

بررسی عوامل محیطی موثر بر هوازدگی و تخریب خانه‌های سنگی - مخروطی شکل روستای کندوان

ابراهیم اصغری کلجاهی^۱

فریده امینی بیرامی^۲

مسعود حاجی علیلویناب^۳

چکیده

روستای کندوان با خانه‌های سنگی و مخروطی شکل خود یکی از جاذبه‌های گردشگری استان آذربایجان شرقی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های مخروطی شکل مذکور به وسیله عوامل محیطی در حال هوازدگی، فرسایش و تخریب می‌باشند. برای بررسی این موضوع، ضمن بررسی‌های محلی، از بخش‌های سالم و هوازده توده سنگ خانه‌ها نمونه‌برداری شده و با استفاده از آزمایش‌های تر - خشک شدن، ذوب - انجماد و آنالیز اشعه ایکس، تأثیر عوامل اقلیمی و آب و هوایی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

هم‌چنین مشخصات شکستگی‌های موجود در توده سنگ کندوان اندازه‌گیری شده و توسط نرم‌افزار Dips تحلیل گردیده و سه دسته شکستگی اصلی در آن تشخیص داده شده است. اگرچه با فرسایش در امتداد این شکستگی‌ها، سنگ‌های مخروطی شکل و کله قندی روستای کندوان شکل گرفته، ولی احتمال تخریب خانه‌ها به‌واسطه تداوم فرسایش در امتداد آن‌ها وجود دارد. نتایج حاصل از بررسی‌های آب و هوایی، آزمایش‌ها و آنالیزها نشان می‌دهد که سطوح سنگی در اثر عوامل

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران - خاک و پی، دانشگاه تبریز.

محیطی دچار هوازدگی، فرسایش و تخریب می‌شوند. البته به دلیل عدم حضور آب کافی و دمای مناسب برای هوازدگی شیمیایی، کانی‌های رسی بر روی سنگ چندان تشکیل نشده‌اند. شرایط اقلیمی منطقه تأثیر چندانی بر روی روند هوازدگی فیزیکی و شیمیایی خانه‌های سنگی روستای کندوان نداشته است و فقط قشر سطحی آن‌ها هوازده و تخریب شده است. البته در صورت ادامه فرایند هوازدگی و فرسایش و انجام نشدن اقدامات حفاظتی و مرمتی، احتمال تخریب بیش‌تر سنگ‌ها وجود دارد.

واژگان کلیدی: تر و خشک شدن، روستای کندوان، ذوب و انجماد، هوازدگی فیزیکی

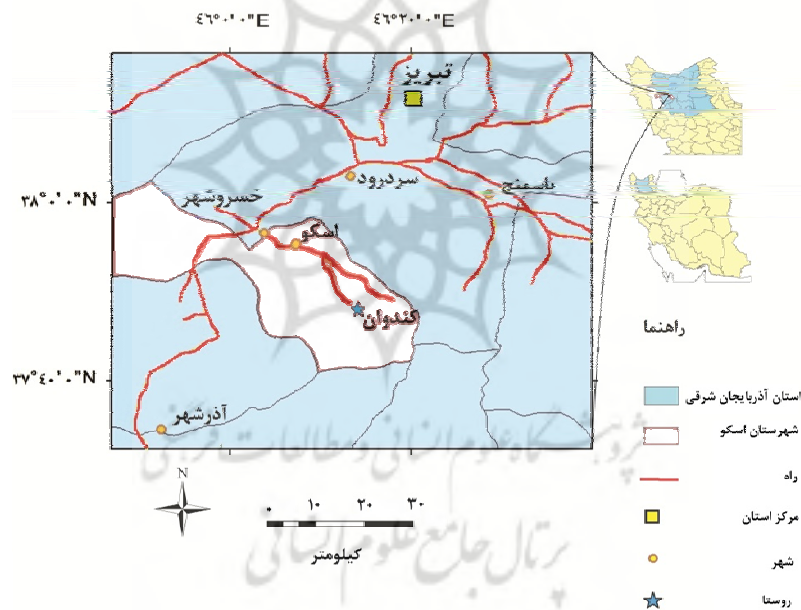
مقدمه

خانه‌های سنگی روستای کندوان یکی از جاذبه‌های گردشگری استان آذربایجان شرقی هستند که در شکل ۱ تصویری از آن‌ها نشان داده شده است. روستای کندوان در مختصات جغرافیایی "۴۰' و ۴۷' و ۳۷ درجه شمالی و "۴۰' و ۱۵' و ۴۶ درجه شرقی و در جنوب شهرستان اسکو واقع شده است. در شکل ۲ نقشه راه‌های دسترسی به منطقه نشان داده شده است.



