پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوم، شماره ٤، بهار ۱۳۹۳
صص. ۱۲۹-۱۱۷

بررسی نقش گُلسنگها در هوازدگی زیستی سنگ‌های مخروطی شکل روستای کندوان

فریده امینی بیرامی* ـ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه تبریز
ابراهیم اصغری کلجاهی ـ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

سنگ‌های مخروطی شکل (کله‌قندی) روستای تاریخی کندوان در اثر عوامل مختلفی از جمله کلنی‌های زیستی هوازده می‌شوند. در مطالعه حاضر با نمونه‌برداری و تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی، انجام آنالیز اشعه X و تصویربرداری با میکروسکوپ نور بازتابشی و فلورسنس، تغییرات فیزیکی و شیمیایی ناشی از فعالیت‌های زیستی گُلسنگ بر روی سنگ‌های روستای کندوان بررسی شده است. بر اساس مقاطع میکروسکوپی و آنالیز اشعه X توده سنگ روستای کندوان دارای ترکیب اسیدی بوده و عمدتاً از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلند تشکیل‌شده است. تقریباً تمام کانی‌ها سالم بوده و هوازدگی و دگرسانی به کانی‌های رسی کمتر دیده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی نشان می‌دهند که گُلسنگها در تلاش برای جذب مواد معدنی ریسه‌های خود را در سنگ‌های کندوان نفوذ داده و باعث تخریب بافت سنگ تا عمق حدود ۵ میلی‌متری می‌شوند. ضمناً اسید اگزالیک ترشح‌شده از گُلسنگ نیز باعث هوازدگی شیمیایی قشر سطحی سنگ می‌شود. اقلیم سرد و نیمه‌خشک و ارتفاع بالای روستای کندوان مانع از فعالیت زیستی زیاد و هوازدگی شدید ناشی از گُلسنگ شده و ترکیب اسیدی سنگ نیز باعث مقاومت آن در برابر اسیدهای آلی گردیده است. با این حال این نوع از هوازدگی و فرسایش و تخریب‌های ناشی از آن در طولانی مدت توانسته باعث شکل‌گیری مورفولوژی خاص روستا شود. با این حال ادامه روند هوازدگی باعث تخریب بیشتر سنگ‌های مخروطی شکل می‌شود که در این راستا انجام اقدامات کنترلی و حفاظتی ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: روستای کندوان، گُلسنگ، میکرو سکوب نور بازتابشی و فلورسنس، هوازدگی زیستی.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۷۳۵۰۲۳ E-mail: omidrahimi@ut.ac.ir

مقدمه

رابطه تنگاتنگی بین فرم زمین و فرایندهای ژئومورفولوژیکی از جمله هوازدگی وجود دارد (Corenblit et al., 2009, 891) اما فرآیندهای هوازدگی نسبت به سایر شاخه‌های علم ژئومورفولوژی، کمتر مورد توجه ژئومورفولوژیست-ها واقع‌شده‌اند، زیرا این مطالعات از یک سو به علت کندی عمل فرآیندها، به زمان زیادی نیاز دارند و از سویی دیگر، بیش از یک فرآیند در یک مکان فعال است و اغلب نمی‌توان مطمئن بود که اشکال حاصله نتیجه کدام فرآیند ویژه می‌باشند (کرمی، ۱۳۸۶، ۶۳). یکی از انواع هوازدگی، هوازدگی زیستی می‌باشد. ساویر[1](۱۹۸۰، ۳) و خانلری (۱۳۷۷، ۱۲۴) هوازدگی زیستی را نوعی از هوازدگی می‌دانند که به وسیله موجودات زنده صورت می‌پذیرد، مانند تغییراتی که بر اثر فعالیت گیاهان، جانوران و یا سایر کلنی‌های زیستی از قبیل گُلسنگها، باکتری‌ها، قارچها و غیره در زمین دیده می‌شود. این موجودات زنده در تمام اقلیم‌ها به طور گسترده به عنوان عوامل تغییرات ژئومورفولوژیکی سنگ شناخته می-شوند (Coombes et al., 2011, ; Bjelland et al., 2011, 678-685 ; Corenblit et al., 2009, 891 582).

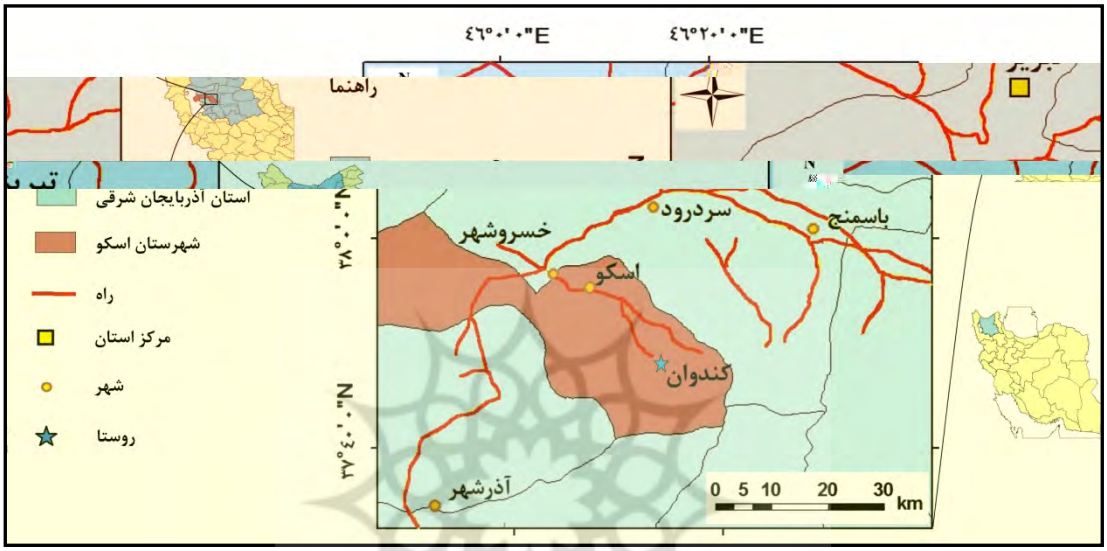
مطالعه حاضر به بررسی نقش هوازدگی زیستی ناشی از رشد کلنی‌های گُلسنگی در تشکیل و تخریب ژئومورفولوژی خاص (سنگ‌های کله‌قندی) روستای تاریخی کندوان پرداخته است که نزدیک ۴۰ درصد از سطوح سنگی را پوشش می‌دهند (شکل ۱). لازم به ذکر است تاکنون مطالعات مشابهی در این منطقه صورت نگرفته است.

