



ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای)

عقیل مددی*، دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی
عطا غفاری، استادیار دانشگاه محقق اردبیلی
الناز پیروزی، کارشناس ارشد دانشگاه محقق اردبیلی

وصول: ۱۳۹۲/۱۰/۴ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳، صص ۸۰-۶۳

چکیده

ناپایداری دامنه‌ها و ریزش‌ها از خطرات اصلی در مناطق کوهستانی است. حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای با داشتن چهره کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، لیتولوژی و اقلیمی، عمده شرایط لازم جهت شکل‌گیری حرکات ریزشی را دارد. این پدیده همه ساله موجب به مناطق مسکونی، تخریب راه ارتباطی و رسوب‌زایی گسترده و پر شدن مخزن سد یامچی و بستر رودخانه از رسوب می‌شود. بنابراین هدف تحقیق حاضر تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش است. در این مطالعه ابتدا با بررسی‌های میدانی و مطالعه منابع، دوازده عامل به عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد ریزش در منطقه شناسایی شدند. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از آبادی، بارش، تعداد روزهای یخبندان، نوسان دما، کاربری اراضی و خاک است. سپس لایه‌ها اطلاعاتی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ویکور به عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی در پنج طبقه با خطر بسیار کم تا بسیار زیاد تهیه شد. طبق نتایج به دست آمده ۱۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و ۴۸ درصد در طبقه پرخطر قرار دارد. طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در منطقه کوهستانی قسمت شمالی و جنوب غربی حوضه مورد مطالعه قرار دارد. این مناطق خطراغلب دارای شیب‌های بالای ۴۰ درصد، دیواره‌های عمودی و پرتگاهی و سنگ‌های آتش‌فشانی و آذرین هستند. به طور کلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق‌لاقان‌چای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد حرکات ریزشی است. لذا انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آق‌لاقان‌چای، پهنه‌بندی، ریزش، مدل ویکور.

مقدمه

(ساکار و همکاران^۵، ۱۹۹۵:۳۰۱). حوضه آبخیز آق لاقان چای که در دامنه جنوب شرقی رشته کوه سبلان قرار گرفته است، دارای چهره کوهستانی و پرشیب است. به علت اینکه بیش از ۷۵ درصد از مساحت حوضه از سنگ‌های آتش فشانی درز و شکاف‌دار تشکیل شده و با توجه به شرایط اقلیمی و حاکمیت سیستم پریگلاسیر و هوازدگی مکانیکی بسیار بالا از پتانسیل فراوانی برای وقوع حرکات ریزشی برخوردار است. لذا مطالعه و پهنه‌بندی سطح حوضه از نظر رخداد حرکت ریزشی منطقه ضروری می‌نماید.

اکثر مطالعات انجام شده در زمینه حرکات دامنه‌ای بیشتر به زمین لغزش معطوف بوده و به سایر حرکات دامنه‌ای، به ویژه ریزش، علی‌رغم خطر آفرین بودن آن متأسفانه توجه کم‌تری شده است. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: بیانی خطیسی (۱۳۸۶) پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی را در محدوده مخاطره آمیز قرانقوچای انجام داد. بنابر نتایج حاصل از این مطالعه، ۱۰ درصد از مساحت حوضه دارای خطر خیلی زیاد است و تپه‌های مجزا و متشکل از مواد آذرین بیشترین وسعت مناطق با حساسیت شدید را به خود اختصاص داده است. قاضی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) در مسیر جاده چالوس (پل زنگوله- مرزن آباد) به منظور ارزیابی خطر سنگ ریزش از نظریه مخروط افت استفاده کردند، و نتایج مطالعه بیانگر این موضوع است که خطر ریزش سنگ رابطه مستقیمی با شیب دامنه‌های سنگی و شرایط توپوگرافی منطقه دارد. چپی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای از مدل‌های رگرسیون

حرکات توده‌ای، فرآیندهای ژئومورفولوژیک طبیعی هستند که بر اساس ویژگی‌های خاص محیطی یک محل اتفاق می‌افتند (گلد^۱، ۲۰۰۳:۲۳). هر رویداد ژئومورفولوژیک که اثر نامطلوب اجتماعی، اقتصادی بر سیستم زندگی انسان برجای می‌گذارد را می‌توان یک خطر ژئومورفیک نامید (آلنتارا^۲، ۲۰۰۲:۱۱۹). ریزش‌های سنگی از رایج‌ترین حرکات توده‌ای، خطرناک‌ترین حرکات دامنه‌ای و از خسارت‌بارترین پدیده‌های طبیعی هستند (بیانی خطیسی، ۱۳۸۶:۳۸). ریزش دامنه‌ها، به عنوان تهدیدی برای جاده‌ها، بزرگراه‌ها، راه آهن و مناطق مسکونی در بسیاری از مناطق کوهستانی جهان محسوب می‌شوند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹:۲). ریزش شامل حرکات ناگهانی یا تند بلوک‌های لق شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های جدا شده از دیواره‌های سنگی پرشیب است (چائو و همکاران^۳، ۲۰۰۴:۳۸۵). ریزش سنگ‌ها عمدتاً در شیب‌های بالا با دیواره‌های پرشیب که حالت عمودی و پرتگاهی داشته و در مناطق عاری از پوشش و به صورت سنگی و صخره‌ای به وقوع می‌پیوندد (نادر صفت، ۱۳۸۳:۶۳). از مهمترین روش‌های مطالعه انواع حرکات دامنه‌ای اعم از ریزش، پهنه‌بندی است. پهنه‌بندی، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع در زمان معینی است (بل و گلد^۴، ۲۰۰۴:۲۳۶). به طور مسلم پهنه‌بندی نقش غیر قابل انکار را در مدیریت حوضه‌های رودخانه‌ای و کوهستانی ایفا می‌نماید

- 1 Glade
- 2 Alcantara
- 3 Chau et al
- 4 Bell & Glade

استفاده از این مدل در پهنه‌بندی ریزش منطقه بسیار مناسب است. گربر و همکاران^۳ (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به بررسی کلی، انواع مدل‌های مطرح در پهنه‌بندی ریزش و نیز اقدامات حفاظتی در راستای مقابله با این خطر پرداختند.

