شواهد حیات در مریخ

مهندس بهرام نکوئی صدری
مهندس معدن، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

چکیده

ژئومورفولوژی و بررسی آن روی کره‌ی مریخ، بسیار شبیه به قسمت‌های قدیمی نواحی خشک منجمد شمالی در کره‌ی زمین است. هوازدگی، به عنوان عامل ایجاد چنین لندفورم‌هایی روی کره مریخ، از تکرار مداوم تبلور دوباره‌ی نمک‌ها پدید می‌آید و خود این عمل، از راه چرخه‌ی رطوبت نسبی، میسر می‌شود.

بررسی گذشته نگر اقلیم روی مریخ، مطالعات کشف حیات را تکمیل می‌کند. در نهایت چنین مطالعاتی توسط علم کاربردی جغرافیای طبیعی می‌تواند در تلفیق با مباحث جغرافیایی انسانی، مثل مهاجرت انسان به کرات دیگر کهکشان، تکمیل شود.

این مقاله ضمن تأکید بر آشناسازی علاقه‌مندان با کاربرد علم جغرافیا، مثل کشف حیات در مریخ، درصدد تبیین وابستگی تنگاتنگ دو گرایش جغرافیای طبیعی یعنی ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی به یکدیگر و در نهایت، وابستگی هر دو آن‌ها به جغرافیایی انسانی و برعکس، با ذکر نمونه‌ای از کشف حیات است.

کلیدواژه ها : لندفورم، مریخ، حیات، هوازدگی، ژئومورفولوژی، باکتری، میکرواقلیم، اکوسیستم بیابانی

مقدمه

علم جغرافیای طبیعی از دو گرایش تخصصی اقلیم‌شناسی و ژئومورفولوژی (شـکل شناسی زمین) تشکیل شده اسـت. ژئومورفولوژی از سه واژه‌ی یونانی «ge» به معنای زمین، «morpho» به معنای شکل و «logos» به معنای «دانش» یا «شـناخت» تشکیل شده اسـت که به مطالعه‌ی علمی ویژگی‌های هندسـی سـطح زمین می‌پردازد.

اگر چه این اصطلاح عموماً به آن دسته از شکل‌های زمین محدود می‌شود که در سـطح دریا یا بالاتر از سـطح دریا توسـعه یافته‌اند، همه‌ی ویژگی‌ها یا جنبه‌های سـطحی مشـترک بین قشـر جامد زمین، هیدروسـفر و اتمسـفر را دربرمی‌گیـرد

در ژئومورفولوژی، نه تنها شـکل‌های سـطحی قاره‌ها و مناطق حاشیه‌ی آن‌ها، بلکه شـکل‌های کف دریا نیز بررسـی می‌شود. مشـاهده‌ی سطح ماه و مریخ و دیگر سـیاره‌ها ـ از نزدیک و با اسـتفاده از سـفینه‌های فضایی ـ سبب شـد که ژئومورفولوژی به بررسی جنبه‌های خارج از سـطح زمین نیز بپردازد و بر گسـتره‌ی مطالعاتی خود بیفزاید [چورلی و همـکاران، ۱۳۸۰: ۹]. مطالعه‌ی اشکال زمین یا کرات دیگر، بدون آگاهی از جو زمین یا گازهای موجود در زمان حال و گذشـته‌ی آن سیاره، تکمیل نخواهد شد. بنابراین، مطالعات اقلیم‌شناسی و دیرینه اقلیم‌شناسـی به عنوان بال دیگری از علم کاربردی جغرافیای طبیعی در کنـار ژئومورفولـوژی، لازم و ملـزوم یکدیگرنـد.

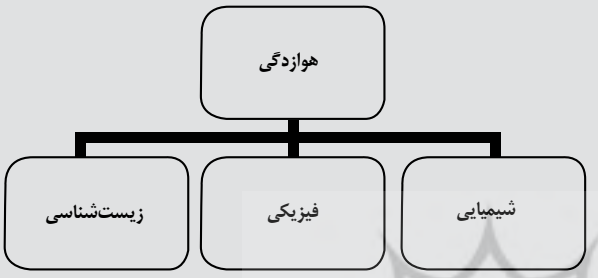
در علـم ژئومورفولوژی، مطالعات مربوط به این علم در دو رویکرد تاریخی و تجربی انجام می‌شـود.

