فرآیندهای هوازدگی و تأثیر آنها در نواحی شهری و روستایی
مطالعه موردی؛ مناطق کوهستانی آذربایجان

دکتر فریبا کرمی
استادیار گروه پژوهشی جغرافیا دانشگاه تبریز

چکیده

در مناطق کوهستانی، سنگ‌های دامنه‌ها همیشه در اثر فعالیت‌های دینامیکی فرآیندهای هوازدگی، به‌صورت ناپیوسته درآمده، سپس تحت تأثیر نیروی ثقل و همکاری فرآیندهای جابه‌جایی مواد بر روی دامنه‌ها در اشکال مختلف به پای کوه‌ها منتقل می‌شوند. در اثر فعالیت این فرآیندها، به مناطق مسکونی(شهر و روستا) مستقر در مناطق پایکوهی، آسیب‌های جدی وارد می‌شود. به‌طوری که گاهی اوقات این نوع فعالیت‌ها سبب از بین رفتن بخشی از شهر یا کل آبادی‌ها می‌گردد. این مطالعه، براساس بازدیدهای میدانی، بررسی عکس‌های هوایی، روش‌های تجربی و کمّی و با استفاده از نرم‌افزارهای Autocad map2000 , Arc/view، با طبقه بندی مناطق مختلف هوازده‌ی آذربایجان (از نظر شدت هوازدگی) براساس متغیرهای اقلیمی و ترسیم نقشه آن، ضمن بررسی مکانیسم فرآیندهای هوازدگی (به‌ویژه تخریب مکانیکی)، نقش مورفوژنتیکی آنها را در بی‌ثباتی نواحی شهری و روستایی مناطق کوهستانی آذربایجان مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج به‌دست آمده، نشان می‌دهد که در ناپایداری دامنه‌ها و وقوع حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌های ارتفاعات آذربایجان، هوازدگی مکانیکی سهم عمده‌ای دارد و به شکل‌های مختلف مانند: ریزش‌ها (سنگ‌ریزش و ریزش‌های واریزه‌ای)، سنگ لغزش و جریان‌های واریزه‌ای نواحی شهری و روستایی را تهدید می‌کند. بنابراین، در پروژه‌های مربوط به مکان‌یابی شهرها و شهرک‌های جدید، دهکده‌های جهانگردی، احداث شبکه‌های ارتباطاتی، تأسیسات صنعتی و غیره به خطرات ناشی از فرآیندهای هوازدگی باید توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

کلیدواژه‌ها: فرآیندهای هوازدگی،تخریب مکانیکی، حرکات توده‌ای مواد، مناطق کوهستانی آذربایجان.

مقدمه

از زمان‌های دور، سنگ نماد پایداری و استحکام بوده است و بشر در انتخاب مکان مناسب برای استقرار و زندگی به مناطق کوهستانی و پایکوهی پناه برده و مراکز سکونتی خویش را دایر نموده است. ولی به مرور زمان، سنگ‌هایی که در سطح زمین یا

نزدیکی آن قرار دارند، در اثر عواملی مانند هوازدگی،[1] یکپارچکی خود را از دست می‌دهند و متلاشی می‌شوند *(معماریان، ۱۳۷۹: ۲۲۲)*. در واقع، مجاورت کره‌ی سنگی (لیتوسفر) با جو زمین (آتمسفر) و کره‌ی زیستی (بیوسفر) سبب تخریب و متلاشی شدن سنگ‌ها می‌شود *(محمودی، ۱۳۸۲: ۶)*. به این ترتیب، هوازدگی از عوامل بیرونی مؤثر در تغییر شکل پوسته‌ی زمین می‌باشد که در اثر آن برونزدهای سنگی یا مواد متراکم پوسته‌ی زمین متلاشی شده به مواد سست و نرم ناپیوسته تبدیل می‌شوند *(خانلری،۱۳۷۷: ۱۲۰)*. این فرآیند، سبب تغییر چهره‌ی اشکال موجود و ایجاد اشکال جدید می‌شود *(رجائی، ۱۳۷۳: ۱۰۸؛ یونیس[2] و همکاران،۱۹۹۷: ۳۳۶۱)*.

هوازدگی به عوامل مختلفی بستگی دارد، ولی عمده‌ترین آنها، شرایط آب و هوایی و ترکیب فیزیکی و شیمیایی سنگ مادر می‌باشد *(سلبای[3]، ۱۹۹۳: ۱۲۳)*. به نظر معماریان *(۱۳۶۶: ۲۰؛ ۱۳۷۹: ۲۳۲)* و سلبای *(۱۹۸۵: ۱۷۳)* هوازدگی عبارت از فرآیندی است که تحت تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی موجب دگرسانی و خرد شدن سنگ‌ها در محل خود می‌شود. برحسب قلمرو آب و هوایی، نوع سنگ‌ها و ویژگی آنها، متلاشی شدن سنگ‌های سخت ومتصل دامنه‌ها، ثبات ناحیه را مورد تهدید قرار می‌دهد (رجائی،۱۳۷۳:۲۶۰). این بی ثباتی برای مساکن روستایی و شهری، تأسیسات توریستی و کارخانه‌های صنعتی که در دامنه‌ی کوه‌ها ساخته می‌شوند، خطر بزرگی محسوب می‌شود. تعیین درجه‌ی هوازدگی سنگ‌ها و ترسیم و تحلیل نیمرخ سنگ‌های هوازده‌ی زیرسطحی، در پروژه‌های مهندسی مانند ساختمان سازی، احداث جاده‌ها، سدها و بسیاری از سازه‌های مهندسی، ضرورت انجام مطالعه فرآیندهای هوازدگی را آشکار می‌سازد *(کک و دورنکامپ[4]،۱۹۹۰: ۳۱۶ ؛ معماریان،۱۳۶۶: ۲۳)*. البته مطالعه‌ی فرآیندهای هوازدگی نسبت به سایر شاخه‌های ژئومورفولوژی، کمتر مورد توجه

۱- در حالت کلی، فرآیندهای هوازدگی(Weathering)را در دو دسته فرآیندهای تخریب مکانیکی (Disintegration) و فرآیندهای تجزیه شیمیایی (Decomposition) طبقه بندی کرده‌اند. در اثر فرآیندهای گروه اول، سنگ‌ها بدون تغییر کانی آنها به قطعات کوچکتر شکسته و خرد می‌شوند. فرآیندهای گروه دوم، نیز فرآیندهایی هستند که در طی آنها، سنگ‌ها و کانی‌ها، علاوه بر اینکه دچار تغییرات فیزیکی می‌گردند، تغییراتی نیز در ترکیب شیمیایی آنها حاصل می‌شود و موجبات خرد شدن و از هم پاشیدگی سنگ‌های پوسته‌ی زمین را فراهم می‌آورند (خانلری، ۱۳۷۷: ۱۲۰). معمولاً این دو نوع فرآیندر کنار هم و به کمک یکدیگربه هوازدگی سنگ‌ها می‌پردازند(کک و دورنکامپ،۱۹۹۰، ۳۱۸). اگرچه خانلری (۱۳۷۷، ۱۲۴) و ساویر(Sawyer, 1989: 3) هوازدگی بیولوژیکی(Biological) را نیز نوع دیگری از هوازدگی تلقی کرده است که توسط موجودات زنده روی زمین صورت می‌پذیرد، مانند تغییراتی که بر اثر ریشه گیاهان و یا سایر موجودات دیگر از قبیل باکتری‌ها، در زمین صورت می‌گیرد.