معرفی حوضه مورد مطالعه

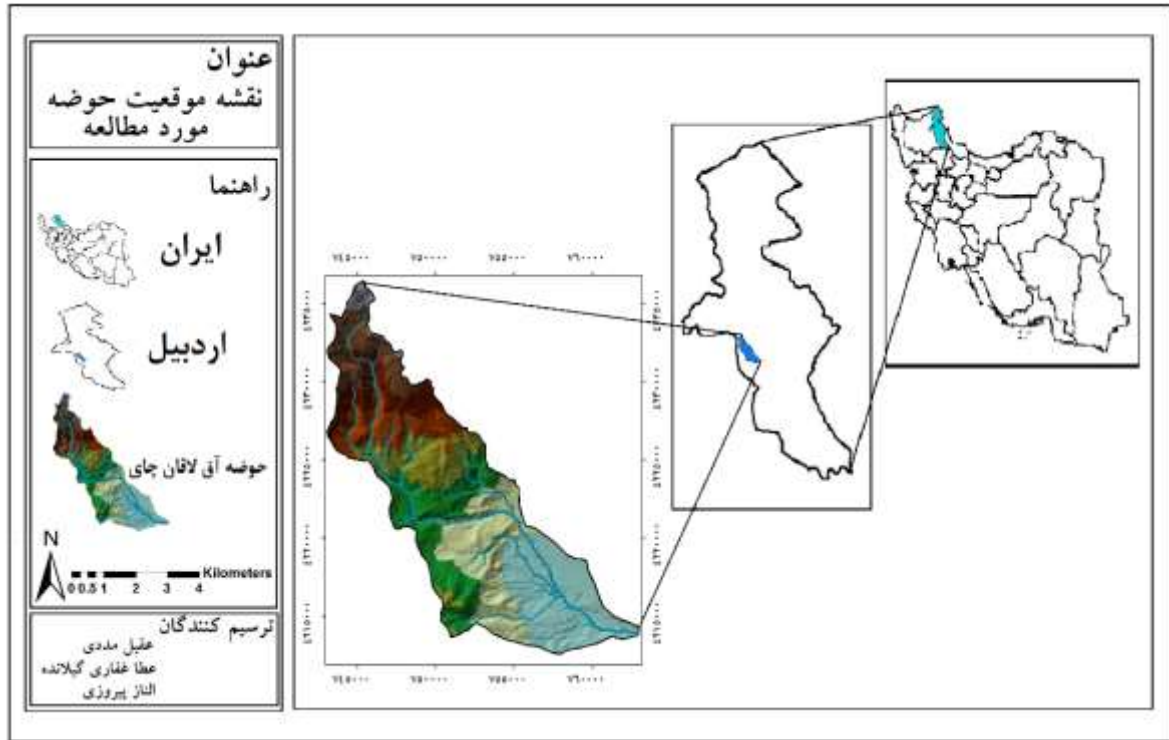
حوضه آبخیز آق لاقان چای با وسعت ۱۶۶ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه طول شرقی قرار گرفته است، و از زیر حوضه‌های بالیخلوچای اردبیل محسوب می‌شود. این حوضه در شمال غرب ایران، در غرب استان اردبیل، در شمال شهرستان نیر و در دامنه جنوب شرقی کوه سبلان واقع شده است (شکل ۱). حوضه مورد مطالعه از شمال با قله سبلان، از جنوب با حوضه امام چای، از شرق با جوراب چای و سرعین و از غرب با حوضه بیوک و گردنه ساین هم جوار است. این حوضه از ارتفاعات سبلان سرچشمه می‌گیرد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۸۰ متر از سطح دریا است. شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است. با توجه به داده‌های هواشناسی و روش‌های تعیین اقلیم دمارتون و آمبرژه، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد است. از نظر زمین ساختی منطقه مطالعاتی در زون زمین ساختی البرز غربی-آذربایجان قرار دارد.

لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی ریزش گردنه صلوات آباد کردستان استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند، که رگرسیون لجستیک بهترین کارایی را در منطقه مطالعاتی دارد. شیرزادی و همکاران (۱۳۸۹) به پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در طول جاده‌های کوهستانی کردستان، گردنه صلوات آباد با استفاده از شاخص هم‌پوشانی و GIS پرداختند، نتایج مطالعه نشان داد که در شیب‌های بیش از ۴۰ درجه و مناطق نزدیک به گسل با دیواره‌های عمودی بیشترین ریزش‌های منطقه اتفاق افتاده است. مدلل دوست و اولادزاده (۱۳۸۹) پهنه بندی خطر سنگ ریزش در جاده هراز را براساس تعیین مسیر سنگ ریزش در محیط GIS انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که شیب‌های بالای ۶۰ درصد و دارای مواد واریزه‌ای بیشترین مناطق پرخطر را تشکیل می‌دهند. غفوری و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه مکانیسم سقوط سنگ در روستای یدک در شمال خراسان با استفاده از برنامه Rock fall پرداختند، به این نتیجه رسیدند که تغییرات شیب دامنه و ضریب ارتجاعی مواد سازنده‌ی دامنه‌ها، بیشترین نقش را در ریزش‌های منطقه دارد. باترسون و همکاران^۱ (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای ارزیابی خطرات زمین‌شناسی از جمله سنگ ریزش را در دره هامبر در شمال شرق آوالون در کانادا انجام دادند، و به این نتیجه دست یافتند که در شیب‌های ۲۲ تا ۳۰ درجه بیشترین ریزش‌های منطقه اتفاق افتاده است. دورن و همکاران^۲ (۲۰۱۰) در رشته کوه‌های آلپ از مدار اتریش تا سوئیس با استفاده از مدل Rock Fall به بررسی خطر ریزش پرداختند و به این نتیجه رسیدند،

1 Batterson et al

2 Dorren et al

3 Gerber et al



شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه آق لاقان چای در ایران و اردبیل

مواد و روش

در این تحقیق ابتدا مبانی نظری مربوط به موضوع بررسی گردید. سپس با توجه به این امر که ریزش‌ها همچون سایر حرکات توده‌ای نتیجه عملکرد چندین عامل و حاصل تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر است، با استناد به مرور منابع داخلی و خارجی و مشاهدات میدانی، عوامل مؤثر در وقوع ریزش حوضه مورد مطالعه شناسایی شد. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از آبادی (شهر و روستا)، بارش، تعداد روزهای یخبندان، نوسان دما، کاربری اراضی و خاک است. در مرحله بعد لایه‌های عوامل

تأثیر گذار در وقوع لغزش را در طی مراحل زیر در محیط ARC GIS تهیه کردیم. لایه اطلاعاتی شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از آبادی و فاصله از آبراهه با استفاده از مدل رقومی نقشه توپوگرافی شهرستان نیر با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. لایه اطلاعاتی لیتولوژی و فاصله از گسل با استفاده از نقشه زمین‌شناسی مشگین شهر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ بدست آمد. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه پوشش گیاهی شهرستان نیر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. لایه اطلاعاتی بارش، تعداد روزهای یخبندان و نوسان دما با استفاده از آمارهای هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی سازمان

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چند معیاری، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس به صورت (رابطه ۱) است.

رابطه (۱)

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

یک مجموعه معیارها باید دارای آندسته از خصوصیتی باشند که به اندازه کافی معرف طبیعت چند معیاری یک مسئله ارزیابی به حساب آیند (مالچفسکی^۵، ۱۳۸۵: ۱۵۵). در جدول (۱) ماتریس معیارهای مطرح در پهنه‌بندی ریزش حوضه آق لاقان چای نمایش داده شده است.