شکل (۱) تصویری از خانه‌های روستای کندوان

اگر چه تاکنون تحقیق مشخصی برای تعیین قدمت خانه‌های این روستا انجام نگرفته است، اما به عقیده برخی از محققان احداث این خانه‌های سنگی به قرن هفتم هجری و همزمان با حمله مغول می‌رسد (مقیمی اسکویی و همکاران، ۱۳۸۵ : ۲۶). این روستا به دلیل دارا بودن جاذبه‌های گردشگری از جمله خانه‌های سنگی مخروطی شکل خود سالانه مورد بازدید گردشگران داخلی و خارجی زیادی قرار می‌گیرد، به‌صورتی که گردشگری به یکی از مهم‌ترین منابع در آمد اهالی روستا تبدیل شده است. علاوه بر آن این روستا بر اساس مطالب سایت سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان آذربایجان شرقی در سال ۲۰۱۴ به ثبت جهانی خواهد رسید.



شکل (۲) نقشه راه‌های دسترسی به روستای کندوان

با وجود اهمیت فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و تاریخی خانه‌های این روستا برای استان، سنگ‌های مخروطی شکل روستا در اثر عوامل مختلفی در معرض تخریب قرار دارند. با

توجه به این که ویژگی‌های اقلیمی و شرایط آب و هوایی حاکم بر منطقه می‌تواند یکی از عوامل تأثیرگذار بر روند تخریب آن‌ها باشد، لذا مقاله حاضر بر مبنای اطلاعات آب و هوایی، اقلیمی و انجام مطالعات میدانی و آزمایشگاهی به بررسی ویژگی‌های اقلیمی و آب و هوایی منطقه به‌عنوان عوامل محیطی مؤثر بر هوازدگی و فرسایش توده سنگ خانه‌های روستای کندوان پرداخته است.

منطقه مورد مطالعه در پهنه بندی‌های زمین‌شناسی ایران در زون ایران مرکزی قرار دارد (آقناباتی، ۱۳۸۳: ۱۱۲). در این منطقه پس از برخورد دو صفحه عربستان و اوراسیا، دور جدیدی از فعالیت‌های آتشفشانی رخ داده است که فوران آتشفشان سه‌هند با سن تقریبی ۲/۸ تا ۱۲ میلیون سال پیش از آن جمله می‌باشد. آتشفشان سه‌هند در هنگام فوران با دریایی کم عمق محصور بوده است که رسوب مواد آذرآواری خارج شده در اثر فعالیت‌های آتشفشانی آن به‌ویژه مواد منفصل سبک (خاکستر و توف) در این حوضه کم‌عمق باعث گسترش و شکل‌گیری رسوبات آذرآواری (پامیس و ایگنیمبریت) شده است. بعد از این مرحله به دلیل فعالیت‌های تکنونیک عمومی و یا پسروی آب دریا، رسوبات مذکور در معرض عوامل طبیعی فرسایش قرار گرفته و اشکال مخروطی در روستای کندوان ایجاد شده‌اند (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۵۶: ۲۱).

پیشینه مطالعاتی

کرمی (۱۳۸۳: ۸۰-۶۲) و مقصودی و همکاران (۱۳۸۹: ۴۶-۳۵) با بهره‌گیری از داده‌های آب و هوایی و نمودار فوکس-پلتیر^۴ به طبقه‌بندی نوع و شدت هوازدگی در شمال غرب ایران پرداخته‌اند. همچنین مهدی‌آبادی (۱۳۷۶: ۷۱-۶۱) با بررسی و شناخت عوامل هوازدگی کتیبه داریوش، بیستون تغییرات درجه حرارت و یخبندان را از مهم‌ترین عوامل مخرب این بنا عنوان کرده‌اند. شیروانی و عابد اصفهانی (۱۳۸۷: ۱۸۶-۱۷۱) برای آسیب شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد به مطالعه سنگ‌شناسی و تعیین مشخصات

۴- فوکس (Fookes) نمودارهای پلتیر (Pletier) را در سال ۱۹۸۰ به درخواست سازمان زمین‌شناسی آمریکا تکمیل کرد.

فیزیکی و مکانیکی، سنگ تشکیل‌دهنده سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد پرداخته و ارتباط این ویژگی‌ها را با عوامل آسیب‌رسان بررسی نموده‌اند. ایشان مهم‌ترین عوامل مخرب در این مجموعه را علاوه بر ویژگی‌های سنگ تشکیل‌دهنده بنا، انتشار رطوبت، یخبندان و تغییرات دمایی منطقه عنوان کردند. بهرمان و طالبیان نیز (۱۳۸۷: ۱۷۱-۱۶۱) در بررسی نقش برجسته تنگه چوگان بیشاپور عوامل مخرب این نقش برجسته را به‌طور کلی به عوامل درونی مانند شیوه تشکیل سنگ‌ها، نوع و بافت سنگ و عوامل بیرونی مانند رطوبت، تغییرات دمایی، بارش و غیره تقسیم‌بندی کرده‌اند.

