جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و نهم، بهار ۱۳۹۸

صص ۱۰۲- ۸۳
DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.77318

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی در منطقهٔ بند ارومیه (مسیر جادهٔ ارومیه ـ سیلوانا) با استفاده از روش آنبالاگان

حسن حاجی حسینلو[1] - گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران
رضا عباسیان ولندر - گروه زمین‌شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۳۰

چکیده

جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا در جنوب غرب شهرستان ارومیه قرار دارد این جاده از ابتدای جادهٔ بند شروع شده و در منطقهٔ تفرجگاهی و گردشگری بند ارومیه واقع شده است. هدف از این تحقیق تعیین مناطق پر خطر با استفاده از نرم افزار (Arc GIS 10) و روش پهنه‌بندی آنبالاگان، از دیدگاه ناپایداری دامنه‌ای در محور فوق و روستاهای منطقه است. به این منظور ۱٤ لایه (گسل، ارتفاع، آبراهه، شیب، جهت شیب، واحد سنگ‌های رسوبی آواری (OMS)، رسوبات آبرفتی، پوشش گیاهی، نقاط حادثه‌ساز، روستا، شهر، سد، جاده و راه‌های روستایی) تهیه شد و با وزن‌دهی به عوامل مخاطره‌زا و با استفاده از نقشهٔ پهنه‌بندی خطر ریزش سنگی محدودهٔ مورد مطالعه، نتایج را به پنج گروه تقسیم نمودیم: بر طبق نقشهٔ مورد نظر از مجموع ۷٤٤۱/۰۷ هکتار از محدودهٔ مورد مطالعه، ۱۵۰۹/۷۳ هکتار در محدودهٔ با خطر بسیار زیاد قرار دارد، ۲۳۳۰/٤۷ هکتار در محدودهٔ با خطر زیاد، ۱۹۸۰/۱٤ هکتار در محدودهٔ با خطر متوسط، ۱۱۵۰/٦٦ در محدودهٔ با خطر کم و ٤۷۰/۰۷ هکتار در محدودهٔ با خطر بسیار کم قرار دارد. تمامی روستاها (بند، جانوسلو، نوشان علیا و سفلی) در مناطق با خطر زیاد تا متوسط واقع شده‌اند. بیشترین تجمع مناطق پرخطر در غرب، جنوب‌غربی می‌باشد. اکثر راه‌های روستایی در مناطق با خطر کم تا متوسط قرار دارند و از ۱٤ کیلومتر جادهٔ اصلی تنها دو کیلومتر از آن در محدودهٔ کم خطر و بی خطر قرار دارد. با انطباق نقشهٔ نقاط حادثه ساز با نقشهٔ پهنه بندی می‌فهمیم که بیشتر ریزش‌های سنگی و واریزه‌ها در پهنهٔ با خطر متوسط تا بسیار بالا قرار دارند. سد شهرچایی در محدودهٔ با خطر متوسط قرار دارد ولی دامنه‌های اطراف سد مناطقی پر خطر هستند که ریزش‌های سنگی در آن‌ها سد شهرچایی را تهدید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: ریزش سنگ، پهنه‌بندی، آنبالاگان، بند ارومیه.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤٦۲۷۰٥٤ Email: hajihosseinlou@iaukhoy.ac.ir

۱- مقدمه

ناپایداری‌های دامنه‌ای شـامل جدایش تکه سـنگ‌ها از ارتفاعات و جابه‌جایی آن‌ها تحت تأثیر نیروهای مختلف از پدیده‌های طبیعی می‌باشـند که همه سـاله در کوهسـتان‌های سـنگی به وفور رخ می‌دهند. با توجه به اینکه بخش اعظم ایران کوهستانی است و جاده‌های مهم کشور نیز از کمرکش آن‌ها عبور می‌کنند. جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا به طول تقریبی ١٤ کیلومتر از میان روسـتای بند عبور می‌کند که تقریباً شـکل روسـتایی خود را از دسـت داده و آن را به عنوان یک منطقه تفریحی محبوب به حسـاب می‌آورند. بند یک روسـتای کوهپایه‌ای است و در یک منطقهٔ کوهستانی قرار دارد و دارای مناظر دیدنی عالی اسـت که این تفرجگاه را به جاذبهٔ طبیعی برای شـهرستان ارومیه تبدیل کرده است و علاوه بر این رود شـهرچایی از وسـط این روسـتا می‌گذرد و همچنین سد شهرچایی که یکی از زیباترین سدهای ایران می‌باشد در غرب این روسـتا قرار دارد و به زیبایی مناظر این منطقه می‌افزاید. از روسـتاهای اطراف تفرجگاه بند، می‌توان به روسـتای میر آباد در شمال آن و همچنین روستاهای نوشان سفلی و نوشان علیا درغرب و روستای شملکان در جنوب تفرجگاه اشـاره کرد. با پیمایش در مسـیر جادهٔ ارومیه ـــ سـیلوانا با مخاطرات طبیعی عمده‌ای از جمله ناپایداری‌های دامنه‌ای همچون خزش، ریزش‌های سـنگی، واریزه‌ها و وجود آبرفت‌های سـسـت ریزشی مشاهده کردیم؛ که علاوه بر ساکنین روستای بند و نوشان سفلی جادهٔ ارتباطی ارومیه ـــ سیلوانا و تأسیسات مهندسی اطراف آن را مورد تهدید قرار می‌دهنـد. وقوع نـاگهانی انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای به دنبال وقایعی مانند زلزله، بارش‌های ناگهانی و دسـتکاری‌های انسـانی، صـورت می‌گیرد. سـاختارهای زیر بنایی در اراضـی کوهستانی مانند بزرگراه، راه آهن، تأسیسات برق، افراد و خانه‌هایشـان و سـاختمان‌های آپارتمانی ممکن هسـتند که هر لحظه در خطر سـقوط سنگ و سایر ناپایداری‌های دامنه ای مانند روان‌گرایی و خزش باشـند (موسـوی و همکاران، ۱۳۸۹). این خطرات می‌توانند منجر به خسـارات اقتصادی و ایجاد وقفه در انجام خدمات و آسـیب به تجهیزات و از دسـت رفتن زندگی افراد گردد. سـقوط صـخره‌ها خطرات بسـیاری را در مناطق با بارش شـدید، بسـیار سـرد و مناطق زلزله خیز ایجاد می‌کند (TRB, 1996). بر اسـاس نقشـهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضـهٔ شـهرچای، شهرچای حدود ۱۷۷ گسل اصلی و فرعی دارد که طولانی‌ترین گسل تقریباً ۱۳ کیلومتر طول دارد؛ تعدد گسـل‌ها نشـان دهندهٔ حرکات زمین‌سـاختی در طول دوران‌های مختلف می‌باشـد و تراکم گسـل‌های کواترنری در منطقهٔ سـیلوانه به اوج خود می‌رسـد که یکی از مناطق زلزله خیز کشـور اسـت به طور مثال زلزلهٔ ٤ ریشـتری فروردین ۸۷ به مرکزیت سـیلوانا و زلزله ٤/٦ ریشـتری در مهر ماه سـال ۹۲ به مرکزیت سـیلوانا می‌باشـد. شـکسـتگی‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه به صورت موازی، قایم و زاویه‌دار نسبت به روند محور چین مشاهده شده‌اند این شـکسـتگی‌ها در سـنگ آهک و در مناطق لولای چین‌ها تشـکیل می‌شوند و گسل‌ها هم سن با درزه‌ها هستند (حاجی حسـینلو و نصیری، ١٣٩٤). خطرات سقوط سنگ به وضوح به زمین‌شناسی دامنه که منبع بالقوه ریزش‌ها است مربوط می‌شـود؛ یعنی سـنگ باید به اندازهٔ کافی قوی باشـد تا بتواند تشـکیل یک بلوک را بدهد تا از اثرات طول مسـیر

