



پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری با استفاده از مدل FUZZY-SAW

مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز لیلان چای، شمال غرب ایران

داود مختاری^{۱*}، محمدحسین رضایی مقدم^۲، سمیه معزز^۳

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

جریان‌های آواری از جمله حرکات توده‌ای هستند که همیشه فعالیت‌های انسانی را تهدید کرده و باعث وارد آمدن خسارت‌های فراوانی می‌شوند. تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری در حوضه‌ی آبریز لیلان چای واقع در استان آذربایجان شرقی و تأثیر این مخاطره بر روی مخروط‌افکنه لیلان انجام شده است. به همین منظور از ۱۰ معیار مؤثر در وقوع این مخاطره شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، لیتولوژی، بارش، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده جهت تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری استفاده شده است. از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و مدل فازی جهت تعیین وزن و اهمیت معیارها در وقوع جریان آواری استفاده گردید. نتایج وزن‌دهی معیارها با روش SAW نشان داد که سه معیار لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با وزن ۰/۲۶۰، ۰/۲۱۱ و ۰/۱۹۰ نقش مهمی در وقوع جریان آواری در منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. نقشه‌ی نهایی خطر وقوع جریان آواری با هم‌پوشانی و ضرب وزن نهایی معیارها در لایه‌های فازی شده در محیط GIS تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که حدود ۱۱۷ کیلومترمربع (۱۶ درصد مساحت) از منطقه‌ی مورد مطالعه در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع جریان آواری قرار دارد. این مناطق بیشتر ارتفاعات بالا، شیب‌های زیاد و دامنه‌های شمالی و غربی را شامل می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت که این مخاطره خطری برای مخروط افکنه لیلان نمی‌تواند داشته باشد. زیرا با توجه به وقوع این پدیده در مناطق بالادست حوضه، امکان انتقال این مواد به مناطق پایین‌دست و حتی سطح مخروط افکنه به دلیل مسافت خیلی طولانی و همچنین وجود سیل‌بندهای متعدد بر روی آبراهه‌های منطقه بسیار پایین است.

کلمات کلیدی: جریان آواری، پهنه‌بندی، GIS، مدل FUZZY-SAW، حوضه‌ی آبریز لیلان چای، شمال غرب ایران

۱- مقدمه

جریان‌های آواری^۱ از جمله حرکات توده‌ای و فرایندهای ژئومورفولوژیکی در مناطق کوهستانی هستند (تاکاهاشی، ۱۹۷۸؛ ایورسون^۲، ۱۹۹۷؛ هاس و همکاران، ۲۰۱۵). در سراسر جهان جریان‌های آواری در بین مخاطرات مخرب و با فراوانی زیاد، در مناطق کوهستانی هستند و به‌طور مداوم باعث از بین رفتن زندگی، زمین‌های کشاورزی، زیرساخت‌ها و ساختمان‌ها می‌شود. این‌ها توده‌هایی از خاک و سنگ و مقداری رسوب هستند (کوستا، ۱۹۸۸؛ ایورسون، ۱۹۹۷). جریان آواری از جمله مخاطرات ژئولوژیکی هست و اغلب با یک زمین‌لغزش شروع می‌شود (وان جی لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع جریان آواری یک فرایند ژئومورفیک با پتانسیل مخاطره در مناطق کوهستانی می‌باشد که قادر است مقادیر زیادی از رسوبات را به پایین دامنه حمل کند، مورفولوژی سطح را تغییر داده و زندگی و کاربری‌های انسانی را تهدید کند (هک و گودلت^۳، ۱۹۶۰ و اسکات^۴، ۱۹۷۱). پیدایش و اهمیت جریان‌های آواری در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، لیتولوژیکی، زمین ساخت و فعالیت‌های انسانی دارد، و معمولاً جریان‌های آواری فعال مشکلاتی را برای امور کشاورزی، صنعتی و شبکه ارتباطی به وجود می‌آورند (لیو و لی^۵، ۲۰۰۳؛ پاسوتو و سولدات^۶، ۲۰۰۴).

با توجه به اینکه جریان‌های آواری از جمله مخاطرات مهم در حوضه‌های آبریز هستند و خساراتی در این مناطق بوجود می‌آورند. با توجه به این امر، به علت شیب زیاد حوضه‌ی آبریز لیلان در بالادست و همچنین نوع سازندهای آن که عبارت از جریان خاکستر، کنگلومرا، ماسه سنگ، و شیل هست، این حوضه را مستعد وقوع مخاطره‌ی جریان آواری می‌کند. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی پتانسیل خطر وقوع این پدیده در حوضه‌ی آبریز لیلان چای با استفاده از مدل ترکیبی Fuzzy-SAW در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است. در شناسایی مناطق با خطر وقوع بالا کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان منطقه جهت مدیریت و کنترل این مخاطره در سطح حوضه‌ی آبریز می‌نماید. لازم به ذکر هست که در حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نگرفته است.

مخاطره‌ی جریان آواری توسط محققین داخلی و خارجی با مدل‌ها و روش‌های متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است از جمله: کرم و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها نسبت به حرکات واریزه‌ای با استفاده از روش الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه تنگراه استان گلستان نمودند و نتایج حاصله از آن عبارت بود از اینکه فاکتورهای شیب، ارتفاع و فاصله از جاده در پیش‌بینی نهایی می‌باشد. اصغری و همکاران

1- Debris flow
 2- Iverson
 3- Hack & Goodlett

4- Scott
 5- Liu & Li
 6- Passuto & Soldat

(۱۳۹۹)، عوامل مؤثر بر ریزش سنگی و پهنه‌بندی خطر آن با رگرسیون لجستیک در حوضه‌ی آبریز علی‌آباد هوراند را بررسی کردند و با تحلیل رگرسیونی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد آزمون قرار گرفت. آریاپور و همکاران (۱۳۹۸)، مدل‌سازی حرکات توده‌ای با روش داده‌کاوی در جنوب شرق نیشابور را مطالعه کردند که متغیرهای زمین‌شناسی، جهت شیب، ارتفاع، آب‌وهوا مهم‌ترین عوامل وقوع حرکات توده‌ای بودند خضری و همکاران (۱۳۹۴)، خطر جریانات واریزه‌ای و مخروط‌های آن در منطقه‌ی کوهستانی پایه را تحلیل و ارزیابی کردند و نتیجه‌گیری حاصله عبارت بود از به دلیل حساسیت و ناپایداری‌های دامنه‌ای این منطقه، مکان‌یابی دقیق برای اجرای پروژه‌های عمرانی و کشاورزی لازم است صورت بگیرد. بهنیافر و برومند (۱۳۹۴)، در پژوهشی به مطالعه‌ی پتانسیل وقوع ناپایداری دامنه‌ای در حوضه‌ی کوهستانی سرآسیاب با تأکید بر جریان‌های واریزه‌ای پرداختند و نقشه‌ی نهایی را با استفاده از مدل تجربی آنبلاگان پهنه‌بندی کردند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بوده است که حوضه‌ی مورد مطالعه به مناطقی با ناپایداری کم-متوسط-شدید تقسیم شده است. شن شیوی و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای به ارزیابی جامع فازی از جریان آواری در روستای ماتون در منطقه‌ی کوهستانی لائومائو پرداختند و نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که جریان واریزه در روستای ماتون به شدت خطرناک است و بعد از هر بارندگی سنگین جریان واریزه اتفاق می‌افتد و علاوه بر این ریزش ناگهانی جریان واریزه، زندگی انسان و مستغلاتش را تهدید می‌کند. الکساندر جی هورتن و همکاران (۲۰۱۹)، به شناسایی مخاطره جریان آواری زمین‌لرزه‌های گذشته با استفاده از روش Massflow پرداختند. این مدل ثابت کرده است که تفاوت بین جریان آواری کوچک و خیلی بزرگ در امتداد دامنه با ترکیبی از آب و رسوب رخ می‌دهد. تامارا میشلنی و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی میدانی اثر متقابل بین جریان‌های آواری و پوشش گیاهی جنگلی در دو مخروط افکنه آلیپی پرداخته‌اند و نتایج اصلی ثابت کرده است که ظرفیت پوشش گیاهی به‌طور یکنواخت پراکندگی انرژی جریان را افزایش می‌دهد. تی، دی، هاس و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، جدایی و تکامل فضایی-زمانی جریان‌های آواری مخروط افکنه را مطالعه کرده‌اند، نتایج این پژوهش استنباط کرده است که تکامل الگوهای فضایی-زمانی تشکیل جریان آواری مخروط افکنه وابسته به توزیع بزرگی-فراوانی و توالی جریان‌های تغذیه‌کننده‌ی مخروط افکنه می‌باشد. تجالینگ و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، تسلط و نفوذ جریان آواری در مخروط افکنه و عملکرد دوباره رواناب و هوازدگی را مورد مطالعه قرار دادند. بخش چینه‌شناسی مشخص کرد که مخروط افکنه توسط جریان آواری رسوب‌گذاری شده است و سطح مورفولوژی توسط اثرات جریان آواری در بخش فعال غالب شده است و هوازدگی و رواناب در بخش غیرفعال بیشتر بوده است. وجه تمایز این پژوهش با

1- Haas, et al.