هواشناسی استان (آمارهای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، ایستگاه‌های اردبیل، سرعین، نیر و لای) و تهیه گرادیان بارش، دما و تعداد روزهای یخبندان تهیه شد. جهت تهیه نقشه خاک حوضه، از نقشه خاک استان و نقشه خاک تهیه شده توسط سبحانی (۱۳۷۶) که با پیمایش‌های میدانی تهیه شده است، استفاده شد. در نهایت، به علت اینکه روش تصمیم‌گیری چند معیاره چهار چوب تصمیم‌گیری مناسب برای برنامه-ریزی محلی است (آنادا^۱، ۲۰۰۸: ۳۳۴). در این مطالعه، از مدل ویکور^۲، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاری، جهت پهنه‌بندی پتانسیل وقوع ریزش در حوضه آق لاقان چای استفاده شد.

مدل VIKOR

این روش مبتنی بر برنامه ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است (چن و وانگ^۳، ۲۰۰۹: ۲۲۴). در شرایطی که فرد تصمیم گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسأله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود (عطائی، ۱۳۸۹: ۸۷). اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده سازی فازی ویکور دارای گام-های زیر است (آپروبیچ و تزنگ^۴، ۲۰۰۶: ۲).

- 1 Anada
- 2 Vlsekkriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (واژه صربستانی)
- 3 Chen & Wang
- 4 Opricovic & Tzeng

جدول (۱) ماتریس معیارهای مطرح در پهنه‌بندی ریزش حوضه مطالعاتی

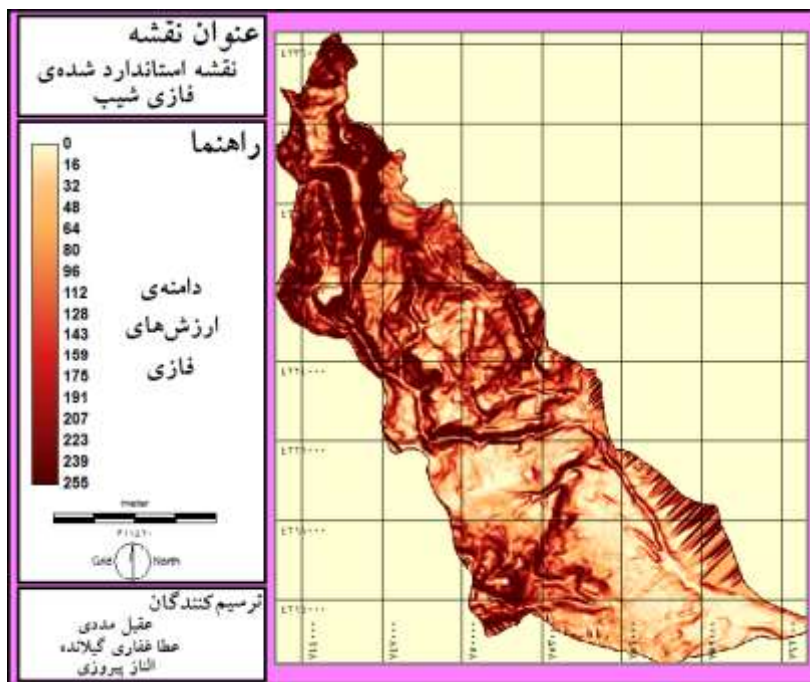
معیار پیکسل	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	کاربری	خاک	فاصله از ازگسل	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	فاصله از آبادی	روزهای یخبندان	نوسان دما	بارش
پیکسل ۱	x11	X12	X13	X14	X15	...	...	...	...	...	...	X1n
پیکسل ۲	X21	x22	X23	X24	X25	...	...	...	...	...	...	X2n
.
پیکسل m	Xm1	Xm2	Xm3	Xm4	Xm5	...	...	...	...	...	...	xmn

فاصله از آبراهه (شکل ۳)، به صورت نمونه از بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی ریزش حوضه آق لاقان جای نمایش داده شده است. در رابطه با عامل شیب با توجه به این موضوع که ریزش‌ها در دامنه‌های پرشیب اتفاق می‌افتند به تبع در این مطالعه نیز هر چه مقدار شیب افزایش می‌یابد مقدار ارزش داده شده نیز افزایش پیدا می‌کند (۲۵۵) و برعکس با کاهش مقدار شیب، ارزش فازی نیز به سمت صفر میل می‌نماید. در مورد معیار فاصله از شبکه آبراهه، می‌توان گفت، در فواصل نزدیک به شبکه آبراهه، جریان آب با زیربری و شستشوی پاشنه دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه موجب افزایش حرکات دامنه‌ای مخصوصاً از نوع ریزشی می‌گردد. به همین منظور نواحی مستعد جهت ایجاد ریزش که منطبق بر فواصل نزدیک به شبکه آبراهه حوضه مورد مطالعه هستند، با دامنه ارزشی بالا (۲۵۵) نمایش داده شده‌اند و برعکس نواحی با فواصل دور از شبکه آبراهه، ارزشی کم که به سمت صفر میل می‌نماید دریافت نموده‌اند.

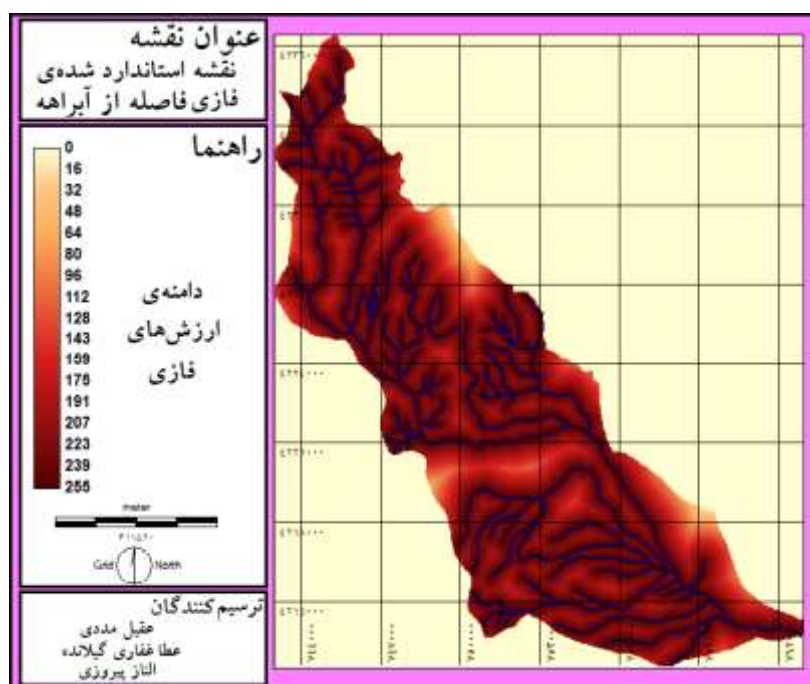
مرحله دوم: استاندارد سازی ماتریس تصمیم است (رابطه ۲). از آن جایی که در اندازه‌گیری معیارها دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا لازم است که معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد (سلمان ماهینی، ۱۳۸۷: ۱۹۰). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر) مانند ۰ الی ۲۵۵) است. (آشور، ۱۳۹۰: ۱۳۱). رابطه (۲)

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \vdots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

در مجموعه‌های فازی، به طور ویژه‌ای، به یک زیر مجموعه A از موضوع بحث U پرداخته می‌شود که در آن درجه عضویت بواسطه تابع عضویت $\mu_A(x)$ بیان می‌گردد (غلامی، ۱۳۹۰: ۵۸). دو نقشه استاندارد شده فازی شیب (شکل ۲) و نقشه استاندارد شده فازی



شکل (۲) نقشه‌های استاندارد شده فازی شیب



شکل (۳) نقشه‌های استاندارد شده فازی فاصله از آبراهه

رابطه (۴)

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk})$$

که در آن C_{jk} معرف مجموع تضاد معیار z با معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده و تا $k=m$ ادامه دارد و r_{jk} همبستگی بین دو معیار k و z را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل z را با استفاده از رابطه (۵) می‌توان محاسبه نمود.