اما آن‌چه در بررسـی سـایر کرات اهمیت می‌یابد، رویکرد تاریخی اسـت. توضیحات تاریخی در مورد آن دسـته از شکل‌های زمین و سایر کرات آسمانی به کار می‌رود که ظاهر آن‌ها آشکارا و به آرامی در طول زمان تغییر یافته است و نشـان‌دهنده‌ی تأثیرات اقلیمی و زمین ساختی باشد. این نوع اشکال سطحی را «پالمسیسـت»[1] می‌نامند.

اصطلاح «پالمسیسـت» از واژه‌های یونانی «پالیـن»[2] به معنای دوباره و «سگما»[3] به معنای پاک شده، برگرفته شده است (و تعبیر آن همانند صفحه‌ای اسـت که بخشـی از نوشـته‌های روی آن پاک شـده و در زمان‌های متفاوت روی آن سـطح دوباره چیزهایی نگاشته شده است). بنابراین توضیحات تاریخی مربوطه، بر اسـاس «گذشته‌نگری»[4] اسـت که به معنی به دست آوردن ترتیب تاریخی وقایعی اسـت که در شـکل دادن زمین مؤثـر بوده‌اند [همان، ص۱۰]. اثـر باکتری‌ها به عنـوان یکی از عوامل هوازدگی، مبحثی اسـت که امروزه در پی‌گیـری هوازدگی و اثرات آن روی حیات در کرات دیگر عالم مورد توجه قرار گرفته‌اسـت.

تعاریـف‌وکلیـات

یکـی از فرایندهـای دخیـل در جغرافیـای طبیعی کـه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسـی مطالعـات آن را در بر می‌گیرنـد، مبحث هوازدگی سـنگ‌ها در طبیعت کره‌ی خاکی و کرات دیگر اسـت. می‌توانیم هوازدگی را به سـه قسمت متفاوت تقسـیم کنیم:



نمودار تقسیم‌بندی هوازدگی (از تقسیم‌بندی: 2006 و Pidwirny)

هوازدگی و تخریب زیست‌شناختی

«هوازدگی زیست‌شناختی» به از هم پاشیده شدن سنگ‌ها و کانی‌ها در اثر فعالیت موجودات زنده گفته می‌شود. این موجودات زنده از باکتری تا گیاهان و جانوران را شامل می‌شود [پیدرونی، ۲۰۰۶]. در این‌جا باکتری‌ها و درک بیشتری از نقش کاربردی آن‌ها در جغرافیای طبیعی مورد نظر است.

باکتری‌ها و بحث هوازدگی در جغرافیای طبیعی

باکتری‌ها در هوازدگی مواد سطح زمین مؤثر هستند و حتی پاره‌ای از دانشمندان، اهمیت زیادی برای آن‌ها قائل‌اند. باکتری‌ها، با اکسیداسیون و فاسد کردن باقی‌مانده‌های گیاهی و جانوری موجود در خاک و ایجاد محیط اسـیدی، موجبات هوازدگی مواد در خاک را فراهم می‌کنند. باکتری‌ها در همه جا یافت می‌شوند. حتی در رگه‌های طلا، در بازالت چند کیلومتری اعماق زمین در کانادا، در ساحل غربی آمریکا در دودکش‌های زیردریایی و در سـیارات دوردسـت، میکروب مشاهده شده است[5]. معلوم می‌شود که نقش میکروب‌ها در شکل دادن زمین چقدر مهم است.

از لحاظ اقلیم‌شناسی، میکروب‌ها حتی در طول دو میلیارد سال گذشته اکسیژن زمیـن را تأمین کرده‌اند. هم‌چنین حـوزه‌ی طلای جنگل معروف آمـازون را، خیل عظیم میکروب‌ها به وزن ۱۰۰ تن به وجود آورده‌اند. یعنی میکروب‌ها از خاک جنگل طـلا را جمع کرده و در یک جا تمرکز داده‌انـد. این تحقیقات دامنه‌دار، تحت عنوان «زیست کانی‌سازی»[6] انجام می‌شوند. حتی در ایران، از این خاصیت در «معدن مس سرچشمه‌ی کرمان» از میکرو ارگانیسم‌های مس‌دوست در یک محیط اسیدی برای استخراج و استحصال کانی مس کمک گرفته می‌شود. بنابراین، میکروب‌ها و به طور کلی میکروارگانیسم‌ها بدون شک با حضور نامرئی خود نقش مهمی در کانی‌سازی یا تجزیه‌ی کانی‌های گوناگون و شکل‌زایی، ایفا می‌کنند.

