



## پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری با استفاده از مدل FUZZY-SAW مطالعه‌ی موردنی: حوضه‌ی آبریز لیلان چای، شمال غرب ایران

داود مختاری<sup>۱\*</sup>، محمدحسین رضایی مقدم<sup>۲</sup>، سمیه معزز<sup>۲</sup>

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

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

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

تأثیید 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، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، لیتوژئی، 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 لیتوژئی، شیب و بارش به ترتیب با وزن ۰/۰۲۱۱، ۰/۰۲۱۰ و ۰/۰۲۶۰ 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 مخروط‌افکنه 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، FUZZY-SAW، حوضه‌ی آبریز لیلان چای، شمال غرب ایران

## ۱- مقدمه

جريان‌های آواری<sup>۱</sup> از جمله حرکات توده‌ای و فرایندهای ژئومورفولوژیکی در مناطق کوهستانی هستند (تاكاهاشی، ۱۹۷۸؛ ايورسون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷؛ هاس و همکاران، ۲۰۱۵). در سراسر جهان جريان‌های آواری در بين مخاطرات مخرب و با فراوانی زياد، در مناطق کوهستانی هستند و به طور مداوم باعث از بين رفتن زندگی، زمين‌های کشاورزی، زيرساختها و ساختمان‌ها می‌شود. اين‌ها توده‌هایي از خاک و سنگ و مقداری رسوب هستند (کوستا، ۱۹۸۸؛ ايورسون، ۱۹۹۷). جريان آواری از جمله مخاطرات ژئولوژيکی هست و اغلب با يك زمين‌لغزش شروع می‌شود (وان جی ليانگ و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع جريان آواری يك فرایند ژئومورفيك با پتانسيل مخاطره در مناطق کوهستانی می باشد که قادر است مقادير زيادي از رسوبات را به پايین دامنه حمل کند، مورفولوژي سطح را تغيير داده و زندگي و كاربرى‌های انساني را تهديد کند (هك و گودلت<sup>۳</sup>، ۱۹۶۰ و اسکات<sup>۴</sup>، ۱۹۷۱). پيدايش و اهميت جريان‌های آواري در هر منطقه بستگي به شرایط اقليمي، ليتولوژيکي، زمين ساخت و فعالیت‌های انساني دارد، و معمولاً جريان‌های آواري فعال مشكلاتي را برای امور کشاورزی، صنعتي و شبکه ارتباطي به وجود می‌آورند (ليو و لي<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳؛ پاسوتو و سولدات<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴).

با توجه به اينکه جريان‌های آواري از جمله مخاطرات مهم در حوضه‌های آبريز هستند و خساراتي در اين مناطق بوجود می‌آورند. با توجه به اين امر، به علت شيب زیاد حوضه‌ی آبريز ليان در بالادست و همچنین نوع سازنده‌های آن که عبارت از جريان خاکستر، كنگلومرا، ماسه سنگ، و شيل هست، اين حوضه را مستعد وقوع مخاطره‌ی جريان آواري می‌کند. بنابراين تحقيق حاضر با هدف بررسی پتانسيل خطر وقوع اين پديده در حوضه‌ی آبريز ليان چاي با استفاده از مدل ترکيبي Fuzzy-SAW در محبيط سистем اطلاعات جغرافيايي انجام شده است. در شناسايي مناطق با خطر وقوع بالا كمک شاياني به مدیران و برنامه‌ريزان منطقه جهت مديريت و کنترل اين مخاطره در سطح حوضه‌ی آبريز می‌نماید. لازم به ذكر هست که در حوضه‌ی آبريز مورد مطالعه تاکنون مطالعه‌ای در اين زمينه انجام نگرفته است.

مخاطره‌ی جريان آواري توسط محققين داخلی و خارجي با مدل‌ها و روش‌های متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است از جمله: كرم و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشي اقدام به پنهان‌بندی ناپايداري دامنه‌ها نسبت به حرکات واريزه اى با استفاده از روش الگوريتم جنگل تصادفي در حوضه تنگراه استان گلستان نمودند و نتایج حاصله از آن عبارت بود از اينکه فاكتورهای شيب، ارتفاع و فاصله از جاده در پيش‌بینی نهايی می باشد. اصغری و همکاران