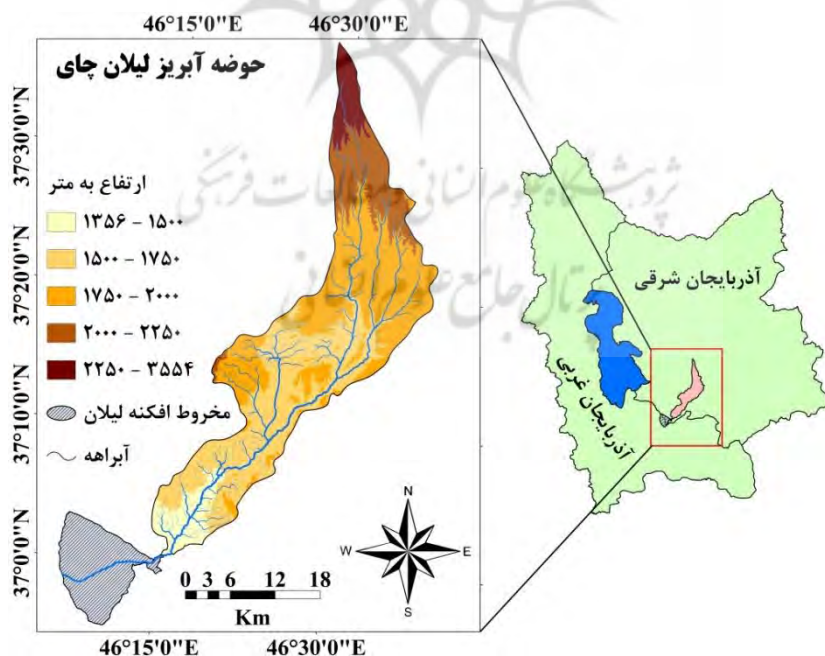
2- Tjalling de Haas et al.

مطالعات بیان شده در بالا عمدتاً در روش تحقیق و فرایند انجام کار می‌باشد. انجام این تحقیق، هم به علت اهمیت موضوع و همچنین چون در منطقه مطالعه‌ای در این زمینه تاکنون انجام نشده است ضروری می‌نمود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز لیلان چای به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های رودخانه‌ی زربینه‌رود، یکی از رودهای مهم قسمت شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد (موحد دانش، ۱۳۷۸: ۴۵). این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. مساحت این حوضه ۷۲۳ کیلومتر مربع بوده و در مختصات جغرافیایی $31^{\circ} 00' 37^{\circ}$ تا $20''$ $38^{\circ} 37'$ عرض شمالی و $26'' 14' 46^{\circ}$ تا $37'' 38' 46^{\circ}$ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۵۶ متر و حداکثر ارتفاع آن نیز در ارتفاعات کوهستان سه‌سند ۳۵۵۴ متر می‌باشد. این حوضه در محل خروج از کوهستان مخروط‌افکنه‌ای ایجاد می‌کند که لیلان نام دارد. این مخروط‌افکنه در محدوده‌ی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد و شهرهای لیلان و قسمتی از شهر میاندوآب بر روی آن واقع شده‌اند.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (1): The geographical location of the study area

۲-۲- ابزار و داده‌های مورد استفاده

- در این تحقیق جهت تحلیل مخاطره جریان آواری از داده، نرم‌افزار و روش‌های زیر استفاده شده است:
- نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰
 - نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
 - داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی
 - تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI، مربوط به سال ۲۰۱۹ (تیرماه) با گذر و ردیف ۳۴-۱۶۸.
 - مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر
 - نرم‌افزار ENVI جهت تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی
 - نرم‌افزار Idrisi جهت فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی
 - نرم‌افزار ArcGIS جهت گرفتن خروجی از نقشه‌ها
 - تهیه‌ی پرسشنامه‌ی استاندارد (تعداد سه نمونه) و وزن‌دهی و مقایسه‌ی زوجی معیارها با استفاده از نظرات کارشناسان و اساتید ژئومورفولوژی

۲-۳- مدل فازی

منطق فازی توسط پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ طی مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی برای رشته‌های ریاضی و الکترونیک انتشار یافت و کم‌کم به دلیل قابلیت پیش‌بینی کنندگی خود وارد رشته‌های دیگر گردید (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰). تئوری مجموعه فازی، روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصر به فرد را وارد مدل‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید (امینی فسخودی، ۱۳۸۴: ۶۱. قائد رحمتی، ۱۳۹۰: ۱۰۷) و زمینه را برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (کرمی و عبد شاهی، ۱۳۹۰: ۱۱۷). برخلاف منطق کلاسیک که دارای دو ارزش صفر و یک است، منطق فازی ارزش‌های خود را به صورت درصد عضویت در بازه (۰،۱) نشان می‌دهد (لطفی‌زاده، ۱۹۷۵: ۱۹۹). اگر Z فضای عوارض باشد، سری فازی A در فضای Z از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$A\{z, MF(z)\}, z \in Z \quad (1)$$

به طوری که $MF(z)$ تابع عضویت برای اختصاص درجه عضویت است (ایلانلو، ۲۰۱۱: ۶۶۸). در فازی‌سازی معیارها، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع Linear، J-shape، Sigmoidal و استفاده می‌شود (متکان و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۱). علاوه بر این توابع، کاربر می‌تواند با توجه به نیاز خود، تابع

User-defined را تعریف نماید. یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه است که به آن‌ها نقاط کنترل می‌گویند؛ اما نکته‌ای که بایستی در انتخاب تابع به آن توجه نمود، نوع کاهشی یا افزایشی بودن معیار مورد نظر است. در اینجا منظور از کاهش، حداقل شونده یا نزولی بودن تابع است (سالاری و رادمنش، ۱۳۹۱: ۹۶). در مدل فازی هر عضو هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد. هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست یا نیست (مومنی، ۱۳۸۷: ۱۹۷).

۲-۴- تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی

در این تحقیق از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. به روش‌های طبقه‌بندی که علاوه بر تصاویر ورودی نیاز به یک سری اطلاعات خارجی درباره منطقه و کلاس‌های مورد نظر دارند و دخالت عامل انسانی در آن‌ها یک امر اجتناب‌ناپذیر است طبقه‌بندی نظارت شده می‌گویند (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱). در طبقه‌بندی نظارت شده فرایند دسته‌بندی پیکسل‌ها با تعیین الگوریتم‌های متناسب با توصیفات عددی از انواع کلاس‌های پوشش اراضی به صورت کنترل شده انجام می‌گیرد. پیکسل‌ها در تصویر به صورت عددی با نمونه‌های آموزشی مقایسه شده، بر اساس ویژگی مشابهت در یکی از کلاس‌های پوشش اراضی قرار می‌گیرند (رسولی، ۱۳۸۷). مراحل تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از این روش‌ها در نرم‌افزار ENVI انجام شده است.

۲-۵- روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

با استفاده از روش وزن‌دهی تجمعی ساده به وزن‌دهی معیارهای مورد مطالعه در این تحقیق که شامل فاکتورهای؛ شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، لیتولوژی، بارش، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده می‌باشد اقدام شد.

این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش امتیاز هر گزینه از طریق تجمیع ارزش‌های آن گزینه در معیارهای مختلف با احتساب وزن هر معیار به دست می‌آید، به طوری که وزن‌های نسبی به طور مستقیم توسط تصمیم‌گیرنده داده می‌شود (سارگانکار و همکاران، ۲۰۱۰). نخستین مرحله‌ی این روش بر پایه‌ی سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تعریف وزن معیارهاست (سارگانکار و همکاران، ۲۰۱۰). مجموع وزن معیارها باید یک باشد. از این رو، مطابق با رابطه‌ی ۲ هر وزن بر مجموع وزن‌ها تقسیم می‌شود تا وزن نرمال شده به دست آید.

$$W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (2)$$

که در آن W_j' وزن نرمال شده معیار j ام، n تعداد معیارها و W_j وزن‌های اولیه هستند. مرحله‌ی بعدی وزن‌دهی به طبقات مختلف هر معیار است. که به صورت مستقیم براساس نظرات کارشناسان‌هی تصمیم‌گیر انجام می‌شود. از آنجاکه وزن نهایی هر گزینه از مجموع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف بدست می‌آید، وزن طبقات در هر یک از معیارها باید بی‌مقیاس باشد. به منظور بی‌مقیاس‌سازی اگر پارامتر مدنظر از جنس سود باشد، با استفاده از رابطه‌ی ۳ و اگر از جنس هزینه باشد، با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود (سارگانکار و همکاران، ۲۰۱۰).