در واقع، ریز زیست‌شناسی و علوم زمین و اقلیم‌شناسی خیلی به یکدیگر وابسته هستند. در مطالعات میکرواقلیم در محیطی مثل یک غار نیز، باکتری‌ها و نقش آن‌ها حائز اهمیت اسـت. برای مثال، طبق نظر **لویـس**[7] (۱۹۹۲)، باکتری‌های موجود در نهشـته‌های غار، ازت را از جوّ غار تثبیت می‌کنند و باعث تشـکیل کانی‌های نیتراته می‌شـوند. **پیدرونی** (۲۰۰۶) می‌نویسـد: «از دیگر اثرات شیمیایی پیچیده که در اثر فرایندهای زیست‌شناختی موجودات زنده حاصل می‌شود، تولید مواد آلی[8] است که به نام **کی‌لیت**[9] ها معروف هسـتند و قادرند کانی‌ها و سنگ‌ها را به وسیله‌ی برداشتن کاتیون‌های فلزی[10] آن‌ها تجزیه کنند این عمل را **کی‌لیشن**[11] گویند [ساری صراف و نکویی صدری، ۱۳۸۷].

«هوازدگی زیست‌شناختی» به از هم پاشیده شدن سنگ‌ها و کانی‌ها در اثر فعالیت موجودات زنده گفته می‌شود. این موجودات زنده از باکتری تا گیاهان و جانوران را شامل می‌شود

اشکال حیات و هوازدگی

برای مکان‌یابی شکل‌های فعلی حیات، از لحاظ زیست‌شناختی باید به طور مداوم و در طول دوره‌های زمین‌شناسی، آب در حالت مایع وجود داشته باشد. در زمان‌های گذشته، منبع انرژی برای ارگانیسم‌ها، در غیاب عمل فتوسنتز، ناگزیر شیمیایی بوده است.

اشکال حیاتی در عمل هوازدگی سنگ‌ها شرکت می‌کنند و انرژی آن‌ها از این طریق به دست می‌آید. برای مثال، یک منبع انرژی، واکنشی حاصل از ترکیب اکسیژن جو با آهن دو ظرفیتی است که در نتیجه‌ی آن، آهن سه ظرفیتی تولید می‌شود. آهن سه ظرفیتی در واکنش با سنگ‌های کانی‌دار، در نهایت به آهن دو ظرفیتی تبدیل می‌شود. این مثالی از عمل باکتری‌های آهن روی کره‌ی زمین امروزی ماست. هوازدگی به عنوان عامل ایجاد لندفورم‌های روی کره‌ی مریخ نیز، از تکرار مداوم تبلور دوباره‌ی نمک‌ها[12] حاصل می‌شود [Cotton & Wilson,1971;Wellman & Wilson,1965; Wilson,1979].

مقدمه و تحلیل مسئله‌ی جغرافیای طبیعی و حیات در مریخ[13]

از همان آغاز مطالعات حیات در مریخ، مسئله‌ی نخست دانشمندان این بوده است که تصمیم بگیرند، در کجای نواحی قطبی مریخ، «آشیانه اکولوژیکی»[14] می‌توانسته وجود داشته باشد و به تشکیل شکل‌های نشانگر حیات در حال حاضر منجر شده باشد.

برای یافتن حیات بر پایه‌ی کربن (شبیه به آن‌چه ما در کره‌ی زمین داریم)، در بخش‌های دیگر منظومه‌ی شمسی باید به دنبال جایی بگردیم که آب به حالت مایع، در بعضی از شکل‌های ممکن خود وجود داشته باشد. همان‌طور که ذکر شد، برای مکان‌یابی شکل‌های فعلی حیات، باید آب در حالت مایع به طور مداوم از لحاظ زیست‌شناختی در طول دوره‌های زمین‌شناختی وجود داشته باشد.