توپال^۵ (۱۹۹۵: ۴۹-۵۴) و ارگولار^۶ (۲۰۰۹: ۱۹۹-۱۸۶) با بررسی شرایط آب و هوایی حاکم بر منطقه کاپادوکیه ترکیه، نتیجه گرفته‌اند که شرایط اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب بناهای سنگی موجود در این منطقه می‌باشد در مورد هوازدگی سنگ‌های کندها مطالعه مشخصی صورت نگرفته است.

مبانی نظری

عوامل زمین‌شناسی کنترل‌کننده رفتار مکانیکی سنگ‌ها به دو گروه عوامل داخلی، شامل خواص و ویژگی‌های خود سنگ مانند ترکیب کانی‌شناسی، بافت، صفحات ضعف، شکستگی‌های داخل سنگ، درجه دگرسانی کانی‌ها، اندازه دانه‌ها، شکل دانه‌ها، دانسیته و فشردگی سنگ، درجه در هم شدگی، نوع تماس ذرات و میزان و نوع سیمان یا خمیره (در صورت موجود بودن) و عوامل خارجی، شامل فرایندهایی که محیط اطراف سنگ در یک محدوده از زمان بر روی سنگ تأثیر می‌گذارد، مانند شرایط اقلیمی و آب و هوایی (سلبی^۷، ۱۹۹۳: ۱۲۳) تقسیم‌بندی می‌شوند. سنگ‌ها در طول میلیون‌ها سال و تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی خاصی به‌وجود می‌آیند که بسیار متفاوت از شرایط سطح زمین است. در چنین وضعیتی، توده سنگ به تدریج تغییر می‌کند تا جایی که با شرایط جدید سطح زمین به حالت

5- Topal

6- Erguler

7- Selby

تبادل برسد. رسیدن به این تعادل معمولاً به‌نحوی صورت می‌گیرد که باعث فرسودگی و هوازدگی سنگ می‌شود.

فرایند هوازدگی سنگ به دو دسته، فرایندهای فیزیکی و شیمیایی طبقه‌بندی می‌شود. در اثر فرایندهای گروه اول سنگ‌ها بدون تغییر در کانی‌شناسی به قطعات کوچک‌تر شکسته شده و خرد می‌شوند و فرایندهای گروه دوم، نیز فرایندهایی هستند که در طی آن‌ها تغییراتی در ترکیب شیمیایی سنگ‌ها حاصل می‌شود و موجب از هم پاشیدن سنگ‌ها می‌شوند (خانلری، ۱۳۷۷: ۱۲۰). معمولاً این فرایندها به کمک یکدیگر موجب هوازدگی و ایجاد تغییرات بافتی و کانی‌شناسی در سنگ‌ها می‌شوند (کک و دورنکامپ^۸، ۱۹۹۰: ۳۱۸). یکی از مهم‌ترین عوامل هوازدگی فیزیکی فرایند تر - خشک شدن و ذوب - انجماد متوالی است. آب با نفوذ به داخل منافذ سنگ با اجزای تشکیل‌دهنده آن واکنش انجام می‌دهد، همچنین آغاز انبساط رطوبتی، آب‌شویی و تعرق، آب است که فرسودگی در سنگ را سبب می‌شود. سنگ‌ها به دلیل وجود چرخه‌های تر - خشک شدن ناشی از شرایط اقلیمی و آب و هوایی دچار انقباض و انبساط می‌شوند که انبساط در اثر جذب رطوبت می‌تواند معادل انبساط در برابر دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد (رضازاده اردبیلی، ۱۳۹۰: ۱۴۲). همچنین با کاهش دمای محیط به زیر صفر درجه سانتی‌گراد، آب موجود در منافذ سنگ ۹ درصد افزایش حجم پیدا می‌کند. این افزایش حجم فشاری برابر با ۱۱۰ کیلوگرم بر هر سانتی‌متر مربع از سنگ وارد می‌کند (هامبلین و کریستیانسن^۹، ۲۰۰۸: ۲۵۲)، این تنش‌ها به مرور زمان باعث در هم شکستن بافت سنگ و متلاشی شدن آن می‌شود.

