

Study of Effective Weathering Processes on Rocks

Wahdat Wahidi

Department of Geography, Education Faculty, Baghlan University, Afghanistan.

Corresponding Author: Wahdat Wahidi. E-mail: wahdatwahidi123@gmail.com.

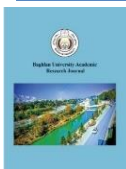
Article Info	ABSTRACT
Article Type: Review Article	The purpose of writing this scientific article is to accurately identify the factors influencing the weathering of rocks. The findings of this research show that weathering is one of the most essential and important geological processes that play a key role in rock transformation and degradation. According to climate studies, chemical weathering dominates in warm and humid areas, while physical weathering occurs more in cold and dry regions. The key factors affecting rock weathering include: rock type, climatic conditions, moisture level, ambient temperature, presence of organic matter, and dissolved chemical compounds-all of which are among the most important parameters determining the intensity and type of weathering. In addition, the resistance of the minerals that make up the rock and their internal structure against decomposition plays an important role in this process. Better understanding of these factors can be widely applied in natural resource management, preservation of stone structures, and geological change analysis.
ArticleHistory:	
Received: 31, August, 2025	
Accepted: 25, March, 2026	
Published: 7, June, 2026	

Keywords: Chemical, Minerals, Physical, Process, Rock, Weathering.

To cite this article: Wahidi. W: 2026. Study of Effective Weathering Processes on Rocks. Baghlan University Journal of Natural and Social Sciences, Vol. 14, Issue. 1, Serial No. 38. Spring (2026), 89-105.

License: RCTD – GNJR – 0018 - 23.

Publisher: University of Baghlan Journal@baghlan.edu.af



مطالعه فرایندهای مؤثرهوازدگی در برابر احجار

پوهنمل وحدت واحدی

عضو کادر علمی دیپارتمنت جغرافیه پوهنځي تعلیم و تربیه پوهنتون بغلان.

اطلاعات مقاله چکیده

هدف از این مقاله علمی شناخت دقیق عوامل مؤثر هوازدگی احجار (سنگ‌ها) است. درگردآوری موضوعات جهت تدوین این مقاله، از روش مروری اسنادی استفاده شده، که اطلاعات به گونه توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که هوازدگی از مهم ترین فرایندهای زمین شناسی است که نقش کلیدی درتغییر شکل و تخریب سنگ‌ها دارد. با توجه به مطالعات اقلیمی، درمناطق گرم و مرطوب، هوازدگی کمیابویی غالب است، درحالی‌که درمناطق خشک و سرد، هوازدگی فیزیکی بیشتر رخ می‌دهد. اما فرایندهای مؤثر که در هوازدگی احجار مناطق فوق الذکر نقش اساسی دارند. عبارت اند از: نوع سنگ، شرایط اقلیمی، میزان رطوبت، دمای محیطی، حضور مواد کاربن دار و ترکیبات کمیابویی محلول، از جمله مهم‌ترین پارامترهایی هستند که شدت و نوع هوازدگی را تعیین می‌کنند. همچنین، مقاومت منرال‌های تشکیل‌دهنده سنگ و ساختار درونی آن‌ها در برابر تجزیه، نقش مهمی در روند این فرایند دارد. شناخت بهتر این عوامل می‌تواند در مدیریت منابع طبیعی، حفظ سازه‌های سنگی و تحلیل تغییرات زمین‌شناختی کاربرد گسترده‌ای داشته باشد.

نوع مقاله:

مقاله مروری

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۶/۹ هـ ش

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۱/۵ هـ ش

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۳/۱۷ هـ ش

واژه‌های کلیدی: سنگ، فیزیکی، فرایند، کیمیایی، منرال‌ها، هوازدگی.

استناد: واحدی. وحدت. (۱۴۰۵)، مطالعه فرایندهای مؤثرهوازدگی در برابر احجار، مجله علمی تحقیقی علوم طبیعی و اجتماعی

پوهنتون بغلان، شماره ۱، بهار (۱۴۰۵)، شماره مسلسل ۳۸، دور ۱۴، ۸۹-۱۰۵.

ناشر: پوهنتون بغلان. Journal@baghlan.edu.af

مقدمه

بسم الله الرحمن الرحيم؛ الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد ﷺ و على آله و أصحابه أجمعين. اما بعد!

هوازدگی یکی از فرآیندهای اساسی در زمین‌شناسی است که منجر به تغییر، تجزیه و تخریب سنگ‌ها در سطح زمین می‌شود. این فرآیند به‌طور کلی به سه نوع اصلی تقسیم می‌شود: هوازدگی فیزیکی، هوازدگی کمیای و هوازدگی بیولوژیکی. در این میان، عوامل متعددی چون نوع سنگ (احجار)، ترکیب معدنی آن، شرایط اقلیمی (رطوبت، دما، بارندگی)، حضور مواد آلی (مواد کاربن دار) و حتی فعالیت‌های انسانی به شدت و نوع هوازدگی تأثیر گذارند.

فرایندهای هوازدگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر شکل سطح زمین، نقش اساسی در چرخه‌های زمین‌شناسی، تشکیل خاک، و فراهم‌سازی عناصر غذایی برای پوشش گیاهی دارند. با این حال، شناخت دقیق این فرایندها و عوامل مؤثر بر آن‌ها، ضرورت به تحقیق و تفحص دارد. بنأ، هدف از نگارش این مقاله، شناخت عوامل مؤثر بر هوازدگی و پیامدهای آن برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و جلوگیری از فرسایش خاک که اهمیت حیاتی دارد می‌باشد. تا جای که نگارنده اطلاع دارد، تا کنون درمورد چنین عنوانی تحقیق بنیادی صورت نگرفته است. البته عده یی در برخی منابع مختلف مربوط به عنوان فوق‌الذکر چنین ابراز نظر نموده اند.

رابطهٔ نزدیک بین آب و هوا و هوازدگی وجود دارد. عواملی مثل رطوبت، دما و تغییرات فصلی که بر مبنای آنها نوع آب و هوای هر ناحیه تعریف می‌شود در واقع مشخص کنندهٔ نوع هوازدگی آن نیز هست. در نواحی گرم و مرطوب ضخامت مواد هوازده خیلی بیشتر از اقلیم‌های دیگر است، و در بعضی نقاط (بیشتر در امتداد شکستگی‌ها و مکان‌های تکتونیکی) هوازدگی تا اعماق زیادی نفوذ می‌کند (فیجانی، ۱۳۹۹: ۳۳).