شکل ۱ . تصویری از سنگ‌های کله‌قندی روستای کندوان و رشد گُلسنگها در سطح آن‌ها

[1] Sawyer

موقعیت منطقه

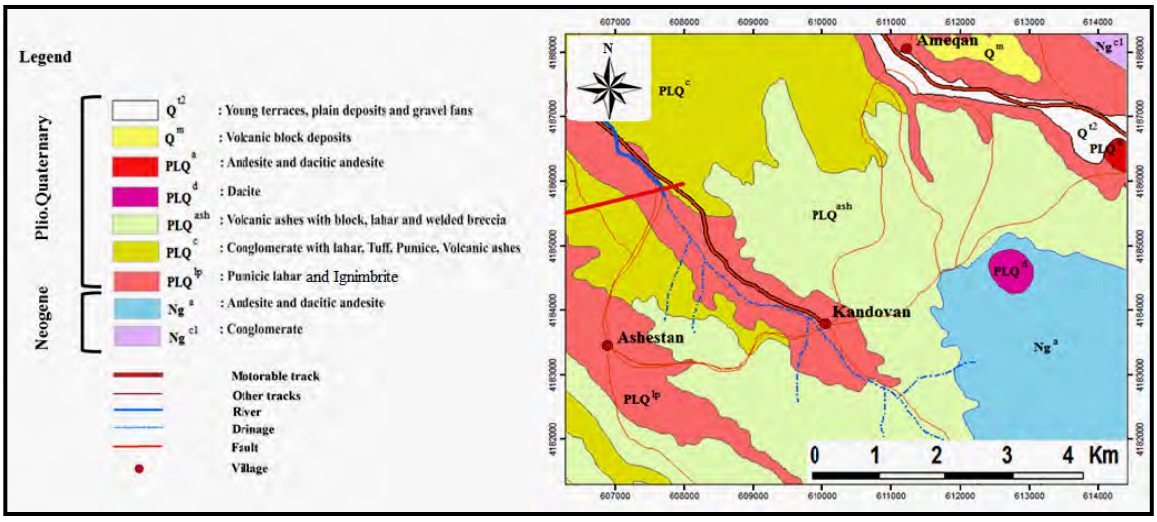
روستای تاریخی کندوان با خانه‌های حفرشده در داخل سنگ‌های مخروطی شکل (کله‌قندی) یکی از مناطق زمین گردشگری کشور محسوب می‌شود. این روستا در مختصات جغرافیایی "۴۰ و ' ۴۷ و ۳۷ درجه شمالی و "۴۰ و ' ۱۵ و ۴۶ درجه شرقی در دامنه شمال غرب کوه آتشفشانی سهند- ارتفاع ۲۲۲۰ متر از سطح دریا- قرار داشته و از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان اسکو واقع شده است (شکل ۲).



شکل ۲ . نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به روستای کندوان

اقلیم منطقه نیمه‌خشک و سرد می‌باشد و نتایج بررسی‌های هواشناسی منطقه حاکی از آن است که سالانه به طور متوسط سنگ و پوشش گُلسنگی روی آن دچار، ۲۸ چرخه تر و خشک شدن و ۱۴ چرخه ذوب و انجماد می‌شود که تعداد چرخه‌ها در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان و آذرماه به طور متوسط ۱۰ چرخه تر و خشک شدن و بهمن‌ماه ۷ چرخه ذوب و انجماد می‌باشد. لازم به ذکر است که به علت دمای کم روستا – متوسط ۷/۵ درجه سانتی‌گراد در طی سال – فرآیند خیس ماندن سطوح و ایجاد بستر مناسب برای رشد کلنی‌های زیستی در تمام طول سال فراهم است (امینی بیرامی، ۱۳۹۲ ، ۴۶).

روستای کندوان از لحاظ زمین‌شناسی در پهنه ایران مرکزی قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۱۱۲) و با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسکو که در شکل ۲ نشان داده شده است، در محدوده واحدهای آذرآواری (توف‌های آتشفشانی) واقع شده است. از لحاظ سنگ‌شناسی معین وزیری و امین سبحانی (۱۳۵۶، ۲۱) جنس سنگ‌های کله‌قندی این روستا را ایگنیمبریت با ترکیب داسیتی (اسیدی) عنوان کرده‌اند. از طرفی امینی بیرامی و همکاران (۱۳۹۱) نیز هوازدگی و فرسایش در امتداد شکستگی‌های ایجادشده در توده سنگ روستا را مهم‌ترین عامل شکل‌گیری این مورفولوژی خاص در منطقه عنوان کرده‌اند.



شکل ۳ . نقشه زمین‌شناسی منطقه (خدابنده و امینی فضل، ۱۳۷٤)

مبانی نظری

تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین رشد گُلسنگها و هوازدگی سنگ وجود دارد (Topal and Ríos et al. 2005, 184 ; Topal and Sozmen 2003, 175-187 ; Doyuran 1998, 5-20). گُلسنگها گیاهانی هستند که از اجتماع جلبک و قارچ به وجود می‌آیند. هر جلبک با هر قارچ نمی‌تواند تشکیل یک گُلسنگ را بدهد و قارچ‌هایی که در تشکیل گُلسنگ‌ها شرکت دارند، خود به تنهایی قادر به ادامه زندگی مستقل نیستند، بنابراین همیشه گونه مشخصی از یک قارچ با گونه مشخصی از یک جلبک تشکیل یک گُلسنگ را می‌دهد. در همزیستی این دو، جلبک‌ها با داشتن کلروفیل فتوسنتز انجام داده و هیدراتهای کربن را می‌سازند و قارچ‌ها با جذب آب و مواد معدنی آن‌ها را در اختیار جلبک قرار می‌دهند (قهرمان ۱۳۸۳، ۳۲).