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij}^{max}} \quad (3)$$

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}^{min}}{X_{ij}} \quad (4)$$

مرحله‌ی نهایی در روش وزن دهی تجمعی ساده، تلفیق داده است که امتیاز نهایی هر گزینه مطابق با معادله‌ی ۵ از حاصل جمع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به نسبت وزن هر معیار به دست می‌آید (سارگانکار و همکاران، ۲۰۱۰).

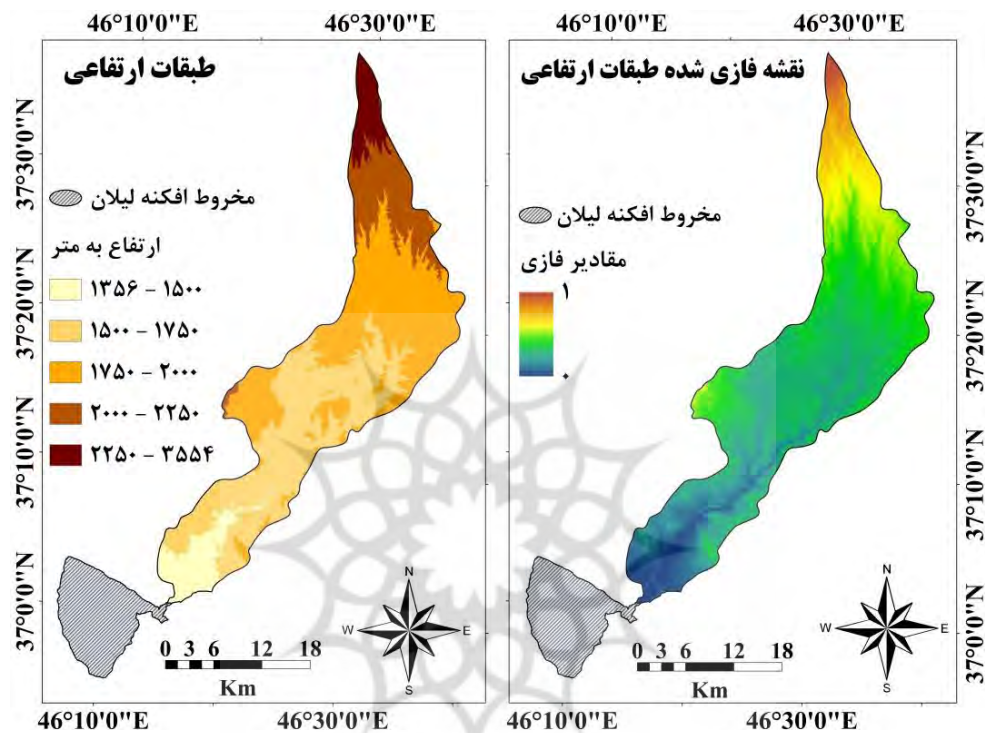
$$A_i = \sum W_j' * R_{ij} \quad (5)$$

که در آن A_i وزن نهایی هر گزینه، W_j' وزن نرمال شده معیار j ام و R_{ij} وزن استاندارد شده طبقه i ام از معیار j ام است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تحلیل فاکتورهای مؤثر در وقوع جریان آواری

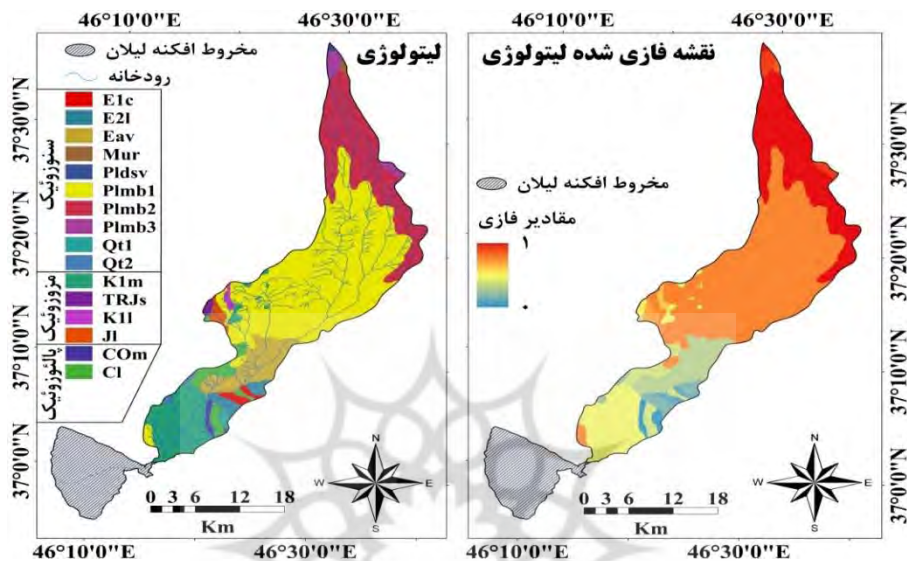
الف) طبقات ارتفاعی: تغییرات ارتفاعی هر منطقه کنترل‌کننده‌ی میزان تراکم شبکه‌ی زهکشی و جهت رواناب است. این عامل با کنترل رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها، به‌عنوان عاملی مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۲۷؛ ۱۳۸۸). در منطقه‌ی مورد مطالعه حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۳۵۶ و ۳۵۵۴ متر می‌باشد. جهت فازی‌سازی این لایه از تابع خطی افزایشی استفاده شده است. به این صورت که با افزایش ارتفاع خطر وقوع جریان آواری بیشتر می‌باشد (شکل ۲).



شکل (۲): نقشه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (2): elevation classes of the study area

ب) لیتولوژی: تیپ‌های متفاوت توده‌های سنگ در لیتولوژی لایه‌ای به‌طور عمده در مواد رسوبی جریان آواری تأثیر دارد. سختی و مقاومت و ساختار بین لایه‌ای سنگ‌ها، خصوصیات مکانیکی و مقاومت در برابر هوازدگی توده‌های سنگ را تعیین می‌کند که پایداری شیب و فرسایش سطح را کنترل می‌کند. بنابراین توده سنگ‌ها از مواد پایه‌ای ترکیب شیب و مواد منبع جریان آواری هستند (کیانگ زو و همکاران، ۲۰۱۹؛ ۸۴). لیتولوژی غالب منطقه بیشتر شامل سازندهای PLmb2 (خاکسترهای آتشفشانی همراه با صخره‌ها)، PLmb1 (توف و سنگ‌رس) و K1m (سنگ‌آهک) می‌باشد که ۵۹۳ کیلومترمربع (۸۲ درصد مساحت) از سطح منطقه را پوشش می‌دهند. فازی سازی این لایه با استفاده از دستور تعریف کاربر در نرم‌افزار Idrisi انجام شده و سازندهایی که از پتانسیل بالایی نسبت به وقوع جریان آواری برخوردار هستند بیشترین مقادیر فازی را گرفته‌اند (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه‌ی لیتولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