هوازدگی شدید مناطق گرمسیر آنچه که به جای می‌ماند اکساید های پایدار آهن و آلومینیم است، که به سادگی از خاک های مناطق گرمسیر حل می‌شود یا از محل دور شده و به دریا حمل می‌شود، یا اگر آب کافی برای شستشوی ساده از خاک وجود نداشته باشد، ممکن است در اثر از دست دادن آب در سنگ های هوازده، پوسته ها یا لایه های ساده و بی‌شکلی تشکیل شود. "فرسایش" نیز به طور کلی عبارت از سست شدن، متلاشی شدن و جابه جا شدن سنگ‌های سطح زمین است و بنابراین در معنای وسیع کلمه غالباً شامل هوازدگی و حمل و نقل نیز می‌شود. مواد فرسوده شده یا مستقیماً بر اثر نیروی گرانشی زمین یا به وسیله عوامل مختلف طبیعی مانند:

رودخانه، آب‌های زیرزمینی، باد، یخچال، جریان‌ها و امواج دریایی حمل می‌شوند، وقتی این عوامل قدرت حمل خود را از دست دادند در فرورفتگی‌ها و نقاط پست زمین، مانند: دریاچه‌ها و دریاها، به جای گذاشته می‌شوند که به این عمل "رسوب گذاری" یا "تهنشین" می‌گویند. سرانجام رسوبات نا پیوسته ای مثل ریگ، لای و گل که حاصل فرسایش و رسوبگذاری هستند، ممکن است مدت‌های طولانی درحوضه‌های رسوبی باقی بمانند و در اثر فرایندهای مختلفی که به طور کلی "سنگ‌شدگی" خوانده می‌شوند به سنگی سخت و یکپارچه بدل شوند. این سنگ رسوبی جدید با ظهور در سطح زمین دوباره در معرض هوازدگی و فرسایش قرار می‌گیرد و چرخه جدیدی آغاز می‌شود (مدنی و شفیی، ۱۳۸۵: ۲۱۷).

بنابراین، در سنگی که در قاعده پروفیل کمی هوازده شده است، هوازدگی مواد معدنی در ترک‌های کوچک و کانال‌های باریک محلول اتفاق می‌افتد و قطرات آب در این حجم‌های محدود مکانی، احتمالاً به تعادل نزدیک با کانی اولیه در حرکت خواهد بود. در چنین شرایطی، محصول هوازدگی ایجاد شده ممکن است از نظر ترکیب و ساختار به منرال اولیه بسیار نزدیک باشد. ساپرولیت (Saprolite) در قسمت‌های بالاتر پروفیل هوازدگی ممکن است ساختار و بافت سنگ مادر اصلی را حفظ کند یا نکند، اما در هر دو حالت، رابطه نزدیک بین کانی اولیه و محصول هوازدگی که در سنگ کمی هوازده دیده می‌شود، ممکن است از بین برود (کردوانی، ۱۳۷۱: ۲۳۱).

روش تحقیق: در تهیه و تدوین این مقاله، از روش مروری اسنادی استفاده صورت گرفته، که اطلاعات با استفاده از منابع معتبر جمع‌آوری و به گونه‌ی توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

فرایندهای مؤثر هوازدگی

فرایندهای مؤثر در تغییرات سطح زمین

سیمای زمین دستخوش تغییر و تحولی پایان نا پذیر است، این تغییرات حاصل عملکرد نیروهای هستند که در سطح و درون زمین فعالیت دارند، چهره زمین و عوارض گوناگون سطح آن در هر زمان و هر مکان، نتیجه عمل متقابل این دو دسته از نیروهاست. نشانه وجود نیروهای درونی در سطح زمین بسیارند، زلزله‌ها و فعالیت‌های آتشفشانی شواهدی روشن و کافی بر وجود نیروهای قدرتمند در درون زمین است، اما تنها همین حوادث نا گهانی گواه فعالیت‌های درونی نیست. تغییرات آهسته ای نیز هستند که همان اندازه اهمیت دارند. عامل محرکه رویدادهای چون بالا آمدن آهسته

توده‌های مگماتیک، چین خوردگی تدریجی سنگ‌ها سخت، شکستگی و ایجاد شکستگی‌های کوچک و بزرگ و حتی جابه جایی قاره‌های عظیم، همگی در درون زمین نهفته است. این گونه فرایندهای تغییر دهنده زمین گرچه مستقیماً محسوس و قابل مشاهده نیستند، ولی زمین شناسان دلایل کافی بر وقوع آنها می‌شناسند. سنگ‌های که زمانی درکف اقیانوس‌ها تشکیل شده اند و اینک در کوه‌های سر به فلک کشیده زمین یافت می‌شوند، از نیروهای حکایت می‌کنند که این سنگ‌ها را هزاران متر از خاستگاه خود به بالا رانده اند. فرایندهای درونی موجب برخاستن، خمیدن و شکستن سنگ‌های پوسته زمین می‌شوند.

بخش‌های بالا آمده پوسته زمین به هر ترتیبی که ایجاد شده باشند، برای همیشه پایدار نیستند. تمام کوه‌ها و بلندی‌ها، صرف نظر از عظمت شان، سر انجام توسط نیروهایی که در خارج زمین عمل می‌کنند و مایل اند بخش‌های بالا آمده سطح زمین را بفرسایند و بلندی‌های قاره‌ها را تا حد تراز دریاها پایین آورند. اندازه گیری مقدار رسوباتی که هرساله توسط رودخانه‌ها و عوامل طبیعی دیگر از سطح خشکی‌های زمین به دریاها حمل می‌شوند، نشان می‌دهد که اگر فرایندهای بیرونی تنها فرایندهای فعال در تغییر سطح زمین بودند، در زمان‌های خیلی دور می‌بایستی همه پستی و بلندی‌های زمین از بین رفته و قاره‌ها تا سطح دریاها صاف و هموار شده باشند. ولی از آنجا که زمین هنوز سیاره ای پویاست، باید گفت که نبرد بین نیروهای درونی و بیرونی همچنان ادامه دارد.