محققان ظهور گُلسنگ‌ها را به دوران دونین پیشین یعنی در حدود ۴۰۰ میلیون سال پیش نسبت می‌دهند و تخمین زده می‌شود که حدود ۸ درصد از سطح خشکی‌های زمین با گُلسنگ پوشانده شده است (Chen et al., 2000, 122). بنابراین سطح وسیعی از سنگ‌های زمین تحت تأثیر گُلسنگ‌ها در معرض تغییر مورفولوژی سطحی قرار دارند. شرایط اقلیمی و آب و هوایی از مهم‌ترین فاکتورها برای رشد و توسعه گُلسنگ‌ها در یک منطقه می‌باشند. محیط‌های بسیار گرم، مرطوب و روشن بهترین شرایط را برای رشد گُلسنگ‌ها دارند. هر چه رطوبت محیط بیشتر باشد میزان فتوسنتز آن شدیدتر است. نوسانات زیاد دما، سطح بالای اشعه ماوراءبنفش خورشید، سرعت باد، پوشش متغیر برف و فصول رویشی کوتاه باعث می‌شود که کوهستان‌ها محیط‌های مناسبی برای رشد و توسعه گُلسنگ‌ها نباشند. افزایش تشعشعات اشعه ماوراءبنفش خورشید آسیبهای جدی به گیاهان از جمله گُلسنگ‌ها وارد می‌کند (پورویس[۱] – ترجمه حاجی منیری، ۱۳۸۸، ۲۳) و (کریمی و کریمی، ۱۳۸۸، ۲) که در نتیجه آن قسمت‌های فتوسنتز کننده گیاهان رشد کمتری از خود نشان داده و باعث کاهش راندمان فتوسنتزی آن می‌شود (Bjerke et al., 2002, 6). طی بررسی‌های انجام گرفته به وسیله دال بک[۲] و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط مستقیمی بین ارتفاع یک منطقه و شدت تابش اشعه ماوراءبنفش خورشید وجود دارد. بنابراین سطوح سنگی که در ارتفاعات قرار دارند هم به دلیل شرایط آب و هوایی و هم تابش بالای تشعشعات ماوراءبنفش خورشید، محیط مساعدی برای رشد گُلسنگ‌ها نمی‌باشند. این نوع از هوازدگی باعث ایجاد تغییرات شیمیایی

[۱] Porovis

[۲] Dahlback

و فیزیکی بر روی بسترهای سنگی می‌شوند که آن‌ها را می‌توان در دو بخش زیر خلاصه نمود (Chen et al. 2000 ; Rosa ; Favero et al., 2011 ; Coombes et al., 2011 ; Jelena et al., 2005 ; Ríos et al ., 2005 : (et al., 2012

- هوازدگی فیزیکی ناشی از رشد گُلسنگها

در فرایند هوازدگی فیزیکی اجزای سنگ شکسته شده و خرد می‌شوند. گُلسنگ با جذب مواد معدنی سنگ و نفوذ در سنگ به واسطه هیف[۱] یا ریسه خود باعث تغییرات فیزیکی روی بسترهای سنگی می‌شوند. همچنین اجزای گُلسنگی که در سنگ نفوذ می‌کنند با طی مراحل تر و خشک شدن متأثر از تغییرات آب و هوایی به واسطه انبساط و انقباض‌های متوالی باعث واردکردن تنش به سنگ و هوازدگی آن می‌شوند.

- هوازدگی شیمیایی ناشی از رشد گُلسنگها

پیش از این تصور می‌شد گُلسنگ به دلیل غیرقابل حل بودن اجزایش در آب نقش کمی در هوازدگی شیمایی سنگ داشته باشد، اما بعدها مشخص شد گُلسنگ‌ها به واسطه ترشح اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک[۲]، اسیدسیتریک[۳] ، اسید گلوکونیک[۴] و ترکیبات آلی مانند آمونیوم هیدروکسید باعث انحلال کانی‌های سنگ و هوازدگی شیمیایی آن می‌شوند که اسید اگزالیک یکی از ترکیبات متداول در اکثر گُلسنگ‌ها می‌باشد که به شکل بلورهای خاکستری مایل به آبی و یا سفید گچی در سطح آن‌ها دیده می‌شوند (پورویس- ترجمه حاجی منیری، ۱۳۸۸) که این ترکیبات باعث هوازدگی شیمیایی سنگ می‌شوند. در فرایند هوازدگی شیمیایی بسته به شدت هوازدگی، ترکیب شیمیایی کانی‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده سنگ تغییر کرده و به کانی‌های رسی و اکسیدهای فلزی تبدیل می‌شوند. طبق تحقیقات به عمل آمده گُلسنگ‌ها علاوه بر اثرات مخرب می‌توانند نقش حفاظتی نیز برای سنگ داشته باشند (Chen et al., 2000, 140 ; Cámara et al., 2011, 311). به صورتی که گُلسنگها به صورت یک پوشش متراکم سنگ را در برابر فرسایش باد، برخورد قطرات باران، جریان آب، تغییرات درجه حرارت، رسوب نمک و آلودگی‌های موجود در هوا محافظت کنند. گُلسنگ با جذب آب از روی سطوح متخلخل مانع نفوذ آن به عمق و انحلال و رسوب‌گذاری آن می‌شود. همچنین با توجه به خاصیت مقاوم و نامحلول بودن اگزالات ترشح‌شده توسط گُلسنگ نقش پوشش محافظ را برای سنگ ایفا می‌کند (Erguler, 2009 ; Rosa et al., 2012, 325-351).

روش تحقیق

ابزارها و روش‌های متعددی برای مطالعه اثر پوشش‌های گُلسنگی بر روی هوازدگی سنگ وجود دارد که تهیه مقاطع میکروسکوپی و مطالعه آن‌ها با میکروسکوپ پلاریزان، آنالیز اشعه ایکس و تصویربرداری با میکروسکوپ‌های نور بازتابشی و فلورسنس از آن جمله می‌باشند.

در این مطالعه برای ارزیابی تغییرات شیمیایی ناشی از رشد گُلسنگ از عمق ۵ و ۱ سانتی‌متری زیر پوشش گُلسنگی چندین نمونه‌برداری انجام‌شده و به ترتیب ۳ مقطع نازک میکروسکوپی و دو آنالیز اشعه ایکس تهیه‌شده است. مقاطع نازک در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه تبریز تهیه‌شده و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل Nikol این آزمایشگاه مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. نمونه‌های مورد نظر برای آنالیزهای اشعه ایکس نیز با استفاده از دستگاه آنالیز شرکت تحقیقات معدنی کانساران بینالود - مدل PW 1800، Cu anode, 40 kV and 30mA- تهیه و تحلیل‌شده‌اند.