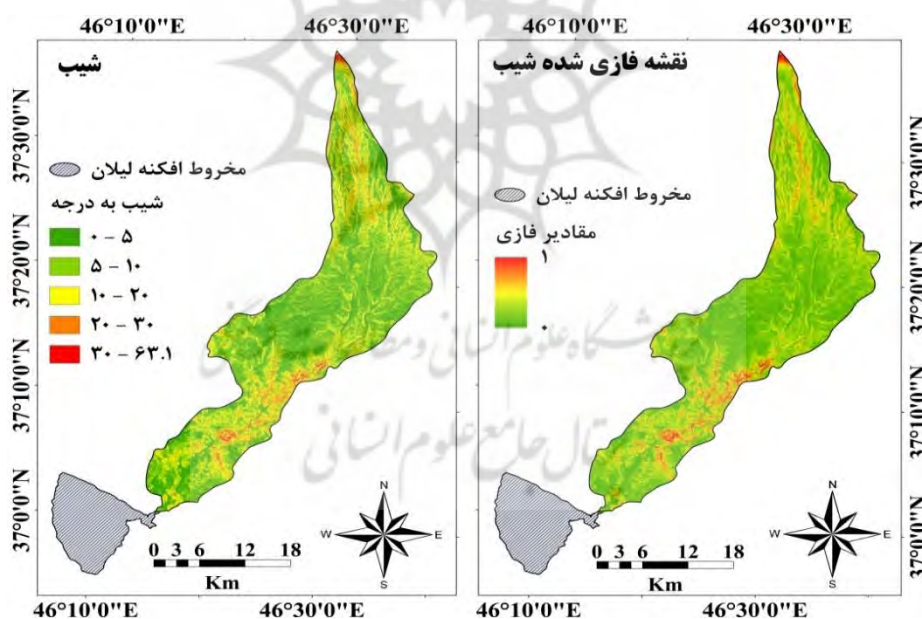
Fig. (3): Lithology of the study area

جدول (۱): توضیحات واحدهای لیتولوژی منطقه

Table (1): Description of lithology units

توضیحات	سازند
جریان‌های خاکستر و سنگ‌های همراه با آن (سازند مراغه)	Plmb2
ریولیت پلیوسن تا زیرآتشفشانی‌های ریو- داسیت	Pldsv
جریان خاکستر و سنگ‌های پیروکلاستیک مرتبط، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (سازند مراغه)	Plmb3
مارن قرمز، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (سازند قرمز بالایی)	Mur
پیروکلاستیک و سنگ‌رس با باقیمانده‌های جانداران مهره‌دار (سازند مراغه)	Plmb1
سنگ‌آهک حجیم (سازند لار)	Ji
سنگ‌آهک اوربیتولین دار حجیم تا نازک	K1i
شیل خاکستری تیره و ماسه‌سنگ (سازند شمشک)	TRJS
سنگ‌آهک، سنگ‌آهک رسی یا (رس مانند)؛ ماسه‌سنگ قرمز و مارن گچ مانند.	K1m
آرکوزیک دانه متوسط قرمز تیره تا ماسه‌سنگ زیر آرکوزیک و میکایی، سنگ سیلت (سازند لالون)	Cl
سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی	Eav
مخروط کوهپایه‌ای (پدیمنت) سطح پایین (ارتفاع کم) و نهشته‌های تراس دره‌ای	Qt2
سنگ‌آهک (صدف دار)	E2l
کنگلومرای پلی ژنیک قرمز کم‌رنگ و ماسه‌سنگ	E1c
سنگ‌آهک پهن و سست دولومیتی شامل (تریلوبیت یا بندپایان)؛ ماسه‌سنگ و شیل (سازند میلا)	COM
مخروط کوهپایه‌ای (پدیمنتی) سطح بالا یا ارتفاع زیاد و نهشته‌های تراس دره‌ای	Qt1

ج) شیب: طول مسیر حرکت واریزه‌ها در ارتباط با میزان شیب و شدت ناهمواری از یک طرف و اندازه و شکل عناصر متحرک از طرف دیگر وابسته است (محمودی، ۱۳۸۲: ۳۶). وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر در حرکات توده‌ای را بارزتر می‌نماید (خضری و همکاران، ۱۳۹۴: ۹). بنابراین می‌توان گفت که شیب‌های بالا خطر وقوع این مخاطره را بیشتر می‌کند. جهت تهیه نقشه‌ی شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده است. نقشه‌ی شیب منطقه نشان می‌دهد که ۶۹ درصد از مساحت منطقه شیب کمتر از ۱۰ درجه دارد که بیانگر این مطلب هست که در صورت مهیا بودن سایر شرایط برای وقوع جریان آواری در سطح منطقه، به دلیل کم‌تر بودن شیب منطقه این پارامتر به‌عنوان یک عامل بازدارنده در این رابطه عمل خواهد کرد. جهت فازی‌سازی لایه‌ی شیب از تابع خطی افزایشی استفاده شده است (شکل ۴).

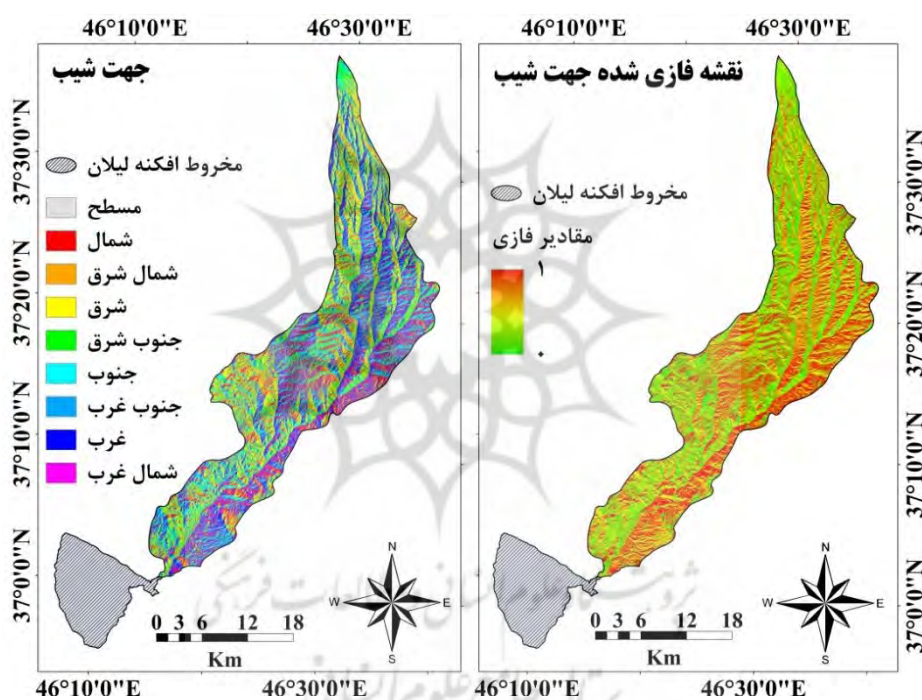


شکل (۴): نقشه‌ی شیب منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (4): Slope map of the study area

د) جهت شیب: جهت شیب دامنه یعنی زاویه‌ای که هر دامنه با شمال می‌سازد، به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای است. در حالت کلی دامنه‌های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای ایفا می‌کنند (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۲). دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی در منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۳ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شوند که پتانسیل بالایی

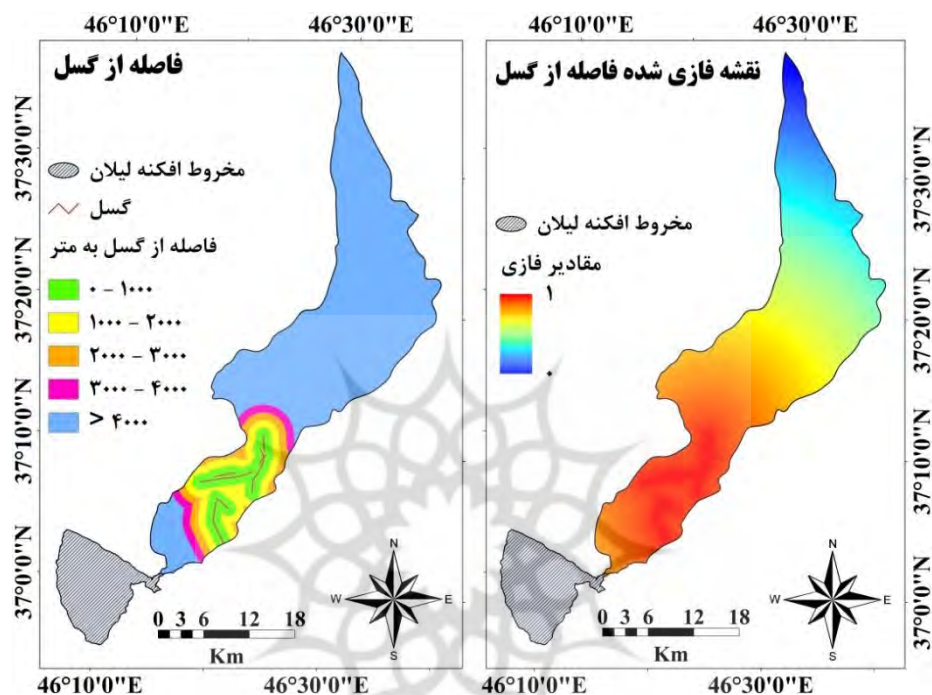
در وقوع جریان آواری دارند. فازی‌سازی این لایه با استفاده از دستور تعریف کاربر انجام شده و دامنه‌های حساس (شمالی، غربی و شمال غربی) مقادیر بالاتر فازی را کسب کرده‌اند. کمترین مقادیر فازی نیز به ترتیب به دامنه‌های جنوب شرقی، جنوبی و شرقی به دلیل تأثیر کمترشان در وقوع جریان آواری در منطقه‌ی مورد مطالعه داده شده است (شکل ۵).