اغلب منرال‌های موجود در سنگ‌ها در اعماق زمین و در فشارها و دماهای بالاتری نسبت به سطح زمین تشکیل شده اند. مثلاً سنگ‌های مگماتیکی در عمق ده‌ها کیلومتری زیر سطح زمین و از سرد شدن و انجماد مواد مذاب و سنگ‌های رسوبی زیر هزاران متر رسوب درکف دریاها به وجود آمده اند، وقتی این سنگ‌ها بر اثر فرایندهای درونی مختلف و کنار رفتن سنگ‌های روی خود در سطح زمین ظاهر می‌شوند و در مجاورت هوا قرار می‌گیرند، دیگر در شرایط محیط جدید موجب تغییر فیزیکی و کیمیاوی آنها می‌شود و کان‌های جدیدی تشکیل می‌دهد که در شرایط سطحی پایدار ترند. گرچه سنگ‌های مختلف مقاومت‌های متفاوتی در شرایط سطحی نشان می‌دهند ولی سر انجام تمام آنها متلاشی شده و درهم می‌ریزند (مقصودی و فرامرز، ۱۳۸۹).

فرایندهای بیرونی که با تخریب و جابجایی سنگ‌ها موجبات تغییر شکل سطح زمین را فراهم می‌کنند، عبارتند از: هوازدگی، فرسایش و حمل. تغییرات حاصله در سنگ‌ها و رسوبات وقتی که در تماس با هوا کره، آب کره و زیست کره قرار می‌گیرند، هوازدگی خوانده می‌شود. بنابراین

"هوازدگی" عبارت از مجموعه فرایندهایی است که موجب خردشدن فزیک و تجزیه کمیابوی سنگ‌ها و کان‌ها در سطح یا نزدیک سطح زمین می‌شوند، بدون آن که لزوماً مواد حاصله از محل خودب جابه جا شوند. هوازدگی از دیگر فرایندهای مخرب با توجه به مفهوم درمحل بودن مشخص می‌شود. درحالی که فرسایش همواره مستلزم حمل یا تغییر محل است. البته روشن است وقتی که یک کان با آب واکنش می‌دهد (نوعی هوازدگی کمیابوی)، مواد به صورت محلول از محل دور می‌شوند. هوازدگی مقدمه فرسایش و حرکت در دامنه هاست. گرچه حتی پس از جدا شدن یک تکه سنگ از دامنه کوه یا جدا شدن آن از بستر رودخانه، هوازدگی همچنان ادامه پیدا می‌کند. درواقع هوازدگی خاتمه نمی‌یابد مگر آنکه قطعه سنگ جدا شده سرانجام از تماس با هوا یا آب‌های درحال گردش دور بماند.

با توجه به اینکه سنگ‌های سطح زمین همواره در معرض تخریب اند، در بسیاری از مناطق سنگ‌ها توسط قشری نازک یا ضخیم از مواد خرد شده و ذرات نرم و منفصل پوشیده شده اند. توده سنگی را که در موقعیت طبیعی خود قرار دارد و توسط عوامل سطحی چندان تغییر نکرده است "سنگ بستر" می‌گویند. قطعه ای از یک سنگ ریگی که در دامنه یک پرتگاه افتاده است دیگر سنگ بستر محسوب نمی‌شود. سنگ بستری که در سطح زمین پدیدار شده باشد "بیرون زدگی" خوانده می‌شود. در بسیاری از نقاط به ویژه در مناطق مرطوب سنگ بستر در سطح زمین بیرون زدگی ندارد، زیرا که در زیر مواد ناشی از هوازدگی خود مدفون شده با آن که از مواد ناپیوسته ای که توسط برخی از عوامل زمین شناسی به محل حمل شده اند، پوشیده شده است. بنابراین پوشش سنگ بستر (سنگ پوش یا ریگولیت) ممکن است درمحل و بر اثر هوازدگی سنگ بستر تولید شده باشد یا مواد ریز و درشت ناپیوسته ای مانند لای، ریگ، جغل و غیره باشد که به وسیله عوامل طبیعی مختلفی چون رودخانه، باد یا یخچال به محل حمل شده اند. درحال قسمت‌های بالایی سنگ پوش را قشری از مواد دانه ریز که حاصل پیشرفت فرایند هوازدگی است تشکیل می‌دهد که به آن خاک می‌گویند (هاواچن و کسکین، ۱۳۹۰: ۲۸).

انواع هوازدگی

هوازدگی دو نوع بوده که عبارت است از هوازدگی فزیک و هوازدگی کمیابوی. در "هوازدگی فزیک" توده‌های سنگ به طور میکانیکی خرد می‌شوند و به قطعات بزرگ و کوچک تا ذرات ریز لای (سلیت) و رس تبدیل می‌گردند. در "هوازدگی کمیابوی" بین کان‌های سنگ و مواد موجود در محیط،

به خصوص آب، اسید و اکسیجن واکنش کمیای رخ می‌دهد. گرچه در بعضی از مناطق خرد شدن مکانیکی سنگ‌ها و درنواحی دیگر واکنش‌های کمیای غلبه دارند، ولی معمولاً برای تخریب سنگ‌ها هر دو این فرایندها باهم لازم هستند. معمولاً در مناطق خشک هوازدگی فیزیکی و در مناطق مرطوب هوازدگی کمیای نقش مهمتری دارند. نحوه هوازدگی یک سنگ وابسته به شرایط محیط اطراف و ترکیب و خصوصیت سنگ است. شرایط محیط شامل دما، رطوبت، فعالیت جانداران و مواد کمیای واکنش گر است. خصوصیات سنگ شامل ترکیب منرال شناسی آن، اندازه و آرایش دانه‌ها و فضای خالی سنگ مثل منافذ و شکستگی‌های آن است (خالدی، ۱۳۷۴: ۸۵).

هوازدگی فیزیکی

فرایندهای مختلفی در متلاشی شدن فیزیکی سنگ‌ها مؤثرند که در این جا مهمترین آن‌ها را مرور می‌کنیم:

الف) یخ زدگی: اغلب سنگ‌ها دارای شکستگی‌ها و حفراتی هستند که آب باران می‌تواند به آن‌ها راه پیدا کند. وقتی دمای اتموسفیر زمین به نقطه انجماد آب برسد، آب را در داخل شکستگی‌های سنگ یخ می‌زند. آب بر اثر انجماد تقریباً ۹ درصد منبسط می‌شود و فشاری تولید می‌کند که می‌تواند بیش از مقاومت سنگ باشد و آن را بشکند (همان عاملی که موجب شکست نل‌های آب در زمستان می‌شود). یخ، مانند یک گرو، شکستگی سنگ را از هم باز می‌کند و بر اثر ذوب و انجماد مکرر، شکستگی آن بزرگ می‌شود که قطعه‌ای از سنگ شکسته شده و از آن جدا می‌شود.