رابطه (۵)

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk})$$

که در آن C_j ، معرف میزان اطلاعات معیار z و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار z را نشان می‌دهد. با توجه به روابط فوق، معیارهایی که دارای C_j بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عاملی مانند z از رابطه (۶) تعیین می‌گردد.

رابطه (۶)

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k}$$

که در آن W_j معرف وزن معیار z ، و C_k معرف میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده و تا $k=m$ ادامه دارد. در جدول (۲) مفروضات پایه‌ای و وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی CRITIC در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی ریزش حوضه مورد مطالعه آورده شده است.

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

رابطه (۳)

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

به منظور وزن‌دهی معیارها در این پژوهش از روش CRITIC استفاده شده است. در این روش داده‌ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در روش CRITIC برای هر معیار ارزیابی دامنه‌ای از تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده در میان پیکسل‌ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویت بیان می‌شوند. هر کدام از بردارهای تشکیل شده برای معیارهای مورد استفاده، دارای پارامترهای آماری از جمله انحراف معیار هستند. پس از محاسبه انحراف معیار عوامل، ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده می‌باشد. با تعیین پارامترهای فوق، تضاد موجود بین معیار z با معیارهای دیگر از روی (رابطه ۴) محاسبه می‌شود:

جدول (۲) مفروضات پایه‌ای و وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی CRITIC

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار
۰/۱۳	۱۰۳۸/۷۸	۹۱/۱۱۸	۱۱/۴۰۰	شیب
۰/۰۹	۷۴۲/۶۴۸	۶۵/۵۱۲	۱۱/۳۳۶	جهت شیب
۰/۱۲	۹۶۲/۸۹۳	۸۴/۴۳۷	۱۱/۴۰۴	لیتولوژی
۰/۰۷	۵۸۲/۴۶۲	۴۶/۰۵۲	۱۲/۲۴۸	کاربری
۰/۰۷	۶۱۱/۲۵۰	۵۳/۸۰۳	۱۱/۳۶۱	خاک
۰/۰۷	۶۱۱/۶۶۵	۵۶/۵۱۷	۱۰/۸۲۰	فاصله از گسل
۰/۰۷	۵۷۹/۲۷۵	۵۳/۹۳۲	۱۰/۷۳۹	فاصله از جاده
۰/۰۵	۴۰۵/۲۹۲	۳۷/۲۹۱	۱۰/۸۶۸	فاصله از آبراهه
۰/۰۷	۵۷۲/۲۵۶	۵۳/۵۸۱	۱۰/۶۸۰	فاصله از آبادی
۰/۰۵	۴۵۷/۸۰۷	۳۵/۸۳۰	۱۲/۷۷۷	روزهای یخبندان
۰/۰۶	۵۰۲/۶۲۷	۴۴/۷۸۶	۱۱/۲۲۱	دما
۰/۰۹	۷۶۷/۲۲۹	۷۰/۲۲۳	۱۰/۹۴۰	بارش

مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۹) و R با توجه به رابطه (۱۰) محاسبه می‌شوند:

رابطه (۹)

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

رابطه (۱۰)

$$R_i = \text{Max} \left\{ w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\}$$

که w_j مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار است.

مرحله ششم: محاسبه شاخص VIKOR (مقدار Q) است. مقدار Q با توجه به رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار است. بهترین مقدار (f_j^*) و بدترین مقدار (f_j^-) برای معیارها به ترتیب از روابط (۷ و ۸) محاسبه می‌شوند. در این مطالعه بهترین مقدار برای معیارها با توجه به نقشه استاندارد شده فازی ۲۵۵ و بدترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

رابطه (۷)

$$f_j^* = \text{Max}_i f_{ij}$$

رابطه (۸)

$$f_j^- = \text{Min}_i f_{ij}$$

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R) است. در این

دست آمد. دامنه‌ی ارزشی حاصل از مدل در پهنه‌بندی ریزش حوضه مطالعاتی بین ۰/۰۷ و ۰/۹۶ است که دارای ماهیت فازی هستند و هرچه مقدار ارزش یک پیکسل به سمت عدد ۰/۰۷ نزدیک باشد، بیانگر میزان خطر زیاد جهت شکل‌گیری ریزش است و هرچه میزان مقدار ارزش دریافت پیکسلی به سمت ۰/۹۶ میل نماید گویای پتانسیل کم‌تر آن پیکسل جهت ایجاد ریزش است. در ادامه با توجه به دامنه‌ی مقادیر حاصل از مدل، نقشه خطر ریزش را در محیط ادریسی و با استفاده از دستور Reclass، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر طبقه‌بندی کردیم. شکل (۵) نمایشگر نقشه حاصل از طبقه‌بندی مجدد نقشه خطر زمین لغزش حوضه مطالعاتی است. در جدول (۳) نیز دامنه ارزشی، مساحت و تعداد پیکسل‌های هر یک از طبقات خطر آورده شده است.

رابطه (۱۱)

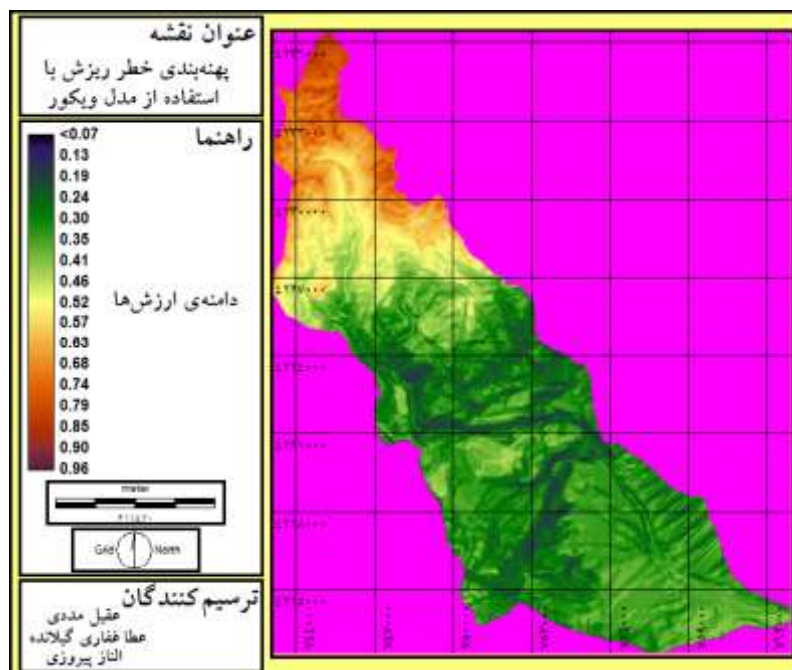
$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right]$$