---

[۱] Hyphae

[2] *Oxalic acid*

[3] Citric acid

[4] Gluconic acid

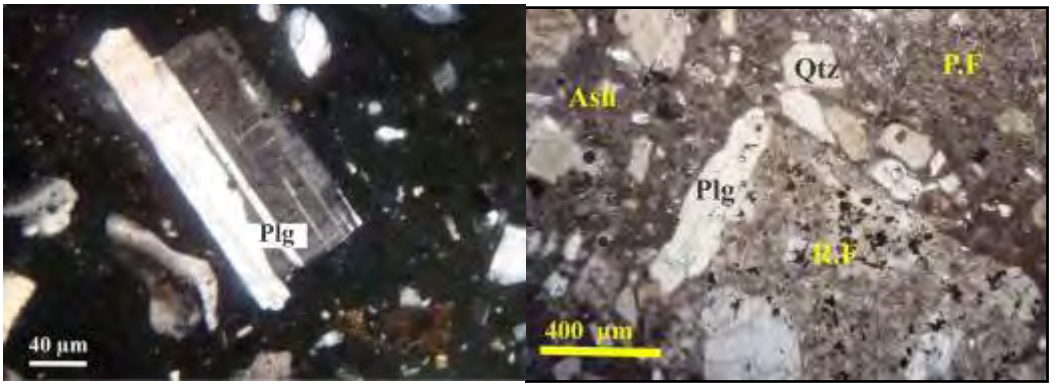
برای بررسی تغییرات فیزیکی ناشی از رشد گُلسنگ و ترکیبات اگزالیک ترشح‌شده از آن نیز از تکنیک تصویربرداری با میکروسکوپ المپوس بی ایکس ۶۰ مجهز به سیستم فلورسنس و نور بازتابشی زمینه تاریک با منبع نور لامپ جیوه‌ای پرفشار ۱۰۰ وات آزمایشگاه مورفوژنز و ارگانوژ دانشگاه تبریز، بر روی بیش از ۲۰ نمونه سنگ دارای پوشش گُلسنگی استفاده شده است. این منبع نوری، شدت نور کافی برای هر دو روش فلورسنس و نور بازتابشی را فراهم می‌نماید. سیستم تصویربرداری به‌کاررفته در این پژوهش، سی‌سی دی پرتراکم نیکون دی ایکس ام ۱۲۰۰ است که از پیشرفته-ترین و کارآمدترین سیستم‌ها به شمار می‌آید. این دوربین دیجیتال، تصاویری با عمق ۸ بیت و وضوح تصویری ۱۲ مگاپیکسل برداشت نموده و توانایی شناسایی ۱۶ میلیون رنگ را دارد. حساسیت، دامنه گسترده توانمندی‌ها و سادگی کاربرد، این دوربین تحقیقاتی را مناسب برای تمامی روش‌های میکروسکوپی نموده است. تصویربرداری از نمونه شامل دو مرحله برداشت تصاویر از سطوح فوکال مختلف، یا برداشت لایه‌ای Z و سپس فرآوری آن‌ها جهت دستیابی به ژرفای دید مناسب، یا ترکیب لایه‌ای Z بوده است. برای این منظور در هر نمونه، با تغییر موقعیت فوکوس میکروسکوپ، تصاویری پشت سر هم، از سطوح مختلف فوکال برداشت گردیده است. سپس این تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای فرآوری تصویر، با همدیگر ادغام شدند تا تصاویری به دست آیند که در همه بخش‌ها وضوح کامل را داشته باشند.

تصاویر ارائه‌شده با نور بازتابشی، رنگ طبیعی نمونه‌ها را ارائه می‌دهد اما برای استفاده از روش فلورسنس قبل از تصویربرداری، سطح مورد نظر باید با مواد فلوروکروم که در برابر نور فلورسنس واکنش نشان می‌دهند، رنگ‌آمیزی شود. با آزمودن مواد فلوروکروم متفاوت آنیلین بلو به عنوان بهترین ماده برای شناسایی اجزای گُلسنگ انتخاب شده است. این ماده قابلیت تفکیک الیاف کوتین و کوتیکول‌دار گُلسنگ مانند ریسه را دارد. همچنین این ماده به مقدار کم می‌تواند ترکیبات اگزالیگ گُلسنگ را فلورسنس نماید. به دلیل این که در اواسط فصل بهار گُلسنگ‌ها در بیشترین حد فعالیت زیستی خود هستند، نمونه‌برداری‌ها در این زمان انجام‌شده‌اند همچنین شایان‌ذکر است که در هر سه روش برای مقایسه سنگ هوازده با نمونه سالم (غیرهوازده) آن، مطالعات همزمان بر روی سنگ سالم نیز تکرار شده‌اند.

بحث و یافته‌ها

– مطالعه مقاطع میکروسکوپی

مقاطع نازک از عمق ۵ سانتی‌متری زیر پوشش گُلسنگ و نمونه سالم تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شده است. سنگ‌های مخلوطی کندوان از ۲۰ درصد قطعات سنگی مختلف، ۳۰ درصد قطعات پامیس، ۲۵ درصد تک کانی‌ها و ۱۵ درصد شیشه آتشفشانی تشکیل‌شده است که با سیمانی از همین مواد به هم متصل شده‌اند (شکل ۴ – الف). اندازه این اجزا از۱۰– ۱۵ سانتی‌متر تا چند میکرون متغیر هستند. تک کانی‌ها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز ، هورنبلند و به مقدار خیلی کم پیروکسن و بیوتیت هستند. کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند بسیار مستعد هوازدگی شیمیایی هستند و در حضور آب و ترکیبات اسیدی به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند. با مطالعه مقاطع نازک مشاهده شد که تغییر قابل‌توجهی در ترکیب کانی‌شناسی سنگ به وجود نیامده و کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند سالم (شکل ۴ – ب) و شکل اولیه خود را حفظ نموده‌اند. بنابراین اثر هوازدگی گُلسنگ‌ها کمتر از ۵ سانتی‌متر باید باشد.



(ب) (الف)

شکل ٤. الف) تصاویر میکروسکوپی از سنگ کندوان – نور معمولی، ب) بلورهای سالم کانی پلاژیوکلاز – نور پلاریزان (R.F: : قطعات سنگ، P.F : قطعات پامیس، Ash : خاکستر، Qtz : کوارتز، Plg : پلاژیوکلاز).