جست‌وجوی حیات با فرایندهای هوازدگی در مریخ

راه مطلوب برای یافتن اشکال حیات فعلی روی مریخ، در آب‌های خیلی شور است. زیرا چنین سیستمی دمای انجماد خیلی پایینی دارد و تحت شرایط برودت می‌تواند در تعادل دینامیکی با اجزای تحت فشار کم‌بخار آب باشد. هر دوی این شرایط برای وجود فعلی یا گذشته تا حال، روی سیاره‌ای چون مریخ بسیار محتمل است. این امر، در عمل به معنای تمرکز و غلظت زیاد محلول منیزیم به کلرید کلسیم تولید شده به وسیله‌ی هوازدگی سنگ‌هاست. چنین محلول‌هایی می‌توانند در حالت مایع زیر دمای منفی ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در فشار تور[15] بخار آب وجود داشته باشد. چنین سیستمی به سیستم حالت پیوسته و ثابت تبدیل می‌شود و قادر است در زمان‌های بیشتری در مقیاس زمان‌های زمین‌شناسی وجود داشته باشد[16].

مدل زمینی وجود حیات برای سیستم فوق

بررسی **ای‌تی‌ویلسون** در مجموعه مقالات «اولین کنفرانس بین‌المللی در مورد دانش قطب مریخ» نشان می‌دهد که سیستم ژئوشیمیایی به دست آمده در بیابان‌های سرد بی‌باران منجمد شمالی می‌تواند به عنوان مدلی مشابه مورد مطالعه قرار گیرد. اما به احتمال قریب به یقین، سیستم‌هایی که در عصر حاضر یا در اعصار گذشته روی مریخ وجود داشته و دارند، در دوره‌های گذشته نیز موجود بوده‌اند.

نواحی خشک عاری از یخ در عرض جغرافیایی بالا در نیم‌کره‌ی جنوبی

اگرچه قسمت اعظم خشکی منجمد شمالی با یخ و برف پوشیده شده است، برخی نواحی آن عاری از یخ هستند. این نواحی تحت عنوان «نواحی خشک» به شدت بیابانی‌اند و با شدت سرما و خشکی مشخص می‌شوند. هم‌چنین، در بیابان‌های خشک امر بی‌بارانی، پدیده‌ای منحصر به فرد است. تمام ریزش جوی به صورت برف است که توسط تصعید از دست می‌رود. اگر فردی، در میان خاک سست و نامستحکم نواحی خشک و سرد حفاری کند، از میان خرده‌سنگ خشک و شل عبور می‌کند و می‌تواند به طور ناگهانی و مستقیماً به یک لایه‌ی خیلی سخت و غیر قابل نفوذ برسد. با این آزمایش، وجود واریزه‌ی خرده سنگی، به عنوان سطح رویی، اثبات می‌شود. اما سیمان آن بلورهای یخ است

گاهی در اواخر تابستان، آب شور در «سفره‌های آب زیرزمینی یخ زده» ـ آن‌چه که ویلسون (۱۹۷۹) آن‌را نام‌گذاری کرده است ـ با حرکت دامنه‌ای در سطح، آشکار می‌شود. در نقاط پایین‌تر از حوضه‌های زهکشی محصور شده در نواحی خشک، گاهی اوقات آب شور می‌تواند به داخل حوضچه‌های کم‌عمق (سفره‌های سطحی)[18] نفوذ کند. یکی از این مثال‌ها، منطقه‌ی «ساث فووک رایت ولی»[19] است که ترکیبی از کلراید با ۶۰۰۰۰ و کلسیم با ۱۸۰۰۰، و منیزیم ۷۰۰۰، و سدیم ۹۹۰۰ «پی پی‌ام» داشته است.

در یک موقعیت بسیار خشک همانند سطح مریخ، می‌توان بیشترین غلظت را برای کلرید، پس از آن منیزیم، سپس کلسیم و در نهایت سدیم پیش‌بینی کرد. واضح است که در یک بیابان سرد بی‌باران، پدیده‌های متفاوتی می‌تواند وجود داشته باشد؛ مثل شکل‌گیری سفره‌های زیر سطحی کم‌عمق از آب بسیار شور.