1- Debris flow

4- Scott

2- Iverson

5- Liu & Li

3- Hack& Goodlett

6- Passuto & Soldat

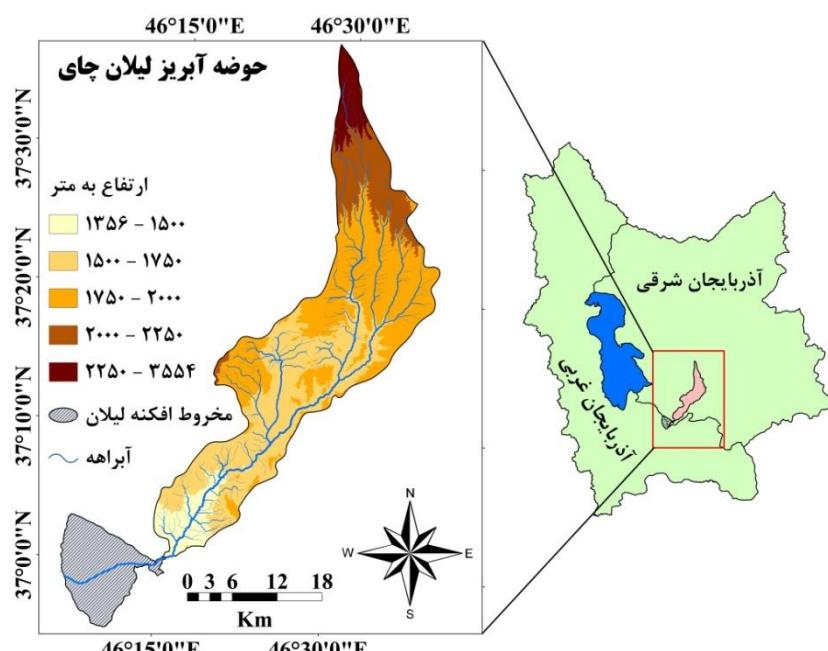
(۱۳۹۹)، عوامل مؤثر بر ریزش سنگی و پهنه‌بندی خطر آن با رگرسیون لجستیک در حوضه‌ی آبریز علی‌آباد هوراند را بررسی کردند و با تحلیل رگرسیونی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد آزمون قرار گرفت. آرباپور و همکاران (۱۳۹۸)، مدل‌سازی حرکات توده‌ای با روش داده‌کاوی در جنوب شرق نیشابور را مطالعه کردند که متغیرهای زمین‌شناسی، جهت شیب، ارتفاع، آب‌وهوا مهم‌ترین عوامل وقوع حرکات توده‌ای بودند خضری و همکاران (۱۳۹۴)، خطر جریانات واریزه‌ای و مخروطهای آن در منطقه‌ی کوهستانی پاوه 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 آنلاگان پهنه‌بندی کردند. نتایج بدست‌آمده 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 روتای ماتون در منطقه‌ی کوهستانی لائومائو پرداختند و نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که جریان واریزه در روتای 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 میسلنی و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی میدانی اثر متقابل بین جریان‌های آواری و پوشش گیاهی جنگلی در دو مخروط افکنه آلپی پرداخته‌اند و نتایج اصلی ثابت کرده است که ظرفیت پوشش گیاهی به طور یکنواخت پراکندگی انرژی جریان را افزایش می‌دهد. تی، دی، هاس و همکاران<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> (۲۰۱۶)، تسلط و نفوذ جریان آواری در مخروط افکنه و عملکرد دوباره رواناب و هوازدگی را مورد مطالعه قراردادند. بخش چینه‌شناسی مشخص کرد که مخروط افکنه توسط جریان آواری رسوب‌گذاری شده است و سطح مورفولوژی توسط اثرات جریان آواری در بخش فعل غالب شده است و هوازدگی و رواناب در بخش غیرفعال بیشتر بوده است. وجه تمایز این پژوهش با

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

### ۱-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز لیلان چای به عنوان یکی از زیرشاخه‌های رودخانه‌ی زربنهرود، 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 کیلومترمربع بوده و در مختصات جغرافیایی "۳۷° ۰۰' ۳۱" تا "۳۷° ۳۸' عرض شمالی و "۱۴° ۲۶' طول شرقی قرارگرفته است (شکل ۱). حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۵۶ متر و حداکثر ارتفاع آن نیز در ارتفاعات کوهستان سهند 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 پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ طی مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی برای رشته‌های ریاضی و الکترونیک انتشار یافت و کم کم 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، ۱۱۰: ۲۰۱۱؛ ۶۶۸: ۲۰۱۱). در فازی‌سازی معیارها، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع Linear، Sigmoidal، J-shape 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).