شکل (۵): نقشه‌ی جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (5): map of the aspect of the study area

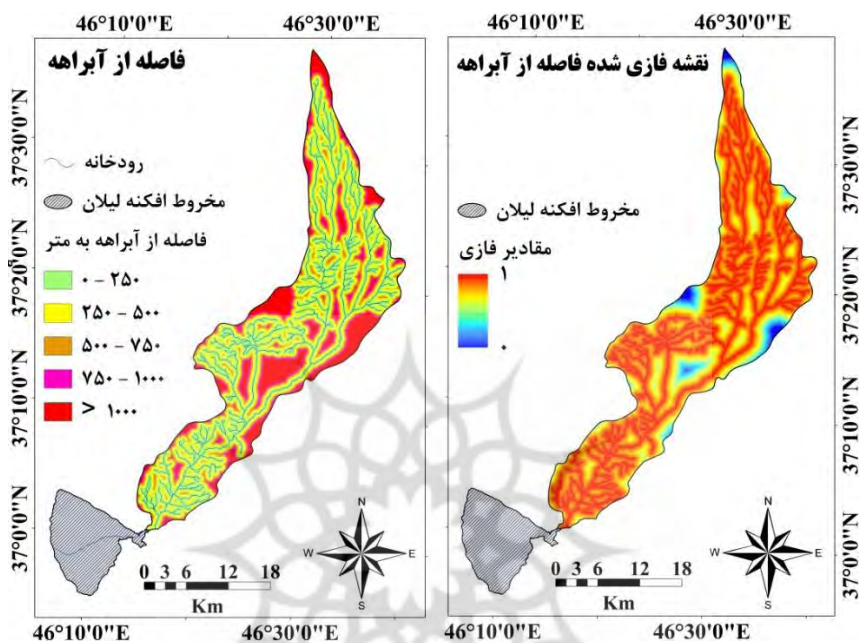
ه) فاصله از گسل: فاصله از گسل یک شاخص مهم می‌باشد که درجه ثبات و پایداری سطح را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین فاصله به گسل شدیدترین فعالیت تکتونیکی و بنابراین جدی‌ترین تخریب سطحی را خواهد داشت (کیانگ زو و همکاران، ۲۰۱۹). جهت تهیه نقشه گسل‌های منطقه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه استفاده شده و گسل‌های منطقه در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شدند. تمامی گسل‌های منطقه در پایین‌دست حوضه قرار گرفته‌اند. فازی‌سازی این لایه با استفاده از تابع خطی کاهش انجام شده است. به این صورت که مناطق نزدیک به گسل مقادیر بالاتر فازی را دریافت کرده‌اند (شکل ۶).



شکل (۶): نقشه فاصله از گسل منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

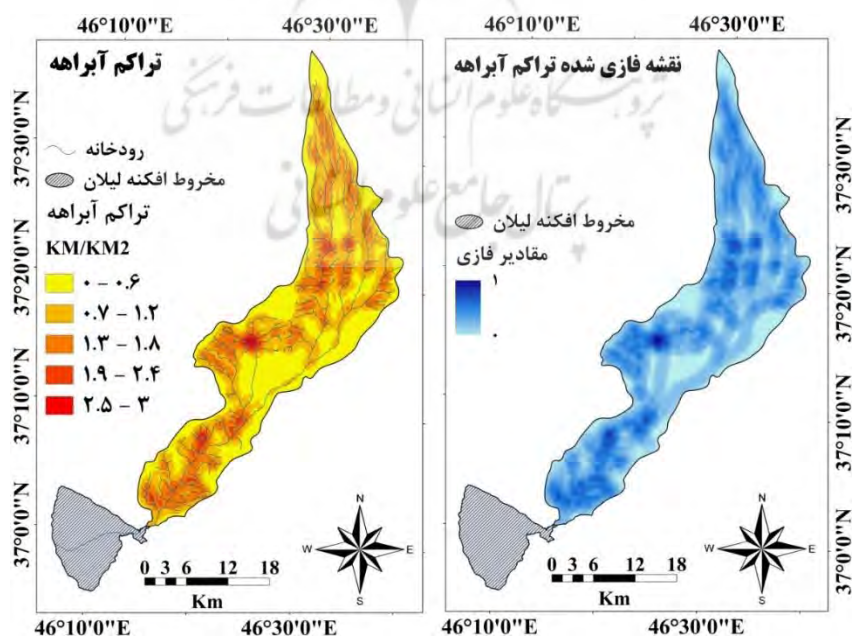
Fig. (6): Distance to fault of the study area

و) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه: رواناب حاصل از بارش‌های رگباری عامل مهم در جابجایی واریزه‌های نقاط تند شیب بالادست دامنه‌هاست (عابدینی، ۱۳۸۷: ۲۰۰). علاوه بر این بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت، بیشتر از بارش‌های آرام بلندمدت، در جابجایی واریزه‌ها مؤثر است (می و جریس ول، ۲۰۰۴: ۱۴۷). فاصله واریزه‌ها از خطوط آبراهه یا قرار گرفتن در مسیر رواناب‌ها می‌تواند به‌عنوان یک عامل مؤثر در شکل‌گیری جریان‌های آواری باشد (خضری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰). نقشه‌ی آبراهه‌های منطقه با استفاده از لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید. تأثیر این پارامتر در وقوع جریان آواری به این صورت است که مناطق نزدیک به آبراهه از خطر وقوع بالایی برخوردار هستند. بنابراین جهت فازی‌سازی این لایه از تابع خطی کاهش استفاده شده است (شکل ۷). در لایه تراکم آبراهه نیز مناطقی که از تراکم بالایی برخوردار هستند، پتانسیل بالایی از نظر وقوع جریان آواری دارند (شکل ۸).



شکل (۷): نقشه‌ی فاصله از آبراهه منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

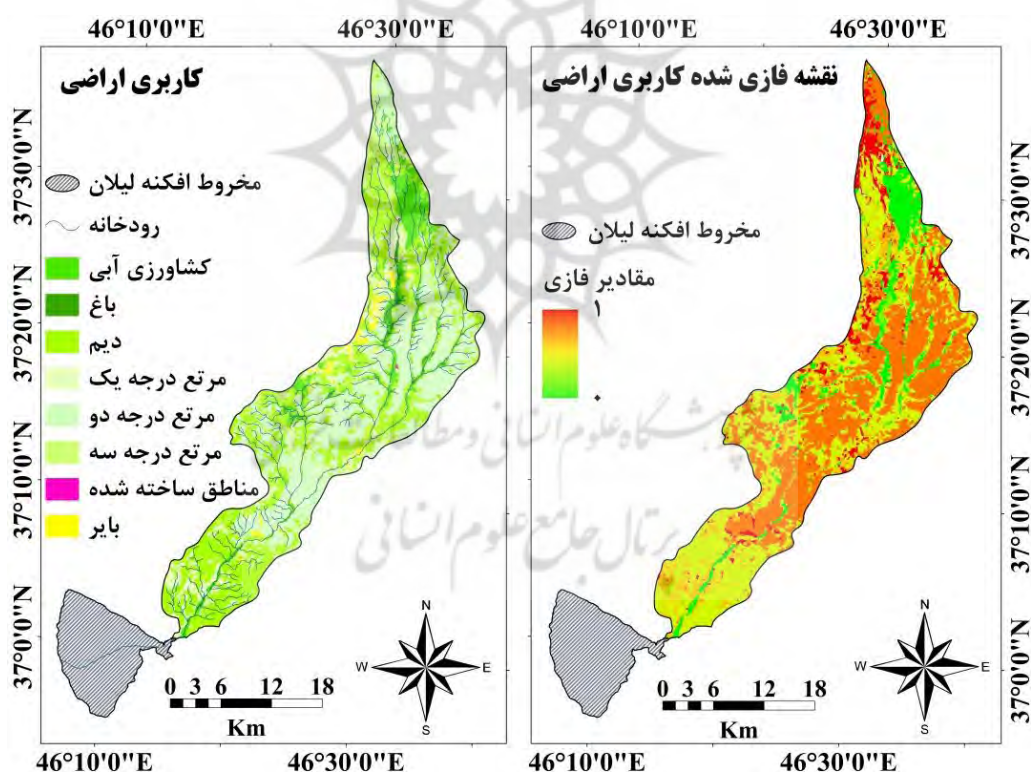
Fig. (7): Distance to river of the study area



شکل (۸): نقشه‌ی تراکم آبراهه منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (8): River density of the study area

ز) کاربری زمین: کاربری زمین در رابطه با محافظت از شیب و پایداری از دامنه‌ی اهمیت زیادی دارد (خضری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰). به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۲۰۱۹ (تیرماه) و نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال در ۹ طبقه تهیه شده است. فازی‌سازی این لایه با استفاده از دستور تعریف کاربر انجام شده و کاربری‌هایی که (مثل بایر، مراتع و اراضی دیم) پتانسیل بالایی را نسبت به وقوع جریان آواری داشته‌اند مقادیر بالاتر فازی را گرفته‌اند. کم‌ترین مقادیر عضویت فازی نیز به مناطق ساخته شده و اراضی کشاورزی آبی داده شده است (شکل ۹).