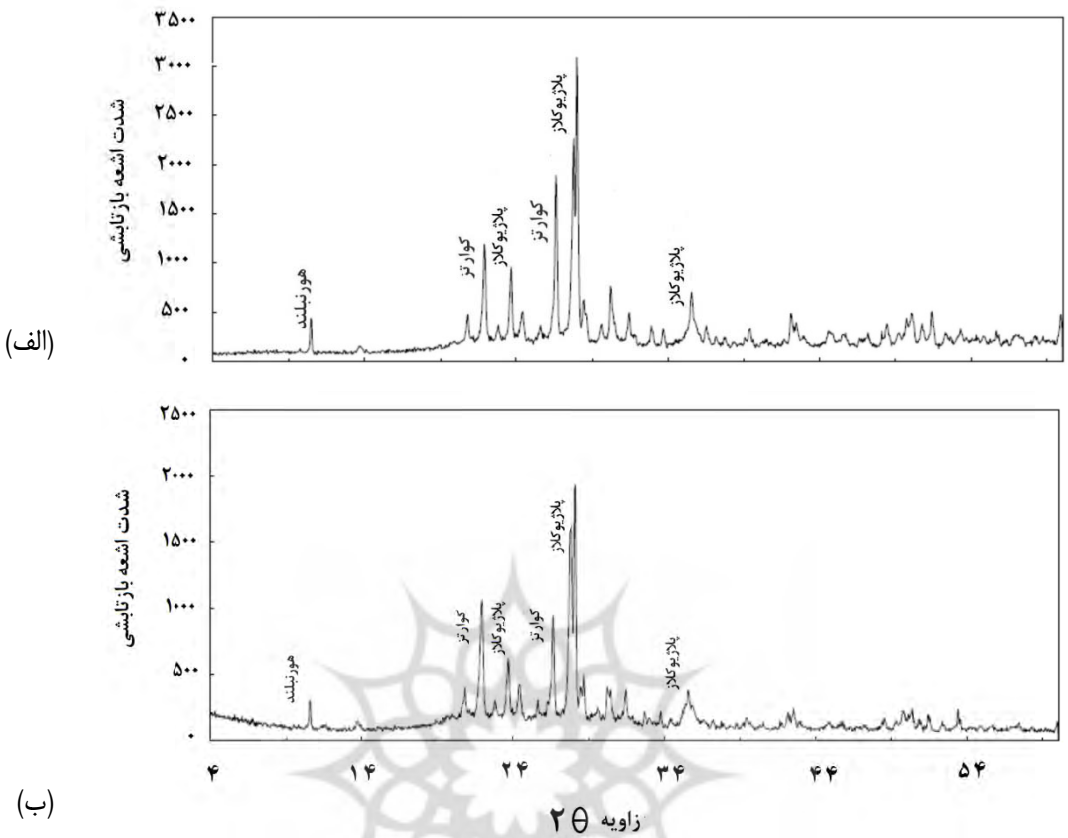
- مطالعه با اشعه ایکس

آنالیزهای اشعه ایکس از عمق یک سانتی‌متری زیر پوشش گُلسنگی و نمونه سالم تهیه‌شده است. نتایج آنالیز اشعه ایکس نشان می‌دهد که مطابق با مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده سنگ دارای کانی‌های کوارتز [SiO_2]، پلاژیوکلاز [$(Ca,Na)(SiAl)_4O_8$]، هورنبلند [$Ca_2(Fe.Mg)_4Al(Si_7Al)O_{22},(OH)_2$] و شیشه آتشفشانی تشکیل‌شده است. نمودار مربوط به نمونه زیر پوشش گُلسنگی کاملاً مشابه نمونه سالم می‌باشد و اثری از تولید کانی‌های رسی وجود ندارد. بنابراین در عمق ۱ سانتی‌متری زیر گُلسنگ‌ها تأثیر هوازدگی شیمیایی مشاهده نمی‌شود (شکل ۵).

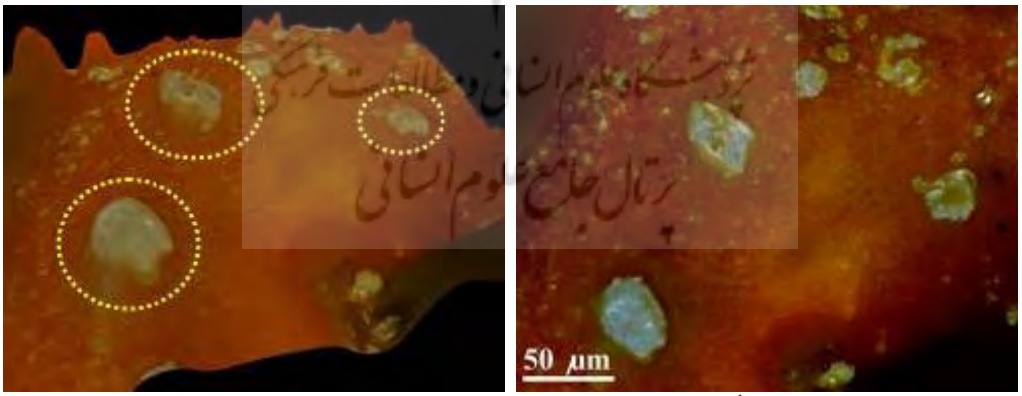
- تصویربرداری

تصویربرداری به دو صورت نور بازتابشی و فلورسنس از مقطع عرضی نمونه سنگ دارای پوشش گُلسنگ، نمونه سالم و اجزای گُلسنگ صورت گرفته است. در تصاویر به دست آمده مشاهده می‌شود که گُلسنگ دارای ترشحاتی است که وجود آن‌ها اثبات می‌کند که گُلسنگها در هنگام مطالعه در مرحله فعال زیستی خود بوده‌اند (شکل ۶). در کنار تصویربرداری از نمونه‌های هوازده، تصویربرداری از سطح سالم سنگ امکان مقایسه مورفولوژی بین نمونه‌ها را آسان‌تر نموده است به طوری که در نمونه سالم بافت سیمانی و سطح صاف سنگ به وضوح قابل‌تشخیص است (شکل۷).

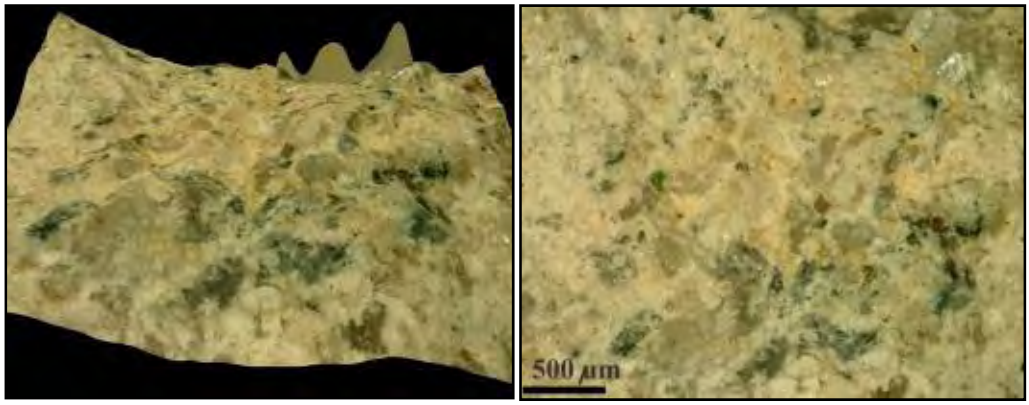
همان طوری که در شکل ۸– الف نشان داده شده است، هوازدگی فیزیکی به صورت ایجاد ترک در سطح و حالت پودری و نرم سنگ در قسمت‌های زیر گُلسنگ دیده می‌شود که ناشی از فروپاشی بافت سفت سنگ در اثر نفوذ ریسه گُلسنگ و جذب مواد معدنی آن است. هوازدگی شیمیایی نیز به صورت تبدیل رنگ کانی‌های سنگ به رس و رنگ گِلی سنگ دیده می‌شود. در شکل (۸ – ب) ، محدوده (۱) بخش هوازده شیمیایی، (۲) بخش هوازده فیزیکی را نشان می‌دهد. برای مشخص کردن عمق هوازدگی و نفوذ گُلسنگ یک توالی از سطح به عمق سنگ تهیه‌شده و در شکل (۹ – الف) نشان داده شده است. به صورتی که از سطح به عمق شدت هوازدگی کاهش می‌یابد. در این شکل به راحتی می‌توان بخش‌های مختلف را از هم تفکیک نمود به صورتی که محدوده (۱) پوشش گُلسنگ، (۲) بخش هوازده شیمیایی، (۳) بخش هوازده فیزیکی و ترک‌های حاصل از آن و (۴) بافت سالم سنگ را نشان می‌دهد. بنابراین به طور متوسط عمق هوازدگی زیستی ۵ میلی‌متر است.