واکنش‌های هوازدگی شیمیایی نیز تا حدود زیادی با نفوذ آب و ماهیت گازها و اجزای اسیدی حل شده در آن کنترل می‌شوند. شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و قرارگیری در معرض آب، دمای بالای محیط از عوامل مؤثر در رخداد این هوازدگی می‌باشند. در اثر هوازدگی شیمیایی کانی‌های سنگ به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند که این کانی‌ها نسبت

8- Cook & Doornkamp

9- Hamblin & Christiansen

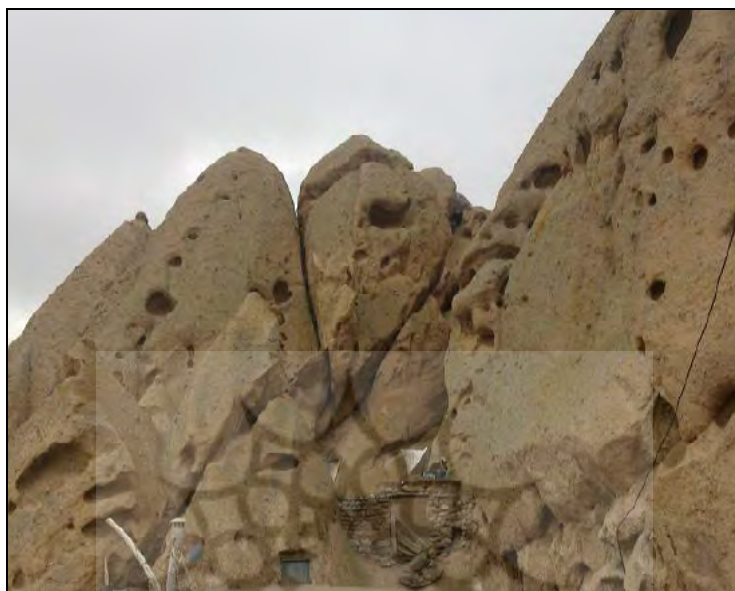
به کانی‌های اولیه سنگ مقاومت پایین‌تری در برابر فرسایش دارند (هامبلین و کریستیانسن، ۲۰۰۸: ۲۵۵).

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر مبنای مطالعات میدانی و آزمایشگاهی به مطالعه و بررسی نحوه تشکیل، نقش شرایط اقلیمی و آب و هوایی منطقه بر روی فرایندهای هوازدگی و شدت هوازدگی خانه‌های سنگی - مخروطی شکل روستای کندوان پرداخته است. با مطالعات میدانی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای، سیستم درز و شکستگی ایجاد شده در توده سنگ روستای کندوان به صورت شکل‌های ۳ و ۴ تشخیص داده شده و مختصات صفحات شکستگی به صورت شیب و جهت شیب توسط قطب نمای زمین‌شناسی (کمپاس) اندازه‌گیری شده و داده‌های حاصل توسط نرم‌افزار Dips تحلیل شده است.



شکل (۳) تصویر ماهواره‌ای روستای کندوان و روند شکستگی‌های اصلی در منطقه، مأخذ: www.earth.google.com



شکل (۴) تصویری از نقش شکستگی‌ها در شکل‌گیری مخروطها

برای بررسی شرایط اقلیمی لازم است تا وضعیت توپوگرافی منطقه مورد بررسی قرار گیرد. وضعیت توپوگرافی هر منطقه متاثر از شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی (حرکات زمین‌ساختی و مقاومت سنگ‌ها) می‌باشد. همچنین ارتفاع محل در میزان و نوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر، تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی و به‌طور کلی در اقلیم منطقه مؤثر است. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، ارتفاع متوسط روستای کندوان ۲۲۲۵ متر از سطح دریاهاى آزاد می‌باشد.

به‌منظور مطالعه آب و هوای محدوده مطالعاتی، به‌دلیل تکمیل نبودن داده‌های آب و هوایی ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به منطقه از جمله ایستگاه‌های اسکو، خسروشهر و آذرشهر و همچنین اختلاف ارتفاعی زیاد بین ایستگاه‌های هواشناسی تبریز، سهند و همچنین تشابهات ارتفاعی و مورفولوژیکی بین ليقوان و منطقه مورد نظر از آمار ده ساله

(۱۳۷۹ - ۱۳۸۸) ایستگاه تبخیرسنجی ليقوان متعلق به شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی استفاده شده است. مشخصات این ایستگاه در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه تبخیر سنجی ليقوان (شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی)

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) |
|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| لیقوان | تبخیر سنجی | ۲۶° و ۴۶° | ۳۷° و ۵۰° | ۲۲۷۹ |

با توجه به این که ایستگاه ليقوان با روستای کندوان حدود ۵۴ متر اختلاف ارتفاع دارد (ارتفاع روستای کندوان ۲۲۲۵ متر است)، باید اثر این اختلاف ارتفاع تصحیح شود. برای تصحیح اثر ارتفاع از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه شمال غرب کشور بین سال‌های ۱۳۷۰ - ۱۳۸۴ استفاده شده است که با توجه به نمودارهای حاصله می‌توان روابط خطی زیر را برای آن‌ها به دست آورد:

$$(۱) \quad ۱۸۶/۱۳ + (ارتفاع) \times ۰/۰۴۰۶ = متوسط بارش سالانه$$

$$(۲) \quad ۱۶/۴۹ + (ارتفاع) \times -۰/۰۰۴۳ = متوسط دمای سالانه$$

در نتیجه به ازای ۵۴ متر اختلاف ارتفاع بین ایستگاه هواشناسی ليقوان و روستای کندوان ۲/۲ میلی‌متر از میزان متوسط بارش سالانه کاسته و ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد بر متوسط دمای سالانه افزوده می‌شود. بنابراین مقادیر تصحیح شده برای روستای کندوان به صورت جدول ۲ خواهد بود.