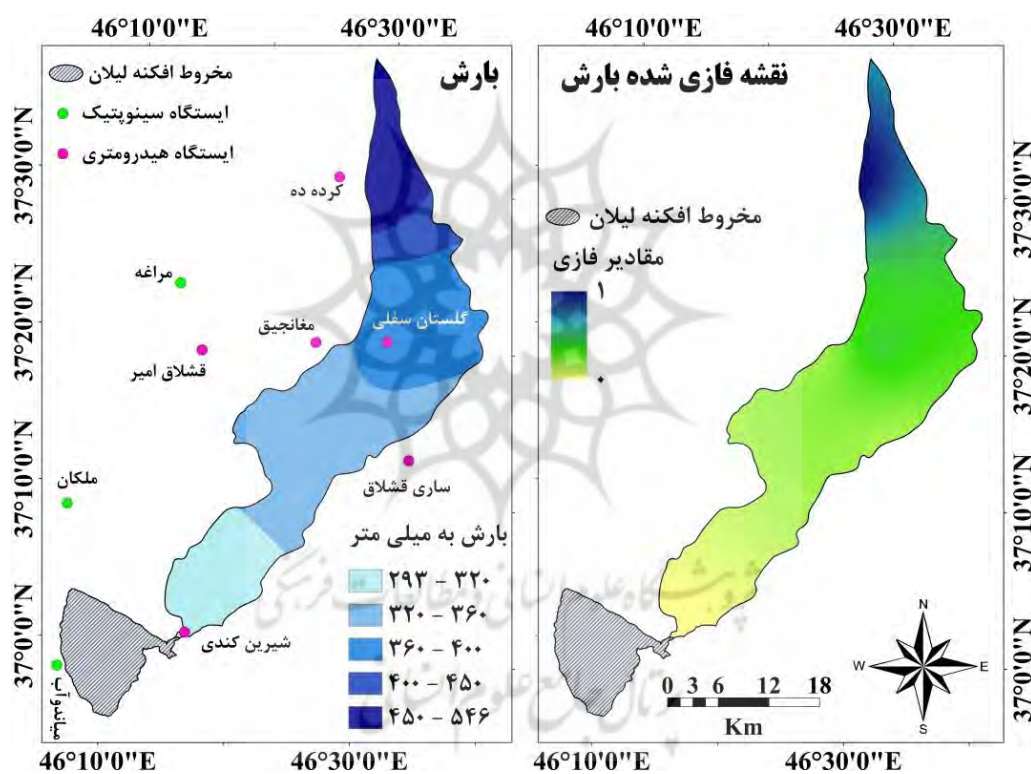


شکل (۹): نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (9): Land use map of the study area

ح) بارش: بارندگی نه تنها ترکیبی است که مخاطره جریان آواری را تشکیل می‌دهد، بلکه همچنین در شرایط دینامیکی، که فعالیت جریان آواری را تشدید می‌کند تأثیر دارد (کیانگ زو و همکاران ۲۰۱۹). به منظور تهیه نقشه‌ی بارش منطقه از آمار بلند مدت بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (میان‌دوآب، ملکان و مراغه) و هیدرومتری

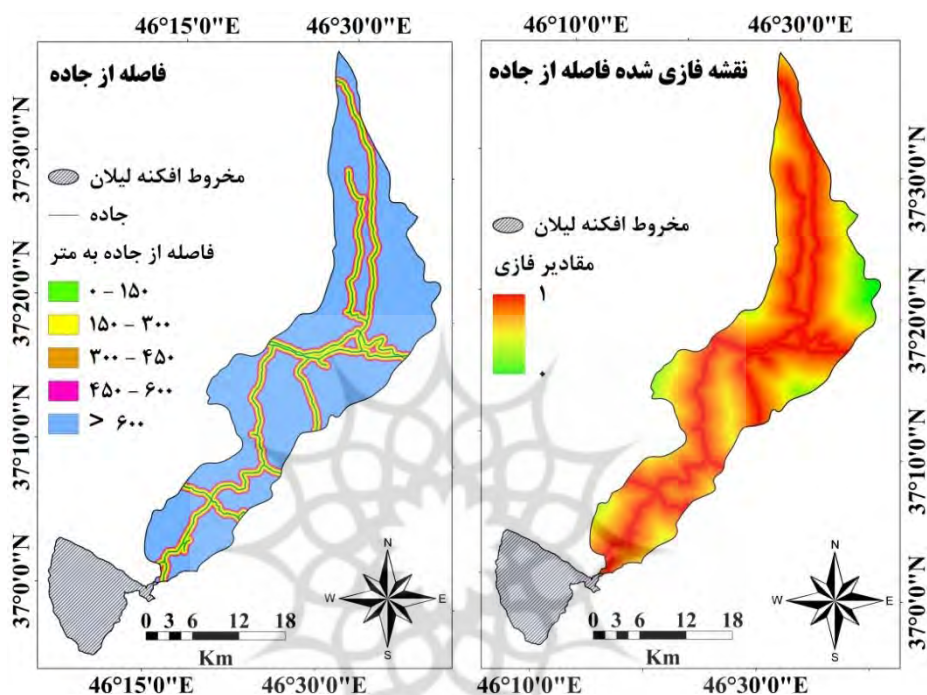
(شیرین کندی، ساری قشلاق، گلستان سفلی، قشلاق امیر، مغانجیق و کرده ده) موجود در منطقه استفاده شده است. نقشه‌ی بارش با استفاده از روش درون‌یابی IDW در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. با توجه به اینکه با افزایش بارش پتانسیل خطر وقوع جریان آواری افزایش پیدا می‌کند، از تابع خطی افزایشی جهت فازی‌سازی این لایه استفاده شده است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): نقشه‌ی بارش منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (10): Precipitation map of the study area

(خ) فاصله از جاده: لرزه‌های حاصل از عبور قطارها و ترانزیت‌ها از روی دامنه‌ها، از عوامل تشدیدکننده‌ی ریزش‌های سنگی و جریان‌های آواری هستند (عابدینی، ۱۳۸۷: ۲۰۵). جهت تهیه‌ی نقشه جاده‌های موجود در سطح منطقه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و Google Earth استفاده شده است. برش دامنه‌ها و ایجاد جاده در سطح منطقه و همچنین وجود راه‌آهن تبریز - تهران در منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع جریان آواری در پای دامنه‌ها می‌تواند باشد. با توجه به اینکه مناطق نزدیک به جاده و راه‌آهن از حساسیت بالایی برای وقوع جریان آواری برخوردار هستند از تابع خطی کاهش‌ی جهت فازی‌سازی این لایه استفاده شده است (شکل ۱۱).



شکل (۱۱): نقشه فاصله از جاده منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

Fig. (11): Map of the distance to road

پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تحقیق و فازی‌سازی آن‌ها بر اساس اهمیت‌شان در وقوع مخاطره جریان آواری اقدام به وزن‌دهی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای آن‌ها جهت تعیین اهمیت نسبی هر یک از معیارها با استفاده از روش SAW گردید (جدول ۲ و ۳).

جدول (۲): وزن‌دهی طبقات معیارها با روش SAW (منبع: نگارندگان)

Table (2): Weighing of criteria classes with SAW method

لیتولوژی	وزن اولیه	وزن استاندارد شده	کاربری اراضی	وزن اولیه	وزن استاندارد شده
Pldsv	۱۰	۱	مناطق ساخته شده	۱	۰/۱۱
Plmb2	۱۰	۱	کشاورزی آبی	۲	۰/۲۲
Plmb3	۹	۰/۹	باغ	۳	۰/۳۳
Mur	۸	۰/۸	اراضی دیم	۶	۰/۶۶
Plmb1	۸	۰/۸	مرتفع درجه ۱	۷	۰/۷۷
Ji	۶	۰/۶	مرتفع درجه ۲	۸	۰/۸۸
K11	۵	۰/۵	مرتفع درجه ۳	۸	۰/۸۸
TRJS	۵	۰/۵	بایر	۹	۱

ادامه‌ی جدول (۲): وزن‌دهی طبقات معیارها با روش SAW (منبع: نگارندگان)

Countinue Table (2): Weighing of criteria classes with SAW method

وزن استاندارد شده	وزن اولیه	شیب	وزن استاندارد شده	وزن اولیه	طبقات ارتفاعی
			۰/۴	۴	K1m
وزن استاندارد شده	وزن اولیه	فاصله از گسل	۰/۳	۳	C1
۱	۹	۰ - ۱۰۰۰	۰/۳	۳	Eaw
۰/۸۸	۸	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۰/۲	۲	Qft2
۰/۵۵	۵	۲۰۰۰ - ۳۰۰۰	۰/۲	۲	E21
۰/۳۳	۳	۳۰۰۰ - ۴۰۰۰	۰/۲	۲	E1c
۰/۲۲	۲	> ۴۰۰۰	۰/۱	۱	Com
			۰/۱	۱	Qft1

وزن استاندارد شده	وزن اولیه	شیب	وزن استاندارد شده	وزن اولیه	طبقات ارتفاعی
۰/۲	۲	۰ - ۵	۰/۲۵	۲	۱۳۵۶ - ۱۵۰۰
۰/۳	۳	۵ - ۱۰	۰/۵	۴	۱۵۰۰ - ۱۷۵۰
۰/۵	۵	۱۰ - ۲۰	۰/۷۵	۶	۱۷۵۰ - ۲۰۰۰
۰/۸	۸	۲۰ - ۳۰	۰/۸۷	۷	۲۰۰۰ - ۲۲۵۰
۱	۱۰	۳۰ - ۶۳/۱	۱	۸	۲۲۵۰ - ۳۵۵۴