البته، عمل یخ بستن در شکستگی سنگ‌ها پیچیده تر از آن است که در مرحله اول به نظر می‌آید، وقتی که آب در داخل شکستگی‌های سنگ شروع به انجماد می‌کند ابتدا لایه ای در سطح آن یخ می‌زند و در نتیجه آب باقیمانده در زیر این لایه محبوس می‌شود. با یخ بستن بیشتر آب و انبساط آن، فشار بر روی آب باقیمانده افزوده می‌گردد. افزایش فشار همه جانبه موجب پائین آمدن نقطه انجماد آب می‌شود. برای آنکه فرایند ادامه پیدا کند باید دمای آب پایین تر بیاید. فشار همه جانبه زیادی لازم است تا نقطه انجماد آب فقط چند درجه ای پایین بیاید. وقتی محبوس شدن آب در یک محفظه مانع شروع انجماد آن تا دماهای زیر صفر می‌شود، فشارهای زیادی بر روی دیوارهای محفظه محتوی آب اعمال می‌گردد (رؤفی، ۱۳۸۲: ۲۱۲).

مقاومت یخ آن قدر نیست که بتواند آب را در داخل شکستگی یک سنگ مسدود کند، به طوری که حد اکثر فشار ممکن تولید شود. تغییر شکل خمیری (پلاستیک) یخ در تنش‌های بیش

از ۱۰۰ کیلو پاسکال (یک بار) چنان سریع است که موجب می‌شود به سرعت از شکاف بیرون بزند. بنابراین به طور طبیعی راهی وجود ندارد که آب کاملاً محبوس شود، به علاوه آب در شکستگی‌های خیلی نازک به علت چسپندگی موئینه ای نیرومند آب و سنگ حتی در دماهای پایین نیز یخ نمی‌زند. ولی تصور می‌شود که قشرهای خیلی نازک موئینه آب یک ساختمان مولکولی منظم نیمه بلورین در سطح سنگ ایجاد می‌کنند که حتی بدون یخ زدگی، بر اثر انبساط موجب گسیختن سنگ می‌شود (پیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۵).

گرچه فشار حداکثر پیش گفته در طبیعت عملاً صورت واقعیت پیدا نمی‌کند، ولی به هرحال وقتی آب در سنگ‌های دارای درز و شکاف یا لایه بندی نازک یخ می‌زند نیروهای قابل توجهی تولید می‌کند. این نوع هواز دگی بیشتر در آب و هوای معتدل و در فصولی از سال مؤثر است که دمای هوا در طول روز بالاتر و در شب پایین تر از نقطه انجماد آب باشد. تکرار عمل ذوب و انجماد سر انجام موجب تخریب مکانیکی سنگ می‌شود. در مناطق گرمسیر آب به ندرت یخ می‌زند که بتواند موجب این نوع هواز دگی شود. در مناطق قطبی نیز ذوب یخ‌ها به ندرت رخ می‌دهد، با این وجود یخ زدگی فرایند مهمی در هواز دگی سنگ‌ها در این مناطق است.

این نوع هواز دگی می‌تواند قطعات بزرگی را از سنگ‌های اصلی به ویژه در پرتگاه‌ها جدا کند. با جدا شدن قطعات سنگ سطوح جدیدی از این قطعات در معرض هواز دگی قرار می‌گیرد. با نفوذ آب در ترک‌های سطوح جدید و تکرار چرخه‌های انجماد و ذوب، سنگ به تکه‌های کوچک تر و کوچکتري تقسیم می‌شود.

ب) رشد بلورها: یخ تنها ماده متبلوری نیست که می‌تواند در شکستگی‌های سنگ جمع شود و آن را از هم بشکافد، رشد بلورهای نمک نیز قادر است همین کار انجام دهد. آب حاوی نمک‌های محلول ممکن است با ورود به داخل منافذ کوچک سنگ، بر اثر تبخیر، به حالت فوق اشباع برسد و در نتیجه نمک‌های مختلف محلول در خود را به صورت بلور در درزها و حتی فضای بین دانه‌های سنگ به جای بگذارد. رشد این بلورهای کوچک نیروهایی اعمال می‌کند که ممکن است برای شکستن سنگ کافی باشد. این عمل شبیه به یخ زدگی آب در شکاف سنگ هاست و بیشتر در اقلیم‌های خشک، که آب به آسانی تبخیر می‌شود، رواج دارد. در این نواحی آب به داخل زمین نفوذ می‌کند و ممکن است مواد قابل حل سنگ‌ها و خاک‌ها را در خود حل کند. وقتی این آب‌ها بنا به خاصیت " موئینی " از مجراهای بسیار باریک دوباره به سطح زمین بر می‌گردند تبخیر می‌شوند

و مواد محلول در آن‌ها به صورت بلور رسوب می‌کند. این بلورها بر اثر رشد خود ممکن است موجب خُرد شدن سنگ و خاک شوند (جداری عوضی، ۱۳۸۴: ۱۳۴-۱۳۵).

رهای از فشار بر اثر برداشته شدن بار

فشار اتمسفر در سطح زمین خیلی کمتر از فشارهایی است که سنگ‌ها حتی در اعماق کم زمین یا زیر دریا تحمل می‌کنند. هر ۱۰ متر آب دریا ۳ تا ۴ متر سنگ، معادل یک اتمسفر فشارهمه جانبه است. بنابراین سنگ‌ها، چه بر اثر تراکم رسوبات در زیر دریا و چه بر اثر انجماد مواد مذاب در زیر زمین تشکیل شده باشند، در زمان تشکیل تحت فشارهای خیلی زیادی قرار دارند. وقتی این سنگ‌ها بر اثر بالا آمدگی زمین و فرسایش صدها و هزاران متر سنگ‌های فوقانی خود در سطح زمین ظاهر شوند، از این فشارهای زیاد آزاد می‌شوند. چون بر اثر رهایی از فشار، سنگ مایل به انبساط است ترک‌های تقریباً به موازات سطح زمین در آن ایجاد می‌شود. رهایی از فشار منجر به جدا شدن ورقه‌هایی از سنگ (شبیه به لایه های پیاز) می‌شوند که اصطلاحاً آن را " پوسته پوسته شدن " می‌گویند (احمدی، ۱۳۷۴: ۲۲۲).