روی کره‌ی زمین فقط به آغاز این اکوسیستم بیابانی بی‌بارش دست می‌یابیم. ولی بنا بر آن‌چه ویلسون (۱۹۷۹) دو دهه پیش مطرح کرده است، مریخ بیابانی بی‌بارش است و احتمالاً حتی خشکی بیشتری دارد. این می‌تواند حاصل پیشروی طبیعی سیستم‌های منجمد شمالی باشد و ممکن است سفره‌های کم‌عمق مشابه آن حتی شوری بیشتری داشته باشند. به نظر می‌رسد این حوضچه‌ها باید مکانی برای جست و جوی حیات «فرازمینی» باشند. هدف از درک ژئوشیمی بیابان بی‌بارش منجمد شمالی این بوده است که معلوم شود، چگونه نمک‌ها تجزیه می‌شوند، چرا برخی در خاک باقی می‌مانند و برخی دیگر به پایین شیب‌های دامنه انتقال می‌یابند (مثل کارهای اخیر که در این منبع آمده است: 1979 و Willson).

نتیجه‌گیری

بحث فوق نشان می‌دهد که در درازمدت، باید به جست‌وجوی هاله‌های بخار آب در فرورفتگی‌های توپوگرافیکی مریخ باشیم؛ به خصوص در آن عوارضی که در مقابل یخچال‌ها قرار دارند. این کار با کارهای سنجش از راه دور و توسط قرار دادن یک ماهواره‌ی سنجش از دور مادون قرمز در مدار گردش دور مریخ میسر می‌شود.

وجود مناطق عاری از یخ نشان می‌دهد که یخ باید آب خود را توسط تصعید از دست داده باشد. اگر وجود این وضعیت پیوسته و مداوم فرض شود، باید شکل‌هایی از بارش برف که جاری شدن نمک‌ها به حوضچه‌های زهکشی را نشان می دهد، وجود داشته باشد. این نشانه‌ها غالباً باید نشانه‌های ناحیه‌انتهایی برای حوضچه‌های زیر سطحی آب نمک در مقابل صفحات یخی باشند. در نهایت این قسمت باید ناحیه‌ی اولیه برای جست‌و جوی بیشتر نشانه‌های حیات روی کره‌ی مریخ باشد.

در کوتاه‌مدت، ما باید روی کره‌ی خاکی خودمان تحقیقاتی برای پاسخ به سؤالات زیر داشته باشیم:

۱. آیا می‌توانیم حوضچه‌های زیر سطحی آب شور در دوره‌های خشک قاره‌ی منجمد شمالی را با استفاده از سنجش مادون قرمز با یک ماهواره‌ی مداری، مکان‌یابی کنیم؟

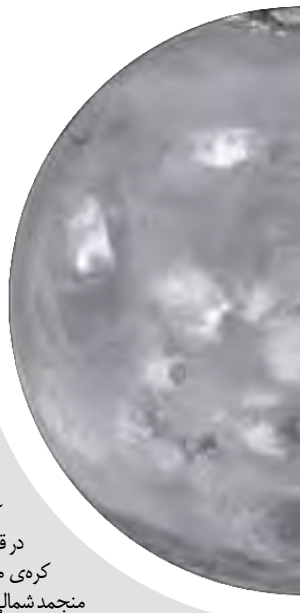
۲. آیا در ایام تابستان، تبخیر آب در نواحی فوقانی سفره‌های کم‌عمق آب شور، بیش از نواحی دربرگیرنده‌ی آن‌هاست؟

۳. آیا این مقدار برای ثبت آن با سنجنده‌ی مادون قرمز ماهواره‌ی مدار گرد، کافی است؟

رطوبت نسبی قسمت فوقانی آب شور، تحت شرایط تعادلی، مقدار ثابتی است و تابعی از غلظت (یا به طور دقیق، فوگاسیته‌ی آب در محلول آب شور) است، و به طور اندک با دما تغییر می‌یابد.