وزن استاندارد شده	وزن اولیه	تراکم آبراهه	وزن استاندارد شده	وزن اولیه	فاصله از آبراهه
۰/۱۱	۱	۰ - ۰/۶	۱	۸	۰ - ۲۵۰
۰/۳۳	۳	۰/۷ - ۱/۲	۰/۸۷	۷	۲۵۰ - ۵۰۰
۰/۵۵	۵	۱/۳ - ۱/۸	۰/۶۲	۵	۵۰۰ - ۷۵۰
۰/۷۷	۷	۱/۹ - ۲/۴	۰/۳۷	۳	۷۵۰ - ۱۰۰۰
۱	۹	۲/۵ - ۳	۰/۲۵	۲	> ۱۰۰۰

وزن استاندارد شده	وزن اولیه	فاصله از جاده	وزن استاندارد شده	وزن اولیه	بارش
۱	۵	۰ - ۱۵۰	۰/۱۲	۱	۲۹۳ - ۳۲۰
۰/۸	۴	۱۵۰ - ۳۰۰	۰/۵	۴	۳۲۰ - ۳۶۰
۰/۶	۳	۳۰۰ - ۴۵۰	۰/۶۲	۵	۳۶۰ - ۴۰۰
۰/۴	۲	۴۵۰ - ۶۰۰	۰/۸۷	۷	۴۰۰ - ۴۵۰
۰/۲	۱	> ۶۰۰	۱	۸	۴۵۰ - ۵۴۶

ادامه‌ی جدول (۲): وزن‌دهی طبقات معیارها با روش SAW (منبع: نگارندگان)
Continue Table (2): Weighing of criteria classes with SAW method

جهت شیب	وزن اولیه	وزن استاندارد شده	جهت شیب	وزن اولیه	وزن استاندارد شده
شمال	۱۰	۱	جنوب	۳	۰/۳
شمال غرب	۹	۰/۹	جنوب شرق	۲	۰/۲
غرب	۹	۰/۹	شرق	۲	۰/۲
شمال شرق	۶	۰/۶	مسطح	۱	۰/۱
جنوب غرب	۵	۰/۵			

جدول (۳): وزن‌دهی معیارهای اصلی با روش SAW (منبع: نگارندگان)

Table (3): Weighting the main criteria with SAW method

معیار	لیتولوژی	شیب	بارش	کاربری اراضی	فاصله از گسل	جهت شیب	تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه	ارتفاع جاده	فاصله از جاده
وزن اولیه	۹	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱
وزن استاندارد شده	۰/۲۶۰	۰/۲۱۱	۰/۱۹۰	۰/۰۹۹	۰/۰۷۶	۰/۰۴۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۷

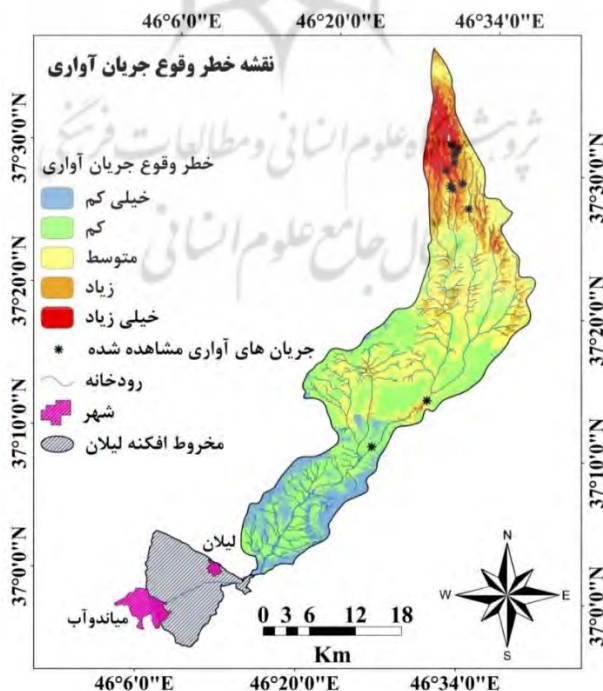
با توجه به نتایج جدول ۳ که از طریق پرسشنامه (تعداد سه نمونه) و نظرات کارشناسان و اساتید بدست آمده است، معیارهای لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۶۰، ۰/۲۱۱ و ۰/۱۹۰ در وقوع جریان آواری در منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در مقابل سه معیار فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از آبراهه اهمیت کمتری نسبت به سایر معیارها داشته‌اند. در نهایت با مشخص شدن وزن معیارها و زیرمعیارها اقدام به هم‌پوشانی لایه‌ها در محیط GIS گردیده و نقشه‌ی پتانسیل خطر وقوع جریان آواری در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۱۲). نتایج بررسی نقشه نهایی نشان می‌دهد که بالادست حوضه آبریز به دلیل برخورداری از ارتفاع زیاد و دریافت بارش بیشتر در طول سال و همچنین داشتن شیب زیاد از حساسیت بالایی از نظر وقوع جریان آواری برخوردار هستند. همچنین با هم‌پوشانی نقشه‌ی نهایی با لایه‌ی لیتولوژی مشخص شد که مناطق با پتانسیل خطر زیاد با سازندهای مربوط به جریان خاکستر همراه با کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (سازند مراغه) مرتبط می‌باشد. مناطق پایین‌دست حوضه با وجود اینکه از تراکم آبراهه بالا و همچنین وجود گسل‌های متعدد برخوردار هستند اما به دلیل داشتن شیب بسیار پایین، حساسیت پایینی را از نظر وقوع جریان آواری نشان می‌دهند. در واقع می‌توان گفت که نقش شیب در این قسمت‌ها به صورت یک عامل بازدارنده بوده است. بررسی مساحت طبقات هر یک از کلاس‌ها نشان می‌دهد که فقط حدود ۱۶ درصد از کل مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع جریان آواری قرار دارد. در مقابل حدود ۴۹ درصد از مساحت منطقه از حساسیت پایینی نسبت به این مخاطره قرار دارد (جدول ۴). لذا می‌توان گفت مخروط‌افکنه لیلان که در خروجی حوضه قرار دارد

تأثیر خیلی کمی از این مخاطره می‌پذیرد و مهم‌ترین مخاطره‌ای که امروزه این مخروط‌افکنه را تهدید می‌کند وقوع سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف می‌باشد که باعث طغیانی شدن رودخانه‌ی لیلان‌چای در سطح مخروط‌افکنه می‌شود. به منظور ارزیابی نقشه‌ی نهایی از جریان‌های آواری که در منطقه رخ داده استفاده گردید. جهت شناسایی جریان‌های آواری از تصاویر Google Earth استفاده شده و تعداد ۱۱ مورد شناسایی شد. موقعیت این نقاط در نقشه‌ی لیتولوژی با سازندهای مربوط به جریان خاکستر همراه با کنلگومرا، ماسه سنگ و شیل همپوشانی دارد.

جدول (۴): مساحت و درصد مساحت طبقات خطر وقوع جریان آواری (منبع: نگارندگان)

Table (4): Area and percentage of classes of debris flow risk

درصد فراوانی	تعداد جریان آواری	درصد مساحت	مساحت (KM ²)	طبقه خطر
-	-	۱۱/۷	۸۴/۶	خیلی کم
۹/۱	۱	۳۷/۳	۲۶۹/۵	کم
۹/۱	۱	۳۴/۶	۲۵۰	متوسط
۶۳/۶	۷	۱۰/۵	۷۶/۱	زیاد
۱۸/۲	۲	۵/۶	۴۱	خیلی زیاد



شکل (۱۲): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری با مدل FUZZY-SAW (منبع: نگارندگان)

Fig. (12): Map of the Zoning to the occurrence of debris flow using fuzzy-SAW model