انبساط و انقباض سنگ‌ها بر اثر تغییرات دما

تغییرات سریع دما نیز ممکن است به تخریب سطحی سنگ‌ها منجر شود. وقتی سطح خارجی سنگ گرم شود قشر نازکی به ضخامت چند سانتی متر از خارج سنگ منبسط می‌شود، درحالی که قسمت‌های خارجی سنگ به علت تغییر دما منبسط و منقبض می‌شود و قسمت‌های درونی که بدون تغییر می‌ماند، تنش‌هایی به وجود می‌آید که ممکن است موجب شکستن و جدا شدن قشر نازکی از سطح خارجی سنگ شود. به علاوه کان‌های سنگ بر اثر گرم شدن به درجات متفاوتی منبسط می‌شوند، مثلاً کوارتز سه برابر بیشتر از فلدسپات منبسط می‌گردد. تنش‌های انبساطی متفاوت بین کان‌ها نیز ممکن است به شکستن بلورها در سطح خارجی سنگ بی انجامد. این گونه تخریب سطحی سنگ‌ها غالباً هنگام آتش سوزی در جنگل‌ها رخ می‌دهد. گاهی تغییرات دمای شبانه روزی را نیز در تخریب فیزیکی سنگ‌ها موثر می‌دانند به ویژه هوازدگی در مناطق بیابانی را که در طی روز هوا گرم و در شب به سرعت سرد می‌شود به این نوع هوازدگی نسبت می‌دهند. ولی هنوز اهمیت تغییرات معمولی دمای هوا در هوازدگی فیزیکی سنگ‌ها روشن نیست. با توجه به آزمایشات انجام شده به نظر نمی‌رسد که تغییرات دما به تنهایی برای تخریب سنگ‌ها کافی باشد. یک از آزمایش‌ها که غالباً به آن اشاره می‌شود آزمایش سخت و طولانی است که به وسیله "گریگز" در

بیش از ۵۰ سال پیش انجام شده است. وی سطح یک قطعه سنگ گرانیت خشک را هزاران بار متناوباً گرم و سرد کرده است. هربار سطح گرانیت در مدت ۵ دقیقه حدود ۱۴۰ درجه سانتیگراد گرم و در ۱۰ دقیقه بعدی تا حدود ۳۰ درجه سانتیگراد سرد میشده است. آزمایش بیش از ۳ سال به درازا کشید ولی در پایان حتی با بررسی های میکروسکوپی نیز تغییری در سنگ مشاهده نشد. البته او بعداً آزمایش خود را با آب ادامه داد و پس از مدت کوتاهی تغییرات قابل ملاحظه ای را در سنگ مشاهده کرد. گریگز چنین نتیجه گرفت که تغییرات دما به تنهایی عامل مهمی در هوازگی نیست. مع هذا در مناطق بیابانی گاهی مواردی دیده می شود که تخریب سنگ ها را به هیچ یک از عوامل شناخته شده هوازگی جز تغییر دما نمی توان نسبت داد. به هرحال این فرایند حتی اگر در سطح زمین هم اهمیت نداشته باشد، احتمالاً از فرایندهای اصلی درماه است (خالدی، ۱۳۷۶: ۱۸۳).

خشک و مرطوب شدن متوالی سنگ ها

سنگ های رسی و بعضی از خاک ها که حاوی منرال های رسی هستند، ممکن است بر اثر خشک و مرطوب شدن متوالی در محل خود سست شوند. رس ها قادرند رطوبت زیادی جذب کنند و بسیاری از رس ها بر اثر جذب آب متورم می شوند. البته درجه انبساط برخی از منرال های رسی مثل مونت مورونیت بیشتر است. انبساط این مواد بر اثر ورود آب و انقباض آن ها در مواقع خشک موجب متلاشی شدن و درهم ریختن این سنگ ها می شود (کرمی، ۱۳۸۳).

هوازگی بیولوژیکی

اثر گیاهان و جانوران: تعدادی از گیاهان و حیوانات ممکن است از طریق ترکیب ترکیبات اسیدی، هوای کیمیایی ایجاد کنند، یعنی اثر رشد خزه روی سقف ها را هواشناسی طبقه بندی کنند. هوازگی معدنی همچنین توسط مایکروارگانیزم های خاک قابل شروع یا تسریع است. تصور می شود سنگ های گلی روی سنگ ها باعث افزایش نرخ هوازگی کیمیاوی می شوند. به عنوان مثال: یک مطالعه آزمایشی در مورد گرانیت در نیوجرسی، ایالات متحده، نشان داد که افزایش ۳ تا ۴ برابری سرعت هوازگی در سطوح پوشیده از گل سنگ در مقایسه با سطوح سنگی لختی که اخیراً در معرض آن قرار گرفته است. یعنی گیاهان و جانوران نیز در تخریب فیزیکی سنگ ها مؤثرند. گاهی اثرات فیزیکی و کیمیاوی جانداران را دسته جداگانه ای تحت عنوان "هوازگی زیستی یا حیاتی"

قرار می‌دهند. ریشه گیاهان با نفوذ خود در داخل شکستگی سنگ‌ها و بر اثر رشد ممکن است فشاری ایجاد کند که به خرد شدن سنگ‌ها منجر شود.

ریشه درختان می‌تواند تا عمق قابل توجهی در زمین نفوذ کند و در نتیجه عوامل هوازدگی می‌توانند تا اعماق بیشتری اثر کنند. جانوران نیز در هوازدگی مؤثرند. کرم‌های خاکی، موربانه، مورچه و دیگر جانوران حفار دائماً در قشر سطحی خاک مشغول برهم زدن ذرات خاک هستند. چون به نظر نمی‌رسد که این جانوران بتوانند قطعات سنگی را بشکنند، نقش آن‌ها را باید بیشتر در سست کردن ذرات، حرکت دادن و بالا آوردن آن‌ها و قرار دادن ذرات کان‌ها در معرض حمله بیشتر عوامل کمیاب‌ی دانست.