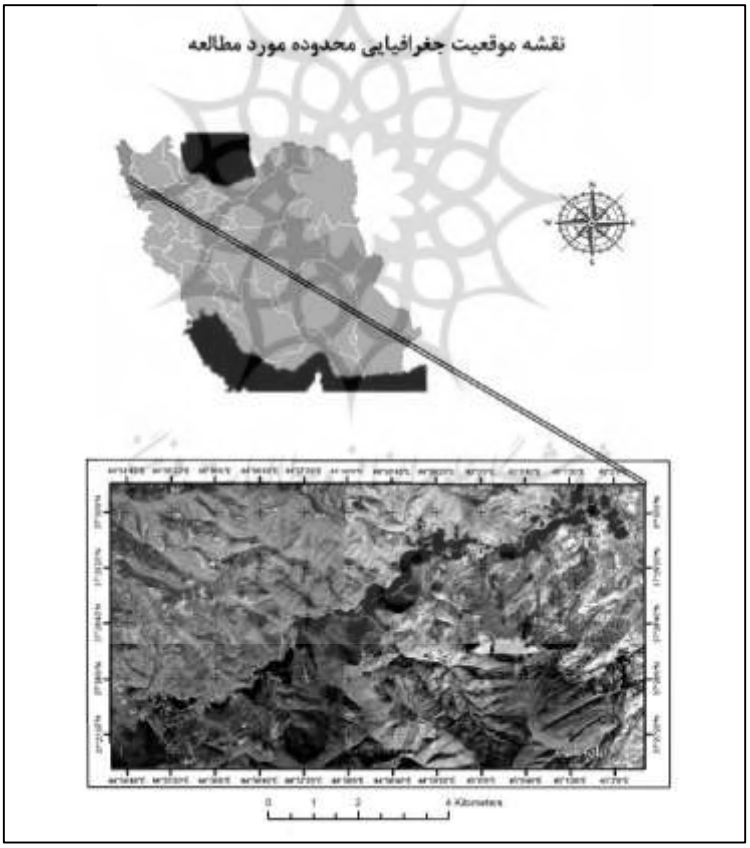
وشکستن به تکه‌های بی ضرر مصون بماند. از علل دیگر ریزش‌های سنگی علاوه بر درزه‌ها و ناپیوستگی‌های شدید، رشد ریشهٔ درختان و هوازدگی سنگ‌ها هستند. در اغلب اوقات خطرات ناشی از ریزش سنگ را نمی‌توان دفع کرد (Hantz et al., 2003) به دلیل این که وقوع این قبیل خطرات هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی متفاوت می‌باشد روش‌های آمار مبنا که اغلب به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای انجام می‌شود به ابزاری استاندارد برای ارزیابی خطر ریزش سنگ و طراحی اقدامات حفاظتی تبدیل شده است. مدل‌سازی فرآیندهای فیزیکی ریزش سنگ نیاز به بررسی از هم گسیختگی اجزای سنگی، افتادن یا پرش و جهش بعدی، خرد شدن، چرخش یا لغزش و نشست انتهایی دارد (Gerber et al., 2011). در مطالعه‌ای به بررسی کلی انواع مدل‌های مطرح در پهنه‌بندی ریزش و نیز اقدامات حفاظتی در راستای مقابله با این خطر پرداختند (چپی و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعه‌ای از مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی ریزش گردنهٔ صلوات آباد کردستان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که رگرسیون لجستیک بهترین کارایی را در منطقهٔ مطالعاتی دارد (Tunusluoglu & Zorlu, 2009). به کمک مشاهدات میدانی و با استفاده از نرم افزار (راک فال ورژن ٤)[1] نقشهٔ پهنه‌بندی وقوع ریزش قلعهٔ اورتا حصار در منطقهٔ کاپادوکیه در کشور ترکیه را ترسیم کردند (غفاری گیلانده و همکاران، ۱۳۹٤). با ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل (ویکور)[2] حوضهٔ آبخیز آق لاقان چای با در نظر گرفتن ۱۲ عامل به عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد ریزش در منطقه و تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ویکور، در نهایت نقشهٔ پهنه‌بندی خطر را در پنج طبقه تهیه کردند که بر اساس نتایج بدست آمده ۱۲ درصد از مساحت حوضه در طبقهٔ بسیار پر خطر قرار دارد (Anbalagan, 1992). روشی کمی را برای محاسبهٔ خطر زمین لغزش در منطقه‌ای از هیمالیا را ارایه نموده است، روش آنبالاگان توسط دیگر پژوهشگران مانند (Turrini et al., 1994) در ایتالیا و (A bolmasod & Stojkov, 1994) در صربستان با انجام تصحیحات محلی به کار گرفته شده است این روش در ایران توسط (مهدوی فر و منتظر القائم، ۱۳۸۲) در البرز مرکزی در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰ و (ارومیه‌ای و امینی، ۱۳۷۷) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است (علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹٤). با بررسی ژئومورفولوژیکی خطر ریزش سنگ در مسیر جادهٔ کرمانشاه ـــ ایلام؛ ۱۱ پارامتر شامل شیب دامنه، ارتفاع دامنه، جنس مواد دامنه، فاصلهٔ پای دامنه تا سطح جاده، شکل پاشنهٔ جاده، پوشش گیاهی دامنه، جهت دامنه، ساخت زمین‌شناسی دامنه، شکل دامنه، فاصلهٔ مکان ریزشی از گسل و طول دامنه در جهت افق را مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس نتایج حاصله از ۳۳ مکان ریزشی برداشت شده در طول مسیر، ۳۹/۳۹ در کلاس خطر زیاد و ۲٤/۲٤ درصد در کلاس خطر بسیار زیاد قرار گرفتند. در این مقاله با الهام از روش تحقیقاتی طالقانی و همکاران، ۱۳۹٤ و با در نظر گرفتن مشاهدات صحرایی به بررسی مخاطرات طبیعی و ریزش سنگی در منطقهٔ بند ارومیه می پردازیم.

1 Rackfall V.4
2 Vikor

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا در جنوب غرب شهرستان ارومیه قرار دارد این جاده از ابتدای جادهٔ بند شروع شده و از منطقهٔ تفرجگاهی و گردشگری بند ارومیه به مختصات طول جغرافیایی ٤٥ درجه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه شروع تا سه راهی سیلوانا دارای طول جغرافیایی ٤٤ درجه ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه واقع شده و بخشی از ورقهٔ ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ارومیه را شامل می‌شود به لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران توسط آقانباتی (۱۳۸۳) جزو ایران میانی و بخشی از البرز آذربایجان است. این جاده روستای سرسبز و خوش آب و هوای بند ارومیه که در فاصلهٔ تقریبی سه کیلومتری و در مسیر جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا قرار دارد را به سایر روستاها همچون نوشان علیا و سفلی متصل کرده و در نهایت به روستای سیلوانا ختم می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نقشهٔ موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه

با توجه به (شـکل ۲) به لحاظ چینه‌شـناسی رسوبات کواترنر سطح وسیعی از منطقهٔ مورد بررسی را پوشانده است که شامل:

۱- پادگانه‌های آبرفتی قدیمی رودخانه‌ای و دریاچه‌ای، مخروط افکنه‌های قدیمی و آبشست‌های دامنه‌ای قدیمی

۲- رسوبات جوان رودخانه‌ای

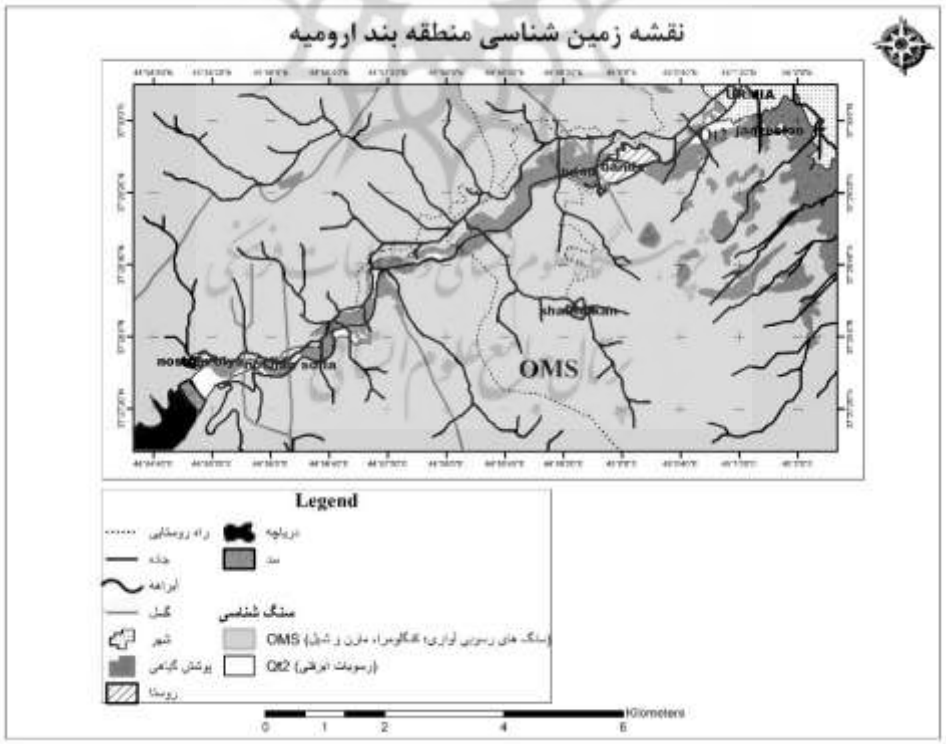
۳- رسوبات باتلاقی شور

سـنگ‌های تشـکیل دهندهٔ پی و تکیه گاه‌های سد و دریاچهٔ سد و بیشتر مناطق محدودهٔ مورد مطالعه همگی از یک جنس و از نوع سـنگ‌های رسوبی آواری و متشکل از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلت و مارن؛ به شدت درزه‌دار و هوازده به سـن الیگومیوسـن اسـت که طبق نقشـهٔ ۱:۲۵۰۰۰۰ سرو جزیی از سازند قم می‌باشد و آثار آن در منطقه به صورت ریزش‌های سـنگی و واریزه‌ای مشـهود می‌باشـد و با توجه به نقشهٔ زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه، گسل‌های عمده‌ی منطقه را به صورت سیستماتیک می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