رطوبت نسبی، نمونه‌ای از فشار بخار آب ثابت در هواست که به سرعت با جریان

راه مطلوب برای یافتن اشکال حیات فعلی روی مریخ، در آب‌های خیلی شور است



هوای گرم تغییر می‌یابد. رطوبت نسبی به عنوان فشـار جزئی بخار آب در هوا تعریف می‌شود و از فشـار جزئی بخار آب در هوا، در صورت توازن با آب خالص در حالت مایع ـ در دمای عنوان‌شـده (به شـکل مقدار درصدی) ـ مشـتق می‌شود. به این سـبب باید انتظار داشـت، آب تحت شـرایط هوای گرم به خاطر شـوری خود بالا بیاید و تحت شرایط هوای سرد ته‌نشین و جذب شود. چنان‌چه در «تابستان» در شرایط آرام و بی‌تلاطم، باید انتظار داشت که سفره‌های کم‌عمق آب شور مذکور، هاله‌ای از بخار آب در قسمت فوقانی ایجاد کنند. ژئومورفولوژی و بررسی آن روی کره‌ی مریخ، بسـیار شبیه به قسمت‌های قدیمی نواحی خشک منجمد شمالی است. هوازدگی به عنوان عامل ایجاد چنین لندفورم‌هایی روی کره‌ی مریخ، از تکرار مداوم تبلور دوباره نمک‌ها حاصل می‌شود و خود این عمل، از راه چرخه‌ی رطوبت نسـبی، میسر می‌شود (نگاه کنید به: eotton & willson 1971; wellman & wilson, 1965)

این موضوع مذکور ما را متوجه امکان‌پذیر بودن این امر می‌کند که نمک‌ها، آب را از جو جذب کنند و آن را با خود به داخل محلول، منتقل سازند. اگر این امر اکنون در حال انجام باشد، بنابر این ممکن است هنوز در مریخ، میکروارگانیسم‌ها در حوضچه‌های زیر سطحی آب نمک مایع، زندگی کنند و اگر این امر در گذشته روی داده باشد، پس این حوضچه‌های زیر سطحی آن‌ها را منجمد و خشک ساخته‌اند. روی سیاره‌ای بدون حیات، کالبد (پوسته) و تخم (هاگ)های چنین میکروارگانیسم‌هایی، شانس خوبی برای سپری کردن میلیون‌ها سال در داخل آب شور یا به صورت درگیر داخل بلورهای نمک داشته‌اند. این می‌تواند موضوع نسبتاً ساده‌ای برای بازیابی فسیل میکروارگانیسم‌ها یا تخم (هاگ) آن ها، از نمونه‌های داخل آب شور یا از داخل بلورهای نمک باشد[۲۱].

همه روزه با کشف آثار بیشتری از حیات در منظومه‌ی شمسی، کاربرد جغرافیای طبیعی بیش از گذشـته اهمیت می‌یابد و بشر به مهاجرت به سیارات دیگر امیدوارتر می‌شود؛ مطالعات مربوط به حیات در عالم هم‌چنان ادامه دارد. اما از سوی دیگر، بررسی مسائل مربوط به گزینش مکانی دیگر و جابه‌جایی مکانی ـ فضایی در زمان‌های آتی برای بشر و سکناگزینی در محلی دیگر غیر از کره‌ی زمین، همکاری جغرافیایی طبیعی را با متخصصان جغرافیای انسانی می‌طلبد و قرار گرفتن مباحث جغرافیای انسانی در کنار جغرافیای طبیعی، برای تحقق هدف غایی این مطالعات که یافتن مکانی برای مهاجرت آتی انسان‌ها به سیارات دیگر است، ضرورت می‌یابد.

مباحث انتقال سرمایه‌ها، مهاجرت، مسائل اجتماعی، سیاسی و اقتصادی سفر به کرات دیگر و استفاده از منابع آن‌ها برای کشورهای گوناگون جهان، در حیطه‌ی مباحث مکمل جغرافیای انسانی و سیاسی قرار می‌گیرد.

پیشنهاد

پیشـنهاد می‌شـود پس از آشـنایی دبیران و دانش‌آموزان و طیف وسـیعی از دانشجویان و دانش‌پژوهان با کاربردهای جغرافیای طبیعی و انسانی، از طریق ارائه‌ی مباحث کلاسی و نگارش مقالات مشترک از سوی علاقه‌مندان و متخصصان جغرافیای طبیعی و انسانی، به تحلیل بهتر موضوعات جغرافیایی و ورود دیدگاه‌های جغرافیایی به مباحثی از قبیل یافتن حیات در سایر کرات و به مرور، به تحلیل‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی این نوع پژوهش‌های طبیعی پرداخته شود. ان‌شاءالله

پی‌نوشت

1. Palimpsest
2. Palin
3. Psegma
4. Retrodiction

۵. به طوری که حتی دانشمندان اعتقاد دارند، حیات زمین شاید از میکروبی پدید آمده است که در سنگِ فرود آمده به زمین، به صورت بذر میکروبی پخش شده است (منبع: از مصاحبه‌ی رادیویی با دکتر حجت‌الله ولی، از دانشمندان ایرانی سازمان ناسا در ایالات متحده آمریکا در تاریخ ۱۳۷۵/۹/۲۲)ـ نگارنده.