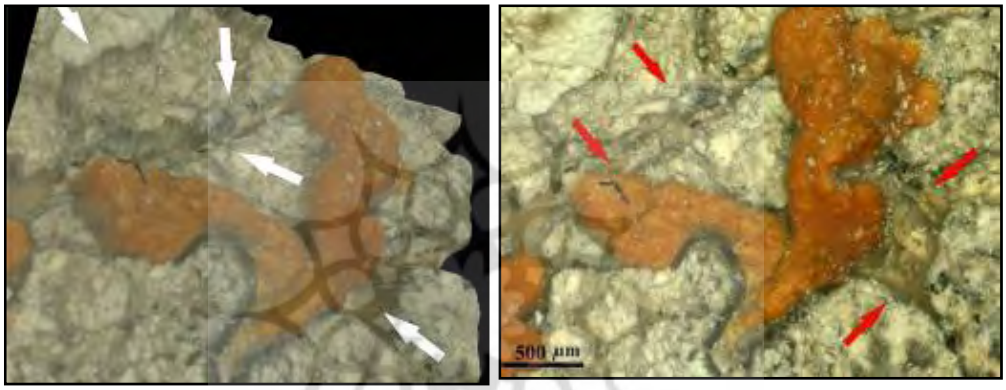
شکل ٥ . نمودارهای حاصل از آنالیز اشعه X : الف) نمونه سالم (شکل بالا)، ب) عمق ۱ سانتی‌متری زیر پوشش گِلسنگی (شکل پایین)



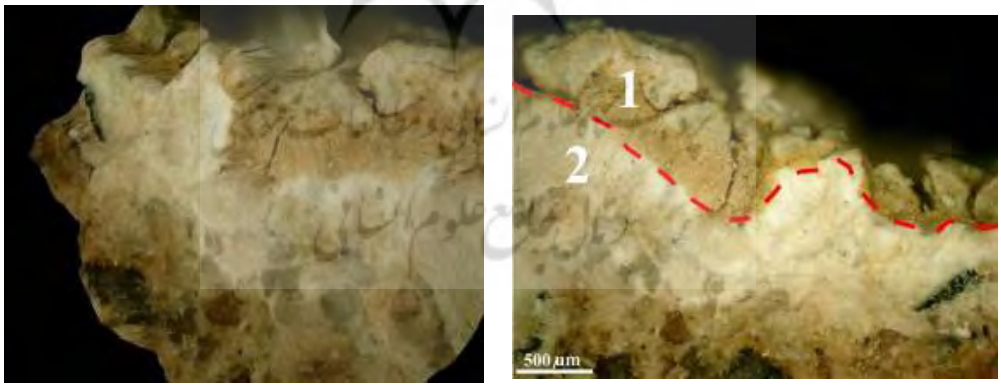
شکل ٦. مواد آلی ترشح‌شده از گِلسنگ در سطح آن (راست)، تصویر سه بعدی (چپ) - میکروسکوپ نور بازتابشی



شکل ۷ . تصاویر میکروسکوپی به دست آمده از مقطع عمودی نمونه سالم سنگ کندوان



(الف)

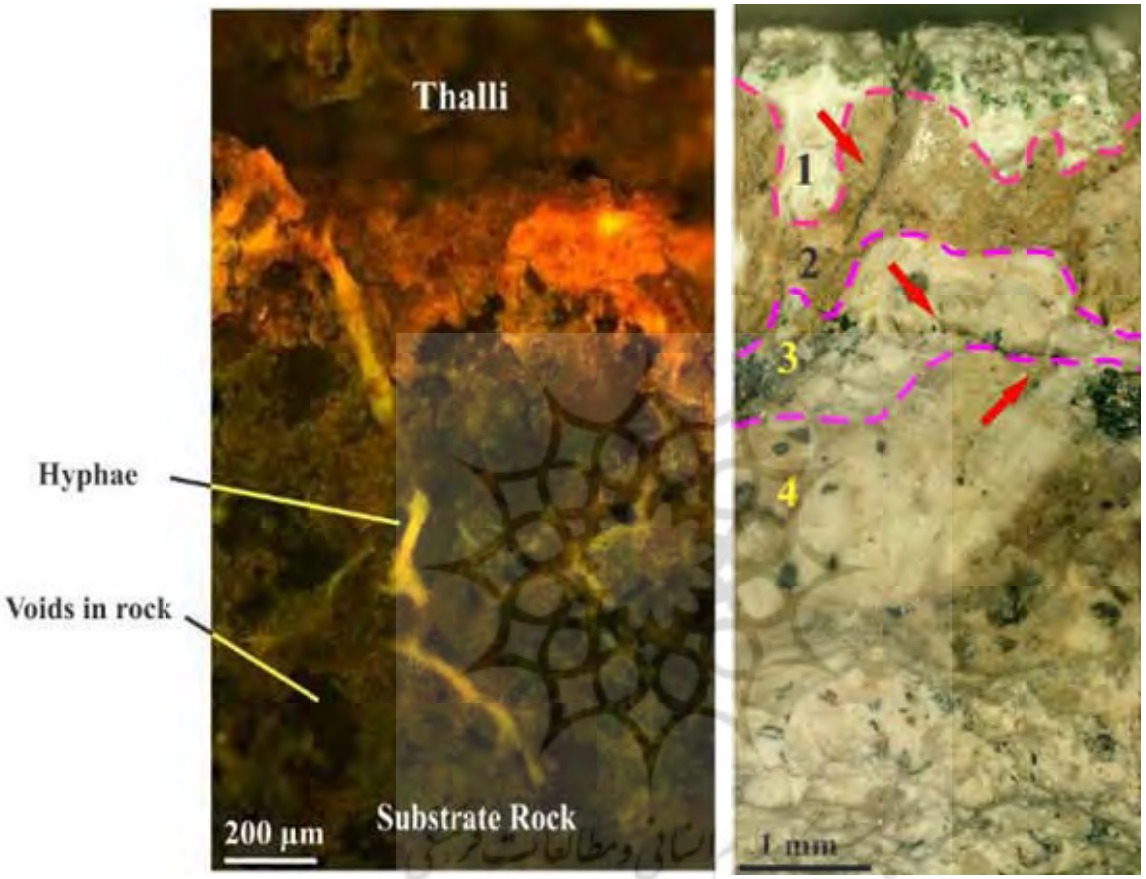


(ب)