جدول (۲) متوسط پارامترهای هواشناسی منطقه مطالعاتی برای دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸

| پارامتر | مقدار | واحد |
|-------------------------|-------|-----------------|
| متوسط بارش سالانه | ۳۵۲/۲ | میلی‌متر |
| متوسط درجه حرارت سالانه | ۷/۵۵ | درجه سانتی‌گراد |

اقلیم هر منطقه بیانگر وضعیت آب و هوای آن منطقه می‌باشد. در رایج‌ترین حالت طبقه‌بندی‌های اقلیمی از داده‌های معمول هواشناسی مثل بارش و درجه‌حرارت منطقه

استفاده می‌شود. برای تعیین اقلیم منطقه مورد مطالعه از روش آمبرژه^{۱۰} استفاده شده که روشی مناسب و دقیق در تعیین اقلیم منطقه می‌باشد. در این روش با استفاده از یک رابطه تجربی، مطابق رابطه ۳ پارامترهای موثر در تعیین اقلیم منطقه محاسبه می‌گردد.

$$Q_2 = \frac{2000 p}{M^2 - m^2} \quad (3)$$

که در آن Q_2 ضریب اقلیمی آمبرژه، p متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، M متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال (درجه کلونین)، m متوسط حداقل دما در سردترین ماه سال (درجه کلونین) می‌باشد. اقلیم منطقه با به دست آوردن مقادیر Q_2 و m (بر حسب درجه سانتی‌گراد) و اتصال آن‌ها به یکدیگر روی نمودار اقلیم نمای آمبرژه مشخص می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۸: ۲۷۵) که بر اساس آن اقلیم منطقه مورد نظر نیمه‌خشک و سرد است. برای تعیین دقیق نوع غالب هوازدگی در منطقه از نمودار فوکس - پلتیر که بر مبنای مقادیر متوسط بارش سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه می‌باشد، استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، وضعیت هوازدگی منطقه در محدوده با شدت هوازدگی خیلی کم قرار می‌گیرد.

برای بررسی تأثیر شرایط اقلیمی و آب و هوایی بر روی هوازدگی فیزیکی توده سنگ خانه‌های مخروطی شکل، چرخه‌های تر - خشک شدن و انجماد - ذوب طی دوره ده ساله (۱۳۷۹ - ۱۳۸۸) بررسی شده است. براساس داده‌های آب و هوایی منطقه می‌توان تعداد چرخه‌های انجماد - ذوب و تر - خشک شدن سنگ را تخمین زد، به صورتی که اگر در طول یک روز (۲۴ ساعت) بارانی فاصله حداقل دمای هوا به صفر درجه سانتی‌گراد یا کم‌تر از آن برسد، یک چرخه ذوب و انجماد رخ می‌دهد. همچنین روزهای بارانی باعث ایجاد چرخه‌های تر - خشک شدن در سنگ می‌شوند به شرطی که حداقل دما در آن روز به زیر صفر درجه سانتی‌گراد نرسیده باشد یا به عبارتی انجماد اتفاق نیافتاده باشد (ارگولار، ۲۰۰۹: ۱۹۹ - ۱۸۶؛

توپال، ۱۹۹۵: ۱۹۹ - ۱۸۶). همچنین برای مشاهده تأثیر این عوامل بر روی سنگ آزمایش‌هایی به شرح زیر بر روی نمونه‌های سالم سنگ کندوان انجام شده است:

آزمایش تر و خشک شدن متوالی سنگ

ابتدا ۵ قطعه کوچک (قطر هر نمونه نباید کم‌تر از ۱۲۵ میلی‌متر باشد) از یک نمونه سنگ در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسند. سپس به مدت ۱۲ ساعت در آب آشامیدنی غوطه‌ور شدند. بعد از این مرحله آب ظرف نمونه‌ها را به آرامی بیرون ریخته و نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در گرمخانه ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و خشک شدند. به این ترتیب این آزمایش ۵ چرخه ادامه داده شده و سپس درصد افت وزنی طبق رابطه ۴ محاسبه گردیده است که در آن A، مجموع وزن خشک نمونه‌ها قبل از آزمایش و B مجموع وزن خشک بزرگترین تکه نمونه‌ها بعد از آزمایش بر حسب گرم می‌باشد (ASTM D 5313, 2004 : 3Pp).