6. Biomineralization
7. Lewis
8. Organic substances
9. Chelates
10. Metallic Cations
11. Chelation

۱۲. اگر محلول نمک‌ها به هر علتی به داخل شکاف یا منفذ سنگ‌ها راه یابد و در آن‌جا متبلور شود، ممکن است باعث خردشدن سنگ شود. رشد بلورها تقریباً شبیه یخ بستنِ آب در شـکاف سنگ‌هاسـت؛ گو این که تبلور یک محلول با انجماد ساده‌ی یک مایع کاملاً متفاوت است. در نواحی خشک و بیابانی نیز پس از یک بارندگی کوتاه، آب داخل زمین نفوذ می‌کند و در نتیجه ممکن است مواد قابل حل سنگ‌ها و خاک‌ها را در خود حل کند. اگر این‌آب‌ها بنا به خاصیت موئینگی از مجراهای بسیار باریک داخل سنگ و خاک، دوباره به سطح زمین برگردند، تبخیر می‌شوند و مواد محلول در آن‌ها به صورت بلور رسوب می‌کند این بلورها بر اثر رشد خود، گاهی نیروهایی ایجاد می‌کنند که موجب خردشدن سنگ‌ها و خاک‌ها می‌شوند [صداقت، ۱۳۵۴] ـ نگارنده.

۱۳. بخشی از این مقاله ترجمه‌ای است از مقاله‌ی کجای مناطق قطبی کره مریخ باید به دنبال وجود حیات باشـیم؟ از مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی در مورد دانش قطب مریـخ (FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON POLAR SCIENCE MARS)، نوشـته‌ی ای‌تی‌ویلسـون، دپارتمان علوم زمین، دانشگاه آریزونا، آمریکا

14. Ecological Niche
15. Torr

۱۶. مشـکل این امر برای شکل‌های حیاتی در یک سیستم تناوبی به حالت ناپیوسته و چگونگی زنده ماندن در دوره‌های خاموش ـ دوره‌ی فاقد منبع انرژی

17. “Frozen water table”
18.Subsurface POND / pool
(حوضچه‌های زیر سطحی/ سفره‌ی کم‌عمق آب زیرزمینی)
19. South fork of the Wright Valley
20. “extra-terrestrial” life

۲۱. این امر می‌تواند با چیزهای دیگری که شبیه میکروارگانیسم‌ها باشند، اشتباه شوند؛ به خصوص زمانی که انتظار می‌رود کالبد میکروارگانیسم‌ها قابل حل در آب بوده باشد.

منابع

۱. چورلی، ریچارد جی؛ استانلی اشوم؛ دیوید ای. سودن (۱۳۸۰). ژئومورفولوژی (دیدگاه‌ها ـ ج ۱). ترجمه‌ی دکتر احمد معتمد با همکاری ابراهیم مقیمی. سازمان مطالعه و تدوین کتب انسانی دانشگاه‌ها (سمت) تهران.

۲. ساری صراف، ب؛ نکویی صدری، ب (۱۳۸۷). اقلیم و هوازدگی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. ۳۷۹ص

۳. صداقت، محمود. فرایندهای بیرونی. (زمین‌شناسی سال دوم دانشگاه آزاد ایران). توجه: ۱۳۵۴

4. Wilson A.T.(1979) Nature, 280,205-208.

5. Wellman H.W.and Wilson A.T. (1965) Nature,205,1097.

6. Cotton A.and Wilson A.T. (1971) Earth Sceince Journal,5,1-15.

7. Cotton A.and Wilson A.T. (1971) Z.Geomorph.15,199-211

8. Pidwirny,M. (2006). “Weathering”. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition.
Date Viewed.http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10r.html