فرایندهای که در بالا گفته شد فرایندهای اصلی هوازدگی فیزیکی سنگ‌ها هستند. به نظر می‌رسد که در بین این فرایندها، یخ زدگی آب در شکستگی سنگ‌ها مهمترین نقش را در تخریب مکانیکی سنگ‌ها داشته باشد. در مناطقی که یخ زدگی به ندرت رخ می‌دهد یا آنکه اساساً وجود ندارد فرایندهای دیگری، به ویژه فرایندهای کمیاب‌ی، غلبه دارند (ربانی و شایگان، ۱۳۷۲: ۱۳۴).

هوازدگی کیمیایی

هوازدگی کیمیایی سنگ‌ها وقتی رخ می‌دهد که منرال‌ها سازنده سنگ با آب، اکسیژن، دی‌اکسید کربن و اسیدهایی که جانداران تولید می‌کنند واکنش شیمیایی انجام دهند. در نتیجه گفته می‌شود که سنگ اصلی تجزیه شده است. کان‌های تجزیه نشده موجود در سنگ اصلی را "منرال‌های اولیه" و منرال‌های جدید حاصل از هوازدگی را "منرال‌های ثانوی" می‌گویند. بخش قابل توجهی از سنگ اصلی نیز به صورت یون‌های محلول در می‌آید. هوازدگی فیزیکی موجب می‌شود که سنگ به قطعات کوچکتری تقسیم شود و در نتیجه تجزیه کیمیایی سنگ سریع‌تر انجام گیرد، زیرا که سطح بیشتری از سنگ در معرض واکنش با عوامل کیمیایی قرار می‌گیرد. اگر هوازدگی فیزیکی موجب خرد شدن سنگ‌ها نمی‌شد، هوازدگی کیمیایی در سنگ‌ها فوق‌العاده به کندی صورت می‌گرفت. در عین حال تجزیه کیمیایی می‌تواند سنگ را به قدر کافی سست کند که هوازدگی فیزیکی باز هم بیشتر بر روی آن اثر کند. این دو فرایند همواره با هم عمل می‌کنند (جداری عوضی، ۱۳۸۴: ۱۳۸).

مهمترین فرایندهای هوازدگی کیمیایی موارد ذیل اند:

انحلال به وسیله آب و اسیدها

اغلب کان‌ها تا حدودی در آب محلول اند. مثلاً هالیت (کلرید سدیم) و (سولفات کلسیم)، اگر آب کافی موجود باشد به آسانی حل می‌شوند. یک لیتر آب خالص در ۱۰ درجه سانتیگراد قادر است ۲۶۳ گرم نمک طعام یا ۱۰۹ گرم سولفات کلسیم را در خود حل کند. آب‌های زیرزمینی ممکن است به داخل لایه های سنگ نمک و سولفات کلسیم، که در زمان‌های گذشته زمین شناسی تشکیل شده اند، نفوذ کند و حفراتی انحلالی در آن‌ها به وجود آورد. این سنگ‌ها در سطح زمین نیز به آسانی توسط آب باران و آب‌های سطحی حل می‌شوند و اشکال گوناگونی ایجاد می‌کنند.

بسیاری از آب‌های طبیعی عملاً محلول‌ها اسیدی ضعیفی هستند. این گونه اسیدهای طبیعی ناشی از فعالیت‌های جانداران است. در هر اسیدی، صرف نظر از نوع آن، یون هایدروژن حضور دارد. هایدروژن با بسیاری از منرال‌ها واکنش انجام می‌دهد و به تخریب آن‌ها کمک می‌کند. مثلاً می‌خواهیم هوازدگی کیمیایی سنگ آهکی و سنگ دولومیت را به وسیله اسید کاربنیک (احتمالاً مهمترین اسید در محیط‌های طبیعی) را مورد بررسی قرار دهیم. گاز دیو اکساید کاربن در هوا وجود دارد و به راحتی در آب باران و آب‌های سطحی و زیر زمینی حل می‌شود. با حل دیو اکسید کاربن در آب، اسید کاربنیک تولید می‌شود.

یون‌های کلسیم و منگنیزیم هر دو در آب محلول اند. وجود یون‌های کلسیم و منگنیزیم موجب "سختی" آب می‌شوند و در نتیجه در مناطقی که سنگ آهکی و دولومیت گسترش داشته باشد، آب‌ها معمولاً از نوع سخت هستند. بالا بودن سختی آب، مصرف آن را برای نوشیدن یا کشاورزی نامناسب می‌کند و در صنعت مشکلاتی به وجود می‌آورد.

بر اثر اکسایش (اکسید اسیون) منرال‌های سلفیدی، مثل پیریت اسید سولفوریک تولید می‌شود. پیریت در بسیاری از انواع سنگ‌ها وجود دارد. پیریت که در زغال سنگ‌ها نیز معمولاً وجود دارد ممکن است اکسیده شده و اسید سولفوریک تولید کند و این اسید از لایه‌های بیرون زده زغال سنگ نشت کند و وارد رود خانه‌ها یا آب‌های زیرزمینی شود- در استخراج معادن زغال سنگ به روش رو باز وضعیت طبیعی لایه‌های زغال سنگ در سطح زمین به هم خورده و زغال سنگ در معرض هوا قرار می‌گیرد و در نتیجه مسائل آلودگی بر اثر زهکشی آب‌های اسیدی معدن پیش می‌آید. اسید سولفوریک، اسیدی قوی است و با اکثر سنگ‌ها به آسانی واکنش می‌دهد (ریچارد جی، ترجمه معتمد ۱۳۷۹: ۱۱۲).

آب گرفتن و بی آب شدن

نوع دیگری از هوازدگی کیمیایی نتیجه داخل شدن مولکول‌های آب در ساختمان یک کانی با خروج مولکول‌های آب از آن و در نتیجه تشکیل یک منرال جدید است. مثلاً منرال انیدریت (سولفات کلسیم بی آب)، جذب دو مولکول آب می‌تواند به منرال ژپاس (سولفات کلسیم آبدار یا سنگ یا ژپاس با از دست دادن آب به انیدریت تبدیل شود) (احمدی، ۱۳۷۴: ۷۸).