$$(۴) \quad \text{درصد افت وزنی} = (A - B) / A \times 100$$

آزمایش ذوب و انجماد متوالی سنگ

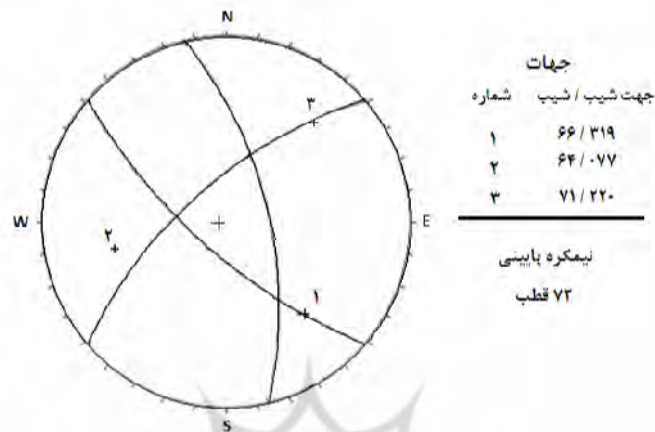
در این آزمایش نیز ابتدا ۵ قطعه کوچک (اندازه هر نمونه نباید کم‌تر از ۱۲۵ میلی‌متر باشد) از یک نمونه سنگ در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به وزن ثابت برسند. وزن کردن نمونه‌ها باید در کم‌تر از ۴ ساعت بعد از خارج کردن آن از گرمخانه صورت گیرد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت داخل محلول آب و الکل ۰/۵ درصد ایزوپروپیل^{۱۱} غوطه‌ور می‌شود تا اشباع از آب شوند. الکل ایزوپروپیل یک الکل صنعتی است که باعث کاهش دمای انجماد محلول نسبت به آب خالص می‌شود. بعد از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت داخل یخچال با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا آبی که به منافذ سنگ نفوذ کرده است، منجمد و افزایش حجم پیدا کند. سپس ظرف نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، این زمان نباید بیش از ۱۲

ساعت طول بکشد، به این ترتیب این آزمایش تا ۵ چرخه ادامه داده شد. در پایان ظرف نمونه در گرمخانه ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسند. بعد از خشک شدن بزرگترین قطعه از هر ۵ تکه نمونه اولیه وزن شدند و درصد افت وزنی طبق رابطه ۴ محاسبه گردیده است. در آزمایش ذوب و انجماد تحت هر شرایطی باید نمونه داخل ظرف باقی بماند و محلول آب و الکل باید مرتب به داخل ظرف اضافه شود (ASTM D5312, 2004: 4 Pp).

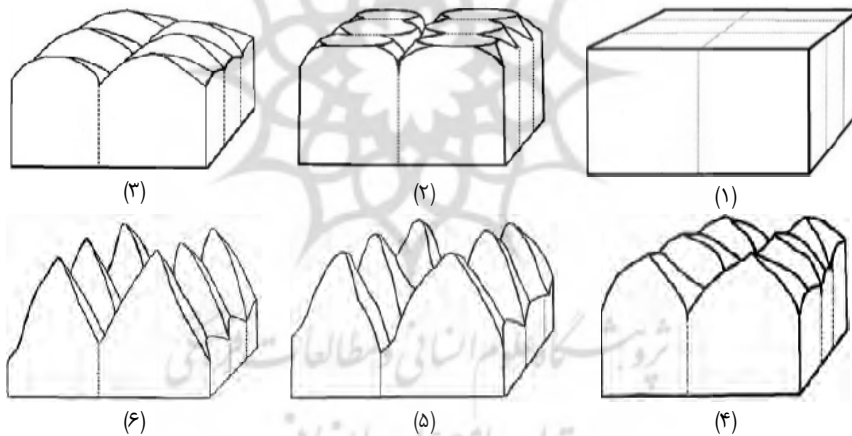
برای بررسی میزان هوازدگی شیمیایی، بر روی نمونه‌هایی از بخش سالم و هوازده آنالیز اشعه ایکس انجام شده است. اشعه ایکس (اشعه رونتگن) نوعی از امواج الکترومغناطیس است که از طول موج‌های بین ۰/۵ تا ۲ آنگستروم آن جهت شناسایی نوع کانی‌های تشکیل دهنده سنگ استفاده می‌شود. در این روش نمونه سنگ داخل هاون‌های مخصوصی به صورت پودر در آورده و سپس نمونه پودر شده را در برابر تابش اشعه ایکس قرار می‌دهند. نتیجه تابش نمودارهایی است که محور افقی نمودار زاویه (2θ) یعنی زاویه بین امتداد اشعه تابشی با امتداد اشعه بازتابش شده از سطح صفحه بلوری کانی و محور عمودی، میزان شدت اشعه بازتابشی را نشان می‌دهد. از آن جایی که کانی‌های مختلف به دلیل داشتن ساختار بلوری متفاوت، نمودارهای متفاوتی ارائه می‌دهند، با این روش می‌توان نوع کانی‌های تشکیل دهنده سنگ از جمله کانی‌های رسی را تشخیص داد (آشوری، ۱۳۹۱: ۱۰۲-۸۶).