در معادله فوق $(R^- = \text{Min}R_i, R^* = \text{Max}R_i)$ است. $(S^- = \text{Min}S_i, S^* = \text{Max}S_i)$

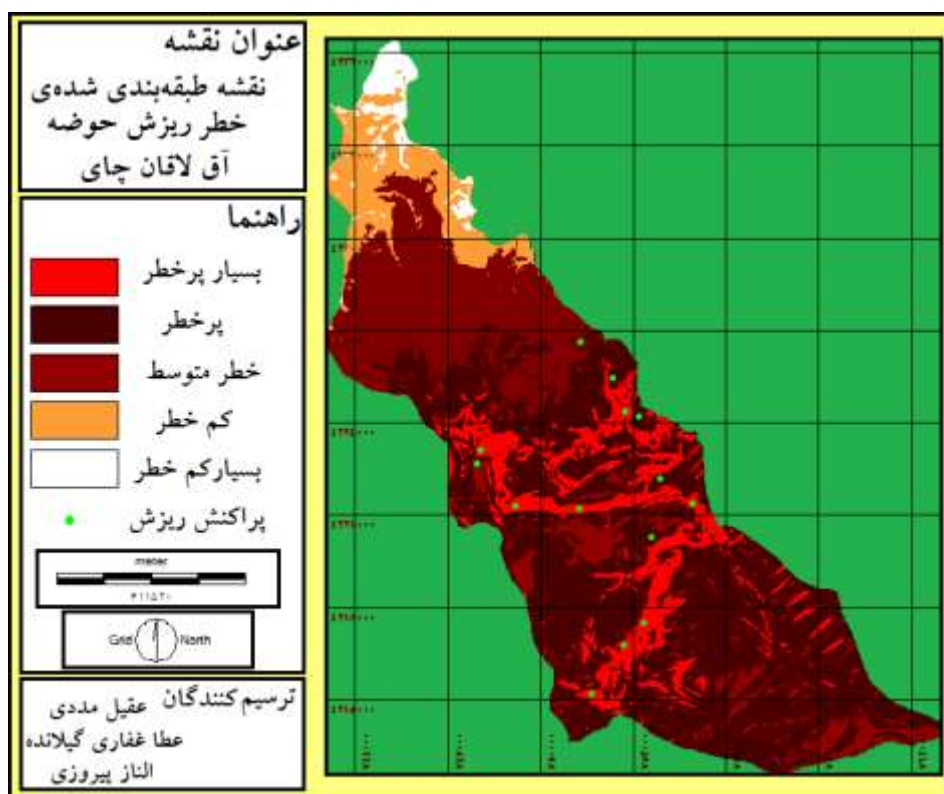
مرحله هفتم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر R، S و Q است. در این مرحله با توجه به مقادیر R، S و Q گزینه‌ها در سه گروه از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و در نهایت گزینه‌ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر شناخته شود.

یافته‌های تحقیق

با توجه به عوامل مؤثر در ایجاد ریزش حوضه مطالعاتی و انجام مراحل مدل ویکور، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل ریزش حوضه آق‌لاقان چای (شکل ۴) به



شکل (۴) نقشه پهنه‌بندی پتانسیل ریزش حوضه آق‌لاقان چای با استفاده از مدل ویکور



شکل (۵) نقشه طبقه‌بندی شده خطر ریزش سنگ در حوضه آق لاقان جای

جدول (۳) اطلاعات طبقات خطر ریزش حوضه آق لاقان جای

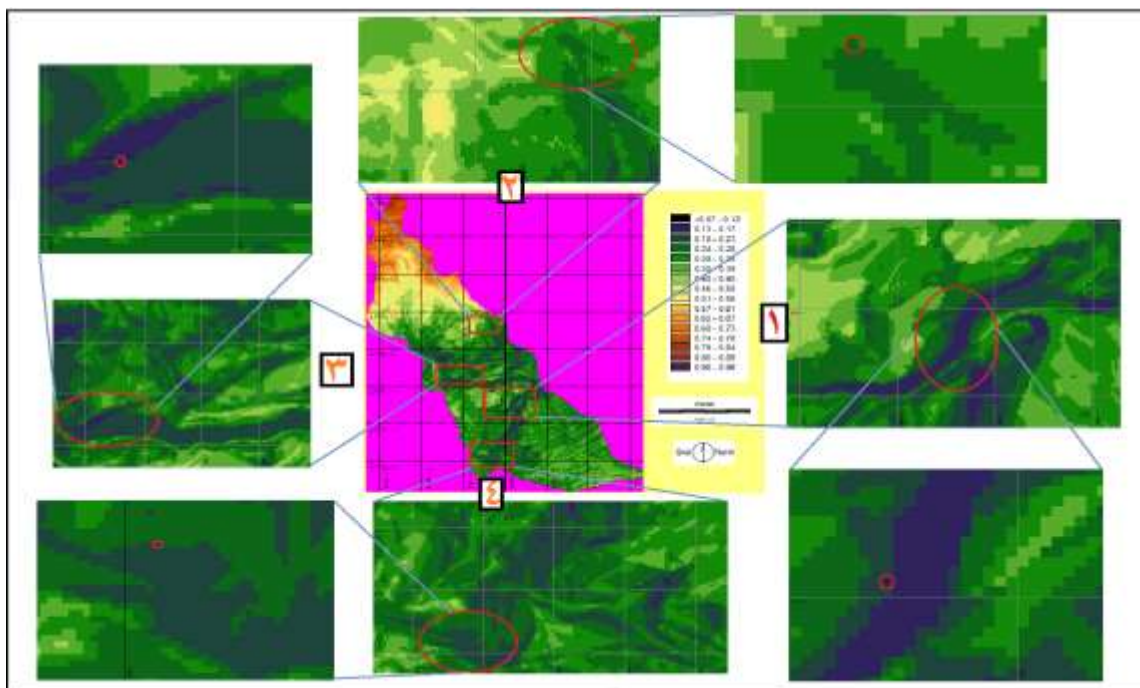
طبقه خطر	دامنه ارزشی	تعداد پیکسل‌ها	مساحت به هکتار
بسیار پرخطر	<۰/۰۷-۰/۲۴	۲۲۱۴۲	۱۹۹۶/۰۶
پرخطر	۰/۲۵-۰/۴۲	۸۶۲۵۱	۷۹۸۴/۲۲
خطر متوسط	۰/۴۳-۰/۵۹	۴۹۱۱۲	۴۶۲۵/۸۸
کم خطر	۰/۶۰-۰/۷۷	۱۳۵۳۳	۱۳۲۶/۳۲
بسیار کم خطر	۰/۷۸-۰/۹۶	۴۵۳۷	۶۲۷/۷۴

ندارد و عاری از پوشش گیاهی است و به صورت برونزدگی‌های سنگی نمایان هستند، لذا سازندهای سطحی که اغلب سنگ‌های آذرین شکاف‌دار هستند، بیشتر در معرض تخریب مکانیکی (در اثر نوسان دما و یخبندان و ذوب یخ) در منطقه مطالعاتی قرار

با بررسی هر یک از طبقه‌های خطر ریزش حوضه مطالعاتی و مقایسه آن‌ها با هر یک از نقشه‌های معیار، به این نتیجه رسیدیم که مناطقی که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در شیب‌های بالای ۴۰ درصد قرار دارد. چون در شیب‌های بالا خاک تحول چندانی

می‌گیرد. دامنه‌های جنوبی و شرقی با رطوبت کمتر و دریافت انرژی بیشتر، کاربری‌های مرتع و رخنمون‌های سنگی با پوشش گیاهی کم، بیشترین پهنه‌های پرخطر را می‌پوشانند. به علت نقش جاده در زیربری دامنه‌ها، نقش آبراهه در زیر شویی و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه، نقش گسل در ایجاد درزو شکاف در سنگ‌ها و نفوذ دادن آب به سازند؛ مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، از نظر معیارهای گسل، راه ارتباطی و آبراهه در فواصل نسبی نزدیک به این عوارض خطی قرار گرفته‌اند. همچنین این مناطق پرخطر به علت نقش ساخت و سازهای غیر اصولی توسط اهالی و تغییر کاربری اراضی در فواصل نسبی نزدیک به آبادی قرار گرفته‌اند. طبقات با خطر زیاد هم چنین به طور عمده با بارندگی ۵۰۰-۳۰۰ میلی‌متر، نوسان درجه حرارت ۹-۱۲ درجه هستند. از آن نظر که هر چه تعداد روزهای یخبندان زیاد باشد، احتمال تولید سنگریزه و خطر سقوط آن زیاد می‌گردد. مناطق دارای خطر اغلب دارای تعداد روزهای یخبندان بین ۱۸۰-۱۳۰ روز هستند. پهنه‌های بسیار کم خطر و کم خطر به طور عمده در شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد واقع در واحد دشت حوضه مطالعاتی، با پوشش سطحی مواد آبرفتی کواترنر، کاربری زراعی، نوسان دمایی و تعداد روزهای یخبندان کم قرار دارند. همچنین این مناطق، در فاصله دور از آبراهه، گسل، راه ارتباطی و آبادی هستند.

برای مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل ریزش با استفاده از روش ویکور در این قسمت سعی گردیده است، بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل‌های معرفی شده به عنوان نقاط پرخطر شکل (۶)، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین شده پرداخته شود. به طور قطع انطباق این نمرات استاندارد شده با ارزش‌های واقعی ثبت شده از معیارها که با توجه به نقشه‌های رقومی به دست آمده است، به درک ملموس‌تر نتیجه حاصل از به کارگیری تابع عضویت در مجموعه‌های فازی و بکارگیری مدل ویکور کمک قابل توجهی می‌کند. با توجه به جدول مربوط به بررسی پیکسل‌های پرخطر (جدول ۴)، نمونه اول با مجموع امتیاز ۲۶۲۴ در ۸ معیار، از میان ۱۲ معیار مطرح در پهنه‌بندی ریزش، ارزش فازی بالای ۲۰۰ را دریافت کرده است. نمونه‌های دوم و سوم نیز با مجموع امتیازهای ۲۳۸۰ و ۲۶۰۹ و به ترتیب نمونه دوم در ۵ معیار و نمونه سوم در ۸ معیار، ارزش بالای ۲۰۰ را به خود اختصاص داده‌اند. نمونه چهارم نیز با نمره سرجمع بیشتری (۲۳۰) نسبت به سایر نمونه‌ها در ۸ معیار، حایز نمره بیش از ۲۰۰ شده است. البته باید توجه داشت هر ۴ نمونه به غیر از معیارهایی که در آنها ارزش بالا دریافت نموده‌اند، در بقیه معیارها نیز نمره قابل قبولی را به لحاظ درجه عضویت در تابع فازی کسب کرده‌اند.



شکل (۶) نقشه پیکسل‌های نمونه مورد بررسی پرخطر در پهنه‌بندی ریزش

جدول (۴) ارزش‌های عادی و فازی نمونه‌های مورد بررسی از پیکسل‌های پرخطر در پهنه‌بندی ریزش

پیکسل نمونه ۴		پیکسل نمونه ۳		پیکسل نمونه ۲		پیکسل نمونه ۱		معیار
ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	
۲۵۵	۴۵	۲۵۵	۴۵	۲۵۵	۴۳	۲۵۵	۴۰ درصد	شیب
۲۵۵	جنوب	۲۵۵	جنوب	۲۵۵	جنوب	۲۵۵	جنوب	جهت شیب
۲۵۵	بسیار مقاوم	۲۵۵	بسیار مقاوم	۲۵۵	بسیار مقاوم	۲۵۵	بسیار مقاوم	لیتولوژی
۱۷۰	مرتع	۲۵۵	رخنمون‌سنگی	۱۷۰	مرتع	۱۲۸	زراعی	کاربری
۲۵۵	لیتوسول	۲۵۵	لیتوسول	۲۵۵	لیتوسول	۲۵۵	لیتوسول	خاک
۲۴۰	۱۸۹/۵۱	۲۲۵	۵۳۳/۸۲	۲۵۵	۲۹/۹۶	۲۵۵	۱۴۱/۲۶ متر	فاصله از آبراهه
۲۳۰	۱۴۰۴/۱۵	۱۷۰	۴۶۴۰/۲۱	۱۷۰	۴۷۰۲/۰۹	۲۳۲	۱۴۹۲/۷۶ متر	فاصله از آبادی
۲۵۰	۴۴۹/۴۳	۱۶۳	۵۰۰۳/۹۰	۱۷۱	۴۵۸۰/۴۱	۲۲۱	۱۷۹۸/۷۳ متر	فاصله از جاده
۱۸۵	۵۹۶۶/۰۶	۲۵۰	۵۲۳/۷۴	۱۲۳	۱۱۱۴/۹۶	۱۹۸	۵۰۴۲/۶۷ متر	فاصله از گسل
۲۲۰	۴۴۹	۲۱۰	۴۸۳	۱۶۸	۵۳۸	۲۶۴	۳۹۲ میلی‌متر	بارش
۱۷۵	۱۰	۱۶۱	۹	۱۴۲	۹	۱۹۸	۱۰/۴۴ درجه	نوسان دما
۱۴۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۶۱	۱۷۷	۱۲۵	۱۳۴ روز	روزهای یخبندان

مطالعه همخوانی دارد. به عبارت دیگر نقاط پرخطر و بسیار پرخطر منطبق بر پراکنش و مکان‌های مربوط به رخداد واقعی ریزش‌هاست. شکل (۷)، نمونه‌ای از تصاویر مربوط به نقاط پراکنش حرکات ریزشی در سطح حوضه‌ی مطالعاتی است که با مطالعات میدانی تهیه شده است. در شکل زیر، تأثیر عوامل مختلف بر شکل‌گیری حرکات ریزشی حوضه آق لاقان چای، به ویژه نقش شیب و لیتولوژی نمایان است.

همچنین در مطالعه حاضر، به منظور بررسی دقیق‌تر موضوع، نتایج حاصل از بکارگیری مدل ویکور، با شرایط طبیعی (اعم از اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی) و نیز شرایط انسانی حاکم بر حوضه، اقدام به تهیه نقشه پراکنش حرکات ریزشی به وسیله‌ی پیمایش‌های میدانی در سطح حوضه‌ی مطالعاتی نمودیم. نتایج حاصل از همپوشانی (overlay)، خروجی حاصل از مدل ویکور با پراکنش نقاط رخداد ریزشی (شکل ۵)، نشان داد که به طور عمده پراکنش نقاط ریزشی حوضه، با نقشه حاصل از



ریزش در ارتفاع ۲۱۷۱ متر، در اطراف روستای لای

ریزش در ارتفاع ۲۱۰۸ در اطراف روستای گوگرچین

شکل (۷) نمونه‌ای از ریزش‌های سنگی در سطح حوضه آق لاقان چای

ریاضی، تمامی مقادیر نسبت داده شده به معیارها از نوع کمی باشند و در صورت کیفی بودن نسبت داده شده به معیارها، می‌باید آن‌ها را به مقادیر کمی تبدیل کرد. یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های روش‌های مبتنی بر فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل در این است که به تناسب گستردگی معیارهای در نظر گرفته شده، رتبه‌بندی و اطلاعات قابل توجهی را در مورد فاصله نسبی هر

در نهایت می‌توان گفت بر اساس روش ویکور، بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به طور همزمان نزدیک‌ترین واحد به نقطه ایده‌آل و دورترین واحد از نقطه متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازهای مهم این روش آن است که به طور همزمان می‌توان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده کرد. با این حال لازم است در این مدل هنگام محاسبات

گزینه نسبت به نقطه‌ی ایده‌آل در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بنابراین معضل منتج از پیش فرض استقلال گزینه‌ها که در روش‌هایی چون AHP وجود دارد، مرتفع می‌شود. زیرا هر گزینه (پیکسل) در کلیت خود و در ماحصل ارزش‌های منبعث از مجموعه صفات، یک صورت وضعیت کسب می‌کند که با صورت وضعیت ایده‌آل مقایسه می‌شود. مثال ملموس‌تر این قضیه را می‌توان در رابطه با شخصیت یک فرد مطرح کرد که می‌تواند با یک شخصیت ایده‌آل مقایسه شود. در این شرایط با ماحصل مجموعه‌ای از صفات مختلف که در قالب یک شخصیت عینیت یافته روبرو هستیم و شخصیت به صورت یک کل با شخصیت ایده‌آل به منزله‌ی یک کل مقایسه می‌شود. بنابراین وابستگی متقابل پیچیده در بین صفات معضلی ایجاد نمی‌کند. از سوی دیگر، استفاده از روش CRITIC، در وزن‌دهی معیارها در تحقیق حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر است که به هنگام مقایسه زوجی در چهارچوب روش AHP و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات عینیت می‌یابد. زیرا در این روش وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

نتیجه‌گیری

ریزش‌های سنگی یکی از فرآیندهای مهم و غالب در حوضه آق لاقان چای محسوب می‌گردد، در این مطالعه جهت بررسی پتانسیل حرکات ریزشی در حوضه‌ی آق لاقان چای از مدل ویکور، به عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده

کردیم. با توجه به پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل ویکور، ۱۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و ۴۸ درصد از مساحت حوضه نیز در طبقه پرخطر قرار دارد. به طور عمده این پهنه‌ها، در مناطق مرتفع که بیشتر از سنگ‌های آتش فشانی و آذرین تشکیل شده‌اند، در شیب‌های بالای ۴۰ درصد با دیواره‌هایی با حالت عمودی و پرتگاهی و مشرف بر دره‌های تند شیب در منطقه و در واحد کوهستانی واقع در قسمت شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. پهنه‌های بسیار کم خطر و کم خطر نیز در واحد توپوگرافی دشت، با شیب کمتر از ۲۰ درصد به همراه مواد آبرفتی قرار دارد. با توجه به نتایج مطالعه، شیب، لیتولوژی و جهت شیب به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری حرکات ریزشی در سطح حوضه مطالعاتی است. در حوضه آق لاقان چای واحدهای مختلف سنگ شناسی منطقه به صورت آتش فشانی و رسوبی گسترده شده است. از جمله این واحدها می‌توان به گدازه‌های آندزیتی، گدازه‌ها و گنبدهای داسیتی، تراکی آندزیتی، بازالت و مواد آتش فشانی ایگنمبریت و توف قطعات انفجاری سبلان به همراه سنگ‌های رسوبی تراورتن، پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی که از تخریب و فرسایش سنگ‌های آتش فشانی حاصل شده‌اند، اشاره کرد. به علت اینکه بیش از ۷۵ درصد از مساحت حوضه از سنگ‌های آتش فشانی تشکیل شده است، در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر، سنگ‌های آتشفشانی دارای درز و شکاف‌دار که اغلب با پوشش خاک کمتر در سطح دامنه‌ها ظاهر شده‌اند، تحت تأثیر عواملی مثل، نوسان دما و یخبندان و ذوب یخ قرار گرفته و

با ایجاد قطعات ریز و درشت سنگی در اثر تخریب و هوازدگی شدید مکانیکی، منجر به شکل‌گیری ریزش‌های سنگی در سطح حوضه آق لاقان چای می‌شوند. همچنین، عامل شیب نیز به حرکات قطعات سنگی به صورت ریزش در سطح حوضه آق لاقان چای کمک می‌کند. در نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف بر دره‌ها در حوضه‌ی آق لاقان چای، میزان شیب بین ۶۰-۴۵ درصد است و در برخی نقاط کوهستانی حتی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز می‌رسد. لذا به علت وجود شیب زیاد در منطقه، در درجه‌ی اول، در شیب‌های بالا خاک تحول‌چندانی نداشته و منطقه عاری از پوشش بوده و به صورت بیرون زدگی‌های سنگی نمایان هستند. به همین دلیل این مناطق پر شیب و اغلب پرتگاهی، بیشتر در معرض تخریب مکانیکی قرار می‌گیرند و دارای حساسیت بیشتری نسبت به ریزش هستند. از سوی دیگر، به خاطر وجود شیب زیاد در منطقه، مواد تخریبی حاصل از هوازدگی، به صورت مواد ریز و درشت سنگی به سمت پایین دامنه حرکت می‌کنند و منجر به شکل‌گیری حرکات ریزشی می‌شوند. در مورد عامل جهت نیز می‌توان گفت که، جهت شیب نقش غیر قابل انکاری را در میزان و نوع هوازدگی سنگ‌ها، جذب و دریافت انرژی خورشیدی، تراکم پوشش گیاهی و میزان رطوبت در حوضه مورد مطالعه ایفا می‌کند. دامنه‌های جنوبی و شرقی به دلیل رطوبت کم-تر، جذب انرژی زیاد و تبخیر بیشتر (به دلیل رو به آفتاب بودن دامنه) در معرض هوازدگی مکانیکی و فیزیکی قرار دارند و به همین دلیل بسیار مستعد وقوع حرکات ریزشی هستند.

باتوجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بررسی موردی پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی شده در خروجی حاصل از مدل و مقایسه آن با نقشه پراکنش حاصل از پیمایش‌های میدانی و همچنین شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه می‌توان، نتیجه گرفت که استفاده از مجموعه‌های فازی، روش وزن‌دهی CRITIC و در نهایت مدل ویکور به عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی ریزش حوضه آق لاقان چای برخوردار بوده است که نشانگر توانمندی‌های این فنون و ابزارها در نقش‌آفرینی به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS^۱)، برای انتخاب گزینه‌های مناسب است.

نتایج حاصل از این مطالعه همچنین حاکی از توان بالای حوضه از لحاظ رخداد حرکات ریزشی است، لذا اراضی بسیار پرخطر و پرخطر اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری در آن انجام گیرد. همچنین به دلیل اثرات تخریبی که حرکات ریزشی برجاده‌ها، بزرگراه‌ها و مناطق مسکونی دارند. پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربط از جمله اداره کل منابع طبیعی، اداره‌ی راه و ترابری، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای و... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در حوضه آق لاقان چای، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و

مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌های پهنه‌بندی ریزش منطقه را نیز مد نظر قرار دهند.

منابع

آشور، حدیثه، (۱۳۹۰)، بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه‌های شهرک صنعتی آمل در مکان‌گزینی واحدهای صنعتی (صنایع کوچک و متوسط)، پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد، استاد راهنما: عطا غفاری گیلانده، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.

بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۶)، خطر ریزش‌های سنگی در دامنه‌های شرقی سهند و پهنه‌بندی محدوده‌های مخاطره‌آمیز در حوضه قرانقوچای، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۴، شماره ۲۸، صص ۱۷-۵۲.

بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی شیب‌های پرخطر و کوهستانی شبکه ارتباطی روستاهای واقع در حوضه قرانقوچای، مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۲۰، صص ۲۳-۴۳.

چی، کامران و همکاران، (۱۳۸۹)، مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۴، صص ۴۸۹-۵۰۲.

سبحانی، بهروز (۱۳۷۶)، تجزیه و تحلیل قابلیت رسوب‌دهی حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استاد راهنما: منوچهر فرج‌زاده، دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور.

سلمان ماهینی، عبدالرسول و همکاران، (۱۳۸۷)، ارزیابی توان طبیعت گردی شهرستان بهشهر بر مبنای روش ارزیابی چند معیاره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره یازدهم، شماره یک، صص ۱۷۸-۱۸۹.

شیرزادی، عطاالله و همکاران، (۱۳۸۹)، ساخت مدل منطقه‌ای خطر ریزش سنگ در طول جاده‌های کوهستانی با استفاده از شاخص هم‌پوشانی و GIS (مطالعه موردی: کردستان، گردنه‌ی صلوات آباد)، مجله پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش سازندگی)، شماره ۸۹، صص ۸۲-۹۱.

عطایی، محمد، (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چند معیاره، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۴۸ صفحه.

غفوری، محمد و همکاران، (۱۳۹۰)، بررسی مکانیسم سقوط سنگ و تهیه نقشه خطر و ارائه راه‌کارهای لازم در روستای یدک (شمال استان خراسان رضوی)، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد پنجم، شماره ۱، صص ۱۱۱۰-۱۰۸۹.

غلامی، عبدالوهاب، (۱۳۹۰)، کاربرد فنون MCDM- در طرح و اولویت‌بندی گزینه‌های مناسب در امر بازیافت و دفن پسماندهای شهری، پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد، استاد راهنما: عطا غفاری گیلانده، استاد مشاور: فریدون بابایی اقدم، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی.

قاضی‌پور، ندا و همکاران، (۱۳۸۶)، استفاده از نظریه مخروط در ارزیابی خطر سنگ ریزش در مسیر

- Batterson, M., McCuaig, S., Taylor, D., (2006). Mapping and assessing risk of geological hazard on the Northeast Avalon peninsula and Humber valley, Newfoundland, Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, Geological Survey, Report 06-1, pp 147-160.
- Bell, R., Glade, T., (2004). Quantitative risk analysis for landslides, Examples from Bildudalur, NW- Iceland , Natural Hazards and Earth, 4: pp 117-131.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., Lin, j., Lee, C.F., (2004). Rock fall hazard analysis for Hong Kong based on Rock fall Inventory, Rock Engineering Journal 36, pp 383-408.
- Chen, L.Y., Wang, T.C., (2009). optimizing partners choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR, International Journal of Production Economics, Volume 120, Issue 1.
- Dorren, L. K. A., Rammer, W., Brauner, M., Berger, F., Lexer M. J., (2010). Evaluation of a 3-D rockfall module within a forest patch model, Natural Hazards and Earth System Sciences, N 10, pp 699-71.
- 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.
- Glade, T., (2003). Vulnerability assessment in landslide risk analysis. DIEERDE. 134: pp 123 - 146.
- Opricovic, S., Tzeng, G., (2006). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research. , European Journal of Operational Research, pp 514-529.
- Sakar, S., Kanugo, D., Mehrotar, P., (1995). Landslide zoning : A case study in Garhwal Himalaya, India, Mountain research and development, Vol.15, NO 4.
- جاده چالوس (پل زنگوله - مرزن آباد)، مجله علوم زمین، سال هفدهم، شماره ۶۶، ص ۱۶۰-۱۶۹.
- مالچفسکی، یاچک، (۱۳۸۵)، ترجمه پرهیزگار، اکبر، عطا غفاری گیلانده. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، چاپ اول، انتشارات سمت، ۵۹۷ صفحه.
- مدلل دوست، سعید و ام‌البنین اولادزاده، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی خطر سنگ ریزش بر اساس تعیین مسیر سنگ ریزش در محیط GIS (مطالعه موردی؛ جاده هراز- امامزاده علی- شهرستان آمل)، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، سال اول، شماره ۳، صص ۱۵-۲۸.
- موسوی، زهره، عطاالله شیرزادی، بهنام شیرزادی، (۱۳۸۹)، بررسی حساسیت خطر عوامل مؤثر بر ریزش سنگ در طول جاده‌های کوهستانی با استفاده از تحلیل آماری نسبت فراوانی، مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت بلایای طبیعی).
- نادر صفت، محمد حسین، (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی مناطق شهری، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۳۹ صفحه.
- Alcantara, I., (2002). Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disaster in Developing Countries, Geomorphology, 47:107-124.
- Anada, J., Herath, G., (2008). Multi-attribute preference modelling and regional land-use planning, Ecological economics 65: 325-335.