نتایج هوازدگی در چند سنگ

بعضی از سنگ‌ها آسان تر از سنگ‌های دیگر هوازده می‌شوند. مثلاً بازالت سنگی آذرین و متشکل از منرال‌های است که مواد مذاب دردهماهای اکثراً بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد متبلور شده است. این مواد مذاب از درون زمین و از محیطی کاملاً متفاوت به سطح زمین آمده اند. از طرف دیگر ماسه سنگ که معمولاً از دانه‌های کوارتز ساخته شده، خود حاصل هوازدگی سنگ‌های از نسل قدیمی تر است. بازالت و ریگ هر دو عمدتاً از منرال‌های سخت تشکیل شده اند که می‌توان انتظار داشت درمقابل اکسایش به خوبی مقاومت کنند. ولی از نظر کیمیاوی این دو سنگ متفاوت اند. کوارتز موجود در ریگ تقریباً نا محلول است، درمقابل اسیدها مقاومت می‌کند و هیدرولیز نمی‌شود. در واقع عملاً چیزی بر آن تأثیر کیمیایی ندارد، به همین ترتیب اگر سیمانی که دانه‌های کوارتز در ریگ را به هم متصل می‌کند بگونه ساده، رس یا اکساید آهن باشد کمتر ممکن است از نظر کیمیایی تحت تأثیر قرار گیرد. فقط سنگ‌های رسوبی، ممکن است نسبتاً به راحتی به هوازدگی کیمیایی آسیب ببینند.

هوازدگی و آب وهوا

" اقلیم " (آب و هوا) نقش مهمی در نوع و شدت فرایندهای هوازدگی بازی می‌کند. دما و مقدار بارش یک ناحیه مستقیماً و نوع پوشش گیاهی آن به طور مستقیم بر روی هوازدگی مؤثر است. مثلاً در اقلیم‌های معتدل، که چرخه های انجماد- ذوب به کرات رخ می‌دهد، هوازدگی فیزیکی سرعت بیشتری دارد. درحالی که هوازدگی کیمیایی در اقلیم‌های گرمسیری و مرطوب سریع تر عمل می‌کند، زیرا که دمای بالا و رطوبت فراوان واکنش‌های کیمیایی را تشدید می‌کند (رؤفی، ۱۳۸۲: ۲۱۴).

شدت و نوع هوازدگی در اقلیم‌های مختلف

به طور کلی سرعت هوازدگی و عمق مواد هوازده در اقلیم‌های سرد و خشک کمتر و در اقلیم‌های گرم و مرطوب بیشتر است. در مناطق بیابانی و کویری (اقلیم گرم و خشک): در این مناطق کمبود رطوبت مانعی است برای واکنش‌های کیمیایی، لذا فرایندهای هوازدگی کیمیایی و زیستی فعالیت کمی دارند و آنچه که بیشتر دیده می‌شود شکستگی مکانیکی سنگ‌هاست. به همین جهت منظره مشخصه نواحی صحرایی شکل‌های سطحی زاویه دار و بریدگی‌هایی است که برخلاف مناطق مرطوب با پوشش مواد هوازده چندان هموار نشده‌اند.

در صحرای غالباً آب‌های زیرزمینی در اثر جریان موئینه به طرف بالا حرکت می‌کنند و در شرایط کم آبی شدید، بر اثر تبخیر، قشری از نمک در سطح زمین به جای می‌گذارند. در شرایط خشکی کمتر، تنها ترکیباتی که کمتر محلول اند مثل کربنات کلسیم در لایه‌های سطحی خاک جمع می‌شود. در اقلیم‌های خشک سنگ‌های چند بلوره مثل گرانیات کمتر از سنگ تک منرالی مثل سنگ آهکی یا کوارتزیت در مقابل هوازدگی مقاومت می‌کنند. در مناطق مرطوب سنگ آهک به آسانی حل می‌شود و معمولاً زمین‌های کم ارتفاعی تشکیل می‌دهند که به وسیله بلندی‌های از سنگ‌های دیگر احاطه شده‌اند. در مناطق بیابانی سنگ آهک یکی از مقاومت‌ترین سنگ‌هاست و معمولاً پرتگاه‌ها را می‌سازد (مدنی و شفیقی، ۱۳۸۵: ۲۱۹).

مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی

سرعت هوازدگی به جنس سنگ یعنی ترکیب کیمیایی منرال‌ها تشکیل دهنده آن و همچنین به مقدار شکستگی‌ها، منافذ بین دانه‌ها، سطوح لایه‌های رسوبی و دیگر فضاهای خالی موجود در سنگ، که امکان ورود آب و هوا را به داخل سنگ فراهم می‌کند، نیز بستگی دارد. می‌توان منرال‌ها را بر حسب میزان مقاومت آن‌ها در مقابل هوازدگی کیمیایی به ترتیب قرار داد. با مقایسه میزان واکنش‌های کیمیایی بین آب و پودر کانی‌های مختلف در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی می‌توان پیش بینی کرد که چه منرال‌های در شرایط طبیعی سریعتر هوازده می‌شوند. مطالعات وسیعی از این نوع به ویژه در مورد کانی‌ها سلیکاتی که بخش اعظم پوسته زمین را می‌سازد، انجام شده است. بر اساس مطالعات متعدد آزمایشگاهی و صحرایی مقاومت منرال‌های عمومی سازنده سنگ‌ها تعیین شده و به صورت جداولی فهرست شده‌اند که به "پایداری نسبی منرال‌های سلیکاتی" معروف است. ترتیب قرار گرفتن منرال‌ها در سری فوق، توالی تبلور منرال‌ها در حین انجماد ماگما (

توده‌های سنگی مذاب) را نشان می‌دهد که به نام "سری واکنشی بوون" نامیده می‌شود. کانی‌هایی که در مراحل روزتری از انجماد ماگما، یعنی در فشار و دمای بیشتری تشکیل شده باشند، در محیط هوازدگی پایدار کمتری نسبت به منرال‌های دارند که در فشار و دمای کمتری تشکیل شده باشند. به همین جهت در سنگ مگماتیکی که حاوی الیوین و پیروکسن باشد، بلورهای الیوین که زودتر از پیروکسن متبلور شده اند مقاومت کمتری در مقابل تجزیهٔ کیمیایی نشان می‌دهند. به علت آسیب پذیری زیاد الیوین در مقابل هوازدگی است که این منرال به ندرت در پوشش مواد هوازده یافت می‌شود. در مقابل، کوارتز که در مراحل نهایی انجماد ماگما تشکیل می‌شود مقاوم‌ترین منرال در مقابل هوازدگی کیمیایی است. منرال‌های سیلیکاته ای که در بالاترین دماها متبلور می‌شوند و کمترین نسبت سادهم اکسیژن را دارند سریع تر هوازده می‌شوند. انرژی پیوند سادهم- اکسیجن به مراتب بیشتر از انرژی پیوند اکسیجن با کانیون‌های فلزی است به نحوی که معمولاً تعیین کنندهٔ انرژی پیوند کل هر مالیکول منرالی است.