یافته‌ها و بحث

نحوه تشکیل مخروط‌های سنگی روستای کندوان
 مشخصات ۷۲ شکستگی موجود در توده سنگ کندوان به وسیله کمپاس به صورت شیب و جهت شیب اندازه‌گیری شده و به وسیله نرم‌افزار Dips تحلیل شده‌اند. دیاگرام حاصل سه دسته شکستگی با مختصات ذکر شده در شکل ۷ را نشان می‌دهد.

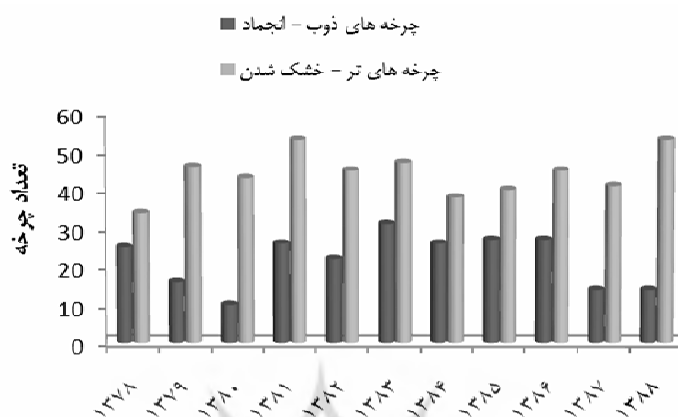


شکل (۵) مختصات صفحات اصلی شکستگی‌های موجود در توده سنگ کندوان



شکل (۶) طرح شماتیک از مراحل فرسایش و شکل‌گیری مخروط‌های سنگی روستای کندوان

با توجه به نتایج حاصل از بررسی داده‌های آب و هوایی، به طور متوسط سالانه ۴۲ چرخه تر و خشک شدن و ۲۲ چرخه ذوب و انجماد در منطقه روی می‌دهد (شکل ۹).



شکل (۷) نمودار تعداد چرخه های ذوب - انجماد و تر - خشک شدن برای دوره ده ساله (۱۳۷۹ - ۱۳۸۸) همچنین با توجه به نمودار شکل ۱۰ ماه های فروردین، اردیبهشت، آبان و آذر به طور متوسط با ۱۰ چرخه تر - خشک شدن و ماه بهمن به طور متوسط با ۷ چرخه ذوب - انجماد، بر هوازدگی فیزیکی سنگ خانه ها تأثیر دارند.



شکل (۱۰) نمودار تعداد چرخه های ذوب - انجماد و تر - خشک شدن برای دوره ده ساله (۱۳۷۹ - ۱۳۸۸)

نتایج حاصل از آزمایش‌های تر - خشک شدن و انجماد - ذوب نشان می‌دهد که نمونه‌های سالم سنگ کندوان طی ۵ چرخه تر - خشک شدن و انجماد - ذوب به ترتیب دچار ۲ و ۶۰ تا ۶۵ درصد افت وزنی می‌شوند. بنابراین سنگ تشکیل‌دهنده خانه‌ها می‌تواند در اثر حضور و انجماد آب موجود در منافذ سنگ دچار تخریب شود. همان طوری که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، این وضعیت در قشر سطحی سنگ به دلیل این که در معرض عوامل محیطی قرار دارد، بیش‌تر است. در پی این عامل توده سنگ خانه‌ها دچار تورق و ریزش می‌شوند. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز اشعه ایکس عمده کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ خانه‌های روستای کندوان شامل، کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلند می‌باشند و نمودار مربوط به نمونه سالم و هوازده مشابه هم بوده و اثری از کانی‌های رسی که نشان‌دهنده وجود هوازدگی شیمیایی سنگ است، دیده نمی‌شود (شکل ۱۲).