2- Younis
3- Selby
4- Cook and doornkamp

ژئومورفولوژیست‌ها واقع شده است. 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 نتیجه‌ی کدام فرآیند ویژه است. بنابراین، در یک‌ربع قرن اخیر، مطالعات مربوط به هوازدگی در شبیه‌سازی آزمایشگاهی متمرکز شده است تا به این ترتیب اثرات فرآیندهای هوازدگی به‌طور مجزا، تحت شرایط کنترل شده، مطالعه شوند و سپس نتایج با شرایط طبیعی مقایسه گردند *(رابینسون[1]، ۲۰۰۰: ۱۲۷۹)*.

برای مثال مورتون[2] و همکاران *(به نقل از رابینسون، ۲۰۰۰: ۱۲۷۹)* با آزمایش تئوری یک فرآیند به وسیله‌ی شبیه‌سازی آزمایشگاهی، نتایج حاصل را با آنچه که در طبیعت رخ می‌دهد، مقایسه کردند.قابل ذکر است که ژئومورفولوژیست‌ها، در سال‌های اخیر، با استفاده از وسایل آزمایشگاهی مجهز، در زمینه‌ی مطالعات کاربردی مربوط به هوازدگی طبیعی سنگهای مورد استفاده در ساخت بناها، مشارکت خوبی داشته‌اند *(رابینسون،۲۰۰۰: ۱۲۸۰)*.

موقعیت جغرافیایی ایران در سطح کره‌ی زمین، پراکندگی و استقرار بسیاری از روستاها و شهرها در پهنه‌های پرخطر زلزله یا دامنه‌های لغزشی و غیره، اغلب سکونتگاه‌های انسانی را در معرض پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی قرار می‌دهد *(افراخته، ۱۳۷۶: ۱۲۰)*. بنابراین، در کشور ایران، بیشتر مطالعات ژئومورفولوژیکی مربوط به فرآیندهای هوازدگی، به سمت سیستم‌های مورفوژنز فعال در مناطق کوهستانی و مخاطرات مورفوژنتیکی ناشی از آنها معطوف شده است و باوجودی‌که، در سال‌های اخیر، پژوهش‌های علمی متعددی،باتوجه به تنگناهای زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی موجود در نواحی شهری و روستایی، در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های عمرانی انجام شده است، ولی تشدید عوامل مورفوژنز و وقوع انواع مخاطرات مانند تخریب توده‌ای مواد دامنه‌ای پس از اجرای طرح‌ها، نیاز به مطالعات جامع و دقیق را در این زمینه نشان می‌دهد.

در همین ارتباط، در مناطق کوهستانی آذربایجان، مانند دامنه‌ی کوهستان‌های سبلان، سهند، میشوداغی و غیره به شناسایی تنگناهای ناشی از عوامل ژئومورفولوژی موجود بر سرراه اجرای برنامه‌های عمرانی، پرداخته شده است. در این پژوهش‌ها، عامل هوازدگی سهم عمده‌ای در ایجاد بی‌ثباتی محیط داشته است. برای مثال، زنگنه اسدی

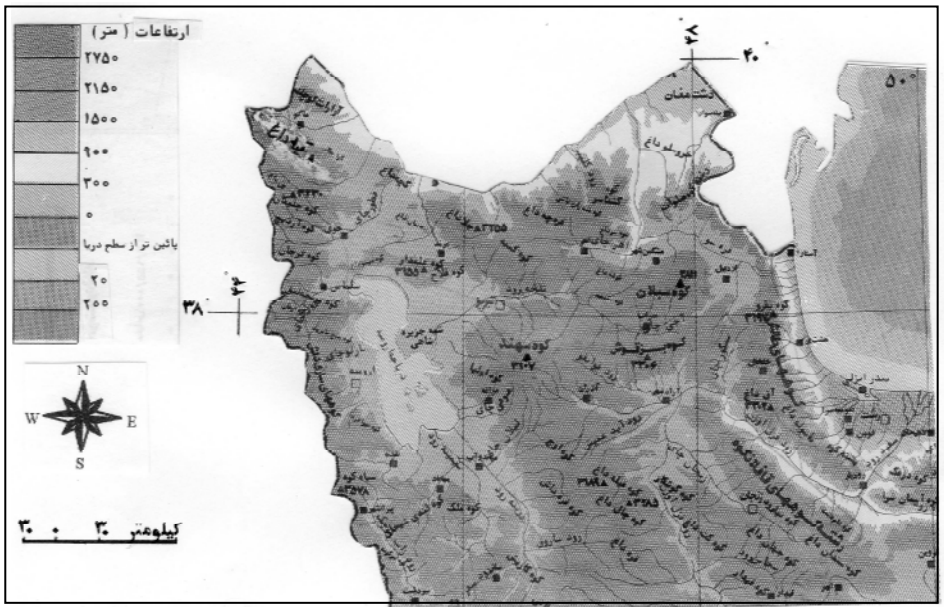
1- Rabinson
2- Murton

(۱۳۶۹: ۱۳۷) در پژوهش‌های ژئومورفولوژی دامنه‌ی شمالی سهند، ضمن اشاره به مکانیزم اصلی سیستم فرسایش پریگلاسیر و نحوه‌ی هوازدگی سنگ‌ها، خاطرنشان می‌سازد که وقوع انواع حرکات توده‌ای مواد از قبیل ریزش‌ها و جریان‌های واریزه‌ای در دامنه‌ی شمالی سهند، خسارت و زیان‌های مالی فراوانی را در مزارع کشاورزی و مساکن روستاییان به همراه داشته است.

خیام *(۱۳۷۴: ۹۶)* در مطالعه‌ای پیرامون تنگناهای ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهر تبریز، با معرفی ارتفاعات شمالی تبریز(کوه عون‌بن‌علی) به عنوان یکی از تنگناهای مورفولوژیکی جلگه‌ی تبریز، برای گسترش منطقی شهر، یادآور می‌شود که وقوع پدیده‌های کریوکلاستی و ترموکلاستی در ماسه‌سنگ‌ها و شیست‌های این ناهمواری، سکونتگاه‌های واقع در پای این ارتفاعات را تهدید می‌کند. دلال‌اوغلی *(۱۳۸۱: ۴۲)* در تحقیقی پیرامون سیستم‌های مورفوژنز در دامنه‌ی شمالی سبلان، ضمن تشخیص اقلیم بسیار سرد در ارتفاعات منطقه، از اشکال حاصل از فعالیت سیستم‌های فرسایش پریگلاسیر به‌تشکیل واریزه‌های جدید و تراکم آنها در پای دامنه‌ها به شکل مخروط‌های واریزه‌ای اشاره نموده و پیدایش آنها را مدیون عامل هوازدگی ناشی از یخ‌زدگی و ذوب مجدد یخ می‌داند. بنابراین، شناخت مشکلات و تنگناهای ناشی از فرآیندهای هوازدگی، خواه به‌صورت تهدید مناطق مسکونی (شهری و روستایی) و یا تأثیر آنها در پروژه‌های مهندسی مانند ساختمان‌سازی، احداث جاده‌ها، سدها و سایر سازه‌ها، ضرورت انجام مطالعات مربوط به هوازدگی و تخریب را در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های عمرانی منطقه‌ی مطالعاتی آشکار می‌سازد. این پژوهش سعی دارد، ضمن بررسی عوامل مؤثر در هوازدگی و بیان مکانیسم فرآیندهای آنها، به طبقه‌بندی مناطق هوازده (کم- متوسط- زیاد)آذربایجان،براساس متغیرهای اقلیمی پرداخته در نهایت نقش مورفوژنیک فرآیندهای هوازدگی را در بی‌ثباتی نواحی شهری و روستایی برخی مناطق کوهستانی آذربایجان مورد مطالعه قراردهد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

رشته‌کوه‌های شمال غربی ایران، در آذربایجان دنباله‌ی سلسله جبال قفقاز است *(افشار، ۱۳۶۹: ۱۳)*.کوه‌های آذربایجان در منطقه‌ی وسیعی از آرارات در غرب تا ارتفاعات طالش در شرق کشیده شده‌اند (شکل۱).



شکل ۱: نقشه ناهمواری‌های آذربایجان

این کوه‌ها سلسله جبال ممتدی نیستند و به‌صورت رشته‌کوه‌های متعدد در جهات مختلف قرار گرفته‌اند. در پیدایش ارتفاعات و ناهمواری‌های آذربایجان، دو دسته از عوامل دخالت داشته‌اند. یکی تحولات زمین‌شناسی دوران سوم که رشته کوه‌های نسبتاً کم‌ارتفاعی را به‌وجود آورده‌اند ودیگری رویدادهای آتشفشانی که موجب ظهور کوه‌هایی مرتفع و عظیم در منطقه گردیده‌اند؛ به‌طوری که در داخل فلات آذربایجان دو توده‌ی عظیم کوهستانی سهند و سبلان *(بدیعی، ۱۳۷۲: ۴۵)* نشانه‌هایی از ادامه‌ی آخرین فعالیت ماگماتیسم مربوط به فاز آلپی پایانی در منطقه‌ی آذربایجان هستند *(افشار، ۱۳۶۹: ۵۰)*.

ارتفاع بلندترین قله‌ی سهند(جام داغی) با دامنه‌های پوشیده از توف و گدازه‌های آتشفشانی(۳۷۱۰ متر) می‌باشد و بلندترین قله‌ی مستور از برف سبلان(سلطان ساوالان) ۴۸۱۱ متر ارتفاع دارد. از مهم‌ترین کوه‌های شمالی آذربایجان، رشته‌کوه‌های قوسی شکل قره داغ واقع در ساحل رود ارس با قله‌ی نشان کوه (۳۷۰۰متر) است که از سوی غرب به آرارات و از سوی شرق به‌کوه‌های طالش متصل می‌شود، این رشته‌کوه‌ها، دنباله کوه‌های قفقاز هستند که به‌وسیله‌ی دره‌ی عمیق رود ارس، از یکدیگر جدا

می‌شوند. قوشه داغ نیز رشته‌کوهی است با حداکثر ۳۲۰۰ متر ارتفاع که کوه‌های قره‌داغ را به توده‌ی آتشفشانی سبلان متصل می‌نماید. رشته‌کوه بزقوش با ارتفاع ۳۳۰۰ متر در قسمت جنوبی‌تر سبلان قرار گرفته است و با امتداد تقریباً شرقی ـ غربی، به کوهستان سهند ختم می‌شود *(بدیعی،۱۳۷۲: ۴۸)*. از سایر کوه‌های آذربایجان می‌توان به میشوداغی(۳۱۳۸) و کوه‌های طالش (۳۲۰۰) متر اشاره کرد. این ارتفاعات بسیار مرتفع هستند. دامنه‌های سرسبز و خرم و مراتع آنها، مرکز تجمع تابستانی ایلات و طوایف مختلف آذربایجان می‌باشد و در پایکوه‌های آنها شهر و آبادی‌های متعدد وجود دارد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با عنایت به هدف پژوهش وبا استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و داده‌های اقلیمی شامل، تبخیر و تعرق پتانسیل،متوسط بارش و متوسط دمای گرم‌ترین ماه‌سال، متوسط دمای سالانه و متوسط بارش سالانه‌ی ۲۰ ایستگاه هواشناسی در منطقه‌ی آذربایجان و در یک دوره‌ی آماری هیجده ساله (۱۹۹۷-۱۹۷۹) انجام شده است. محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل براساس روش ترنث وایت *(علیزاده،۱۳۷۴: ۱۹۲)* می‌باشد و برای طبقه‌بندی مناطق هوازده از نمودار فوکس[1] و از روش وینرت[2] *(کک و دورنکامپ، ۱۹۹۰: ۳۲۰)* استفاده شده است. کلیه‌ی نقشه‌ها با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم افزارهای Autocad map2000, Arc/Viwe ترسیم شده‌اند.

مراحل تحقیق

در مرحله‌ی نخست، پس از شناسایی و تحدید منطقه‌ی مطالعاتی، از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰، گزارش‌ها و داده‌های موجود در مورد موضوع تحقیق و منطقه‌ی مطالعاتی بر پایه روش‌های کتابخانه‌ای - اسنادی و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری شدند.

در مرحله‌ی بعدی، برای تعیین شدت هوازدگی مناطق مختلف آذربایجان، موقعیت سی و چهار ایستگاه هواشناسی بر اساس متوسط دمای سالانه و متوسط بارش سالانه،

۱- فوکس (Fookes) نمودارهای پلتیر (Pletier) را در سال ۱۹۸۰ به دستور سازمان زمین شناسی آمریکا تکمیل نمود.

2- Winert

بر روی نمودار فوکس مشخص شدند (شکل۲) و برحسب شدت هوازدگی، برای هرکدام از ایستگاه‌ها مقادیر وزنی خاصی در نظر گرفته شد (جدول۱). از آنجایی که روابط بین دما و بارندگی بسیار پیچیده است؛ داشتن نگرش کلی در مورد استفاده از متوسط دمای‌سالانه و بارش سالانه دربررسی فرآیندهای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی خطرناک است. بنابراین، برای تأیید نتایج به‌دست آمده روش وینرت مورد استفاده قرار گرفت. در این روش متغیرهای اقلیمی از قبیل تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش در گرم‌ترین ماه سال و همچنین بارش سالانه مورد نیاز است. رابطه‌ی بین تبخیر و تعرق پتانسیل(Ej) و بارش (Pj) در گرم‌ترین ماه سال (تیرماه) به‌وسیله‌ی نسبت زیر بیان می‌شود:

$$R = Ej / Pj$$

ولی از آنجایی که دما و تبخیر در تابستان افزایش می‌یابد و توزیع فصلی بارش نیز از مکانی به مکان دیگر فرق می‌کند، شدت هوازدگی نیز، براساس آب موجود(قابل دسترس) متفاوت خواهد بود. بنابراین میزان بارش سالانه(Pa) نیز در فرمول وارد می‌شود:

$$D = 12(Pj / Pa)$$

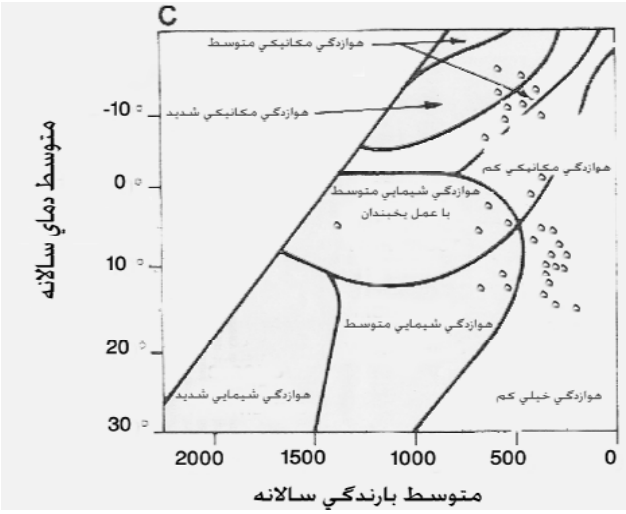
با ضرب مقادیر R وD، معادله‌ی زیربه‌دست می‌آید:

$$N = 12Ej / Pa$$

در صورتی‌که $N > ۵$ باشد، تخریب مکانیکی از فرآیندهای تجزیه شیمیایی مهم‌تر هست و در صورتی‌که $N <۵$ باشد، تجزیه شیمیایی نسبت به هوازدگی مکانیکی بااهمیت‌تر است. در نهایت، پس از انطباق نتایج و تأیید صحت آنها، شدت هوازدگی در مناطق مختلف آذربایجان، در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزارهای Autocad map2000, Arc/Viwe به‌صورت نقشه طبقه‌بندی مناطق هوازده ترسیم شدند. به این ترتیب که ابتدا در محیط GIS پایگاه اطلاعاتی منطقه مطالعاتی، شامل نقشه‌ی توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰ و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی ایجاد شد. سپس با وارد کردن مقادیر وزنی به ایستگاه‌های مورد نظر (از نظر شدت هوازدگی) به درون‌یابی آنها در منطقه‌ی مطالعاتی اقدام شد و نقشه‌ی طبقه‌بندی مناطق هوازده‌ی آذربایجان(کم ـ متوسط ـ زیاد) ترسیم شد.

جدول ۱ : نوع و شدت هوازدگی و مقادیر وزنی آنها

نوع و شدت هوازدگی	مقادیروزنی
هوازدگی مکانیکی ضعیف	۱
هوازدگی مکانیکی متوسط	۲
هوازدگی مکانیکی شدید	۳
هوازدگی مکانیکی بسیار شدید	۴
هوازدگی شیمیایی متوسط	۵
هوازدگی شیمیایی با عمل یخبندان	۶



شکل۲: طبقه بندی عمومی مناطق هوازده آذربایجان

بحث و تحلیل

شاید بتوان جنس و مشخصات فیزیکی سنگ مادر، شرایط اقلیمی، وضعیت توپوگرافی و زمان را چهار عامل تعیین‌کننده در هوازدگی دانست *(معماریان، ۱۳۷۹: ۲۲۶)*. سنگ‌ها به ازای کانی‌های مختلف سازنده‌ی آنها، بافت و ساخت سنگ(وجود درز و شکاف) در مقابل هوازدگی مقاومت‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند *(معماریان، ۱۳۷۹: ۲۲۷؛ پوسن و همکاران،۱۹۹۸: ۳۲۹؛ یونیس و همکاران،۱۹۹۷: ۳۳۶۱)*. از طرفی

دیگر، تغییر درجه‌حرارت از طریق پدیده‌های کریوکلاستیسم[1] و ترموکلاستیسم[2] و رطوبت به‌وسیله‌ی پدیده‌های هیدرکلاستیسم[3] و هالوکلاستیسم[4] اثرات‌مهمی را موجب می‌شوند *(رجائی، ۱۳۷۳: ۱۰۶)*. به این ترتیب، رخنمون‌های سنگی در اثر پدیده‌های مذکور تخریب می‌شوند. این مواد تخریبی، برروی شیب‌ها دست‌نخورده باقی نمی‌مانند، بلکه مواد مزبور در اثر عواملی مانند نیروی ثقل و وزن توده‌ی مواد، یا تحت تأثیر فرآیندهای حمل، بر روی دامنه‌ها حرکت می‌کنند و جابه‌جا می‌شوند *(کرمی،۱۳۸۱: ۱۳۵)*.

در مناطق کوهستانی آذربایجان، به دلیل تسلط آب و هوای نیمه خشک متمایل به سرد مرطوب، ویژگی‌های سنگ شناسی و توپوگرافی، هوازدگی مکانیکی به‌ویژه پدیده کریوکلاستیسم در تخریب سنگ‌ها و فرسایش دامنه‌ها نقش عمده‌ای دارد (جدول۲). نقشه‌ی طبقه‌بندی مناطق مختلف هوازده‌ی منطقه‌ی آذربایجان که صرفاً براساس متغیرهای اقلیمی ترسیم شده است (شکل۳)، حاکی از تسلط هوازدگی مکانیکی با شدت‌های مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، به‌طوری‌که این نوع هوازدگی بیش از ۸۰ درصد مساحت منطقه را در بر می‌گیرد.

این در حالی است که در کوهستان‌های مرتفع مانند سبلان، سهند، قره‌داغ، بزقوش، میشوداغی و غیره، هوازدگی مکانیکی از نوع بسیار شدید است و با کاهش ارتفاع به سمت مناطق پست از شدت فرآیند مزبور کاسته می‌شود. باتوجه به اینکه در این ساز و کار نقش عمده با یخبندان است، آن را ژلیفراکسیون[5] می‌گویند. اندازه‌ی قطعات حاصل از تأثیر ژلیفراکسیون، عمدتاً به‌ویژگی‌های لیتولوژی به‌ویژه به‌بافت سنگ‌ها مربوط می‌شودد *(پوسن و همکاران، ۱۹۹۸: ۳۲۷ ؛ رجائی،۱۳۷۳: ۱۰۰)*.

نمونه‌ای از این پدیده در رشته‌کوه بزقوش به‌ویژه در دامنه‌ی شمالی آن دیده می‌شود، به‌طوری که درفصل‌بارش یا به‌دنبال ذوب برف‌ها، درز و شکاف‌سنگ‌های مگاپورفیریتی[6] آندزیتی بازالتی و تراکی آندزیتی از آب پر می‌شوند، با پایین رفتن دمای هوا به زیر صفر درجه، سطح خارجی سنگ‌های مزبور سرد شده و دهانه‌ی درزها و شکاف‌ها یخ می‌بندد. با ادامه‌ی سرما، آب‌ها در داخل شکاف نیز یخ می‌زند. هنگام یخ بستن

1- Cryoclastism
2 -Thermoclastism
3 - Hydroclastism
4 - Haloclastism

۵- به متلاشی شدن سنگ‌ها در اثرعمل یخبندان و ذوب یخ Gelifraction گفته می‌شود (رجائی، ۱۳۷۳: ۹۹).

۶- بافت پورفیریتی، نوعی بافت در سنگ‌های آذرین بیرونی است که درآن دانه‌های درشت‌تر در یک زمینه‌ی ریزدانه قرار می‌گیرند (سرابی، ۱۳۷۸).

آب،حجم آن حدود ۹٪ افزایش می‌یابد.[۱] ولی چون مسیر خروج مسدود شده است، فشار ناشی از افزایش حجم به دیواره‌های شکاف‌ها منتقل می‌شود که به‌تدریج در گشاد شدن شیار و ترک سنگ‌ها مؤثر است. اما چسبندگی ناشی از یخبندان مانع جداشدن قطعات از یکدیگر می‌گردد. معمولاً گسیختگی قطعات خردشده و ریزش سنگ‌ها، هنگامی انجام می‌شود که سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی رشته‌کوه بزقوش به شکل بلوک‌های عظیم و قطعات درشت سنگ‌ها (ماکروژلیو)[۲] از ارتفاعات بزقوش جدا شده و سقوط کنند *(کرمی، ۱۳۸۱: ۱۲۱)*.

جدول ۲ : متغیرهای اقلیمی و مقادیر وزنی برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه در آذربایجان

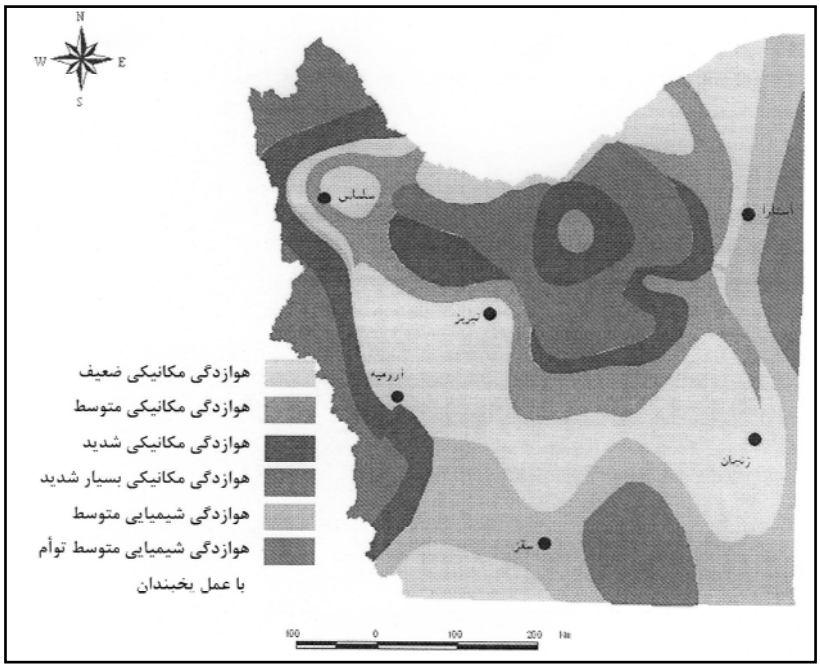
ردیف	نام ایستگاه	متوسط بارش سالانه(میلیمتر)	متوسط دمای سالانه(میلیمتر)	تبخیر بالقوه گرم‌ترین ماه سال(میلیمتر)	مقادیر وزنی
۱	آستارا	۱۲۲۹/۶۰	۱۵/۰۴	۲۷۵/۲۲	۵
۲	اردبیل	۲۷۹/۹۶	۸/۰۹	۱۲۱/۶۲	۱
۳	ارومیه	۳۵۱/۷۴	۱۰/۸۸	۱۵۲/۲۳	۱
۴	اهر	۳۵۱/۳	۱۱/۱۹	۱۴۴/۵۴	۱
۵	پارس آبلد	۲۷۶/۹۱	۱۴/۷۱	۱۸۷/۰۲	۱
۶	پیرانشهر	۵۴۶/۶۳	۱۰/۹۸	۱۵۷/۵۲	۵
۷	تبریز	۲۷۲/۷۲	۱۲/۴۳	۱۸۲/۵۲	۱
۸	خوی	۲۹۷/۷	۱۱/۸	۱۶۳/۹۳	۱
۹	زنجان	۳۰۱/۵۸	۱۰	۱۵۹/۱۶	۱
۱۰	سراب	۲۷۵/۲۲	۸/۰۲	۱۳۲/۹۸	۱
۱۱	سقز	۵۳۴/۹۷	۱۱/۱۳	۱۶۱/۷۵	۵
۱۲	مراغه	۳۴۲/۸۵	۱۰/۵۸	۱۸۱/۱۵	۱
۱۳	مهاباد	۴۷۸/۹۴	۱۲/۲۴	۱۶۵/۴۲	۵
۱۴	میانه	۳۴۶/۲۸	۱۲/۹۸	۱۸۴/۱۹	۱
۱۵	هشترود	۳۵۸/۳۷	۱۱/۰۸	۱۸۲/۱۲	۱

۱- افزایش حجم آب در اثر یخ بستن، فشاری معادل۱۴۰ کیلوگرم بر سانتی مربع بر سنگ وارد می‌کند (ساویر، ۱۹۸۹: ۲).

۲- اگر دیاکلازها، شیارها، ترک‌های بزرگ و منفذهای درشت، در معرض نفوذ آب و یخبندان قرار گیرند، تکه‌های درشت و بلوک‌های حجیم به‌دست می‌آید.به این حالت از خردشدن سنگ‌ها، ماکروژلیفراکسیونMacrogelifraction گویند (رجائی ۱۳۷۳: ۱۰۰)

جدول۳: درصد مساحت مناطق مختلف هوازده در آذربایجان

ردیف	نوع هوازدگی	درصد
۱	هوازدگی مکانیکی ضعیف	۳۰/۹
۲	هوازدگی مکانیکی متوسط	۱۶/۸۳
۳	هوازدگی مکانیکی شدید	۱۲/۲۸
۴	هوازدگی مکانیکی بسیار شدید	۲۰/۵
۵	هوازدگی شیمیایی متوسط	۱۳/۱۱
۶	هوازدگی شیمیایی متوسط با عمل یخبندان	۶/۴۹



شکل ۳ : نقشه طبقه‌بندی نوع و شدت هوازدگی در مناطق مختلف آذربایجان (تأکید بر متغیرهای اقلیمی)

در دامنه‌های مخروط‌های آتشفشانی نیز، اشکال ماکروژلیو حاصل از تخریب مکانیکی بسیار شدید سنگ‌ها،به‌صورت پراکنده به‌چشم می‌خورد. در توده‌ی کوهستانی سهند به‌ویژه در دامنه‌ی شمالی آن به‌علت وضع ویژه سیستم دیاکلازه‌ی سنگ‌های داسیتی و عمل یخبندان و ذوب یخ، تخریب و ریزش کوهستان به‌صورت توده‌ای از تخته‌سنگ‌های درشت و غول‌آسا صورت می‌گیرد *(زنگنه اسدی، ۱۳۶۹: ۱۵۳)*. نمونه‌های بارز پدیده‌ی کریوکلاستیسم در دامنه‌ی شمالی توده‌ی ولکانیکی‌سهند در دو کیلومتری جنوب‌غربی روستای لیقوان، در ارتفاع ۲۴۰۰ متری قابل رویت است *(زنگنه اسدی، ۱۳۶۹، ۱۵۰)*. همچنین آثار این پدیده در شرق متال داغی، قوچ گلی داغ(۳۶۹۵ متر) و بزداغی در توده‌ی آتشفشانی سهند مشاهده می‌شوند *(رضائی‌مقدم، ۱۳۷۰: ۱۸۹)*.

سنگ‌های تراکیتی و تراکی آندزیتی کوهستان سبلان نیز با درزها و ترک‌های فراوان، به علت آغشته شدن به آب در برابر یخبندان شدیداً شکافته شده و به صورت یک قطعه‌ی منفرد و یا متشکل از قطعات متعدد ریزش می‌کنند. نمونه‌های متعدد از گسیختگی دامنه‌ها در اثر عمل یخزدگی و ذوب در دامنه دره‌های موئیل و قطور سویی در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متری سبلان قابل مشاهده هستند *(دلال اوغلی، ۱۳۸۱: ۴۷)*.

تخریب مکانیکی برونزدهای سنگی به صورت ماکروژلیو و سقوط آنها به پای‌کوه تحت تأثیر نیروی ثقل، موجب استقرار بلوک‌های سنگی و قطعه سنگ‌های زاویه‌دار به ابعاد متوسط تا بزرگ، برروی دامنه‌ها شده و به شکل روانه‌های سنگی[1] دیده می‌شوند. وقوع زمین لرزه‌های خفیف، جریان‌های سیلابی و درجه‌ی شیب زیاد دامنه، حرکت این توده‌ها را تسریع می‌بخشند (شکل ۴). به این ترتیب، شهرها و روستاهایی که در پای این نوع دامنه‌ها واقع شده‌اند، از شرایط ناهنجاری برخوردارند و همیشه در معرض سقوط سنگ‌ها و ریزش‌های دامنه‌ای قرار دارند *(نادر صفت، ۱۳۷۷: ۶۴)*.

در دامنه‌های سنگی قیه داغ در شمال‌غرب آذربایجان، نیروهای تکونیکی با شکستن سنگ‌های سخت آهکی زیرین و کنگلومراهای سخت نشده‌ی رویی، در ناحیه‌ای در طول شهر ماکو، درز و شکاف‌هایی را در سنگ‌ها ایجاد می‌کنند (شکل۵) و بستر مناسبی را برای فعالیت عوامل مکانیکی به‌ویژه پدیده‌ی‌کریوکلاستیسم فراهم می‌سازند. فعالیت این پدیده‌ها، موجب متلاشی شدن سنگ‌ها و ناپایداری دامنه‌ها به‌صورت ریزش ناگهانی مواد هوازده، سقوط‌آزاد سنگ‌ها از پرتگاه‌های سنگی، وقوع جریان‌های واریزه‌ای و غیره می‌گردد (شکل ۵). این بی‌ثباتی برای مساکن شهری و تأسیساتی که در

1- Block field or River of rocks

دامنه‌های سنگی کوه‌ها ساخته شده‌اند، خطر بزرگی محسوب می‌شود *(بلادپس،۱۳۸۱ : ۶۸)*.

از سویی دیگر،تکرار عمل یخ زدن و ذوب آب در درز و ترک‌های ریز و باریک دامنه‌های سنگی و شیب‌دار ارتفاعات، سبب ترکیدگی و قطعه قطعه شدن سنگ در حالت میکروژلیفراکسیون[1] می‌شود *(رجائی، ۱۳۷۳: ۱۰۰)*.

تغییر درجه‌ی حرارت‌های بالای صفر و پدیده‌ی ترموکلاستیسم نیز سبب می‌شود سنگ‌های‌متصل تحت انقباض و انبساط متناوب قرار گیرد و به‌شکل سنگ‌های منفصل و متحرک درآیند. این نوع هوازدگی در قلمرو فرسایش پریگلاسیر ارتفاعات آذربایجان به سقوط قطعات سنگی و لغزش توده‌های سنگی منجر می‌شود و به شکل واریزه‌های ثقلی و مخروط‌های واریزه‌ای در پای بسیاری از دیواره‌ها و دماغه‌های سنگی ارتفاعات سبلان، سهند، قره داغ و بزقوش مشاهده می‌شود. نمونه‌ای از تأثیر عامل دما را در تخریب فیزیکی سنگ‌ها و ایجاد اشکال میکروژلیو از طریق پدیده‌های کریوکلاستیسم و ترموکلاستیسم می‌توان در شیل‌های آهکی منطقه‌ی فلات کندول و کوه تک‌آلتی در کوهستان سهند مشاهده نمود.

تناوب تر و خشک‌شدن این سنگ‌ها در ماه‌های بدون یخبندان به همراه سیکل‌های ذوب و انجماد در ماه‌های سرد، تورم و انقباض شدید شیل‌ها را موجب می‌گردند. در نهایت چنین فرآیندهایی قطعاتی از سنگ‌ها به صورت تیغه‌های لب تیز شکسته می‌شود. به این نوع تخریب، که تخریب مدادی اطلاق می‌شود، در تمامی منطقه شمالی روستای شبلی که دارای دره‌های متعدد است، دیده می‌شود. مواد حاصل از چنین تخریبی بستر آبراهه‌ها را اشغال نموده است *(رضایی مقدم، ۱۳۷۰: ۱۸۸)*.

از جمله پدیده‌های مورفودینامیکی، ارتفاعات شمالی جلگه‌ی تبریز (کوه عون بن علی) که با روند شمال غربی ـ جنوب شرقی و با حداکثر ۱۸۰۰ متر ارتفاع، حد شمالی و شمال شرقی تبریز را تشکیل می‌دهد (شکل۳)، نقش کریوکلاستی و ترموکلاستی سنگ‌های تشکیل‌دهنده این ناهمواری است که از ماسه‌سنگ‌ها و شیست‌ها ترکیب یافته است. نوسانات شدید درجه‌ی حرارت شبانه‌روزی خصوصاً در ارتفاع بالاتر از ۱۶۰۰ متری، فعالیت کریوکلاستی را تشدید می‌کند.

1- Microgelifraction

شکل۴: حمل و انباشت تخته سنگ‌های چندتنی در باغات و نزدیکی مساکن روستای ایدیرشان در اثر جریانات سیلابی(کرمی، ۱۳۸۱، ۱۳۳).

شکل ۵ : تهدید منازل شهر ماکو در اثر وقوع جریان‌های واریزه‌ای بر روی تشکیلات کنگلومرای(الیگومیوسن) در ارتفاعات قیه داغ (بلادپس، ۱۳۸۱، ۵۴).

به این ترتیب، بسیاری از سطوح دامنه‌های مشرف به شهر تبریز، از قطعه سنگ‌هایی به ابعاد بزرگ و کوچک پوشیده شده است (شکل۶).
مسلماً علاوه بر نقش دما، دیاکلازهای موجود در این سنگ‌ها نیز پروسه هوازدگی را تشدید می‌کند *(خیام،۱۳۷۴: ۹۶)*. علاوه بر شیب ۳۰-۴۰٪ این ناهمواری، سیستم هیدروگرافی موقت که اغلب‌ناشی از بارش‌های تشنجی است، موجب حمل موادتخریبی به پای دامنه می‌شوند. بنابراین، اغلب مناطق حاشیه‌نشین شمال شهر تبریز در معرض پدیده‌های ریزش و لغزش مواد دامنه‌ای قرار دارند.

شکل۶: وقوع پدیده سنگ ریزش در ماسه سنگ و شیست‌های دامنه جنوبی کوه عون‌بن‌علی(ع) و تهدید مناطق حاشیه‌نشین شهر تبریز (کرمی، ۱۳۸۲).

عامل مؤثر دیگر در هوازدگی ارتفاعات آذربایجان، رطوبت آتمسفر می‌باشد که از طریق هیدروکلاستیسم و هالو کلاستیسم، متلاشی شدن سنگ‌ها را در پی دارد. برای مثال، هوازدگی به‌وسیله‌ی خشک و مرطوب شدن متوالی موجب تخریب و متلاشی شدن سنگ‌های رسوبی می‌شود. در این سنگ‌ها، لایه‌ی نازکی از مارن‌ها و رس‌ها معمولاً به طور متناوب در وسط لایه‌های سختی مانند آهک و ماسه سنگ قرار دارد. جریان آب که از درزهای سنگ‌های سخت نفوذ کرد. به طرف عمق متوجه می‌شود، در سطح لایه‌ی مارنی و رسی متوقف می‌شود. جذب آب به‌وسیله‌ی رس‌های این سطح به

انبساط حجم لایه منجر می‌گردد. در مواقع خشکی هوا، این لایه به‌ویژه اگر در مجاورت هوا قرار داشته باشد. منقبض شده و به این ترتیب خلاء زیادی را فراهم می‌آورد. در نتیجه‌ی تکرار عمل به‌تدریج سنگ‌های سخت زیرین، برحسب نوع جنس به قطعات نسبتاً درشتی تقسیم شده بر حسب موارد، تحت تأثیر ریزش و لغزش در می‌آید، در ارتفاعات اطراف جاده‌ی تبریزـ اهر تا خواجه ، اغلب قطعات ماسه سنگ‌ها در اثر تأثیر دو مکانیسم کریوکلاستیسم و هیدروکلاستیسم در روی اکثر انترفلوها به وجود می‌آید *(رجائی،۱۳۷۳: ۱۰۴)*.

یکی دیگر از پدیده‌های موجود در ارتفاعات آذربایجان‌هالوکلاستیسم می‌باشد. در طی این فرآیند، نفوذ محلول نمک‌ها، به هر علتی در داخل شکاف یا منافذ سنگ‌ها با گذشت زمان و در اثر رشد بلورها، فشارهایی را به دیواره شکاف‌ها وارد نموده و به‌تدریج آنها را فراخ‌تر می‌نماید و به این وسیله موجبات متلاشی شدن سنگ‌ها را فراهم می‌آورد *(رجائی،۱۳۶۹: ۵۰)*. درارتفاعات سهند هوازدگی در اثر نمک بیشتر به شکل تافونی قابل رویت هستند. همان‌طورکه اشاره شد، باوجودی که در مناطق کوهستانی آذربایجان به لحاظ ویژگی‌های آب وهوایی و وضعیت زمین‌شناسی، هوازدگی مکانیکی نقش اصلی را در تخریب سنگ‌ها و تغییر شکل دامنه‌ها را بر عهده دارد، ولی در برخی نواحی(جدول۳) براثر تماس آب با کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی آنها، تحت تأثیر هیدرولیز و هیدراتاسیون قرار گرفته و موجبات انحلال و تجزیه‌ی شیمیایی سنگ‌ها فراهم می‌گردد *(رجائی، ۱۳۶۹: ۴۸)*. به‌این ترتیب، هوازدگی شیمیایی نیز در بی‌ثبات کردن دامنه‌ها سهم دارد. مطابق نقشه‌ی طبقه‌بندی نوع و شدت هوازدگی در آذربایجان که صرفاً بر اساس متغیرهای اقلیمی ترسیم شده است، در شمال شرقی و جنوب غربی منطقه‌ی مطالعاتی به دلیل وجود و وفور رطوبت هوازدگی شیمیایی غلبه دارد. این در حالی است که در ارتفاعات این منطقه، با کاهش دما، فرآیند مذکور با عمل یخبندان توأم می‌باشد. این فرآیندها در بی‌ثباتی دامنه‌های اطراف شهر آستارا و ارتفاعات طالش نیز نقش عمده دارد. نمونه‌های دیگری از هوازدگی شیمیایی در پایکوه‌های شمالی رشته‌کوه‌بزقوش و سبلان درنزدیکی چشمه‌های آبگرم، به‌صورت دگرسانی هیدروترمال[1] در دامنه‌ها مشاهده می‌شود.

در نزدیکی چشمه‌ی آبگرم اردها و الله حق در جایی که سطح آب‌های زیرزمینی نزدیک به سطح زمین است، در اثر تماس محلول‌های گرم، دگرسانی هیدروترمال رخ می‌دهد. اجرای طرح‌های عمرانی مانند احداث جاده‌ها (برای دسترسی به چشمه‌های

1-Hydrothermal Alteration

آبگرم مذکور) مورفودینامیک دامنه‌ها را درچنین شرایطی تشدید می‌کند *(کرمی،۱۳۸۱: ۱۱۴)*. ایجاد کلاهک‌های آهنی در سنگ‌های بازالتی نیز نمونه دیگری از هوازدگی شیمیایی در سنگ‌های برونزد در دامنه‌ی رشته‌کوه بزقوش است.

نتیجه

در اثر فرآیندهای هوازدگی، سنگ‌های متصل و غیرقابل انتقال به‌صورت مواد منفصل بزرگ و کوچک درمی‌آیند. این مواد بر روی شیب‌ها به‌ندرت ثابت باقی می‌مانند، بلکه در اثر نیروی ثقل و وزن توده مواد یا تحت تأثیر فرآیندهای حمل بر روی دامنه‌ها حرکت می‌کنند و در اشکال مختلف به پایکوه‌ها منتقل می‌گردند. تمامی این پدیده‌ها، جزء حوادث طبیعی هستند ولی زمانی‌که شهرها، روستاها و سایر زیرساخت‌های بشری را مورد هجوم قرار دهند و تلفات جانی و زیان‌های مالی زیادی در پی داشته باشند؛ به عنوان بلایای ژئومورفولوژیکی محسوب می‌شوند.

بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی، آب وهوای حاکم و واحدهای لیتولوژی در مناطق کوهستانی آذربایجان، هوازدگی مکانیکی سهم بیشتری در تخریب سنگ‌ها دارد.شدت هوازدگی مکانیکی در ارتفاعات بسیار شدیدتر از مناطق پست است. فعالیت این فرآیندها، از علل عمده ناپایداری و از عوامل اصلی حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه به شمار می‌آیند. ریزش سنگ‌ها (سنگ‌افت‌ها و ریزش‌های واریزه‌ای)،جریان‌های واریزه‌ای،سنگ‌لغزش‌ها و غیره از خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی ناشی از فرآیند هوازدگی در مناطق کوهستانی می‌باشند که همواره شهرها و روستاهای مشرف به این ناهمواری‌ها را در منطقه‌ی مطالعاتی تهدید می‌کند. معمولاً این پدیده‌ها در دامنه‌هایی با شیب زیاد اتفاق می‌افتند. در وقوع آنها، هوازدگی فیزیکی به همراه آب و یخبندان نقش عمده دارد. به‌ویژه هرگاه سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی این نوع دامنه‌ها از درزها و شکاف‌های زیادی برخوردار باشند و در مقابل یخبندان حساسیت بیشتری از خود نشان دهند، شدت فعالیت آن روبه فزونی می‌گذارد. علاوه بر نیروی ثقل و وزن توده مواد، عواملی مانند آب و هوا به‌ویژه باد و بارش، شیب زیاد دامنه‌ها، زمین لرزه و غیره حرکت مواد تخریبی ناشی از فرآیندهای هوازدگی را بر روی دامنه‌های منطقه مورد مطالعه تسریع می‌بخشد. در اثر فعالیت این فرآیندهاست که سقوط قطعه سنگ‌های بزرگ چند تنی، ریزش‌های سنگی و جریان‌های واریزه‌ای بر روی دامنه‌های مشرف به شهر ماکو همواره این شهر را تهدید می‌کند. در سقوط صخره‌های بزرگ و ویرانی منازل این شهر علاوه بر پدیده‌های کریوکلاستیسم و ترموکلاستیسم، فعال

شدن عوامل نئوتکتونیک، شیب تند دامنه‌ها و به‌وجود آمدن آیینه‌های گسل در قسمت‌های فوقانی دامنه‌ها، نقش مهمی دارند.

سقوط تخته سنگ‌ها در دامنه‌ی رشته کوه بزقوش، تأسیسات تفریحی ـ توریستی منطقه را (مانند چشمه‌های آبگرم و آبشار اسب فروشان) به‌طور جدی تهدید می‌کنند. در برخی نقاط، جریان‌های سیلابی، بلوک‌های سنگی بزرگ مستقر برروی دامنه‌ها را که حاصل تخریب مکانیکی هستند و بیش از دو متر قطر دارند، به قسمت‌های پایین دست شیب‌ها حمل می‌نمایند. به دلیل حرکت قطعه سنگ‌های بزرگ در هنگام رگبارهای شدید و طغیان آبراهه‌ها و هجوم آنها به مناطق مسکونی، تعدادی از روستاها به‌وسیله‌ی صخره‌های بزرگ محاصره می‌شوند.

در ده سال اخیر، این حوادث، در مناطق کوهستانی آذربایجان علاوه بر زیان‌های مالی فراوان، تلفات جانی نیز به همراه داشته است. در برخی مکان‌ها نیز انباشت مواد هوازده (اشکال ماکروژلیو و میکرو ژلیو) به‌صورت ریزش سنگ‌ها یا لغزش توده‌های سنگی آب‌بندهایی را در مسیر آبراهه‌های اصلی تشکیل می‌دهند. جمع شدن آب پشت این آب‌بندها و از بین رفتن آنها، سبب طغیان‌های فاجعه‌آمیز(سهمگین) در پایین‌دست رودخانه‌ها می‌شود. انتقال مواد مذکور به بخش‌های پایین دامنه‌ها علاوه بر تهدیدجدی مساکن روستایی، فعالیت‌های کشاورزی و باغداری را نیز محدود می‌سازد.

به این ترتیب، اغلب روستاها و شهرهای مناطق کوهستانی آذربایجان به نحوی (مستقیم یا غیرمستقیم) در معرض آسیب‌های ناشی از فرآیندهای هوازدگی قرار دارند. بنابراین، می‌بایست در عمران و توسعه‌ی شهرها و روستاها و در پروژه‌های مربوط به برنامه‌ریزی این مناطق (بازسازی و جابه‌جایی سکونتگاه‌های آسیب‌دیده، مکان‌گزینی شهرها و شهرک‌های جدید،دهکده‌های جهانگردی،احداث‌شبکه‌های ارتباطی، تأسیسات صنعتی و غیره) با تهیه و ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی خطر فرآیندهای هوازدگی (با در نظرگرفتن کلیه عوامل مؤثر) در مقیاس منطقه‌ای به‌خطرات ناشی از وقوع این پدیده‌ها، توجهی ویژه مبذول گردد.

منابع و مآخذ

۱- افراخته، حسن. (۱۳۷۶). *«الزامات اقتصادی و اجتماعی در بازسازی سکونتگاه‌های آسیب دیده»*. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی۴۷.

۲- افشار، ایرج. (۱۳۶۹). *«نگاهی به آذربایجان شرقی»*. ج ۱. انتشارات رایزن.

۳- بدیعی، ربیع. (۱۳۷۲). *«جغرافیای مفصل ایران»*. ج ۱. چاپ چهارم. انتشارات اقبال.

۴- بلادپس، علی‌اکبر. (۱۳۸۱). *«پژوهش در تحول ژئومورفولوژیک منطقه‌ی ماکو»*. رساله دکتری تخصصی جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.

۵- خانلری، غلامرضا. (۱۳۷۷). *«زمین‌شناسی مهندسی»*. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. شماره ۱۲۶.

۶- خیام، مقصود. (۱۳۷۴). *«نگرشی به تنگناهای ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهر تبریز»*. نشریه‌ی دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز. سال اول. شماره‌ی ۱.

۷- دلال اوغلی، علی. (۱۳۸۱). *«پژوهش در سیستم‌های مورفوژنز در دامنه‌ی شمالی سبلان و شکل‌گیری دشت انباشتی مشگین شهر»*. رساله‌ی دکتری تخصصی جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.

۸- رجائی، عبدالحمید. (۱۳۶۹). *«نقش نفوذپذیری سنگ‌های متصل در فرسایش دیفرانسیل و روش‌های تعیین آن»*. نشریه‌ی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تبریز. شماره ۱۳۷.

۹- رجائی، عبدالحمید. (۱۳۷۳). «ژئومورفولوژی کاربردی دربرنامه‌ریزی و عمران ناحیه‌ای». نشر قومس.

۱۰- رضایی‌مقدم، محمدحسین. (۱۳۷۰). *«تحقیق در تحول ژئومورفولوژی دامنه‌ی شمالی توده آتشفشانی سهند (دره‌ی سعیدآبادچای)»*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۱۱- زنگنه‌اسدی، علی. (۱۳۶۹). *«پژوهش‌های ژئومورفولوژی در دامنه شمالی سهند (حوضه آبریز لیقوان)»*. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۱۲- سرابی، فریدون. (۱۳۷۸). *«سنگ شناسی آذرین»*. انتشارت دانشگاه تهران.

۱۳- کرمی، فریبا. (۱۳۸۱). *«بررسی مسائل ژئومورفولوژی در دامنه‌ی شمالی رشته کوه بزقوش و دشت انباشتی سراب»*.رساله‌دکتری تخصصی جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۱۴- محمودی، فرج الله. (۱۳۸۲). *«ژئومورفولوژی دینامیک»*. چاپ پنجم. دانشگاه پیام نور.

۱۵- معماریان، حسین. (۱۳۶۶). *«متلاشی شدن سنگ‌ها و پیدایش خاک»*. مجله‌ی رشد آموزش زمین‌شناسی. سال سوم. شماره مسلسل ۹.

۱۶- معماریان، حسین. (۱۳۷۹). *«زمین‌شناسی برای مهندسین»*. چاپ چهارم. انتشارت دانشگاه تهران. شماره ۲۱۴۸.

۱۷- نادر صفت، محمدحسین (۱۳۷۹). *«ژئومورفولوژی مناطق شهری»*. دانشگاه پیام نور.

17-Cook, R. U. and J. C. Doornkamp. (1990). Geomorphology in environmental management. Oxford.

18- Poesen, J., Wesemael, B., Bunte, K., and Benet, A. (1998). Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes.Geomorphology, Vol.23: 323–335.

19-Rabinson,D.A. (2000).Weathering processes, products and environmemts. Earth Sur. Pro. and land forms. Vol.25.

20- Sawyer, K. E. (1989). Landscape Studies (An introduction to geomorphology). Arnold, Second edition.

21-Selby, M.J. (1985).Earth's changing surface.Oxford.

22-Selby, M.J. (1993). Hillslope material and processes.Oxford.

23-Younis, M. T., Gilabert, M.A., Melia, J. and Bastida, J. (1997). Weathering process effects on spectral reflectance of rocks in a semi-arid environment. INT.J.Remote Sensing,Vol.18, No16.