شکل ۸ . الف) تصاویری از ترک‌های ناشی از رشد گُلسنگ در سطح سنگ، ب) تصاویر میکروسکوپی به دست آمده از مقطع عمودی سنگ کندوان (۱) بخش هوازده شیمیایی، (۲) بخش هوازده فیزیکی

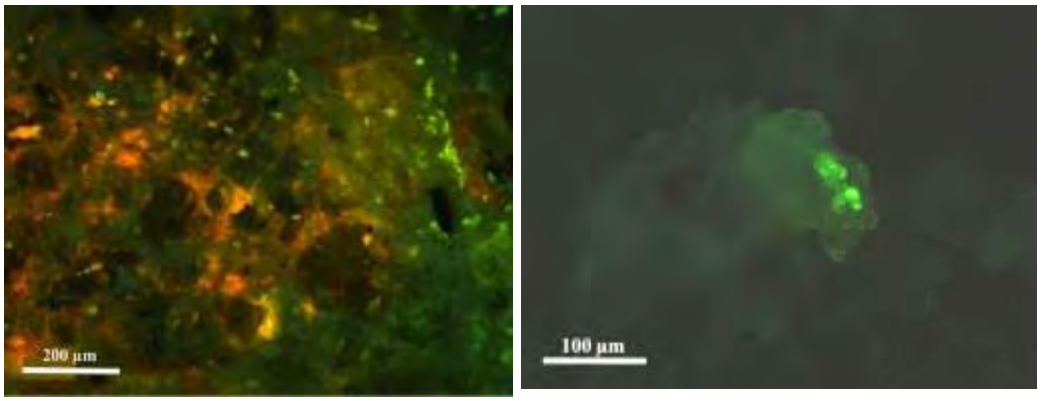
در تصاویر به دست آمده به روش فلورسنس به راحتی می‌توان ریسه‌های گُلسنگ داخل سنگ را مشاهده نمود که در مسیر حرکت خود باعث جابه‌جایی و ایجاد حفرات متعدد در سنگ شده است (شکل ۹ – ب). تصاویر مشابه به دست آمده به روش فلورسنس از اسید اگزالیک خالص و ترشحات گُلسنگی اثبات می‌کند که این مواد آلی دارای ترکیبات اگزالیک می‌باشند اما با وجود ترشحات اسید اگزالیک در میان کانی‌های سنگ به دلیل ترکیب اسیدی سنگ، کانی‌های

رسی حاصل از هوازدگی شیمیایی سنگ در حدی نبوده‌اند که توسط آنالیز اشعه ایکس قابل‌تشخیص باشند. به عبارت دیگر سنگ در اثر اسیدهای آلی گُلسنگ چندان دچار هوازدگی شیمیایی نشده است (شکل ۱۰). در حالت کلی مشاهده می‌شود که هوازدگی فیزیکی ناشی از رشد گُلسنگها در ابعاد میکروسکوپی باعث تخریب ساختار درونی سنگ و ایجاد ناهمواری‌هایی در سطح آن می‌شوند.



(ب) (الف)

شکل ۹ . توالی هوازدگی زیستی: الف) میکروسکوپ نور بازتابشی، (۱) پوشش گُلسنگ، (۲) بخش هوازده شیمیایی، (۳) بخش هوازده فیزیکی و ترک‌های حاصل از آن و (٤) بافت سالم سنگ را نشان می‌دهد. ب) میکروسکوپ نور فلورسنس



(ب) (الف)

شکل ۱۰ . الف) ترکیبات اگزالیک در سطح گُلسنگ، ب) عمق ۲ میلی‌متری زیر پوشش گُلسنگی – نور فلورسنس

نتیجه‌گیری

سنگ‌های کله‌قندی روستای کندوان از اجزاء مختلفی از جمله قطعات پامیس، تک کانی‌ها و شیشه آتشفشانی تشکیل‌شده که با سیمانی تشکیل‌شده از همین مواد به هم متصل شده‌اند. بر اساس نمونه‌برداری‌ها و مطالعات میکروسکوپی، تک کانی‌ها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و به مقدار کمتر پیروکسن و بیوتیت می‌باشند. در مقاطع نازک سنگ، هوازدگی شیمیایی و تغییر کانی‌شناسی (دگرسانی) قابل‌توجهی دیده نمی‌شود به طوری که کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند تقریباً سالم می‌باشند. نمودار آنالیز اشعه X مربوط به نمونه زیر پوشش گُلسنگی مشابه با نمونه سالم بوده و اثری از ایجاد کانی‌های رسی دیده نمی‌شود. هوازدگی فیزیکی ناشی از رشد گُلسنگ‌ها به صورت ایجاد ترک در سطح و حالت پودری و نرم سنگ در قسمت‌های زیر گُلسنگ دیده می‌شود که ناشی از فروپاشی بافت سفت سنگ در اثر نفوذ ریسه گُلسنگ، انبساط و انقباض آن در داخل سنگ به واسطه تغییرات آب و هوایی و رخداد ۲۸ چرخه تر و خشک شدن و ۱۴ چرخه ذوب و انجماد و جذب مواد معدنی به واسطه آن می‌باشد. هوازدگی شیمیایی نیز به صورت تبدیل رنگ کانی‌های سنگ به رنگ گِلی دیده می‌شود.