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد تا با استفاده از معیارهای مؤثر در وقوع این مخاطره، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری در حوضه‌ی آبریز لیلان چای تهیه شود. جهت تهیه‌ی ۱۰ معیار مؤثر در وقوع این مخاطره از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS و همچنین جهت وزن‌دهی و هم‌پوشانی معیارها از روش Fuzzy-SAW استفاده شد. نتایج وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش SAW نشان داد که معیارهای لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با وزن ۰/۲۶۰، ۰/۲۱۱ و ۰/۱۹۰ از اهمیت بالایی در وقوع این مخاطره در منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. نقشه‌ی نهایی با هم‌پوشانی لایه‌ها و ضرب وزن نهایی معیارها در هر لایه در ۵ طبقه تهیه شد. نتایج بررسی مساحت هر یک از طبقات خطر نشان داد که فقط حدود ۱۶ درصد از کل مساحت منطقه در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع جریان آواری قرار دارد. در مقابل ۴۹ درصد از کل مساحت منطقه از حساسیت کم و خیلی کمی از نظر این مخاطره برخوردار هست. مناطقی که در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار دارند عمدتاً قسمت‌های بالادست حوضه را شامل می‌شوند که از نظر شیب، دریافت بارش (بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر) و همچنین لیتولوژی (وجود خاکسترهای آتشفشانی) پتانسیل وقوع این مخاطره را دارا می‌باشند. قسمت‌های میانی و پایین‌دست حوضه آبریز با وجود اینکه از نظر وجود گسل، نزدیکی به جاده و رودخانه و همچنین سازندهای حساس مثل آهک شرایط مناسبی جهت وقوع جریان آواری دارند اما به دلیل برخورداری از شیب بسیار کم امکان وقوع این مخاطره در این قسمت‌ها به شدت کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که وجود عامل شیب که ۶۹ درصد از مساحت منطقه شیب کمتر از ۱۰ درجه دارند به عنوان یک عامل بازدارنده در این حوضه عمل می‌کند و از وقوع جریان آواری در منطقه جلوگیری می‌کند. همچنین با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت که این مخاطره تأثیر چندانی نمی‌تواند بر روی مخروط افکنه لیلان داشته باشد. زیرا با توجه به وقوع این مخاطره در قسمت‌های بالادست حوضه امکان انتقال این مواد به مناطق پایین‌دست و حتی سطح مخروط افکنه به دلیل مسافت خیلی طولانی بسیار پایین است. همچنین وجود سیل‌بندهای متعدد بر روی رودخانه‌ی اصلی و حتی آبراهه‌های فرعی امکان انتقال این مواد را در صورت وقوع این مخاطره به شدت کاهش داده است. زیرا در صورت وقوع جریان آواری در بالادست حوضه، مواد حمل شده توسط رودخانه در سیل‌بندهای موجود رسوب خواهند کرد.

۵- منابع

- Abedini, M. (2004). The Role OF Major Factors Upon the Generation and Evolution of Debris Flows in South-Western Range of Hadishahr- Dare Deez (North -West of Azarbaeejan), *Geographical Research*, 19, 3, 193-212.
- Alexander, J., Horton, Tristram C. Hales., & Chaojun Ouyang, Xuanmei Fan. (2019). Identifying earthquake debris flow hazard using Massflow, *Engineering Geology*.
- Amini Faskhoudi, A. (2006). the Application of Fuzzy Logic Inference in Regional Developmentand Planning Studies, *Knowledge and Development*, 17, 39-61.
- Ariapour, M., Bashiri, M., & Golkarian, A. (2019). Modeling of Mass Movements Using Data Mining Methods in the Southeast of Neyshabur City, Razavi Khorasan Province, *Hydrogeomorphology*, 5, 19, 55-77.
- Asghari, S., Hasan zadeh, R., & Raoofi, S. (2020). Investigation of Factors Influencing rock fall and Its Zoning with Logistic Regression in Ali Abad Basin of Horand., *Hydrogeomorphology*, 6, 23, 21-38.
- Behniafar, A., Boromand, R. (2015). Zoning the potential of slope instabilities with emphasis on debris flows in the Sarasiab mountain basin (Binalood zone). *Journal of Geographical Sciences*, 23, 30-45.
- De Haas, T., Braat, L., Leuven, J. F. W., Lokhorst, I. R., Kleinhans, M. G. (2015). Effects of debris-flow composition and topography on runout distance, depositional mechanisms and deposit morphology. *J. Geophys. Res. EarthSurf.* 120, 1949-1972.
- Fatemi, S.B., Rezaei, Y. (2012). Principle of remote sensing, Azadeh Press, pp. 296.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). Alluvial Fan Hazards and Management. FEMA165.
- Field, C.B., Barros, V., & Stocker, T.F. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 18 (6), 586-599.
- Ghaed rahmati, S., Bastanifar, I., & Soltani, L. (2011). A Survey of Density Effect on the Vulnerability of Earthquake in Isfahan City (Fuzzy Approach). *Geography and Environment Planning*, 22(1), 107-122.
- Hack, JT., Goodlett, J. C. (1960). Geomorphology and forest ecologyof a mountain region in the central Appalachians, *US GeologicalSurvey Professional Paper*, 347, 66.
- Hossein zadeh, M. M., Servati, M.R., Mansori, A., Mirbageri, B., & Khezri, S. (2009). Zoning of mass movements Occurrence Risk using logistic regression model, *Iranian Journal of Geology*, 3 (119), 27-37.

- Ilanloo, M. (2011). A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 19, 668-676.
- Iverson, R. M. (1997). The physics of debris flows. *Rev, Geophys*, 35 (3), 245-296.
- Karami, A., Abdshahi, A. (2011). Ranking of Townships in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province in terms of Development using Fuzzy Approach, *Journal of Agricultural Economics Research*, 3(11), 117-136.
- Karam, A., Paknejad, F., Bahram abad, E. (2021). Zonation of unstable slopes with respect to the debris flows using random forest algorithm (case study: Basin Tngra Golestan Province), *Quantitative Geomorphological Research*, 9(3), 59-74.
- Khaledi, S., Derafshi, Kh., Mehrjunejad, A., Gharachahi, S., & khaledi, Sh. (2012). Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment: the Taleghan Watershed case study, *Geography and Environmental Hazards*, 1(1), 49-64.
- Khezri, S., Ahmadi, M., & Mohammadi Motlag, A. (2015). Hazard analysis and zoning of Debris flows and its cones in the mountainous region of Paveh, *Quantitative Geomorphological Research*, 3(4), 1-16.
- Liu, X., Lie, J. (2003). A method for assessing regional debris flow risk, *Geomorphology*, Vol.52, p 181-193.
- Mahmodi, F. (2003). Dynamic geomorphology, *Payam Noor University Publishers*.
- May, C. L., Gresswell, R. E. (2004) Spatial and temporal patterns of debris-flow deposition in the Oregon Coast Range, USA, *Geomorphology*, 57, 135-149.
- Momeni, M. (2008). New Topics Research in Operations, Faculty of Management Tehran University. Tehran. Second edition.
- Motakan, A. A., shakiba, A. R., Pourali, S. H., & nazmfar, H. (2009). Locating suitable areas for landfilling using GIS Study area (Tabriz city), *Environmental Sciences*, 6, 121-136.
- Movahed danesh, A. A. (1999). Iran surface water hydrology, *Samt Publications*, Fifth Edition, 45.
- Pasuto, A., Soldati, M. (2004). An integrated approach for debris flow in the Italian Dolomites, *Geomorphology*, Vol.61, P 59-70.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., MahdaviFar, M.R., & Mohammadi, M. (2009). Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision- Making Method. Iranian Journal of Watershed Management, *Science & Engineering*, 3(8), 51-62.
- Qiang, Zou., Peng, Cui., Jing, He., & Yu, Lei. Shusong, Li. (2019). Regional risk assessment of debris flows in China—An HRU-based approach, *Geomorphology*, 34, 84-102.

- Rasuly, A.A. (2009). Principle of applied remote sensing and image processing. University of Tabriz Press, pp. 403.
- Saffari, A., Sasanpour, F., & Mousavand, J. (2010). Assessing the vulnerability of urban areas to flood risk using GIS and fuzzy logic Case study: District 3 of Tehran, *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 20, 129.
- Salari, M., Moazed, H., & Radmanesh, F. (2012). Site Selection for Solid Waste by GIS & AHP-FUZZY Logic (Case Study: Shiraz City), *The Journal of Toloo-e-behdasht*, 11, 88-96.
- Sargaonkar, A., Rathi. B., & Baile A., (2010). Identifying Potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India, *Environment Earth Sciences*, 1-10.
- Scott, K. M. (1971). Origin and sedimentology of 1969 debris flows near Glendora, California, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 750-C, 242-247.
- Shen Shiwei 1 & Xie He'En2&Xu Yan2 & Zhang Min2 & Niu Xiaobin2 & Li Guoliang. (2020). Fuzzy comprehensive evaluation of debris flow in Matun village, Laomao Mountain area, Dalian city, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(49). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-5011-y>.
- T, de Haas., A, L, Densmore, M, Stoffel, H, Suwa, F, Imaizumi, J, A, Ballesteros-C´anovas & T. Wasklewicz (2017). Avulsions and the spatio-temporal evolution of debris-flow fans, *Earth Science Reviews*.
- Takahashi, T. (1978). Mechanical aspects of debris flow, American Society of Civil Engineers Proceedings, *Journal of the Hydraulics Division*, 104, 1153–1169.
- Tamara, Michelini, Francesco, Bettella, & Vincenzo, D'Agostino. (2017). Field investigations of the interaction between debris flows and forest vegetation in two Alpine fans, *Geomorphology*, 279, 150-164.
- Tjalling, de Haas., Dario, Ventra, Patrice E, Carbonneau, & Maarten G, Kleinhans. (2014). Debris-flow dominance of alluvial fans masked by runoff reworking and weathering, *Geomorphology*, 217, 165-181.
- Wan-jie Liang, Da-fang Zhuang, Dong Jiang, Jian-jun Pan, Hong-yan Ren. (2012). Assessment of debrisflow hazards using a Bayesian Network, *Geomorphology*, 171–172, 94-100.
- Zadeh L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.