الف) سیستم گسل‌های با امتداد غالب شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق

ب) سیستم گسل‌های با امتداد غالب شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی

ج) سیستم گسل‌های با امتداد غالب شمالی ـ جنوب



شکل ۲- نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه

۲-۲- روش گردآوری اطلاعات

– بررسی منابع و یافته‌های علمی در زمینهٔ تحقیق از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، اینترنت و مطالعهٔ تحقیق‌های انجام گرفته در زمینهٔ موضوع مورد نظر در سایر مناطق.

– نقشهٔ (ارتفاعی)[1] منطقهٔ سرو و ارومیه (جهت رسم خطوط توپوگرافی و تهیهٔ نقشهٔ شیب و جهت شیب)

– نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سرو سازمان زمین‌شناسی کشور (برای تهیهٔ نقشهٔ پیرامون گسل‌ها و سازندهای مختلف)

– نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ارومیه سازمان زمین‌شناسی کشور (برای تهیهٔ نقشهٔ پیرامون گسل‌ها و سازندهای مختلف)

– تصاویر ماهواره‌ای (گوگل ارث)[2] جهت ثبت داده‌های میدانی، تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی و نقشهٔ تراکم پوشش گیاهی و استخراج عوارض مورفولوژیک استفاده شده است.

– پیمایش‌های میدانی: مشاهده و بررسی لندفرم‌ها و پدیده‌های ژئومورفولوژیک منطقه و مقایسه با اطلاعات موجود در عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و تطبیق این اطلاعات با نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده و زمین‌شناسی منطقه و در نهایت کنترل و شناسایی لندفرم‌ها برای تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی منطقه.

– نرم افزارهای (آرک جی آی اس ۱۰)[3] و (استیچ مپس)[4]: اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای به عنوان اطلاعات پایه وارد (آرک جی آی اس ۱۰) شده و بعد از تعریف زمین مرجع و سیستم مختصات آن‌ها، لایه‌های مورد نیاز رقومی گردیده و نقشهٔ مخاطرات طبیعی ترسیم شده و اندازه‌گیری لازم صورت گرفته است.

۲-۳- روش‌ها

جهت پهنه‌بندی، روش‌های گوناگونی توسط دانشمندان و محققین ارایه شده است که هر کدام به یک منظور خاص و برای یک منطقهٔ مشخص ارایه شده است. در این تحقیق از روش پهنه‌بندی آنبالاگان که یکی از روش‌های متداول در پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی است، استفاده شد. این روش برای اجرای طرح‌های توسعه در مناطق کوهستانی کمک قابل توجهی به طراحان و مهندسان می‌کند. روش مذکور به عوامل عمدهٔ مؤثر در ناپایداری دامنه‌ای، مثل زمین‌شناسی، شیب، کاربری و پوشش زمین، اختلاف ارتفاع و غیره بستگی دارد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مقالات علمی، منابع کتابخانه‌ای، دانش بومی، مصاحبه با ساکنین منطقه و پیمایش‌های گسترده در منطقهٔ مورد مطالعه،

1 DEM
2 Google Earth
3 Arc GIS 10
4 Stitch Maps

اقدام به جمع آوری داده‌ها از موقعیت دقیق مخاطرات اعم از خزش، ریزش سنگ، واریزه و وجود رسوبات آبرفتی سست در محل ترانشه‌ها با استفاده از دستگاه (جی پی اس)[1] انجام شد و پس از بررسی‌های صحرایی و مطالعهٔ تصاویر ماهواره‌ای نقاط تهیه شده در صحرا در نرم افزار (آرک جی آی اس) به صورت یک لایهٔ مجزا تهیه شده است و برای جلوگیری از اشتباه محاسباتی نرم افزار محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه را مورد بازبینی قرار دادیم و با پلی گون مشخص کردیم و در این مقاله با استفاده از روش آنبالاگان، مقادیر وزنی که برای طبقه‌بندی نقشه‌های عوامل مختلف در نظر گرفته می‌شود از ۱ تا ۱۰ می‌باشند. در این مقاله عدد یک به عنوان حداکثر خطر برای هر واحد انتخاب شده است و عدد ۱۰ حالت مطلوب ما می‌باشد. ویژگی پارامترهای مؤثر در ارزیابی خطر و نحوهٔ ارزش‌گذاری آن‌ها به شرح زیر انجام شده است (شکل ۳).

ارتفاع دامنه: نیروهای گرانشی همیشه در توده‌ای از خاک یا سنگ در زیر یک شیب فعال هستند. تا زمانی که نیروی وزن مساوی یا بزرگ‌تر از نیروهای گرانشی باشد، نیروها در تعادل هستند، جرم در حال تعادل است و حرکت رخ نمی‌دهد. عدم تعادل در نیروها منجر به شکست شیب و حرکت به صورت خزش، سقوط، اسلاید، بهمن، یا جریان می‌گردد. از آن‌جایی که توده‌های بزرگ سنگی از ارتفاع زیادی سقوط می‌کنند از انرژی بسیاری برخوردارند و بر روی منطقهٔ وسیعی پخش می‌شوند. ارتفاع دامنه‌های مشرف به جاده نقش بسیار مهمی در خطر ریزش سنگ و سرعت سقوط آن دارد. در واقع هر چه ارتفاع بیشتر باشد، خرده ریزهٔ سنگ‌ها با شتاب بیشتری سقوط می‌کنند و برای جاده و تأسیسات حیاتی خطر بیشتری محسوب می‌شود. بدین منظور نقشهٔ وزن‌دار (ارتفاعی) محدودهٔ مورد مطالعه را تهیه کردیم و به ارتفاعات بالاتر، امتیاز کمتر و به ارتفاعات پایین تر، امتیاز بیشتری داده شده است.

شیب دامنه: در موارد بسیاری شیب طبیعی ماکزیمم زاویهٔ شیب را نشان می‌دهد اما در بعضی موارد شیب پایدار نیست. زاویهٔ دامنه‌های موجود باید در تشخیص‌های صحرایی برآورد گردد زیرا یک افزایش در مقدار زاویه با یک گسیختگی ممکن است که منجر به شکست گردد. سازندهای زمین‌شناسی اغلب به طور مشخص تمایل دارند که به ندرت به صورت طبیعی پایدار باقی بمانند. برای مثال، خاک در ۳۰ تا ٤۰ درجه، واریزه در ۱۰ تا ۲۰ درجه، شیل رسی، در ۸ تا ۱۵ درجه و لس که اغلب به طور عمودی در ارتفاع قابل توجهی پایدار باقی می‌مانند. با توجه به این که هر چه شیب دامنه بیشتر باشد سرعت سقوط مواد ریزشی نیز بیشتر است و مسافت بیشتری را نیز می‌توانند طی کنند. بدین منظور نقشهٔ وزن‌دار شیب محدودهٔ مورد مطالعه تهیه شد و به شیب کمتر، امتیاز بیشتر و به شیب زیاد، امتیاز کمتر داده شده است.

1 GPS

فاصله از جاده و راه‌های روستایی: در جاهایی که دامنه به جاده و راه‌های روستایی نزدیک باشد خطر برخورد مواد ریزشی با اتومبیل‌ها یا عابرین بیشتر خواهد بود؛ بنابراین نقشهٔ وزن‌دار جادهٔ اصلی و راه‌های روستایی به صورت مجزا تهیه شدند و به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیک‌تر، امتیاز کمتر داده شده است.