توالی تغییرات به دست آمده نشان می‌دهد که شدت هوازدگی سنگ از سطح به عمق کاهش می‌یابد به صورتی که به طور متوسط فقط تا عمق ۵ میلی‌متر مشاهده می‌شود. اقلیم سرد و نیمه‌خشک و ارتفاع بالای منطقه (تابش بالای اشعه ماورا بنفش خورشید) علیرغم پوشش نزدیک ۴۰ درصدی از سطوح سنگی روستا، از عوامل محیطی محدودکننده رشد و هوازدگی شدید گُلسنگ‌ها در منطقه می‌باشند. از طرفی با وجود ترشحات اسید اگزالیک در میان کانی‌های سنگ به دلیل ترکیب اسیدی سنگ، کانی‌های رسی حاصل از هوازدگی شیمیایی سنگ در حدی نیستند که توسط آنالیز اشعه ایکس قابل‌تشخیص باشند. از طرفی چون حداکثر عمق تأثیر گُلسنگ بر بستر سنگی خود ۵ میلی‌متر می‌باشد، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که گُلسنگ‌ها به صورت یک پوشش متراکم با جذب آب از روی سطوح سنگ مانع نفوذ آب به عمق و انحلال و تخریب بیشتر آن شده است. بنابراین گُلسنگها در طولانی مدت می‌توانند در شکل‌گیری مورفولوژی خاص منطقه و تخریب‌های بعدی سنگ دخیل باشد. بنابراین انجام اقدامات کنترل و حفاظت در برابر آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سپاسگزاری

از آقای دکتر محمدرضا دادپور، استادیار گروه باغبانی و آزمایشگاه مورفوژنز و ارگانوژنز دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز به خاطر مساعدت در انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع

آقانباتی، س ع. (۱۳۸۳). **زمین‌شناسی و توان معدنی استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل**. نشریه جغرافیا (رشد آموزش زمین‌شناسی)، شماره ۳۹، صفحات ۲۳ – ۱۴.

امینی بیرامی، ف.؛ اصغری کلجاهی، ا. ؛ حاجی علیلوی بناب، م. (۱۳۹۱). **بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در تشکیل و تخریب مخروط‌های سنگی روستای گردشگری کندوان**. نخستین همایش میراث زمین‌شناختی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امینی بیرامی، ف. (۱۳۹۲). **بررسی عوامل زیست‌محیطی مخرب بر خانه‌های سنگی – مخروطی شکل**

روستای گردشگری کندوان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

پورویس، و. (۱۳۸۸). **گُلسنگ‌ها**. ترجمه حاجی منیری، م. ، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

خانلری، غ ر . (۱۳۷۷). **زمین‌شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان عمران)**. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۲۶۴ صفحه.

خدابنده، ع. ا .؛ امینی فضل، ع. (۱۳۷۴). **نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰ ۰۰۰ اسکو**. تهران : سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قهرمان، ا. (۱۳۸۳). **گیاه‌شناسی پایه، تشریح و ریخت‌شناسی اندام‌های رویشی و عمل آن‌ها در گروه-های بزرگ جهان گیاهی.** چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۳۹ صفحه.

کرمی، ف. (۱۳۸۶). **توانمندی‌های ژئوتوریسم در توسعه روستای کندوان**. مجله فضای جغرافیا، سال ۷، شماره ۲۰، صفحات ۱۲۹ – ۱۱۵.

کریمی، م .؛ کریمی، ع. (۱۳۸۸). **تأثیر تابش فرابنفش خورشید (UV - B) بر گیاهان زراعی.** دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران.

معین وزیری، ح.؛ امین سبحانی، ا. (۱۳۵۶). **سهند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسدیمانتولوژی**. انتشارت دانشگاه تربیت معلم، ۵۴ صفحه.

Bjelland, T., Grube, M., Hoem, S., Jorgensen, L. S., Daae, L. S., Thorseth, I. H. ., Overas, L., 2011, **Microbial metacommunities in the lichen-rock habitat**. Environmental Microbiology Reports, 3(4), PP. 434- 442.

Bjerke, J. W., Lerfall, K., Elvebakk, A., 2002, **Effects of ultraviolet radiation and PAR on the content of usnic and divaricatic acids in two arctic-alpine lichens.** Photochemical and Photobiological Sciences 1: PP. 678 - 685.

Cámara, B., Ríos, A., Urizal, M., Buergo, M., Varas, M., Fort, R. , Ascaso, C, 2011, **Characterizing the microbial colonization of a dolostone quarry : Implications for stone biodeterioration and response to bicide treatments.** Microb Ecol 62, PP. 299-313.

Coombes, M. A., Naylor, L. A., Thompson, C. R., Roast, S. D., Gómez-Pujol, L., Fairhurst, r. J., 2011, **Colonization and weathering of engineering materials by marine microorganisma : an SEM study**. Earth Surf. Process. Landforms 36, PP. 582-593.

Corenblit, D., Steiger, J., 2009, **Vegetation as a major conductor of geomorphic changes on the earth surface : toward evolutionary geomorphology**. Earth Surf. Process. Landforms 34, PP. 891-896.

*Chen, J., Blume, H. P., Beyer, L., 2000, **Weathering of rocks induced by lichen colonization - a review.** Catena 39, PP. 121–146.*

Dahlback, A., Gelsor, N., Stamnes, J.J ., Gjessing., 2007, **UV measurments in the 3000 – 5000 m aaltitude region in Tibet**. Journal of geophysical research, Vol. 112, D09308.

Erguler, Z. A., 2009, **Field - based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs.** Engineering Geology, 105, 186 - 199.

Favero, S. E., Gazzano, C., Girlanda, M., Castelli, D., Tretiach, M., 2011, **Physical and chemical deterioration of silicate and carbonate rocks by meristematic microcolonial fungi and endolithc lichens (chaetothriomycetidae).** Geomorphology Journal 28, PP. 732-744.

Jelena, S. k., Jonjaua, G. R., Agneš, L. U., Miroslava. M. R., Miloš, T. B, 2005,

Evaluation of the effect of lichens on ceramic roofing tiles by SEM and Energy – Dispersive Spectroscopy Analyses*. Scanning 27, PP. 113-119.*

Ríos, A., Ascaso, C, 2005, **Contributions of insitu microscopy to the current understanding of stone biodeterioration**. International microbiology 8, PP. 181-188.

Rosa, J. P., Warke, P. W., Smith, B. J., 2012, **Lichen – induced biomodification of calcarrous surfaces : bioprotection versus bideterioration**. Progress in Physical Geomorphogy 37(3), PP. 325-351.

*Sawyer, K. E., 1980, **Landscape Studies (An introduction to geomorphology)**. Arnold, Second edition.*

Cappadocian tuff, Analyses of deterioration of the Topal, T., Doyuran, V., 1998, Environmental Geology 34 (1), PP. 5-20.**.Turkey"**

*Topal, T., Sozmen, B., 2003, **Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument".** Engineering Geology 47, PP. 175–187.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی