

خطر ریزش‌های سنگی در دامنه‌های شرقی سهند و پهنه‌بندی محدوده‌های

مخاطره‌آمیز در حوضه قرتوقچای

مریم بیاتی خطیبی^۱

چکیده

ریزش‌های سنگی، یکی از انواع حرکات توده‌ای و از مشخص‌ترین نوع مخاطرات زمین ریخت‌شناسی محسوب می‌شوند که در کوهستان‌های نیمه‌خشک با دامنه‌های سنگی به وفور رخ می‌دهند. این پدیده‌ها - که در این محدوده‌ها از پیامدهای طبیعی به شمار می‌آیند - با دخالت‌های انسانی تشدید می‌گردند و بیشتر تأسیسات انسانی، به ویژه جاده‌های کوهستانی را مورد تهدید خود قرار می‌دهند و به این ترتیب هزینه‌های سنگینی را به دولت و ساکنین محلی تحمیل می‌کنند. در حوضه قرتوقچای (با مختصات جغرافیایی از $46^{\circ}17'P$ تا $47^{\circ}42'P$ طول شرقی و از $36^{\circ}58'P$ تا $37^{\circ}44'P$ عرض شمالی)، به عنوان بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین حوضه توده‌ی کوهستانی سهند (واقع در دامنه‌های شرقی)، که روستاهای زیادی را در خود جای داده است و تقریباً همه‌ی روستاها، در دامنه‌ها پر شیب سنگی مستقر شده‌اند، وقوع این پدیده‌ها و خسارات ناشی از آنها، بیشتر از سایر حوضه‌های سهند است. در این حوضه، و مناطق مشابه، انجام هر گونه مدیریت محیطی در دامنه‌های پر شیب و اعمال اقدامات عمرانی، مستلزم شناخت مکانیسم وقوع این پدیده‌ها و نیازمند تفکیک مناطق بالقوه مستعد به وقوع چنین پدیده‌هایی است. در این مطالعه، به منظور پهنه‌بندی محدوده‌های مستعد به وقوع ریزش‌های سنگی، ابتدا عوامل احتمالی مختلف دخیل در وقوع این پدیده‌ها شناسایی و با هدف تعیین سهم عوامل، ابتدا ۹ لایه از نقشه‌های مربوط به پراکندگی عوامل مختلف تهیه و سپس این نقشه‌ها رقومی شده و پس از تجزیه و تحلیل با روش دو متغیره، و وزن‌دهی به عوامل مختلف در روی واحدهای ویژه، نقشه‌ی پهنه‌بندی ریزش‌های سنگی با استفاده از نرم‌افزار ARC/View برای حوضه قرتوقچای ترسیم شده است. این نقشه‌ی ترسیمی نشان می‌دهد که، دامنه‌های متشکل از مواد آذرین (داسیت و آندزیت)، به ویژه گدازه‌های میوسن و کنگلومراها، بیشترین قطعات سنگی را در اختیار پای دامنه‌ها قرار می‌دهند و در طول سال اغلب سطح جاده‌هایی که از این دامنه‌ها عبور داده می‌شوند از این تکه سنگ‌ها پر شده و در عبور و مرور، اختلالاتی را ایجاد می‌کنند. همچنین وقوع چنین پدیده‌هایی به ساکنین واقع در پای چنین دامنه‌هایی، خسارات زیادی وارد می‌سازند.

واژگان کلیدی: ریزش‌های سنگی، پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی، روش دو متغیره، سیستم اطلاعات جغرافیایی، کوهستان سهند، حوضه قرتوقچای.

مقدمه

ارزیابی میزان خطر وقایع طبیعی در هر مقطع زمانی ویژه، در علوم طبیعی و اقتصادی، از مهم‌ترین موضوعاتی بوده که ذهن متخصصان امر را، از دیرباز به خود مشغول داشته است. مقالات و گزارشات منتشره، که زاینده‌ی اشتغالات ذهنی و تحقیقات اولیه در مورد ارزیابی و مدیریت مناسب خطر بوده، معرف چنین توجهاتی به چنین پدیده‌هایی بوده است. انتشار این گزارشات و مقالات، تلاش‌های بعدی در این زمینه را سرعت بخشید. در طول دهه‌های اخیر، ارزیابی خطر، در ابتدا، از سوی ژئومورفولوژیست‌ها و مهندسان زمین‌شناس مدنظر قرار گرفت و تحقیقات بسیار ارزنده‌ای در این زمینه، صورت گرفته است (هورلیمان و همکاران^۱، ۲۰۰۶، فرا و پاپالاردو^۲، ۲۰۰۵، بلینبرگ^۳، ۱۹۹۸، ایرمر و همکاران^۴، ۲۰۰۶، واترسون و همکاران^۵، ۲۰۰۶، آیلا^۶، ۲۰۰۲ و جزو آن) اما علی‌رغم وجود چنین تحقیقاتی، متأسفانه هنوز هم تعداد مطالعات در مورد ارزیابی خطر ریزش‌های سنگی و جریانات واریزه‌ای در مقایسه با سایر حرکات توده‌ای بسیار اندک بوده است.

ریزش‌های سنگی، پدیده‌های طبیعی هستند که همه ساله در کوهستان‌های سنگی به وفور رخ می‌دهند. اما علی‌رغم وفور در وقوع آنها، بررسی علل و یا شناسایی مکانیسم وقوع آنها کمتر صورت گرفته است. آغاز بررسی علمی این

- 1- Hurlimann, et al (2006)
- 2- Ferrara and Pappalardo (2005)
- 3- Blijenberg (1998)
- 4- Irmer, et al (2006)
- 5- Watterson et al (2006)
- 6- Yala (2002)

پدیده‌ها به زمان انتشار کارهای تحقیقاتی استینی^۱ (۱۹۱۰) برمی‌گردد (به نقل از هورلیمان و همکاران^۲، ۲۰۰۶ ص ۲). به دنبال وی، بیٹی^۳ (۱۹۷۴) نیز در مورد پدیده‌های مذکور، تحقیقاتی را انجام داد و ریزش‌های سنگی را به عنوان خطر زمین ریخت‌شناسی قلمداد نمود و اهمیت ارزیابی خطر وقوع ریزش‌های سنگی را مورد تأکید قرار داد (به نقل از دکوالنه و ساموندسون^۴، ۲۰۰۶ صص ۲ و ۱). از آن زمان به بعد، مطالعه در مورد ریزش‌های سنگی بیشتر مورد توجه قرار گرفت، و از سوی متخصصان بین رشته‌ای نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفت. اما با این همه، باید اذعان داشت که با گذشت نزدیک به ۱۰۰ سال از آغاز بررسی‌های علمی، هنوز هم مکانیسم جریانات واریزه‌ای به طور کامل درک نشده است و شناسایی دقیق آنها، تحقیقات تجربی زیادی را در مقیاس محلی و منطقه‌ای می‌طلبد.

با عنایت به این که بخش اعظم فلات ایران کوهستانی است و جاده‌های مهم کشور نیز از این محدوده‌ها عبور می‌کند، وقوع ناگهانی ریزش‌های سنگی به دنبال وقایعی مانند، زلزله، بارش‌های ناگهانی و دستکاری‌های انسانی، این جاده‌ها را همواره در معرض تهدید خود قرار می‌دهد. ریزش‌های سنگی، برای مسکن روستایی مستقر در دامنه‌های سنگی نیز، از عوامل تهدیدکننده محسوب می‌شود، اما به لحاظ اطلاع‌رسانی ضعیف و یا عدم توجه به خسارات اقتصادی ناشی از آنها در

1- Stiny (1910)

2- Hurlimann, et al (2006)

3- Beaty (1974)

4- Decaulne and Saemundsson (2006)

چنین محدوده‌هایی، که بیشتر متوجه روستاییان است، کمتر گزارشی از وقوع آنها در رسانه‌ها منعکس می‌شود.

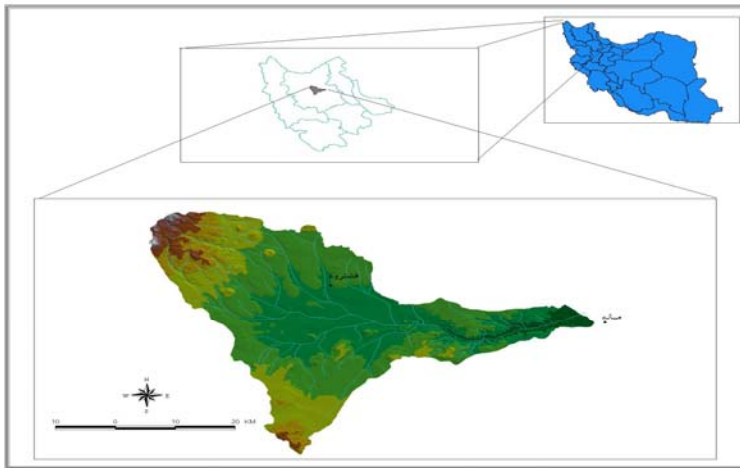
در مناطق کوهستانی آذربایجان شرقی، به ویژه در ارتفاعات برف‌گیر و در دامنه‌های پرشیب سهند، که جاده‌های متعدد روستایی و شهری از آنها عبور داده شده، مخاطرات ناشی از بروز چنین وقایعی بارزتر و در اثر دخالت انسانی در فرایندهای دامنه‌ای، ابعاد آنها گسترده‌تر است.

حوضه‌ی قرنقوچای به عنوان بزرگ‌ترین، پرآب‌ترین و در نتیجه پرجمعیت‌ترین حوضه سهند که تأسیسات انسانی زیادی (مانند سد مهمی چون سهند) در سرتاسر آن احداث شده، همه ساله در اثر وقوع ریزش‌های سنگی، آریزه‌ها و سنگ‌ریزه‌های زیادی به داخل دره‌ها و به سطح جاده‌ها فرو می‌ریزد و مشکلاتی را برای ساکنان محلی پدید می‌آورند. با عنایت به ابعاد گسترده، مسایلی که در اثر وقوع چنین پدیده‌هایی پیش می‌آید و همچنین با توجه به خلایی که در تحقیقات در زمینه‌ی شناسایی و پهنه‌بندی مناطق در معرض تهدید و بالقوه مستعد برای بروز چنین خطراتی وجود دارد، سعی شده در این مقاله خلاء موجود با استناد به تحقیق صورت گرفته، تا حدی پر شود.

موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی، توپوگرافی و اقلیمی حوضه‌ی قرنقوچای

حوضه‌ی زهکشی قرنقوچای، با مساحت ۳۵۷۰ کیلومتر مربع، یکی از زیرحوضه‌های هیدرولوژیک حوضه‌ی رودخانه‌ی قزل‌اوزن می‌باشد (مربوط به حوضه‌ی آبگیر دریای خزر) که با روند عمومی شرقی - غربی و با مختصات

جغرافیایی، از $۲۷^{\circ} / ۴۶'$ تا $۴۷^{\circ} / ۴۲'$ طول شرقی و از $۳۶^{\circ} / ۵۸'$ تا $۳۷^{\circ} / ۴۴'$ عرض شمالی، در شمال غرب کشور و در دامنه‌های شرقی سهند واقع شده است (شکل ۱). ارتفاعات منفرد متعددی در داخل حوضه وجود دارد، اما بلندترین ارتفاع حوضه، در منتهی‌الیه مرز شمال‌غربی آن، بر روی قله‌ی بزداغ، به ارتفاع ۳۶۰۵ متر و پست‌ترین ارتفاع، در نقطه‌ی خروجی حوضه، به ارتفاع ۱۰۴۳ متر قرار گرفته است. حداقل شیب خالص حوضه $۰/۲$ و حداکثر آن $۵/۳۶$ درصد می‌باشد.



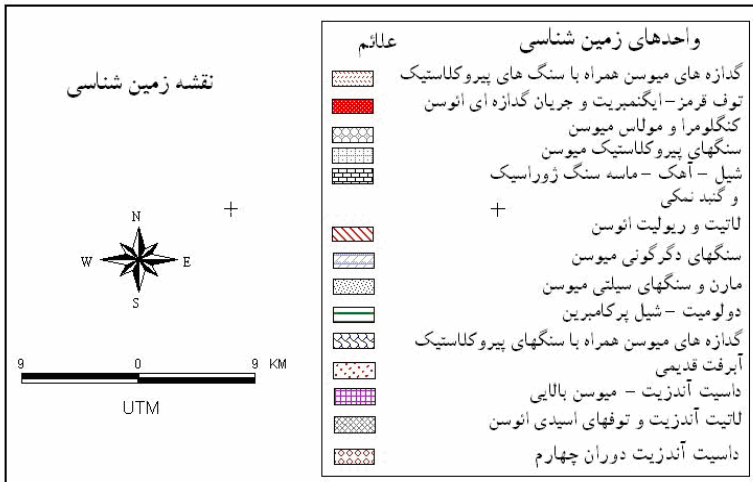
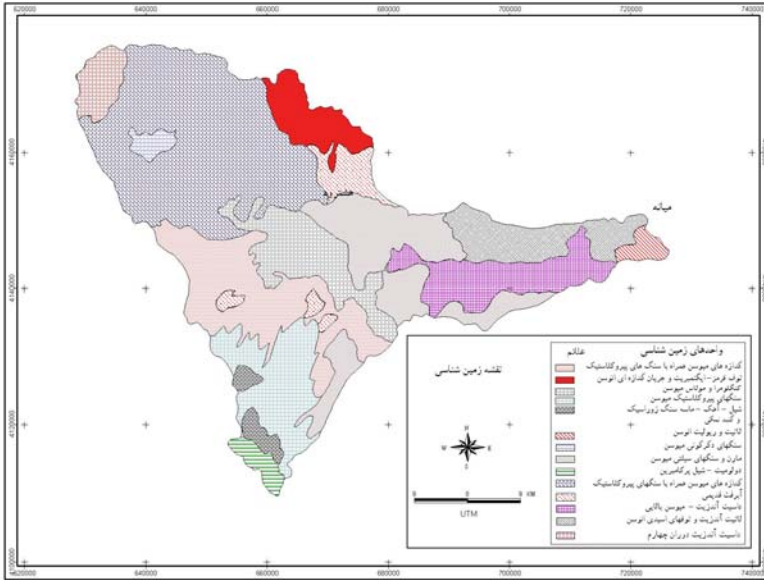
شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی قرنقوچای

با توجه به این که حوضه‌ی مذکور، فعالیت‌های زمین‌ساختی متعددی را پشت سر گذارده است، انعکاس این فعالیت‌ها و رخ داده‌ها، به صورت سیستم‌های مختلف گسلش، درز و شکاف و همچنین نبوده‌های مهم چینه‌شناسی، مشخص می‌باشد. از نظر نوع و سن رسوبات واحدهای سنگی و روند عمومی عناصر ساختاری منطقه، در این حوضه، تنوع خاصی به چشم می‌خورد. سطوح چینه‌ای

پراکنده در حوضه‌ی مذکور، انواع رخساره‌های سنگی و رسوبی پره‌کامبرین، پالیوزویک تا کواترنر را شامل می‌شود. این تنوع، در ویژگی‌های سطحی و همچنین در نوع حرکات توده‌ای نیز منعکس شده است.

واحد‌های آندزیتی، جوان‌ترین سنگ‌های آتشفشانی حوضه محسوب می‌شود که سنی معادل پلیستوسن دارند. سنگ‌های این واحد بیشتر از جنس آندزیت، بازالت و برش‌های ولکانیکی است. سنگ‌های مذکور، بیشتر در بالادست حوضه برونزده‌اند. داسیت و آندزیت‌های دوران چهارم، مرتفع‌ترین بخش‌های این حوضه را تشکیل داده‌اند. اما محدوده‌ی گسترش آنها در مقایسه با گدازه‌های میوسن، بسیار محدودتر است. این گدازه‌ها، همراه با سنگ‌های پیروکلاستیک، بخش اعظم قسمت‌های بالادست حوضه را تشکیل داده‌اند (شکل ۲).

خاکسترهای آتشفشانی، از جمله گسترده‌ترین واحد‌های سطحی هستند که، در بخش بالادست گسترده شده‌اند. تخریب این واحدها در دره‌ها و سرازیری آنها به داخل دره‌ها و ورود آنها به آب‌های جاری، به افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها منجر شده و در بخش‌هایی، به صورت توده‌ای، به داخل دره‌ها فرو ریخته‌اند. مارن‌ها که عمدتاً در بخش‌های میانی حوضه و به صورت محدود، در دیگر بخش‌های حوضه گسترده شده‌اند. کنگلومرا، مارن و سنگ‌های سیلتی مربوط به میوسن که در بخش‌های میانی حوضه گسترده شده‌اند، به لحاظ فرسایش‌پذیری، دره‌های پهن و دشت‌های سیلابی گسترده‌ای را تشکیل داده‌اند.



شکل (۲) نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی فرنقوچای (بیانی خطی)

طبق آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه شمال غرب کشور، ۸۵/۷ درصد بارندگی‌های منطقه طی ماه‌های آبان تا اواخر اردیبهشت به وقوع می‌پیوندد و تقریباً تمامی داده‌های ثبت شده در بیشتر ایستگاه‌های واقع در حوضه، بیشترین بارندگی را در ماه‌های فروردین و اردیبهشت نشان می‌دهند. رژیم بارندگی حوضه نیز از نوع بارندگی مدیترانه‌ای می‌باشد.

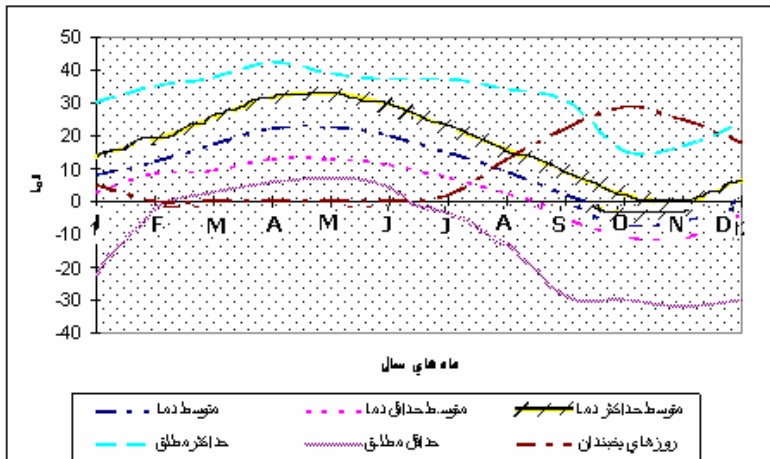
به طور متوسط، ۳/۴ درصد بارندگی‌ها، در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. متوسط بارندگی کل حوضه ۴۰۳/۷ میلی‌متر برآورد شده است که از این میزان، به طور متوسط ۳۳۲/۶ میلی‌متر تبخیر می‌شود بنابراین، حجم آب خروجی از حوضه، ۲۵۰/۴ میلیون مترمکعب قابل برآورد است. ماه‌های مرطوب، از اوایل مهرماه تا اواخر اردیبهشت ماه و بقیه ماه‌های سال، خشک محسوب می‌شوند. شیب‌های منطقه نیز، در ماه‌های مرطوب سال، در ناپایدارترین شرایط قرار دارند. میزان بارندگی سالانه و حجم بارش حوضه، به ترتیب ۴۰۳/۷ میلی‌متر و ۱۴۵۰/۲ میلیون مترمکعب برآورد شده که ۶۰ درصد این میزان، در ۶ ماه اول سال آبی می‌بارد. براساس اطلاعات حاصل از ایستگاه‌های سنجنده‌ی هواشناسی، واقع در دو ایستگاه خواجه‌شاهی و هشترو، بارش در ماه‌های بهمن و اسفند، عمدتاً به صورت برف است و با توجه به مقادیر بارش برف در طی سال‌های متمادی، ضریب برفی در حوضه به طور متوسط ۳۸ درصد، برآورد شده است. بدین معنی که، ۳۸ درصد نزولات جوی در حوضه، به صورت برف نازل می‌شود که این مقدار، در بالادست حوضه، به مراتب بیشتر از مقدار مذکور است و با توجه به افت دما در ارتفاعات، دوام برف از نظر زمانی بیشتر و لذا تأثیر نشست تکه‌های برفی نیز در هوازگی سنگ‌ها و در نتیجه در وقوع ریزش‌های سنگی، بیشتر می‌باشد.

متوسط دمای حوضه در ایستگاه‌های خواجه‌شاهی و هشترود (ایستگاه خواجه‌شاهی در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ}/18'$ عرض شمالی و $46^{\circ}/57'$ طول شرقی و ایستگاه هشترود $37^{\circ}/29'$ عرض شمالی و $47^{\circ}/03'$ طول شرقی)، به ترتیب $10/1$ و $9/1$ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و سردترین ماه در ایستگاه‌های فوق، به ترتیب، بهمن با $5/1-$ و دی با $5/4-$ درجه‌ی سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه در ایستگاه‌های فوق، به ترتیب در مرداد ماه، $22/7$ و 22 درجه‌ی سانتی‌گراد ثبت شده است. متوسط حداکثرها، $17/1$ و حداقل‌ها، $3/3$ درجه، حداکثرهای مطلق $42/5$ ، حداقل‌های مطلق $32-$ درجه در ایستگاه هشترود و در ایستگاه خواجه‌شاهی حداکثرهای مطلق و حداقل‌های مطلق به ترتیب 35 و $22-$ درجه‌ی سانتی‌گراد مشاهده شده است (شکل ۳).

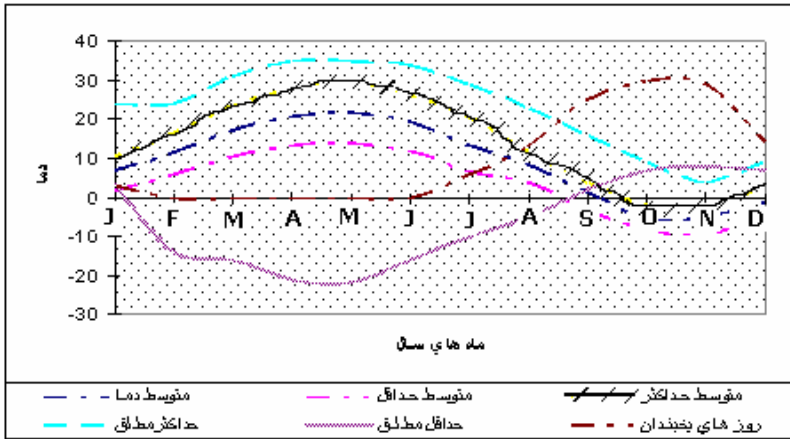
تعداد روزهای یخبندان، به عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع ریزش‌های سنگی، در دو ایستگاه خواجه‌شاهی و هشترود، بیش از یک سوم سال را در برمی‌گیرد. این تعداد، در ایستگاه خواجه‌شاهی، شامل 114 روز و در ایستگاه هشترود 120 روز ثبت شده است. در ایستگاه خواجه‌شاهی، دی ماه با 29 روز، بیشترین تعداد روزهای یخبندان را دارا است. این رقم، برای ایستگاه هشترود، 30 روز می‌باشد. در ارتفاع 3400 متری، متوسط دما به 2 درجه زیر صفر می‌رسد. در حالی که در پایین دست و درحوالی خروجی حوضه، دما به 10 درجه‌ی سانتی‌گراد نیز می‌رسد. دمای صفر درجه در ارتفاع 3000 متری ثبت شده است. به همین دلیل، بالاتر از این ارتفاع، تکه‌های برفی که تا اواخر تابستان نیز دوام می‌آورند، دیده می‌شود (شکل ۳).

تغییرات شبانه روزی دما در دامنه‌های شرقی سهند، مانند سایر دامنه‌های آن، نقش زیادی در تغییر شکل دامنه‌ها دارد. تغییرات فصلی و شبانه روزی دما، یکی از عوامل مهم در انبساط و انقباض مواد سنگی در حوضه‌ی قرنقوچای، مخصوصاً در ارتفاعات بالا محسوب می‌شود و یکی از عوامل اصلی در تخریب تشکیلات سنگی آتشفشانی، همچون داسیت و آندزیت حوضه و در نهایت در ریزش آنها می‌باشد. با این توجیه، اختلافات دمایی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که اختلاف دمای حداکثر و حداقل دما در حوضه‌ی ایستگاه خواجه‌شاهی و هشتروود، به ترتیب $74/5$ و 57 درجه سانتی‌گراد است. این میزان اختلافات دما خود به تنهایی می‌تواند نمایانگر وضعیت تخریب مکانیکی در سطح حوضه باشد. بنابراین، با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل، می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه خواجه‌شاهی برای فعالیت فرآیندهای هوازدگی مکانیکی بسیار مساعدتر از ایستگاه هشتروود است.

الف:



ب:



شکل (۳) میزان تغییرات دما و روزهای یخبندان در دو ایستگاه حوضه (الف: ایستگاه خواجه‌شاهی و ب: ایستگاه هشترود)

مواد و روش‌ها

ریزش‌های سنگی، همچون سایر حرکات توده‌ای نتیجه‌ی عملکرد چندین عامل و همچنین حاصل تأثیر متقابل آنها بر یکدیگر است. جنس مواد تشکیل دامن‌ها، شیب، کاربری اراضی، میزان بارندگی و نوع و زمان بارش، گسل، خطوط ارتباطی و زهکشی و از جمله عواملی هستند که بر وقوع این پدیده‌ها تأثیر می‌گذارند و باید در بررسی آنها، نقش ترکیبی این عوامل مدنظر قرار گیرند (جدول ۱ و ۲). اما اکثر این عوامل، کیفی بوده و با معیارهای کمی قابل سنجش نیستند. بنابراین، باید تبدیل به مقادیر کمی گردند. این کمی‌سازی، با روش‌های مختلف و عمدتاً با وزن‌دهی صورت می‌گیرد. اما قبل از وزن‌دهی، باید بعضی از نقشه‌های مورد نیاز تهیه و سپس عمل وزن‌دهی به عوامل، در کنار سایر عوامل، صورت گیرد. به منظور

پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع ریزش‌های سنگی، ۹ عامل، به عنوان عوامل موثر در وقوع پدیده‌های یاد شده، مدنظر قرار گرفته‌اند، و پراکندگی این ۹ عامل، ابتدا به صورت نقشه‌ی مجزا تهیه و سپس رقومی شده‌اند. برخی از نقشه‌های مورد نیاز، به طور مستقیم از روی نقشه‌ها اصلی، یعنی از روی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، با عنوان نقشه‌های شبکه زهکشی و شبکه ارتباطی (جاده‌ها) و پراکندگی گسل‌های منطقه، تهیه شده است و بعضی از نقشه‌ها نیز مانند، نقشه‌ی شیب، نقشه‌ی بارندگی، کاربری، واحدهای سنگ‌شناسی و نقشه‌ی ژئومورفولوژی، از تلفیق اطلاعات حاصل از پیمایش‌های میدانی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، تهیه و سپس رقومی شده‌اند (جدول ۱).

برای تهیه‌ی نقشه‌ی شیب، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای تهیه‌ی آن، ابتدا خطوط هم ارتفاع ۱۰۰ متری به نرم‌افزار Arc/view منتقل و سپس رقومی شده‌اند و به این ترتیب، نقشه‌ی شیب تهیه و ترسیم شده است. برای تهیه‌ی نقشه‌های بارندگی، از مدل رقومی ارتفاع و رابطه‌ی خطی بین بارندگی و ارتفاع که برای حوضه به دست آمده، استفاده شده و نقاط ارتفاعی در سطح حوضه‌ی انتخاب و مقادیر محاسبه شده به این نقاط منتقل و برحسب ارقام واقعی موجود حاصل از سنجش در ایستگاه‌های باران‌سنجی و ارقام محاسبه شده، نقشه‌های هم بارش (سالانه و ماهانه) ترسیم شده است. نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM ۲۰۰۲ و اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی، تهیه و سپس رقومی شده است. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پراکندگی ریزش‌های سنگی، از نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و اطلاعات حاصل از پیمایش‌های میدانی، استفاده شده و سپس نقشه‌های تهیه شده،

رقومی شده‌اند. بعد از روقومی نمودن تمامی نقشه‌های مورد نیاز و تهیه‌ی پایگاه اطلاعاتی، عامل مورد نظر در رابطه با پراکندگی ریزش‌های سنگی، به صورت دومتغیره (Bivariate) با استفاده از رابطه‌ی (۱) مورد تجزیه و تحلیل واقع شده و به این ترتیب، تراکم ریزش‌های سنگی منطقه در روی یک واحد ویژه نیز مشخص شده است.

$$D=1000*N_{pix}(sxi)/N_{pix}(xi) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در این رابطه:

D تراکم هر متغیر

$N_{pix}(sxi)$ عداد پیکسل‌های حرکات توده‌ای در داخل هر کلاس متغیر

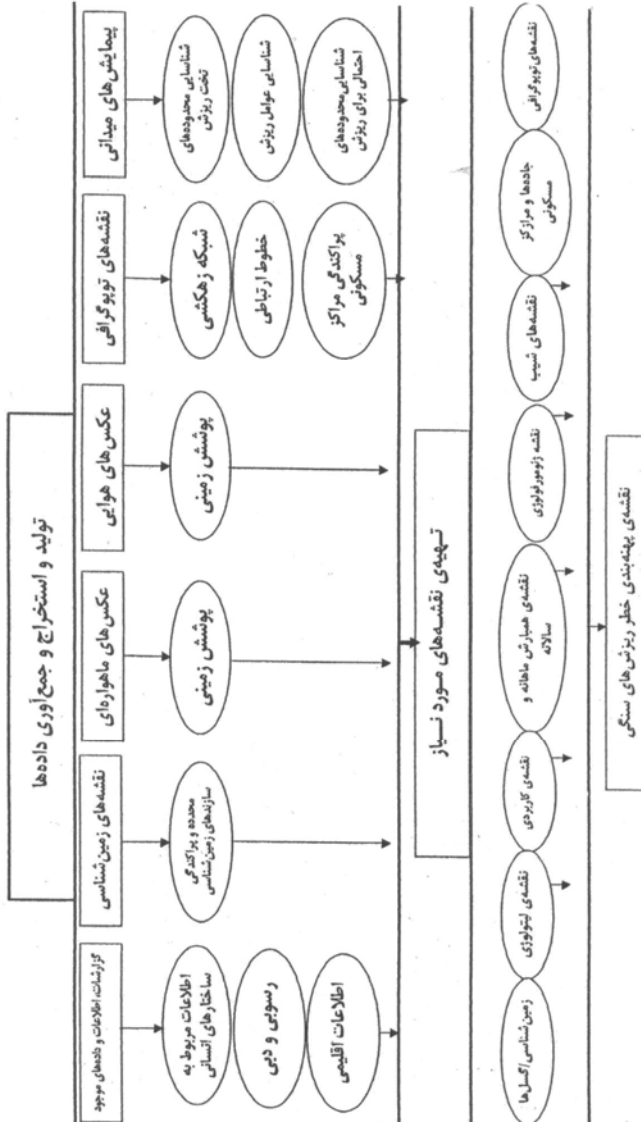
$N_{pix}(xi)$ عداد پیکسل‌های هر کلاس متغیر



تراکم ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای لیتولوژیکی = واحدهای لیتولوژیکی / پراکندگی ریزش‌ها

شکل (۴) محاسبه‌ی تراکم ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای مختلف (به عنوان مثال بر روی واحدهای لیتولوژیکی)

جدول (۱) مراحل تولید و جمع‌آوری داده‌های لازم برای پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی در حوضه‌ی قرقچای



برای وزن‌دهی به عوامل و تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش، ابتدا نقشه‌های پراکندگی ریزش‌های سنگی بر روی نقشه عامل (به عنوان مثال نقشه واحدهای سنگ‌شناسی) اورلی و یا روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. بعد از کلاس‌بندی واحدهای مختلف (ID) در نقشه‌ی مورد نظر (به عنوان مثال، نقشه‌ی لیتولوژی یا واحدهای سنگ‌شناسی)، تعداد پیکسل‌های هر کلاس (پیکسل‌های ۵۰ در ۵۰ متری) و در مرحله‌ی بعدی، تعداد پیکسل‌های محدوده‌ی پراکنش ریزش‌ها بر روی کلاس مذکور، شمارش شده و با استفاده از تعداد پیکسل‌های مذکور، تراکم ریزش‌ها (D)، بر حسب رابطه‌ی تحلیل دومتغیره (رابطه‌ی ۱) محاسبه گردیده است (جدول ۲ و شکل ۴). بعد از محاسبه‌ی تراکم (با استفاده از رابطه‌ی ۱)، ارقام حاصل از محاسبه میزان تراکم ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای ویژه، نرمال شده‌اند. برای محدوده‌هایی که تراکمی وجود نداشته (عدم وجود پراکندگی ریزش‌ها بر روی محدوده ویژه)، میزان واریانس محاسبه گردیده و ارقام واریانس، به عنوان وزن واحد ویژه در نظر گرفته شده است. بعد از طی مراحل مذکور، وزن‌دهی به عوامل، به عنوان مهم‌ترین مرحله از روش، با استفاده از رابطه‌ی (۲) صورت گرفته است (جدول ۲).

محدوده‌ی خطر وقوع حرکات توده‌ای در کنار اشکال خطی، مانند خطوط شبکه‌ی ارتباطی و زهکشی، گسل‌ها و همچنین مراکز مسکونی، براساس بافرهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری، تعیین و براساس پراکندگی ریزش‌ها در این محدوده‌ها، وزن‌دهی براساس مراحل که قبلاً ذکر شده، صورت گرفته است. بعد از وزن‌دهی به کلیه‌ی عوامل (به ترتیب فوق)، نقشه‌های پهنه‌بندی، میزان حساسیت بخش‌های مختلف منطقه به وقوع ریزش‌های سنگی، در طی ۵ طبقه حساسیت (با تعیین به

صورت شکل ۵ و ۶)، به دست آمده و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی ترسیم شده است (شکل ۱۰).

$$W = 1000 * N_{pix}(sxi) / N_{pix}(xi) - 1000 \quad N_{pix}(sxi) / \sum N_{pix}(xi) \quad (۲)$$

در این رابطه:

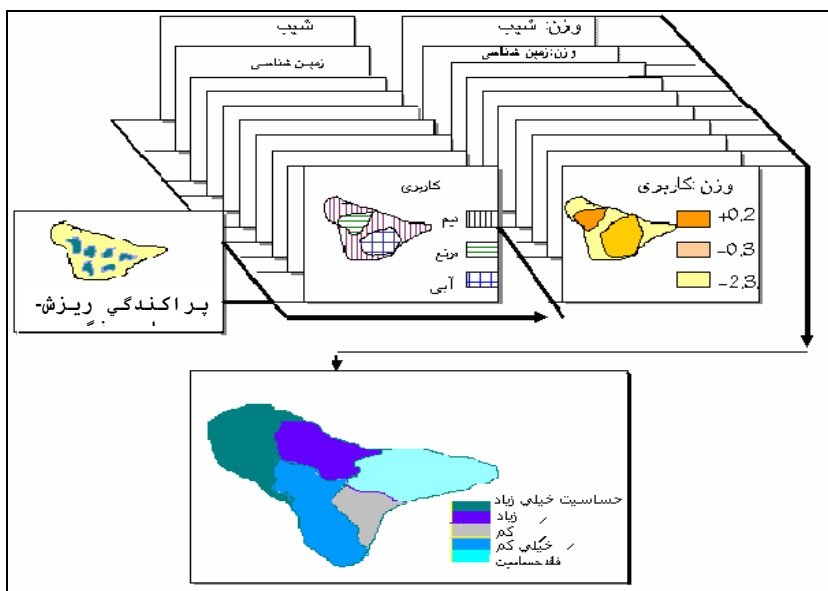
$$W = \text{وزن}$$

$N_{pix}(sxi)$ تعداد پیکسل‌های حرکات توده‌ای در داخل هر کلاس متغیر

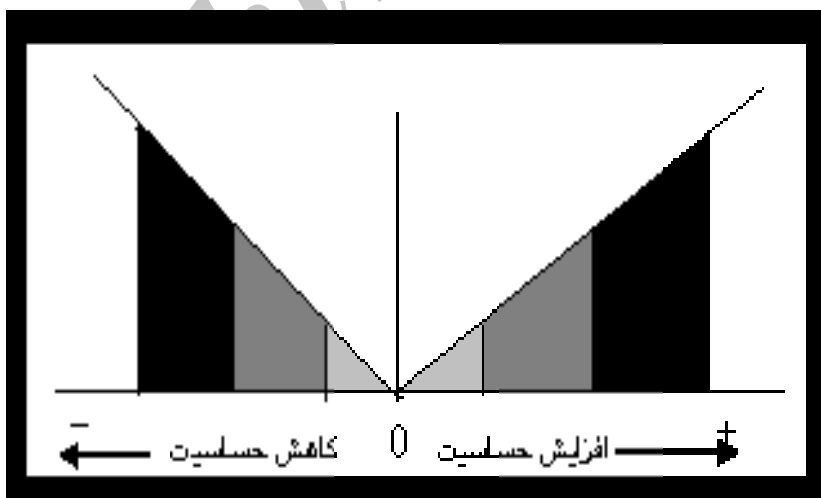
$N_{pix}(xi)$ تعداد پیکسل‌های هر کلاس متغیر

جدول (۲) میزان تراکم ریزش‌های سنگی و وزن‌های محاسبه شده بر روی نقشه‌ی لیتولوژی

عامل لیتولوژی یا واحدای سنگ‌شناسی						
واحد	ID	$N_{pix}(xi)$	$N_{pix}(sxi)$	D	D.A	W
داسیت-آندزیت	۱	۱۶۸۷۳۸	۰	۰	۱	-۰,۶۵۵۸
خاکسترهای آتشفشانی	۲	۴۰۶۰۳۳	۳۷۱۰۱	۹۱	۹۱	۲,۱۶۷۹
کنگومرای سنگی	۳	۲۰۹۹۳۶	۶۵۵۶	۳۱	۳۱	۰,۲۸۸۳
آبرفت‌های قدیمی	۴	۱۳۷۷۱۷	۰	۰	۱	-۰,۶۵۵۴
مارن	۵	۱۹۰۸۸۱	۳۳۳۱	۱۷	۱۷	-۰,۱۴۲۱
مارن - ماسه سنگ	۶	۵۷۸۳۶	۲۲۳۷	۳۸	۳۸	۰,۵۲۱۰۴
آهک	۷	۷۲۷۴۳	۰	۰	۱	-۰,۶۵۵۴
شیل	۸	۴۷۸۳۲	۰	۰	۱	-۰,۶۵۵۴



شکل (۵) مراحل تهیهی نقشه‌ی پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع ریزش‌های سنگی در محدوده‌ی حوضه‌ی قرتقوچای



شکل (۶) تعیین میزان حساسیت واحدها برحسب مقادیر وزن

بحث و نتیجه‌گیری

ریزش‌های سنگی، از رایج‌ترین حرکات توده‌ای، خطرناک‌ترین حرکات دامنه‌ای و از خسارت‌بارترین پدیده‌های طبیعی محسوب می‌شوند که عمدتاً در پای رخنمون‌های سنگی دامنه‌های مرتفع و اشکال پرتگاهی، گسترش دارند و در پدید آمدن آنها، عوامل مختلفی دخیل هستند. برای ارزیابی و پهنه‌بندی میزان حساسیت بالقوه‌ی دامنه‌ها در گستره‌های مکانی وسیع، باید نقش کلیه‌ی عوامل دخیل در مستعد نمودن دامنه‌ها به وقوع ریزش‌های سنگی، در کنار یکدیگر، مدنظر قرار گیرند. برای تعیین نقش عوامل مختلف در وقوع ریزش‌های سنگی، باید ابتدا مقدار پراکنش این پدیده‌ها بر روی واحدهای مختلف مورد بررسی قرارگیرد.

الف- پراکندگی ریزش‌های سنگی بر روی واحدها و عوامل مختلف

برای تحلیل نقش برجسته‌ی یک عامل ویژه در بین عوامل مختلف، ابتدا تراکم ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای مختلف نقشه‌ی عامل (مانند نقشه‌ی زمین‌شناسی) محاسبه و نتایج به صورت نمودار ارایه شده است (شکل ۷). بررسی نمودارهایی ترسیمی از میزان تراکم ریزش‌های سنگی بر روی انواع واحدها نشان می‌دهد که بر روی نقشه عامل لیتولوژی، بیشترین تراکم بر روی کنگلومرای سنگی رخ داده است. این امر حاکی از این است که در بین واحدهای لیتولوژیکی، کنگلومراها بیشتر ریزش‌های سنگی را ایجاد می‌کنند. علت این میزان تراکم، این است که سنگ‌های مذکور به علت دانه‌ای بودن و همچنین حضور درز و شکاف‌های فراوان و وجود رطوبت کافی در ارتفاعات، در معرض هوازگی شدید

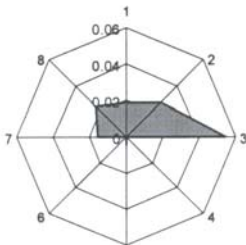
قرار می‌گیرند و در نتیجه تکه‌های سنگی زیادی تولید و در پای دامنه‌ها متراکم می‌شوند (شکل ۷).

در روی واحدهای ژئومورفولوژی، بیشترین ریزش‌های سنگی بر روی تپه‌های سنگی و در پای ارتفاعاتی با شیب بین ۳۵-۴۰ درجه اتفاق افتاده است. این ارتفاعات متشکل از سنگ‌های آذرین و رخساره‌های رسوبی، مانند ماسه سنگ هستند. در ارتفاعات حوضه که بارش سالانه عمدتاً به صورت برف و میزان آن بین ۷۸۲-۴۴۸ میلی‌متر است، تراکم ریزش‌های سنگی بیشتر مشاهده می‌شود و در این محدوده‌های ارتفاعی، کشت دیم در شیب‌ها و استفاده از دامنه‌های پرشیب حوضه، به عنوان مراتع بسیار غنی، سبب شده است که در نحوه‌ی عملکرد فرآیندهای طبیعی، اختلالاتی ایجاد شود و با پاک شدن شیب‌ها از پوشش طبیعی و انجام کشت ردیفی، دامنه‌ها بیشتر در معرض فرآیندهای هوازدگی مکانیکی و در مواردی تجزیه‌ی گیاهان قرارگیرد و در نتیجه، وقوع ریزش‌های سنگی بیشتر مشاهده شود.

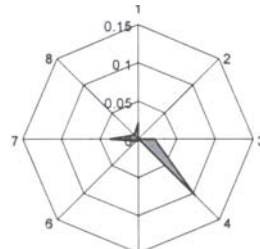
بررسی تراکم ریزش‌ها در اطراف اشکال نقطه‌ای (سکونتگاهی) و خطی (گسل‌ها، آبراهه‌ها، جاده‌ها)، نشان می‌دهد که در محدوده‌ی ۵۰ متری از دره‌هایی که رودخانه‌های منطقه در آنها جاری هستند، بیشترین تراکم مشاهده می‌شود که دلایل این امر، اختلاف سطح ایجاد شده بین کف دره و ارتفاعات مشرف به آن، امکان نشست برف و داوم بیشتر آن در یکی از دیواره‌ها، برش پای دیواره و مساعد شدن زمینه برای جدایش تکه سنگ‌ها و سقوط آنها به پایین دیواره‌ها و وجود رطوبت کافی در فواصل نزدیک به خطوط زهکشی می‌باشد. با فاصله‌گیری از این خطوط، از میزان تراکم ریزش‌های سنگی نیز کاسته می‌شود (شکل ۷).

احداث جاده‌ها در کمرکش کوهستان‌ها، در بین ساختارهای انسانی، بیشترین نقش را در وقوع ریزش‌های سنگی دارد. با ایجاد این خطوط ارتباطی در دامنه‌های سنگی، علاوه بر این که ثبات اولیه دامنه‌ها بر هم می‌خورد، در واقع با احداث جاده و به تبع آن، ایجاد مکان‌های پناهگاهی، زمینه برای نشست و دوام بیشتر تکه‌های برفی در دیواره‌ی مشرف به جاده و در نتیجه زمینه برای هوازگی و جدایش تکه‌های سنگی مساعد می‌شود. در محیط‌های کوهستانی، سطح چنین جاده‌هایی، هر ساله بعد از بارش برف و ذوب برف‌ها و همچنین بارندگی‌های شدید، انباشته از سنگ‌های ریز و درشت می‌شود و خطر ریزش ناگهانی در این جاده‌ها همواره وجود دارد.

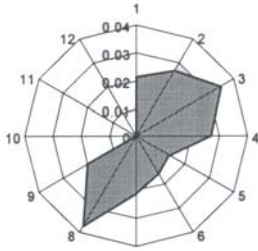
عامل لیتولوژی



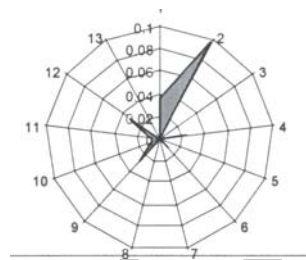
عامل ژئومورفولوژی



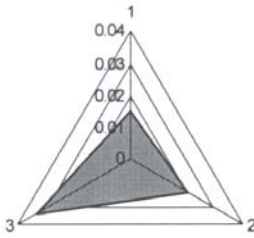
عامل شیب



عامل زمین‌شناسی



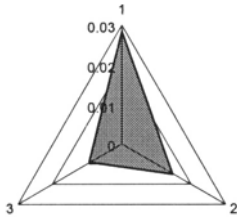
عامل کاربری اراضی



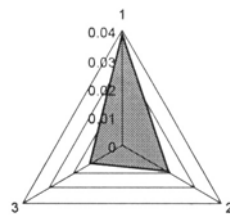
عامل بارش سالانه

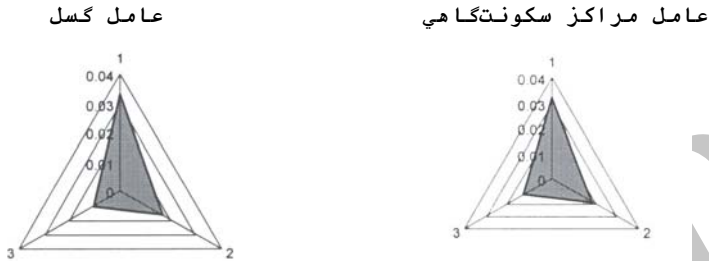


عامل زهکشی سطحی



عامل خطوط ارتباطی (حاده)





شکل (۷) تراکم ریزش‌های سنگی در روی انواع واحدها، در روی نقشه‌های عامل (در این نمودارها مقادیر ۱ و ۲ و جزو آن مشخص‌کننده‌ی طبقه واحدها است)

ایجاد سکونت گاه‌ها نیز با شدت کمتر، همان نقش خطوط ارتباطی را در تحریک دامنه‌ها به وقوع ریزش‌های سنگی، ایفا می‌کند. با یادآوری این نکته که در دامنه‌های مختلف سهند، دامنه‌های سنگی به احداث سکونتگاه‌ها و دامنه‌های حاصلخیز مقابل (با خاک نسبتاً حاصلخیز برای کشت) به کشت اختصاص یافته‌اند، می‌توان افزایش تعداد ریزش‌ها و خطرات ناشی از آن را در محدوده سکونتگاه‌های انسانی توصیه نمود. ایجاد تغییرات شیب، به منظور ساخت خانه‌ها و ایجاد مسیرهای ارتباطی بین سکونت‌گاه‌ها، زمینه را برای افزایش تعداد ریزش‌های سنگی در محدوده زیست انسان‌ها مساعد نموده است. به همین دلیل، بیشترین تراکم ریزش‌های سنگی در فواصل نزدیک به سکونت‌گاه‌ها رخ داده است.

در مورد وضعیت پراکندگی ریزش‌ها در نزدیکی گسل‌ها، و وضعیت حاکم تقریباً مشابه با شرایطی است که در مورد جاده‌ها و آبراه‌ها ذکر شد. یعنی میزان تراکم ریزش‌های سنگی در ۵۰ متری خطوط گسل‌ها بیشتر از دو بافر ۱۰۰ و ۱۵۰ متری است و این شرایط به دلیل وجود درز و شکاف‌ها و در نتیجه ایجاد شرایط مساعد برای تجمع آب و خوردشدگی سنگ‌ها در اثر فشار ایجاد شده توسط یخ

بستگی آب‌ها می‌باشد. تجمع انبوهی از مواد سنگی به صورت مخروط‌های واریزه‌ای در اطراف خطوط گسل از وجود مکان‌هایی با خطرات بالقوه بالا، در آینده نیز حکایت می‌کند که این مناطق باید به عنوان مناطق با خطر بالا از نظر وقوع ریزش‌های سنگی، محدوده‌بندی شوند.

برای مشخص شدن میزان تراکم و نحوه پراکندگی ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای مختلف، میزان چولگی و کشیدگی نیز محاسبه شده است (جدول ۳). بررسی میزان تراکم ریزش‌های سنگی بر روی واحدهای مختلف (جدول ۳)، نشان می‌دهد که در مقایسه با عوامل مختلف، بیشترین تراکم ریزش‌های سنگی، در روی واحدهای زمین‌شناسی و بر روی گدازه‌های میوسن (نقشه‌ی عامل زمین‌شناسی) اما با چولگی و کشیدگی زیاد، صورت گرفته است.

جدول (۳) عوامل مورد استفاده در پهنه‌بندی و آماره‌های عوامل دخیل در وقوع ریزش‌های

سنگی حوضه‌ی قرنقوچای

عامل	واحد	تعداد	دامنه	حداقل	حداکثر	انحراف استاندارد	واریانس	چولگی	کشیدگی	تراکم
لیتولوژی	کنگلومرای سنگی	۸	۰,۰۵	۰	۷,۵	۱,۶	۲,۷	۱,۴	۲,۴	۰,۰۵
کاربری	مرتع	۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۷,۶	۵,۸	۰,۹۳	۰	۰,۰۳
شیب	۴۵-۴۰	۱۲	۰,۰۳	۰	۰,۰۳	۱,۱	۱,۲	-۰,۵۲	-۰,۹۵	۰,۰۳۷
ژیومورفولوژی	لغزش‌های قدیمی	۸	۰,۱	۰	۰,۱	۳,۳	۱,۱	۲,۱	۴,۸	۰,۱
بارش	۴۱۳-۴۴۸	۹	۰,۰۵	۰	۰,۰۵	۱,۱	۳,۱	۱,۵	۲,۳	۰,۰۵
زمین‌شناسی	گدازه‌های میوسن	۱۵	۰,۲۶	۰	۰,۲۶	۶,۶	۴,۳	۳,۶	۱۳,۹	۰,۲
گسل	بافر ۵۰ متری	۳	۰,۲	۰,۱	۰,۰۳	۱,۱	۱,۲۹	۱,۲	۰	۰,۰۳
آبراه‌ها	"	۳	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۹,۸	۹,۷	۱,۲	۰	۰,۰۲۸
روستا	"	۳	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۹,۷	۹,۴	۱,۰۱	۰	۰,۰۳
جاده	"	۳	۱۷,۹	۰,۰۱	۱۸,۰	۱۰,۳۸	۱۰۷,۷	۱,۷	۰	۰,۰۳

ب- نقش واحدهای سنگی (به طور کلی واحدهای سطحی) در وقوع ریزش‌های سنگی

رابطه‌ی مستقیمی میان تغییرات واحدهای لیتولوژیک و تغییرات در تنوع حرکات دامنه‌ای وجود دارد. علاوه بر آن، عامل ارتفاع نیز در این تنوع، نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. حرکات دامنه‌ای، علاوه بر این که از نیروی ثقل پیروی می‌کنند، تحت تأثیر اشکوب‌های مورفوزنز از ارتفاع نیز، تبعیت می‌کنند. تمامی موارد مذکور متأثر از واحدهای زمین‌شناسی هستند. در واقع زمین‌شناسی حوضه و نوع واحدهای سنگ‌شناسی دامنه‌ها، عامل اصلی در حرکات توده‌ای است. از این نظر، بررسی ریزش‌های سنگی و یا انواع حرکت در مواد سنگی که به نحوی از سنگ اصلی جدا شده‌اند، باید در رابطه با نوع سنگ و ویژگی‌های واحدهای سنگی، به تفکیک مورد مطالعه قرار گیرند.

سنگ‌های آتشفشانی و اشکال ریزش‌های سنگی در آنها

سنگ‌های آتشفشانی مانند داسیت و آندزیت، گرچه از لحاظ بعضی از ویژگی‌ها با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند، ولی تحول دامنه‌ها و نوع و نحوه‌ی حرکت مواد جدا شده از این سنگ‌ها با تفاوت‌های جزئی، تقریباً مشابه یکدیگر است. حرکاتی که در این مناطق به وقوع می‌پیوندند بیشتر از نوع حرکات تخته سنگی و یا افتان‌ها و یا ریزش‌ها و جریان‌ات سنگی^۲ هستند. مکانیسم این حرکات در این نوع سنگ‌ها دارای دو مرحله است. مرحله‌ی نخست، مربوط به مکانیسم جدایش سنگ‌ها می‌باشد که بیشتر در رابطه با افت دما و وجود رطوبت ناشی از نشست تکه‌های

1- Fall

2- Rock Fall and Rock Flow

برفی است که زمینه را برای هوازگی مکانیکی سنگ‌ها فراهم می‌سازند و مرحله‌ی دوم، مربوط به جابجایی مواد و یا تکه‌های سنگی جدا شده است که تحت نیروی ثقل و یا در اثر دخالت انسانی (عبورجاده، ایجاد برش برای استفاده از منابع طبیعی دامنه‌ها و جزو آن) صورت می‌گیرد که در طی این دو مرحله، تکه‌های سنگی به طور ناگهانی به پایین دامنه‌ها سقوط می‌کنند.

در حوضه‌ی مورد مطالعه، در پای دامنه‌های متشکل از این سنگ‌ها، تکه سنگ‌های ریز و درشت انباشته شده‌اند که با کوچک‌ترین حرکت، به صورت توده‌ای، به پایین ریزش می‌کنند. نحوه‌ی افت و جمع شدن این تکه‌های سنگی، بستگی به شکل دامنه‌های حوضه دارد. زمانی که شیب دامنه‌ها کم و یا دامنه‌ها ملایم بوده، سنگ‌ها به صورت میدان‌های سنگی جلوه‌گر شده‌اند و یا شیب توده‌های انباشته شده متشکل از سنگ‌های جدا شده در پای دامنه‌ها، کم است. اما زمانی که دامنه‌ها پرشیب و به صورت پرتگاهی هستند، جابجایی سنگ‌ها به صورت ریزش‌های سنگی صورت گرفته و می‌گیرد.

رسوبات آذرآواری (ولکانوسدیمانترها) و اشکال جابجایی سنگ‌ها در آنها

رسوبات آذرآواری، شامل رخساره‌های متنوعی از رسوبات آتشفشانی هستند که تحول دامنه‌ها در هر یک از رخساره‌های متشکله، متأثر از ویژگی‌های آن بسیار متنوع است. بنابر این، با عنایت به شیب دامنه و نوع رخساره، اشکال متنوعی از دامنه‌ها و متناسب با آن اشکال مختلفی از حرکات توده‌ای در دامنه‌های مختلف حوضه‌ی قرنقوچای می‌توان مشاهده نمود. رسوبات آذرآواری بخش وسیعی از حوضه‌ی قرنقو و دامنه‌ی شرقی سهند را پوشانده است. وسعت زیاد این تشکیلات

در حوضه نقش کنترل‌کننده‌ای در موفولوژی حوضه و دینامیک دامنه‌ای آن ایفا می‌کند. بنابراین، باید آنها به تفکیک مورد بحث قرار گیرند.

توف

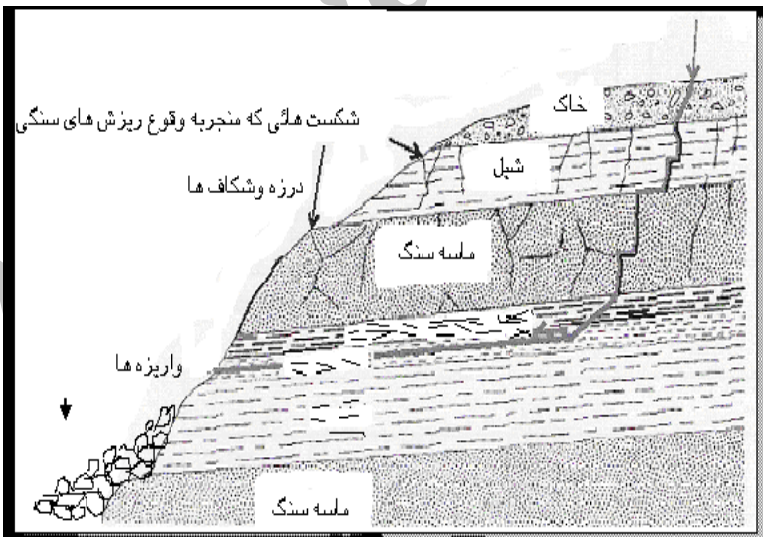
توف‌ها، مواد منفصل آتشفشان هستند که تحت تأثیر آب و مخلوط شدن با خاکسترهای آتشفشانی و ایگنمبریت‌ها و پونس‌ها یک مجموعه را تشکیل می‌دهند. در حوضه‌ی قرنقوچای، بعضی از توف‌های دانه‌ریز و متراکم هستند و درسطوح آنها می‌توان وقوع لغزش‌ها و سولفیلوکسیون‌ها را مشاهده نمود. در طی بررسی‌های میدانی، ریزش‌های سنگی عمده‌ای درسطح آنها مشاهده نشده است

خاکسترهای آتشفشانی

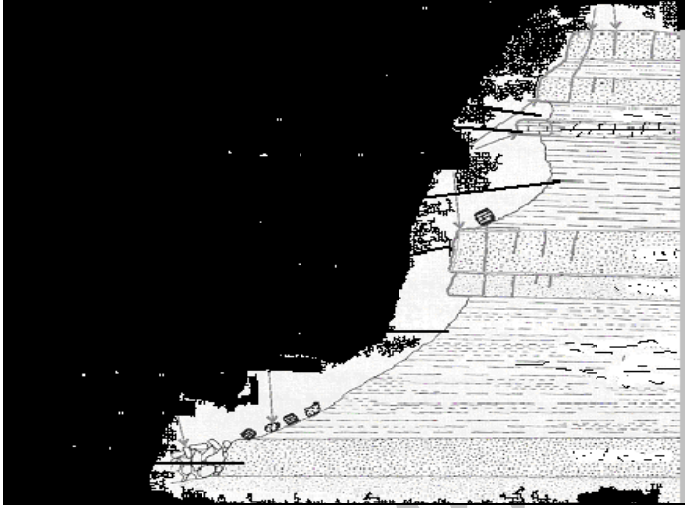
این سازندها در منطقه، در طی گذشت زمان به خاک‌های حاصل‌خیزی تبدیل شده‌اند و به تدریج با انباشتگی لایه‌ای از هوموس، به رنگ قهوه‌ای درآمده‌اند و از نظر خاک‌شناسی، افق‌های تکامل یافته‌ای در آن تشکیل شده و به لحاظ حاصل‌خیزی، به زیر کشت دیم رفته‌اند. حرکات توده‌ای که درخاکسترهای نسبتاً درشت دانه صورت گیرد (متشکل از مواد ماسه‌ای - رسی) بیشتر از نوع جریانات ریزشی است. البته در محدوده‌هایی از حوضه نیز می‌توان این حرکات را به صورت لغزشی و یا ریزش‌ها و جریانات سنگی ریزدانه مشاهده نمود. اما در خاکسترهای ریزدانه، بیشتر می‌توان شاهد وقوع لغزش‌های سطحی و یا خزش‌ها در سطح دامنه‌ها بود.

رخساره‌های رسوبی و وقوع ریزش‌های سنگی در سطح آنها

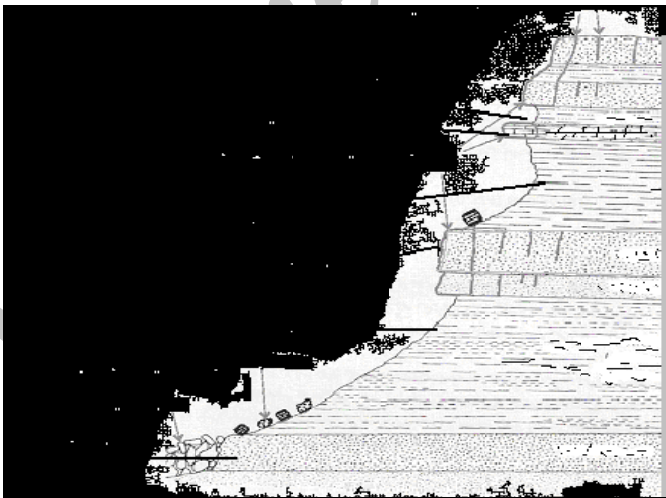
در اطراف کوه آت‌داغی، که دامنه‌ها بیشتر متشکل از ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرا می‌باشد. بیشتر حرکات توده‌ای از نوع ریزشی‌های سنگی است. در این دامنه‌ها، وجود ماسه‌سنگ و کنگلومرای ریزدانه، در کنار یکدیگر سبب شده است که در اثر فرسایش دیفرانسیل، مواد ریزتر از سنگ‌ها جدا شوند و تکه‌های ریزتر بر جای بمانند و آنها نیز طی عملکرد فرآیندهایی از سطوح سنگ‌ها جدا شده و به صورت سنگ‌های ریز و درشت، در قالب ریزش‌های سنگی، به پایین فرو ریزند. در واقع لایه‌های متشکل از ماسه‌سنگ و کنگلومرا باعث شده است که دامنه‌ها بیشتر به شکل کواستا تحول یابند. همین امر سبب شده که حرکات ریزشی در سطح دامنه به وجود آید (شکل ۸ و ۹).



شکل (۸) نقش درزها و شکاف‌های موجود در سنگ‌های شیلی و ماسه‌سنگی در جدایش تکه‌های سنگی، افت و انباشتگی آنها در پای تپه مامورهای سنگی حوضه فرنتو (مانند آنچه که در بخش‌های جنوبی حوضه اتفاق افتاده است) (بلینبرگ،



شکل (۹) نقش درزها و شکاف‌های موجود در سنگ‌های شیلی و ماسه‌سنگی در جدایش تکه‌های سنگی، افت و انباشتگی آنها در پای ارتفاعات پرتگاهی حوضه قرنقو (مانند آنچه که در بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی حوضه اتفاق افتاده است) (بلینبرگ، ۱۹۹۸)



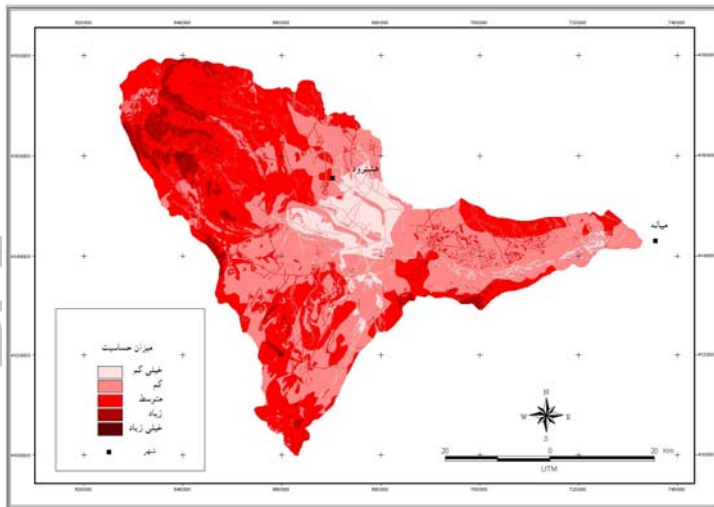
شکل (۹) نقش درزها و شکاف‌های موجود در سنگ‌های شیلی و ماسه‌سنگی در جدایش تکه‌های سنگی، افت و انباشتگی آنها در پای ارتفاعات پرتگاهی حوضه قرنقو (مانند آنچه که در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی حوضه اتفاق افتاده است) (بلینبرگ، ۱۹۹۸).

به طور کلی می‌توان با عنایت به نقشه‌ی پهنه‌بندی محدوده‌های بالقوه مستعد به وقوع ریزش‌های سنگی، نتیجه‌گیری نمود که، بازتاب تأثیر تنش‌های زمین‌ساختی مؤثر بر روی واحدهای سنگی مختلف به عنوان تابعی از جنس سنگ، میزان پیوستگی و خواص انعطاف‌پذیری و ارتجاعی آنها، طیف وسیعی از انواع سیستم‌های شکستگی و درز و شکاف‌ها را با درجه تراکم مختلف در سرتاسر حوضه ایجاد نموده است. بخش‌های وسیعی از گستره‌ی حوضه به لحاظ وجود، سیستم‌های شکستگی، به تبعیت از شرایط اقلیمی و ویژگی‌های فرآیندهای تکتونیکی و فرسایشی در منطقه، توسط قشر نازک، تا متوسطی از واحدهای تخریبی پوشیده شده‌اند. در بخش‌های جنوبی حوضه و همچنین در قسمت‌های غربی، تناوبی از رخساره‌های آهکی، ماسه سنگی و کنگلومرای، به صورت لایه‌ای گسترش دارند (شکل ۸ و ۹ و ۱۰). با توسعه‌ی عناصر ساختاری بر روی این طبقات، از ضریب خردشدگی بالایی برخوردارند و ذرات تخریبی حاصله، به صورت قطعاتی با ابعاد ۵ تا ۵۰ میلی متر، به شکل واریزه‌ها در پای دامنه‌های پرشیب و به صورت پوشش تخریبی برجا بر روی پهنه‌های کم‌شیب گسترش یافته‌اند. در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع ریزش‌های سنگی، این مناطق در محدوده‌هایی با خطر متوسط (۴۴ درصد از مساحت حوضه) تا زیاد (۵ درصد از مساحت حوضه) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). رخساره‌های سنگی پیوسته و سخت، مانند ماسه‌سنگ‌ها، سنگ‌های آذرآواری مانند اینگمبیریت، توف و سنگ‌های آتشفشانی، مانند آندزیت‌ها، بخش‌های مرتفع غربی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی را تشکیل داده‌اند (شکل ۱۱). اغلب روستاهای انتهایی در غرب و شمال‌غرب حوضه‌ی قرقو، بر روی این رخساره‌ها مستقر شده‌اند. این رخساره‌ها، خطری را

متوجه این روستاها نمی‌سازد مگر اینکه از میان این رخساره‌ها، مواد آذرین نفوذی برونزد یافته باشد و در اثر فرسایش سطحی، توف‌ها و یا خاکسترهای آتشفشانی شسته شوند و این سنگ‌ها به صورت برجسته در سطوح دامنه‌ها ظاهر گردند و در اثر دخالت عوامل مختلف، از دامنه جدا شوند و به پایین سقوط کنند. تکه‌های سنگی که در روی سطوح توف‌ها ظاهر شده‌اند، می‌توانند به هنگام وقوع زمین لرزه‌ها، سکونتگاه‌های روستایی را در معرض تهدید قرار خواهند داد (شکل ۱۲). این رخساره‌ها در ارتفاعات غربی منطقه و در محدوده‌ها خارج از استقرار سکونتگاه‌های انسانی، به صورت میدین سنگی در سطوح ارتفاعات، ظاهر می‌گردند.

در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی، چنانکه مشاهده می‌شود، مناطقی با حساسیت شدید (۵ درصد از مساحت حوضه) نسبت به وقوع حرکات ریزشی در غرب و جنوب غربی قرار گرفته‌اند. در این مناطق، تپه‌های مجزا، متشکل از مواد آذرین و ماسه‌سنگ، در شراف با نقاط پست، بیشترین تکه سنگ‌های جدا شده را در پای این دامنه‌ها انباشته می‌کنند که این امر، دلالت بر حساسیت بیشتر این سنگ‌ها، نسبت به نوسانات دمایی (با حضور رطوبت) در این محدوده‌های ارتفاعی، می‌کنند. در این قسمت از منطقه، بخش قابل توجهی از سطوح سنگ‌ها، به ویژه در پای تپه ماهورهای سنگی، از واریزه‌های سنگی انباشته شده‌اند. مشخصات این واریزه‌های انباشته شده تابعی از مشخصات فیزیوگرافی دامنه‌ها، جنس سنگ، کیفیت تراکم، توسعه‌ی سیستم‌های شکستگی و درز و شکاف‌های موجود در سنگ‌ها می‌باشد. به طور اعم، می‌توان با استناد به اطلاعات میدانی گفت که، از سنگ‌هایی مانند ماسه سنگ، تکه سنگ‌های درشت‌تر، از سنگ‌هایی مانند

شیل و یا سنگ‌های آذرآوری، تکه سنگ‌های ریزتر جدا شده و در پای دامنه‌ها انباشته شده‌اند. تکه سنگ‌های بزرگ به صورت سقوط آزاد و سنگ‌های ریزتر به صورت توده‌ای از سطوح دامنه‌ها به پایین فرو ریخته‌اند. وقوع ریزش‌های سنگی در بخش عمده‌ای از منطقه معمولاً در اثر حذف پاشنه‌ی شیب در اثر فرسایش کناری رودخانه و یا در اثر خاکبرداری از شیب‌ها، ایجاد ترانشه، جهت احداث جاده، صورت گرفته‌اند. به دلیل برهم خوردن ثبات دامنه‌ها (به طور طبیعی و یا در اثر دستکاری انسان)، و همچنین فراهم شدن بستر جدید برای عمل فرآیندهای مختلف فرسایشی در سطوح برش یافته، ریزش‌های سنگی، در این محدوده‌ها به فراوانی رخ داده است در نقشه‌ی پهنه‌بندی ریزش‌های سنگی، محدوده‌های واقع در کناره دره‌ها و در کنار جاده‌ها، در محدوده با خطر زیاد (۵۰ درصد از مساحت حوضه) و خیلی زیاد (۱۰ درصد از مساحت حوضه) واقع شده‌اند.



شکل (۱۰) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی در حوضه‌ی فرنتوچای



شکل (۱۱) انباشتگی تکه‌های سنگی که از طبقات ماسه سنگ جدا شده‌اند (نزدیک روستای گلشن آباد در بخش غربی حوضه‌ی قرنقوچای)



شکل (۱۲) خطر سقوط سنگ‌ها از سطوح دامنه‌های مشرف به بخشی از روستا و مشرف به دره‌هایی که مراتع غنی حوضه را در خود جای داده است (روستای پیشکلو، واقع در شمال غربی حوضه‌ی قرنقوچای)

همچنانکه در نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی مشاهده می‌شود (شکل ۱۰) بخش‌های میانی حوضه، در محدوده‌ی بدون خطر ریزش‌های سنگی و یا با خطر کم قرار گرفته‌اند (۵۰ درصد از مساحت حوضه). این محدوده از حوضه، که اغلب محدوده گسترش آبرفت‌های قدیمی، مارن‌ها و یا سنگ‌هایی با ویژگی‌های مشابه است (ریزدانه و در برابر کسب رطوبت، مستعد به وقوع لغزش)، در محدوده‌هایی با حساسیت کم نسبت به وقوع ریزش‌های سنگی قرار گرفته‌اند. در این محدوده‌ها، بیشتر می‌توان شاهد وقوع دیگر حرکات توده‌ای مانند انواع لغزش‌ها بود.

Archive of SID

منابع

- ۱- آدابی، محمدحسین و سیدرضا حرمی (۱۳۷۷)، نقش لیتولوژی در رانش زمین در شمال شرق خراسان. *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، سال سیزدهم، شماره‌ی ۱۰۱، ۵۱-۹۰.
- ۲- آل‌کثیر، عبدالامیر (۱۳۷۴)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی و هیدرومورفولوژی *دامنه‌ی شرقی سهنند (حوضه‌ی آبریز قرنقوچای - آذربایجان شرقی)*، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۳- تجویدی، گیتی (۱۳۸۱)، *مقدمه‌ای بر سیستم اطلاعات جغرافیایی*، انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور.
- 4- Agyei, Y.G. (2005), Erosion Risk Assessment of Controlled Burning of Grasses Established on Steep Slopes, *Journal of Hydrology*, 1-15.
- 5- Anderson, M.G. and K., Recharls (1987), *Modelling Slope Stability: The Complimentary Nature of Geotechnical and Geomorphological Approachs*, John Wiley and Sons.
- 6- Ayala, I.A. (2002), Geomorphology, Natural Hazard, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries, *Geomorphology*, 47: 107-124.
- 7- Bishop, M.P., Shroder and J., Colby (1998), Remote Sensing and GIS Technology for Studying Lithospheric Processes in a Mountain Environment, *Geo Carto International*, Vol. 1:1-46.
- 8- Blijenberg, H. (1998), *Rolling Stones*, Ph.D Thesis, Universitet Utrecht, Earth Sceince.
- 9- Decaulne, A. and T., Saemundsson (2006), Geomorphic Evidence for Present-day Snow-avalanche and Debris-flow Impact in the Icelandic Westfjords, *Geomorphology*.

- 10- Ferrara, V. and G., Pappalardo (2005), Kinematic Analysis of Rock Falls in an Urban Area: The Case of Castelmola Hill Near Taormina (Sicily, Italy), *Geomorphology*, 66: 373-383.
- 11- Faustini, J.M. and J.A., Jones (2003), Influence of Large Woody Debris on Channel Morphology and Dynamics in Steep, Boulder-Rich Mountain Streams, Eastern Cascades, Oregon, *Geomorphology*, Vol. 51: 175-187.
- 12- Hurlimann, M., R., Copons and J., Altimir (2006), Detailed Debris Flow Hazard Assessment in Andorra: A Multidisciplinary Approach, *Geomorphology*, (www.elsevier.com).
- 13- Irmiler, R., G., Daut and R., Mausbacher (2006), A Debris Flow Calendar Derived from Sediments of Lake Lago di Braies, Italy, *Geomorphology*, (www.elsevier.com).
- 14- Jaeger, C. De and M., De, Dapper (2005), Geomorphological Hazard Mapping in the Wadi Mujib Canyon Based on Russian Stereoscopic TK-350 Satellite Images, *Geomorphological Hazard*.
- 15- Matthews, J.A., D., Brunnsden, and M., Weib, (1997), *Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for the Holocene*, Fisher, Vol. 19: 17-31.
- 16- Navarro, M.M., E.E., Wohl and S.D., Oaks (1994), Geological Hazards, Vulnerability and Risk Assessment Using GIS Model for Glenwood Springs, Colorado, *Geomorphology*, 10: 331-354.
- 17- Navarro, M.M. and E.E., Wohl (1994), Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS: Methodology and Model Applied to Medellin, Colombia, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 4: 459-481.
- 18- Suzen, M.L. and V., Doyuran (2004), Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method and Application to Asarsuyu Watershed, Turkey, *Engineering Geology*, Vol. 60: 214-227.
- 19- Terlien, M.T.J. and C.J. Van Westen (1995), Deterministic Modeling GIS-based Landslide Hazard Assessment,

- Geographical Information Systems in Assessing Hazards*, 57-77.
- 20- Terlien, M.T.J. (1996), The Prediction of Rainfal-triggered Soil Slips in Manizales (Colombia), *Landslides*, 197-206.
- 21- Terlien, M.T.J., P.G.B. Louw, T.J., Van Asch and R.A.A., Hetterschijt, (1996), The Assessment and Modeling of Hydrological Failure Conditions of Landslides in the Puriscal Region and Manizales Region, *Advances in Hillslope Processes*, 2: 832-855.
- 22- Van Westen, C.J. and R. Soeters (1997), Predication of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Trough GIS-based Hazard Zoning, *ITC*, Vol. 86: 404 - 414.
- 23- Van Westen, C.J., N, Rengers and M.T.J., Terlien (1997), Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Through GIS-Based Hazard Zoning, *Geol Rundsch* 86: 404-414.
- 24- Wash, S.J., D.R., Butler, G.P., Malanson, K.A., Crews-meyer, J.P., Messina and N., Xio (2003), Mapping, Modeling and Visualization of the Influences of Geomorphic Processes on the Alpine Treeline Ecotone, Glacier National Park, MT, USA. *Geomorphology*, 53: 129-145.
- 25- Watterson, A. and J., A., Jones (2006), Flood and Debris Flow Interactions with Roads Promote the Invasion of Exotic Plants along Steep Mountain Streams, Western Oregon, *Geomorphology*, (www.elsevier.com).
- 27- Wiezorek, G.F. and S., Nishenko (1995), Analysis of Rock Falls in the Yosemite Vally, *Rock Mechnics*. Vol. 5: 85-89.