به طور کلی عناصری که به صورت محلول در آمده اند عناصری هستند که به آسانی از پلاژیو کلازها و منرال‌های "مافیک" (آهن و مگنیزیم دار) هوازده شده اند. به استثنای آهن که در منرال‌های تیره مافیک خیلی فراوان است و به آسانی هوازده می‌شود، ولی در اثر اکسایش به اکساید نامحلولی تبدیل می‌شود که در محل باقی می ماند. مورد غیرعادی دیگری پتاشیم است که فراوانی آن در پوستهٔ زمین و رفتار کیمیایی آن شبیه به سدیم است ولی تحرک کیمیایی آن خیلی کمتر و قابل مقایسه یا ساده هم است. پتاشیم در شبکهٔ بلوری بسیاری از منرال‌های رسی تثبیت می‌شود و مایل است که در رس‌های به جا مانده باقی بماند، درحالی که دیگر یون‌ها فلیایی در اثر انحلال حمل می‌شوند (پیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۸).

بحث و نتیجه گیری

در نتیجه، فرایندهای هوازدگی نقش اساسی در تغییر شکل سطح زمین، تولید خاک، و تأمین مواد مغذی برای گیاهان دارند. این فرایندها که به دو دسته‌ی هوازدگی فیزیکی (مکانیکی) و کیمیایی تقسیم می‌شوند، در اثر عوامل محیطی مانند تغییرات دما، رطوبت، فعالیت‌های زیستی و ترکیبات کیمیایی رخ می‌دهند. هوازدگی موجب کوچک شدن سنگ‌ها و آزادسازی مواد معدنی می‌شود که این امر در تشکیل خاک و تنظیم چرخه‌های حیاتی بسیار مؤثر است. در عین حال، شدت و سرعت هوازدگی می‌تواند تحت تأثیر عواملی همچون اقلیم، جنس سنگ، شیب زمین و پوشش گیاهی قرار

گیرد. بنابراین، شناخت دقیق این فرآیندها برای مدیریت منابع طبیعی، کشاورزی پایدار و حفاظت از محیط زیست امری ضروری است. البته، تفاوتی که هوازدگی با فرسایش دارد به گونه‌ای است که در هوازدگی در یک مکان سنگ‌ها با کمی حرکت یا بدون حرکت دچار هوازدگی می‌شوند ولی در فرسایش عواملی مانند آب، باد، یخ، برف، امواج و گراناش باعث جابجایی سنگ‌ها و مواد معدنی می‌شوند. از عوامل هوازدگی می‌توان به اسیدها، نمک‌ها، رطوبت، یخ زدگی، حیوانات، گیاهان، دما و کاربن دی اکساید اشاره کرد.

همچنان این پژوهش نشان داده است، که سرعت هوازدگی سنگ‌ها به عوامل زیادی بستگی دارد از جمله این عوامل می‌توان به اندازه ذرات کانی‌های سازنده سنگ و عوامل آب و هوای محیط را نام برد. هر چقدر اندازه منرال کوچکتر باشد سطح موثر آنها زیادتر بوده و در نتیجه سریعتر تحت تاثیر عوامل هوازدگی، تجزیه می‌شوند. جنس منرال‌های سازنده سنگ اثر بسیار مهمی در هوازدگی دارد به عنوان مثال سنگ‌های گرانیتی بسیار مقاوم تر از سنگ مرمر هستند، زیرا مرمر از کلسیت ساخته شده که به آسانی حتی در محلول اسیدی ضعیفی نیز حل می‌شود.

منابع

- احمدی، دکتر حسن. (۱۳۷۴). ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). تهران: دانشگاه تهران.
- پیر محمدی، فرهاد؛ عامری، علی؛ جهانگیری، احمد؛ مجتهدی، منصور؛ هاوا چن، چانگ و کسکین، محمت (۱۳۹۰). پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی شرق و جنوب شرق آتشفشان سپند با نگرشی ویژه بر سنگ‌های آذرآواری، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.
- جداری عوضی، جمشید. (۱۳۸۴). جغرافیای آب‌ها، تهران: دانشگاه تهران.
- خالدی، شهریار. (۱۳۷۶). آب و هواشناسی: برای آبشناسان و مهندسان منابع آب، تهران.
- خالدی، شهریار. (۱۳۷۴). آب و هوا شناسی کاربردی، تهران: قومس.
- رؤفی، پوهاند دکتر فضل مولا. (۱۳۸۲). جولوجی عمومی (قوای خارجی زمین)، جلد اول، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی، دانشگاه سمت، شماره انتشار ۷۸۶
- ریچارد جی. چورلی، استانلی ای. شوم، دیویدای سودن. ترجمه، معتمد، دکتر احمد. (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی.
- جلد سوم (فرایندهای دامنه ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی). تهران: انتشارات، سمت
- فیعانی، الهام. (۱۳۹۹). بررسی عوامل مؤثر بر افت آب‌های زیر زمینی، مجله علمی، دانشگاه تهران.
- کردوانی، پرویز. (۱۳۷۱). منابع و مسائل آب در ایران، تهران: دانشگاه تهران.
- کرمی، فریبا. (۱۳۸۳). فرایندهای هوازدگی و تأثیر آن‌ها در نواحی شهری و روستایی، جلد اول، دانشگاه پیام نور
- مدنی، حسن و شفیقی، سیروس. (۱۳۸۵). زمین شناسی عمومی، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- مقصودی، مهران؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ حنفی، علی و روستا، ایمان. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی فرایندهای هوازدگی سنگ‌ها بر

اساس مدل‌های پلتیر در شمال غرب ایران، (پژوهش‌های جغرافیای طبیعی)، شماره ۷۴. ناهید ربانی و غلام‌علی شایگان. (۱۳۷۲). ژئومورفولوژی، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور، مطالعه موردی؛ مناطق کوهستانی آذربایجان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴. هاوا چن، چانگ و کسکین، محمت. (۱۳۹۰). پتروولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی شرق و جنوب شرق آتشفشان سهند با نگرشی ویژه بر سنگ‌های آذرآواری، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.