#### ۴-۲- تهیه‌ی 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 دلالت 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 مشابه در یکی از کلاس‌های پوشش اراضی قرار می‌گیرند (رسولی، ۱۳۸۷). مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از این روش‌ها در نرم‌افزار ENVI انجام شده است.

#### ۵-۲- روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

با استفاده از روش وزن دهی تجمعی ساده به وزن دهی معیارهای مورد مطالعه در این تحقیق که شامل فاکتورهای؛ شبیب، جهت شبیب، 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 تجمعی 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 این‌رو، 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 وزن دهی 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).

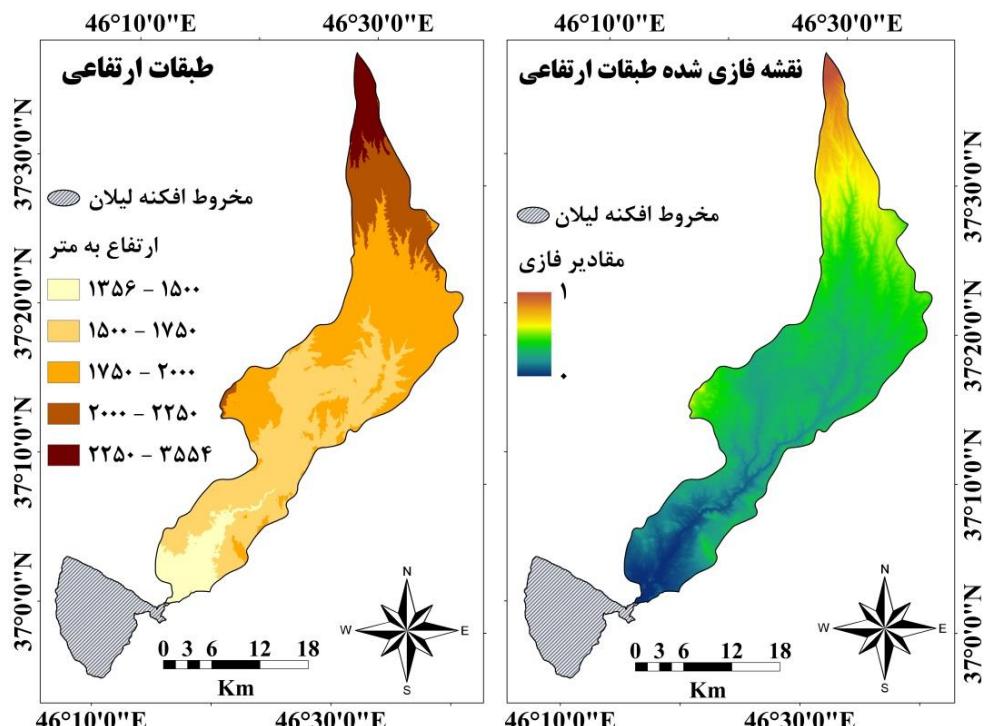
$$A_i = \sum W_j' * R_{ij} \quad (5)$$

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

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- تحلیل فاکتورهای مؤثر در وقوع جریان آواری

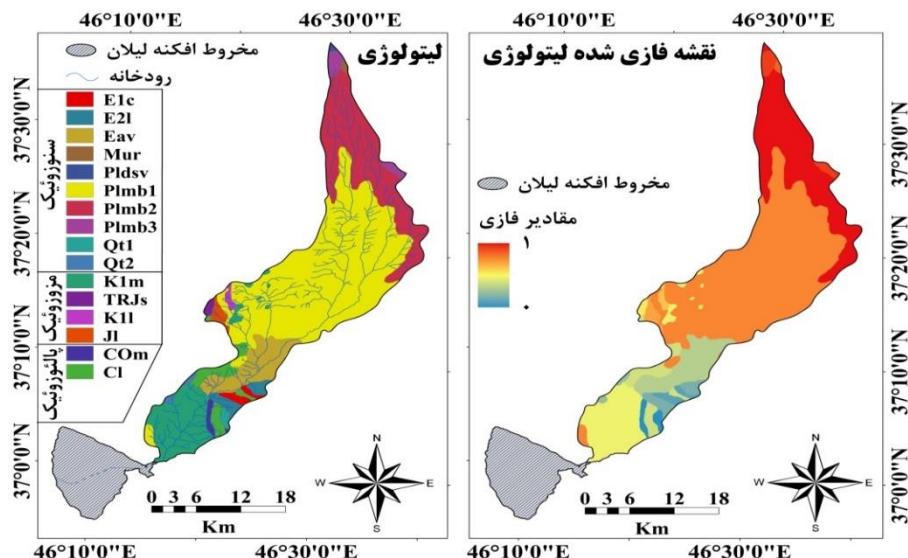
الف) طبقات ارتفاعی: تغییرات ارتفاعی هر منطقه کنترل‌کننده‌ی میزان تراکم شبکه‌ی زهکشی و جهت رواناب است. این عامل با کنترل رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها، به عنوان عاملی مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ ۲۷). در منطقه‌ی مورد مطالعه حداقل و حداقل ارتفاع به ترتیب ۱۳۵۶ و ۳۵۵۴ متر 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 هوایدگی توده‌های سنگ را تعیین می‌کند که پایداری شب و فرسایش سطح را کنترل می‌کند. بنابراین توده سنگ‌ها از مواد پایه‌ای ترکیب شب و مواد منبع جریان آواری هستند (کیانگ زو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹؛ ۸۴). لیتولوژی غالب منطقه بیشتر شامل سازنده‌ای PLmb2 (خاکسترهاي آتشفسانی 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 لیتو لوزی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