لیتولوژی دامنه: مطالعات میدانی نشان داده است که دامنه‌های مشرف به جاده در طول محور مورد مطالعه از سنگ‌های رسوبی به شدت درزه‌دار و خرد شده تشکیل شده‌اند که در بعضی نقاط تشکیل بلوک‌های بزرگی را داده‌اند که می‌توانند برای اتومبیل‌های عبوری و افراد در پای شیب بسیار خطرناک باشند و علاوه بر این از آبرفت رودخانه‌ای و یا مواد واریزه‌ای سست تشکیل شده‌اند که هر دوی این عوامل می‌توانند در هنگام بروز زلزله خطرات جدی بسیار زیادی را ایجاد کنند بنابراین برای ارزیابی نقش این پارامتر در میزان خطر علاوه بر اینکه جنس مواد دامنه‌ای در تمام محل‌های مورد بررسی قرار گرفته، پس از تهیه نقشهٔ وزن‌دار سنگ‌شناسی محدودهٔ مورد مطالعه، به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیک‌تر، امتیاز کمتر داده شده است.

پوشش گیاهی دامنه: تراکم پوشش گیاهی یک عامل مهم در ثبات شیب است. اخیراً زدودن مناطق بالا شیب از گیاهان برای کارهای حفاری، کشاورزی یا چرای زراعی یک شرایط محتمل بسیار زیادی ایجاد کرده‌اند که منجر به شکستگی‌هایی در شکاف‌ها یا در طول شکاف‌های قدیمی با شرایط هوازدگی شدید شوند. حذف گیاهان باعث افزایش فرسایش، کاهش مقاومت در قسمت‌های کم عمق شیب می‌شود و از دست دادن ساختار ریشه، منجر به افزایش نفوذ در دوره‌های بارانی و افزایش تبخیر در طول دورهٔ طوفان‌های خشک می‌شود که باعث خشک شدن و ترک خوردگی سطح می‌شود. وجود پوشش گیاهی بر روی دامنه به پایداری آن کمک می‌کند، بنابراین نقشهٔ وزن‌دار پوشش گیاهی منطقهٔ مورد مطالعه را تهیه کردیم و به فواصل نزدیک به پوشش گیاهی، امتیاز بالا و به فواصل دورتر، کمترین امتیاز داده شده است.

فاصله از گسل: هر چه مکان ریزشی به گسل نزدیک‌تر باشد به دلیل خرد شدن مواد بر اثر تنش، خطر ریزش نیز بیشتر است. شیرزاده و همکاران (۱۳۸۹) بیان می‌کند که ۸٦ درصد از ریزش‌ها در فاصلهٔ ٤٥٠ -۰ متری از گسل‌ها رخ می‌دهند و از فاصلهٔ ٤٥٠ متری به بعد، هم تعداد و هم حساسیت به ریزش سنگ روند نزولی داشته تا اینکه برای فواصل بیش از ٦۰۰ متری به صفر می‌رسد. در این پارامتر نیز برای تهیه نقشهٔ وزن‌دار گسل‌ها، برای فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و برای فواصل نزدیک‌تر، امتیاز کمتر داده شده است.

جهت دامنه: جهت دامنه به دلیل تأثیر گذاری در دریافت نور خورشید و بارش می‌تواند در میزان ریزش نیز تأثیر داشته باشد. دامنه‌هایی که رطوبت بیشتری دریافت می‌کنند برای وقوع پدیدهٔ ریزش مستعدترند. افزایش فشار در درزها و شکستگی‌ها بر اثر فشار آب، یخ زدن آب و انبساط مواد؛ هوازدگی سطح درزه‌ها به همراه نیروهای آب نشتی و سرانجام هوازدگی متفاوت است که طی آن لایه‌های نامقاوم هوازده شده و حایل لایه‌های مقاوم از بین می‌رود

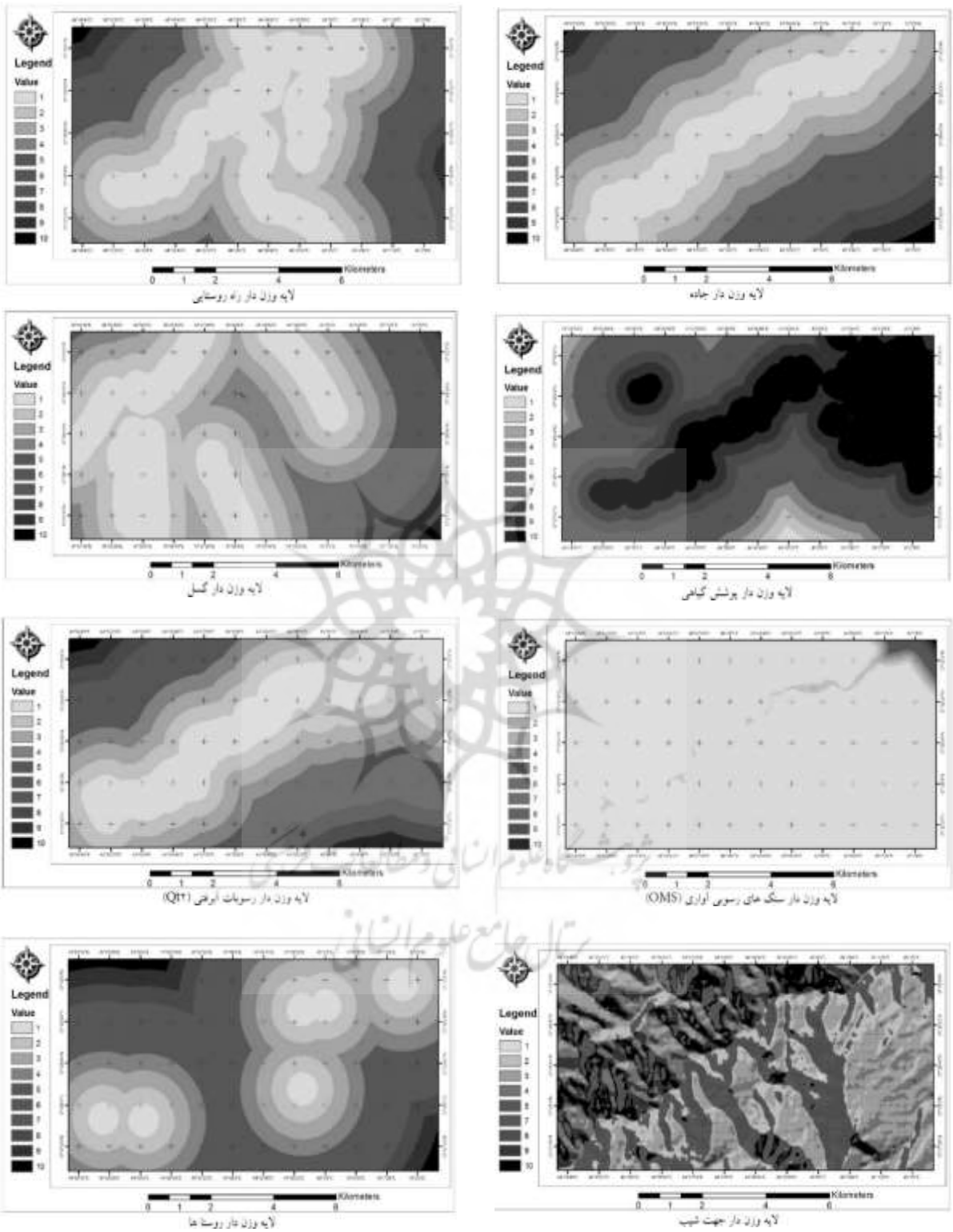
(معماریان، ۱۳۷۷: ۵۸۲). بر این اساس دامنه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه به ۹ جهت تقسیم‌بندی شده و برای دامنه‌های جنوبی و جنوب‌شرقی به دلیل دریافت بارش کم، بیشترین امتیاز و برای دامنه‌های شمالی، شمال‌غربی، غربی و جنوب‌غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، کمترین امتیاز در نظر گرفته شده است.

مکان‌های جمعیتی: با توجه به اینکه در منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر ساکنین منطقه منازل و اماکن تفرجگاهی را در مناطق کوهپایه‌ای نزدیک به دامنه‌های ریزشی بنا نموده، بنابراین به صورت ۲ لایهٔ مجزا، روستاها و مناطق مسکونی شهری نزدیک به محدودهٔ مورد مطالعه را در نظر گرفتیم و به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیکتر نسبت به مخاطرات امتیاز کمتر داده شده است.

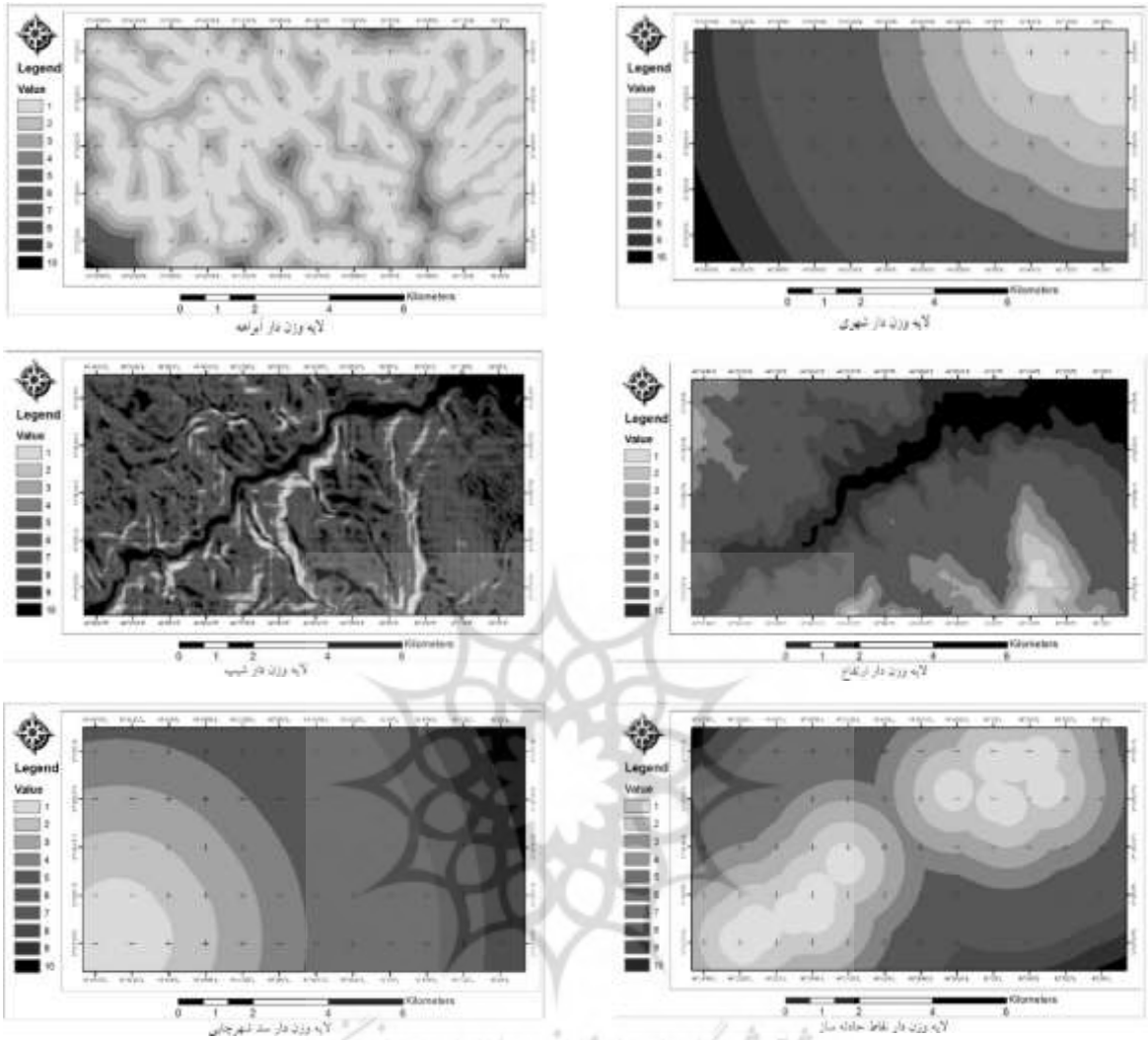
آب‌های سطحی: آبراهه‌های موجود در محدودهٔ مورد مطالعه با توجه به شیب دامنه به سمت پایین دست حرکت کرده و به رودخانهٔ شهرچایی ارومیه که از ارتفاعات شمال‌غرب کشور در مرز ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد، متصل می‌گردد این رودخانه پس از طی مسافتی در حدود ۵۰ کیلومتر به دریاچهٔ ارومیه می‌ریزد. با توجه به اینکه وجود بارش و آب‌های سطحی از عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای می‌باشند؛ بنابراین آبراهه‌های منطقه به صورت یک لایهٔ مستقل استخراج شده و نقشهٔ وزن‌دار آن تهیه گردید و بر اساس آن به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیک‌تر، امتیاز کمتر داده شده است.

نقاط حادثه ساز: با پیمایش در مسیر جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا و مناطق اطراف آن در محدودهٔ مورد مطالعه، نقاط حادثه ساز به لحاظ وجود آبرفت‌های سست، خزش، ریزش‌های سنگی و واریزه‌ها مورد شناسایی قرار گرفت و با استفاده از دستگاه (جی پی اس)، مختصات آن‌ها ثبت شد و در نهایت نقشهٔ وزن‌دار آن‌ها را تهیه کردیم و بر اساس آن به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیک به نقاط حادثه ساز، امتیاز کمتر داده شده است.

سد: با وجود منظور داشتن ضرایب اطمینان کافی در طراحی سدهای بزرگ، احتمال وقوع شکستگی ناشی از طغیان رودخانه‌ها، زلزله، پدیدهٔ رگاب و آسیب به دیوارهٔ سدها وجود دارد. آنچه در شکست سد رخ می‌دهد آزاد شدن حجم عظیمی از آب پشت سد بوده که در نتیجه آن امواج مخرب سهمگینی در پایین دست ایجاد می‌شود. با توجه به سرعت زیاد این امواج، خسارات در پایین دست زیاد بوده و زمان هشدار که نقش مهمی در کاهش میزان خسارات جانی دارد، بسیار محدود می‌باشد. سد شهرچای ارومیه در محلی به مختصات جغرافیایی ٤٤ درجه و ٤٥ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی در بالا دست شهر ارومیه به فاصلهٔ تقریبی ۱۲ کیلومتر از این شهر قرار دارد و این سد در دره‌ای که مشرف بر دامنه‌های ریزشی بوده، ساخته شده است؛ بنابراین پلی گون سد شهرچای ارومیه به صورت یک لایهٔ مجزا وزن دهی شد و به فواصل دورتر، امتیاز بیشتر و به فواصل نزدیک‌تر، امتیاز کمتر داده شده است.



شکل۳- مراحل تهیه نقشهٔ مخاطرات طبیعی منطقهٔ بند ارومیه



ادامه شکل ۳- مراحل تهیه نقشهٔ مخاطرات طبیعی منطقهٔ بند ارومیه

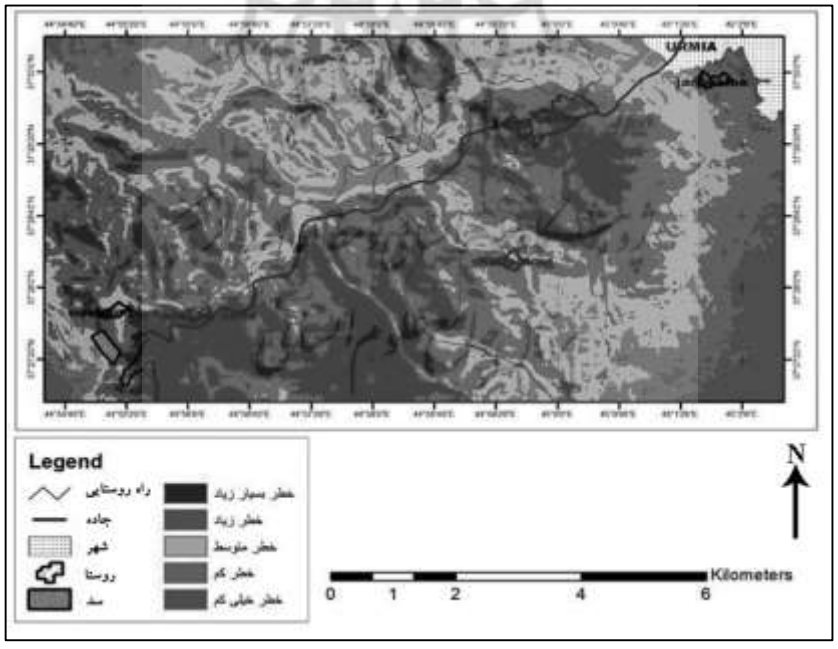
در نهایت با اســتفاده از نظرات کارشــناســی دقیق و مطالعات صــحرایی و برای هر یک از لایه‌ها طبق (جدول ۱) امتیاز داده شــده اســت. به گونه‌ای که مجموع امتیازات برابر یک شــود و با ابزار (رســتر کلکیولیتر)[1] با اســتفاده از اصل هم‌پوشــانی لایه‌ها، امتیاز تک تک لایه‌ها ضــرب شــده و در نهایت نقشــهٔ ریزش‌های سنگی منطقهٔ بند ارومیه را همراه با ترکیب با ســایر لایه‌ها تهیه نمودیم (شــکل ٤) و نتایج را به پنج گروه تقســیم نمودیم: بر طبق نقشهٔ مورد نظر از مجموع ۷٤٤۱/۰۷ هکتــار از محدودهٔ مورد مطالعه، ۱۵۰۹/۷۳ هکتار در محدودهٔ با خطر بســـیار زیاد قرار دارد، ۲۳۳۰/٤۷ هکتار در محــدودهٔ با خطر زیاد، ۱۹۸۰/۱٤ هکتار در محدودهٔ با خطر متوســـط، ۱۱۵۰/٦٦ در محدودهٔ با خطر کم و ٤۷۰/۰۷ هکتار در محدودهٔ با خطر بســیار کم قرار دارد. تمامی روســتاها (بند، جانوســلو، نوشان علیا و سفلی) در مناطق با خطر

1 Raster Calculator

زیاد تا متوسط واقع شده‌اند. بیشترین تجمع مناطق پرخطر در غرب، جنوب‌غربی می‌باشد. اکثر راه‌های روستایی در مناطق با خطر کم تا متوسط قرار دارند و از ١٤ کیلومتر جادهٔ اصلی تنها دو کیلومتر از آن در محدودهٔ کم خطر و بی خطر قرار دارد. با انطباق نقشهٔ نقاط حادثه ساز با نقشهٔ پهنه بندی می‌فهمیم که بیشتر ریزش‌های سنگی و واریزه‌ها در پهنهٔ با خطر متوسط تا بسیار بالا قرار دارند. سد شهرچایی در محدودهٔ با خطر متوسط قرار دارد ولی دامنه‌های اطراف سد مناطقی پر خطر می‌باشند که ریزش‌های سنگی در آن‌ها سد شهرچایی را تهدید می‌کند.

جدول ١- وزن دهی به لایه‌های مورد نظر بر اساس نظرات کارشناسی

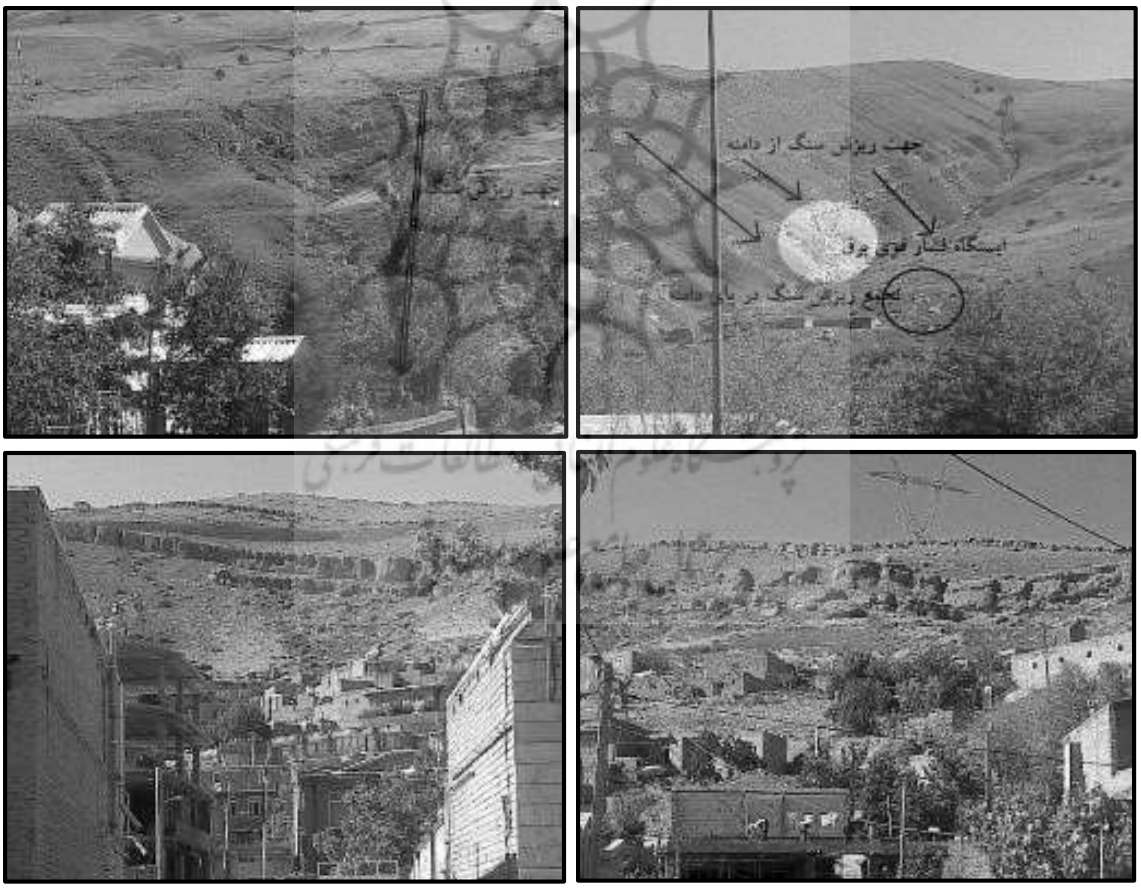
شماره	لایه‌های وزن دار	امتیازات	شماره	لایه‌های وزن دار	امتیازات
١	لایهٔ گسل	(٠/١٧)	٨	لایهٔ پوشش گیاهی	(٠/٠٥)
٢	لایهٔ ارتفاع	(٠/١٥)	٩	لایهٔ نقاط حادثه‌ساز	(٠/٠٤)
٣	لایهٔ آبراهه	(٠/١٢)	١٠	لایهٔ روستا	(٠/٠٤)
٤	لایهٔ شیب	(٠/١)	١١	لایهٔ شهر	(٠/٠٤)
٥	لایهٔ جهت شیب	(٠/٠٨)	١٢	لایهٔ سد	(٠/٠٤)
٦	لایهٔ سنگ‌های رسوبی آواری (OMS)	(٠/٠٦)	١٣	لایهٔ جاده	(٠/٠٣)
٧	لایهٔ رسوبات آبرفتی	(٠/٠٦)	١٤	لایهٔ راه‌های روستایی	(٠/٠٢)
جمع کل امتیازات: (١)					



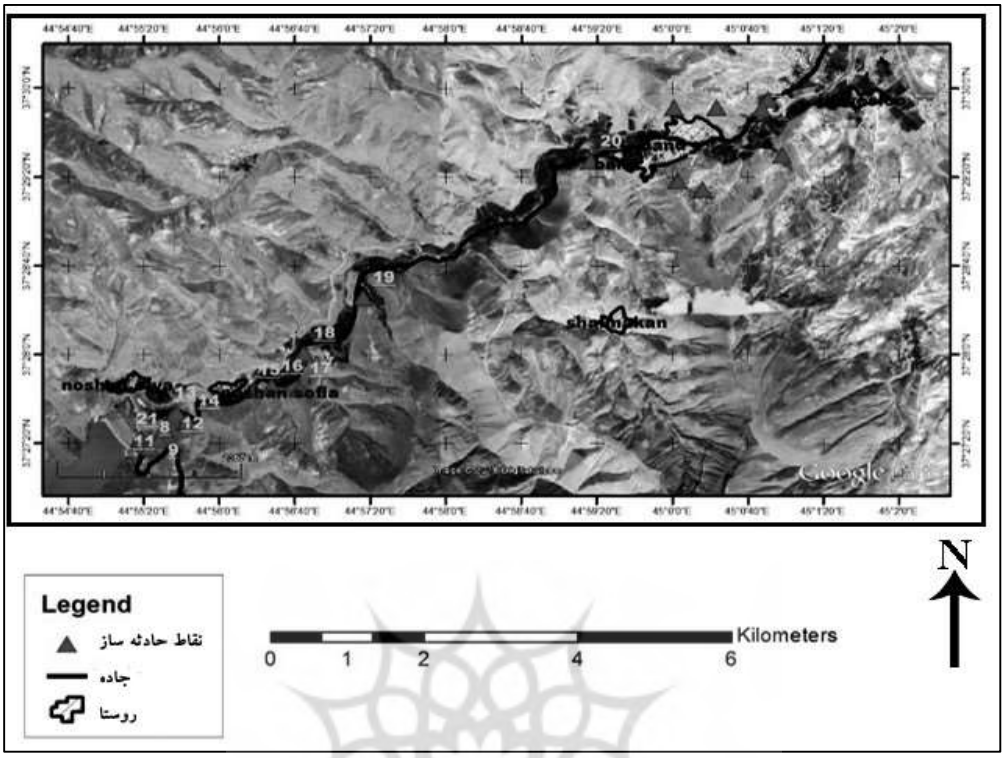
شکل ٤- نقشهٔ ریزش‌های سنگی منطقهٔ مورد مطالعه

۳- نتایج و بحث

ریزش سنگ‌ها در مناطق کوهستانی پدیدهٔ طبیعی است و وقوع آن‌ها حادثهٔ طبیعی تلقی می‌شود. ولی زمانی که ریزش سنگ‌ها، زندگی انسان‌ها (به لحاظ مالی و جانی) مورد تهدید قرار دهد، به مخاطرهٔ طبیعی تبدیل می‌شود و در شرایطی که در اثر وقوع آن‌ها تلفات جانی و مالی زیادی به بار آید، جزء بلایای طبیعی محسوب می‌شوند. در هر حال برحسب قلمرو آب و هوایی و نوع سنگ‌ها و ویژگی آن‌ها، متلاشی شدن سنگ‌های سخت و متصل دامنه‌ها، ثبات ناحیه را مورد تهدید قرار می‌دهد. این بی‌ثباتی برای مساکن شهری و روستایی، تأسیسات تفریحی و توریستی و کارخانه‌های صنعتی که در دامنه‌های پای‌کوهی استقرار یافته‌اند و یا جاده‌هایی که از مناطق کوهستانی عبور می‌کنند (رجایی: ۱۳۷۳، ۲٦۰). همان طور که در (شکل ۵) دیده می‌شود و بر روی نقشهٔ ماهواره‌ای منطقهٔ مورد مطالعه با نقاط (۳، ٤، ۷ و ٦) نشان داده شده است (شکل ٦). ریزش سنگ‌ها ساختمان‌های روستایی و جادهٔ مواصلاتی و ایستگاه‌های پمپاژ گاز و برق در منطقه را مورد تهدید قرار داده است.



شکل ۵- تهدید منازل مسکونی و تأسیسات حیاتی توسط ریزش سنگ در محدودهٔ مورد مطالعه



شکل ٦- تصویر نقاط حادثه ساز بر روی نقشهٔ ماهواره‌ای محدودهٔ مورد مطالعه

نوسانات شدید دمای شبانه‌روزی، خصوصاً در ارتفاعات بالاتر از ۱٦۰۰ متری منجر به تشدید فعالیت کریوکلاستی می‌شود. به این ترتیب علاوه بر خانه‌های روستایی و تأسیسات حیاتی، جاده‌هایی که از یک طرف و یا از هر دو طرف به وسیلهٔ دیوارهٔ بسیار تند دامنه‌ها محدود شده باشد دایماً با خطر ریزش قطعه سنگ‌های درشت و کوچک مواجهند. به ویژه اگر سنگ‌های تشکیل دهندهٔ زمین دارای شیارها و درزه‌ها و دیاکلازهای متعددی باشند. نفوذ آب در شیارها و تغییرات دما، تا جایی که برای یخبندان و ذوب مناسب باشد، به متلاشی کردن تدریجی و فراهم آوردن قطعات درشت و واریزه منجر می‌شود قطعات حاصله در پای دامنه‌هایی که غالباً دارای بریدگی‌های شیب است و یا در روی دامنه‌هایی که شیب آن‌ها کمتر از ۳۵ درجه و یا ٤۰ درجه می‌باشد جمع می‌شود اما در صورتی که تعادل شیب واریزه‌ها به هر دلیلی به هم بخورد و یا شیب دامنه بیشتر از ٤۰ درجه باشد، قطعات حاصل از متلاشی شدن سنگ مادر به محض جدا شدن از دیوارهٔ آن تنها تحت تأثیر ثقل یا نیروی جاذبه سقوط می‌کنند. همان‌طور که در نقاط (۱۰، ۱۱ و ۱۲) در عکس ماهواره‌ای نشان داده شده است (شکل ٦) درزه شدگی به همراه فرسایش منجر به شکسته شدن سنگ‌ها به قطعات بزرگ و کوچک شده و در نتیجه نیروی ثقل در پای دامنه سقوط کرده‌اند شکل (۷).

شکل ۷- فرسایش و خردایش سنگ‌ها و تجمع آن‌ها در پای دامنه‌های مشرف به جادهٔ مواصلاتی

علاوه بر جادهٔ مواصلاتی ریزش‌های سنگی می‌توانند سازه‌های بزرگی مانند سدها را مورد حمله قرار دهند و به تأسیسات جانبی آن خسارات زیادی وارد نمایند که البته ریزش‌های سنگی در نقطهٔ ۲۱ و مناطق اطراف سد شهرچایی (سد مخزنی خاکی سنگ ریزه‌ای با هسته رسی با ارتفاع ۱۱۹ متر از پی و ۸٤ متر ارتفاع از بستر و طول تاج ۵۵۰ متر در غرب روستای نوشان علیا واقع است) در عکس ماهواره‌ای نشان داده شده است شکل (٦) که با توجه به این، لزوم به کار گیری روش‌های پایدارسازی ریزش‌های سنگی برای جلوگیری از خسارات احتمالی باید در دستور کار قرار گیرد (شکل ۸).

شکل ۸- ریزش‌های سنگی در نزدیکی سد شهرچایی ارومیه

در برخی مکان‌ها انباشـــت مواد هوازده (اشـــکال ماکروژلیو و میکروژلیو) به صـــورت ریزش ســـنگ‌ها یا لغزش توده‌های سـنگی آب بندهایی را در مسـیر آبراهه‌های اصـلی تشکیل می‌دهند. جمع شدن آب پشت این آب بندها و از بین رفتن آن‌ها، سـبب طغیان‌های سـهمگین در پایین دسـت رودخانه‌ها می‌شود. انتقال مواد مذکور به بخش‌های پایین دامنه‌ها علاوه بر تهدید جدی مساکن روستایی، فعالیت‌های کشاورزی و باغداری را نیز محدود می‌کند (شکل ۹).

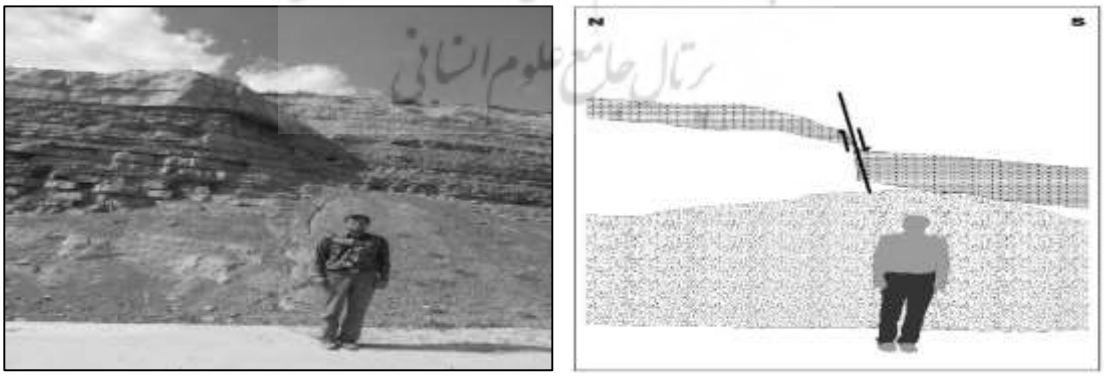
شکل ۹- وجود ریزش‌های سنگی در محدودهٔ اطراف روستای بند و آسیب به درختان

پرتال جامع علوم انسانی

علاوه بر ریزش‌های سـنگی و واریزه‌ها، در منطقهٔ مورد مطالعه آبرفت‌های سـســت تا حدودی مسـتحکم با ارتفاع بیش از ۷ متر در نقـاط ۲، ۸، ۹ و ۱۵ در عکس ماهواره‌ای نشـــان داده شـــده اســـت که اکثریت در مجاورت با جادهٔ مواصـلاتی هسـتند که بعضـاً با وقوع پدیده‌های ناپایداری دامنه‌ای مانند خزش (نقطه ۱) و ریزش‌های دامنه ای در نقاط ۵ و ۱۵ دیده می‌شوند (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- وجود پدیده خزش و رسوبات آبرفتی سست با ارتفاع بیش از ۷ متر نزدیک به جاده مواصلاتی

گسل های منطقه مورد مطالعه: در منطقهٔ مورد مطالعه، گسل‌های نرمالی وجود دارند که به سمت بالا حالت مقعر دارند. این گسل‌ها دارای شیب ملایم در نزدیکی سطح زمین هستند اما در اعماق، حالت مسطح دارند این نوع گسل در سنگ‌های ماسه‌سنگ منطقه دیده می‌شوند. در این منطقه ریزش‌های سنگی و واریزه‌های مرتبط با گسل خوردگی نرمال که شکستگی‌های کششی در امتداد این گسل در ماسه‌سنگ‌های منطقه روی داده است، مشاهده می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- وجود گسل خوردگی نرمال در منطقهٔ مورد مطالعه که منجر به شکستگی‌های فراوان در دیواره‌های سنگی شده است.

در واکنش به نیروهای تکتونیکی علاوه بر گسل خوردگی و چین خوردگی درزه‌هایی نیز در کلیهٔ سنگ‌های منطقه به وجود آمده‌اند. در منطقهٔ مورد مطالعه، درزه‌ها از جمله ساختارهایی هستند که بیشتر خودنمایی می‌کنند، یا به عبارت دیگر می‌توان گفت چون درزه‌ها از جمله نقاط ضعف پوسته هستند، به راحتی فرسایش یافته‌اند به خصوص در مناطق آهکی و ماسه‌سنگی که قسمت اعظم منطقهٔ مورد مطالعه را در بر می‌گیرد و اهمیت خود را در منطقه نشان می‌دهند (شکل ۱۲).

شکل ۱۲- وجود درزه‌های فراوان در دیواره‌های سنگی مشرف به جادهٔ مواصلاتی

٤- جمع بندی

۱- شکستگی‌های منطقهٔ مورد مطالعه محسوس‌ترین عوارض تکتونیکی می‌باشند به طوری که با شیب تند نسبت به لایه بندی‌ها تشکیل شده‌اند که نشان دهندهٔ چین خوردگی ملایم در منطقه هستند و در بسیاری از موارد ارتباط خوبی با وضعیت چین خوردگی واحدهای سنگی نشان می‌دهند. این شکستگی‌ها بیشتر از لحاظ تکتونیکی جوان هستند.

۲- در جادهٔ ارومیه ـــ سیلوانا، تحرک شدید گسل‌های راندگی و مخفی موجب خرد شدگی شدید سنگ‌ها و ایجاد درزه و شکستگی‌های فراوان شده است.

۳- بـا توجـه بـه تغییرات آب و هوایی در طول سـال در منطقهٔ مورد مطالعه، عامل اقلیم به همراه عامل تکتونیک باعث فرسایش شدید رخنمون‌های منطقه شده است و حجم واریزه‌ها را در پای کوه‌ها افزایش داده است.

٤- تکتونیزه شـدن منطقهٔ مورد مطالعه دلیل اصـلی ریزش‌های سـنگی در منطقه است بنابراین همچنان که در نقشهٔ پهنه‌بندی میزان خطر در منطقه مشـاهده می‌شـود. روسـتاها و راه‌های ارتباطی تحت تأثیر گسل‌ها و ریزش‌های دامنه‌ای در مناطق با خطر زیاد قرار دارند.

۵- طبق نقشـهٔ پهنه‌بندی میزان خطر ریزش سـنگ در منطقهٔ مورد مطالعه، سـازه‌های مهندسـی با پی نقطه‌ای مانند ایسـتگاه‌های توزیع برق و سـازه‌های مهندسـی بسیار بزرگ مانند سد شهرچایی در مناطق با خطر متوسط تا بسیار زیاد قرار دارند بنابراین باید عملیات پایدارسازی دامنه‌ای در این مناطق انجام شود.

٦- علاوه بر ریزش‌های سـنگی، با توجه به بالا بودن سـطح آب زیر زمینی و وجود آبرفت‌های سـسـت با ارتفاع بیش از ۷ متر در منطقهٔ مورد مطالعه، پدیدهٔ خزش در بعضـی نقاط از روسـتاهای منطقه و راه‌های ارتباطی دیده شـده است که باید روستاها و راه‌های ارتباطی طبق نقشهٔ پهنه‌بندی میزان خطر به محدوده‌های با خطر کمتر منتقل شوند.

کتابنامه

ارومیه‌ای، علی؛ امین زاده، محمد؛ ۱۳۷۷. ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز هلیل رود. *مجموعه مقالات دومین همایش ملی دانش زمین و راه‌های مقابله با خطرات آن*. صفحات ۳٤۵-۳٤۹.

آقانباتی، علی؛ ۱۳۸۳. *زمین‌شناسی ایران*. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸٦ صفحه.

چپی، کامران؛ شیرزادی، عطا الله؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب نژاد، محمود؛ ۱۳۸۹. مقایسهٔ مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ. *نشریهٔ مرتع و آبخیزداری. مجلهٔ منابع طبیعی ایران*. دوره ٦۳. شماره ٤. صفحات ٤۸۹-۵۰۲.

حاجی حسینلو، حسن؛ نصیری، مهسا؛ ۱۳۹٤. تحلیل ساختاری از سیستم شکستگی‌های بند ارومیه. *فصلنامهٔ زمین ساخت*. سال اول. شمارهٔ ٤.

رجایی، علی؛ ۱۳۷۳. *ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه ریزی و عمران ناحیه ای*. چاپ اول. نشر قومس. ۳۲۸ صفحه.

شیرزادی، عطاالله؛ موسوی، زهره؛ کاویان، عطاالله؛ ۱۳۸۹. ساخت مدل منطقه ای خطر ریزش سنگ در طول جاده های کوهستانی با استفاده از شاخص هم پوشانی و GIS (مطالعه موردی: کردستان، گردنه صلوات آباد). *پژوهش‌های آبخیز داری*. شماره ۸۹. صفحات ۸۲ ـ ۹۱.

علایی طالقانی، محمود؛ جلیلان، ستار و رضاپور، علی؛ ۱۳۹٤. بررسی ژئومورفولوژیکی خطر ریزش سنگ در مسیر جاده کرمانشاه ایلام، از شهر حمیل تا روستای شباب. *جغرافیا و پایداری محیط*. شماره ۱٤. صفحات ۱۷ ـ ۲۸.

غفاری گیلانده، عطا؛ مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز؛ ۱۳۹٤. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال سوم. شماره ٤. صفحات ۱۲٤-۱٤۱.

معماریان، حسین؛ ۱۳۷۷. *زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک*. چاپ دوم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

موسوی، زهره؛ شیرزادی، عطاالله؛ شیرزادی، بهنام؛ ۱۳۸۹. بررسی حساسیت خطر عوامل مؤثر بر ریزش سنگ در طول جاده های کوهستانی با استفاده از تحلیل آماری نسبت فراوانی. *مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیز داری ایران (مدیریت بلایای طبیعی)*.

مهدوی فر، محمد رضا؛ منتظرالقائم، سعید؛ ۱۳۸۲. مطالعات پیشاهنگ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در جنوب البرز مرکزی. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. گزارش طرح تحقیقاتی برای کمیته فرعی- تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین.

A bolmasod, B. & Stojkov, K., 1994. The influence of the landslide on urban planning in Belgrade city, Proc. Of 7th. International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal, 3: 2161-2168

Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology, 32: 269-278.

Gerber, W., Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Jaboyedoff, M., 2011. Rockfall characterisation and structural protection a review, Natural Hazards and Earth System Sciences, N 11, pp 2617–2651.

Hantz, D., Vengeon, J.M., Dussauge-Peisser, C., 2003. An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment. Natural Hazards and Earth SystemSciences 3, 693–701.

Selby, M., J., 1985. Earth's changing surfaces, An introduction geomorphology. Clarendon press. Transportation Research Board (TRB)., 1996. Landslides, Investigation and Mitigation. National Research Council, Special Report 247, Washington, D.C., 673 pages.

Tunusluoglu, M. C., Zorlu, K., 2009. Rockfall Hazard Assessment in a Cultural and Natural Heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey), Environmental Geology, Vol. 56, No. 5, PP. 963-972.

Turrini, M. C., Semenza, P. & Abu Zeid, N., 1994. Landslide Hazard Zonation of the Alpago Area (Belluno, Northern Italy)", 7th. International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal, Vol.3, pp. 2181-2189.