شکل (۸) تورق و ریزش سطح خانه‌ها در اثر هوازدگی فیزیکی

نتیجه‌گیری

جوش خوردگی کم اجزای تشکیل‌دهنده توده سنگ روستای کندوان باعث شده است که سنگ مستعد هوازدگی و فرسایش باشد. فرسایش در امتداد شکستگی‌های ایجاد شده در آن باعث شکل‌گیری اشکال مخروطی نسبتاً منظم در کنار هم شده است. بر اساس وضعیت

توپوگرافی و داده‌های آب و هوایی، منطقه دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک و شدت هوازگی خیلی کم است. شرایط اقلیمی حاکم در منطقه باعث ایجاد چرخه‌های تر- خشک شدن و انجماد- ذوب در سنگ شده و متعاقب آن هوازگی فیزیکی رخ می‌دهد. سطح بیرونی سنگ‌ها به دلیل قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی با هر چرخه دچار انبساط و انقباض شده در نتیجه تورق و تخریب رخ می‌دهد که نتایج حاصل از آزمایشات تر- خشک شدن و ذوب- انجماد نیز حساسیت سنگ به تغییرات آب و هوایی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز اشعه ایکس نشان می‌دهد که توده سنگ کندوان هوازگی شیمیایی چندانی نداشته و این موضوع به دلیل اقلیم منطقه و در دسترس نبودن آب و دمای مناسب برای رخداد این نوع هوازگی است.

با توجه به نتایج به دست آمده شرایط اقلیمی منطقه بر روند هوازگی فیزیکی سنگ تأثیر داشته ولی این تأثیر بر روی هوازگی شیمیایی توده سنگ کندوان محسوس نیست. اما با ادامه روند تخریب و عدم انجام اقدامات حفاظتی و مرمتی احتمال تخریب بیش‌تر خانه‌های سنگی وجود دارد.

منابع

- آشوری، حسین (۱۳۹۱)، «بلورشناسی (مطالعه بلورها و کاربرد اشعه ایکس در بلورشناسی)»، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۹۰ صفحه.
- آقائاتی، سیدعلی (۱۳۸۳)، «زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور»، ۵۸۶ صفحه.
- بهرمان، علیرضا و طالبیان، محمدحسین (۱۳۸۷)، «شهریه فرهنگ و هنر، مرمت و پژوهش»، شماره ۴، صص ۱۷۰ - ۱۶۱.
- 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 سهند با نگرشی ویژه بر سنگ‌های آذرآواری»، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۹۸ صفحه.
- خانلری، غلامرضا (۱۳۷۷)، «زمین‌شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان عمران)»، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۳۶۴ صفحه.
- شیروانی، مریم و عابد اصفهانی، عباس (۱۳۸۷)، «آسیب‌شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد و پیشنهاد راه‌حل حفاظتی»، نشریه فرهنگ و هنر، مرمت و پژوهش، شماره ۴، صص ۱۸۶ - ۱۷۱.
- علیزاده، امین (۱۳۸۸)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ ۲۷، ۸۷۲ صفحه.
- کرمی، فریبا (۱۳۸۳)، «فرایندهای هوازدگی و تأثیر آن‌ها در نواحی شهری و روستایی (مطالعه موردی؛ مناطق کوهستانی آذربایجان)»، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴، صص ۸۰ - ۶۲.
- معین وزیری، حسین و امین سبحانی، ابراهیم (۱۳۵۶)، «سهند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسدیمانولوژی»، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۵۴ صفحه.

- 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، صص ۳۵-۴۶.
- مقیمی اسکویی، حمیدرضا؛ موسی‌زاده، اسفندیار؛ اشراقی اسکویی، پروین و قره‌محمدلو، مینا (۱۳۸۵)، «سکو از ساحل دریاچه ارومیه تا قله سهند با تأکید بر جاذبه‌های توریستی کندوان»، *شهرداری اسکو*، ۴۷۲ صفحه.
- مهدی‌آبادی، ملیحه (۱۳۷۶)، «بررسی و شناخت آسیب‌های کتیبه داریوش بیستون، نشریه فرهنگ و هنر اثر»، شماره ۲۸، صص ۶۱-۷۱.
- رضازاده اردبیلی، مجتبی (۱۳۹۰)، «مرمت آثار معماری، شناخت، آسیب‌شناسی، فن‌شناسی»، موسسه انتشارات، دانشگاه تهران، ۳۶۲ صفحه.
- ASTM (2004), "Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under freezing and thawing conditions (D 5312)", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.08, 894-897.
- ASTM (2004), "Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under wetting and drying conditions (D 5313)", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.09, 994-906.
- Cook, R.U. & Doornkamp, J.C. (1990), "*Geomorphology in environmental management, A new introduction*", Oxford: Clarendon Press, 410 Pp.
- Erguler, Z.A. (2009), "Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs", *Engineering Geology* 105, 186-199.
- Hamblin, W.K., & Christiansen, E.H. (2008), "*Earth's Dynamic Systems*", Prentice Hall, Brigham Young University, Chapter 10, tenth edition, 759 Pp.
- Selby, M.J. (1993), "*Hillslope Material and Processes*", Oxford, 451 Pp.
- Topal, T. (1995), "*Formation and deterioration of fairy chimneys of the Kavak tuff in Ürgüp-Göreme area (Nevehir-Turkey)*", PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.