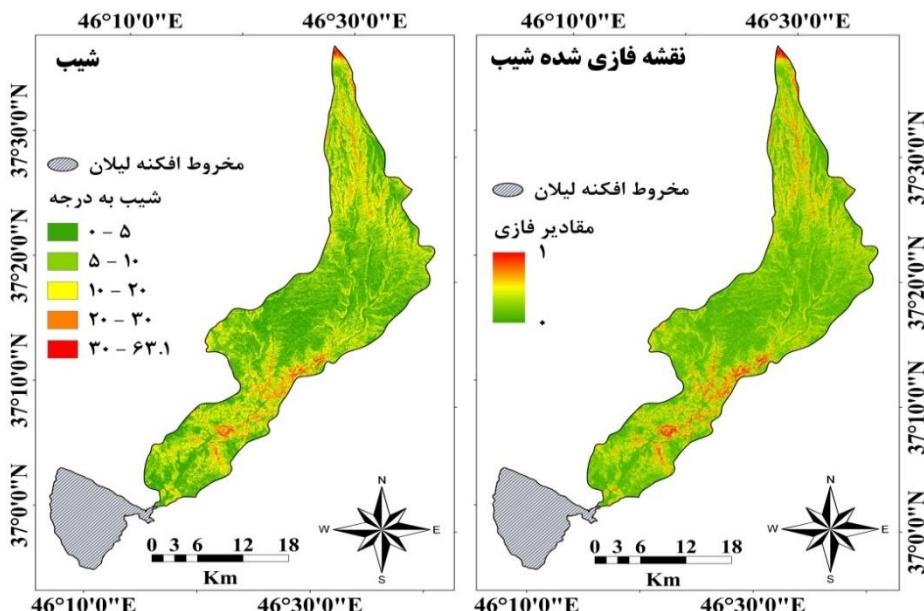
Fig. (3): Lithology of the study area

جدول (۱): توضیحات واحدهای لیتو لوزی منطقه

Table (1): Description of lithology units

توضیحات	سازند
جریان‌های خاکستر و سنگ‌های همراه با آن (سازند مراغه)	Plmb2
ربولیت پلیوسن تا زیرآتشفسانی‌های ریو- داسیت	Pldsv
جریان خاکستر و سنگ‌های پیروکلاستیک مرتبه، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (سازند مراغه)	Plmb3
مارن قرمز، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (سازند قرمز بالایی)	Mur
پیروکلاستیک و سنگ‌رس با باقیماندهای جانداران مهره‌دار(سازند مراغه)	Plmb1
سنگ‌آهک حجیم (سازند لار)	Ji
سنگ‌آهک اوربیتولین دار‌حجیم 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 آتشفسانی آندزیتی	Eav
مخروط کوهپایه‌ای (پدیمنت) سطح پایین (ارتفاع کم) و نهشته‌های تراس دره‌ای	Qt2
سنگ‌آهک (صفد دار)	E2l
کنگلومرای پلی ژنیک قرمز کمرنگ و ماسه‌سنگ	E1c
سنگ‌آهک پهن و سست دولومیتی شامل (تریلوبیت یا بندپایان)، ماسه‌سنگ و شیل (سازند میلا)	C0m
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 بهصورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر در حرکات توده‌ای را بازتر می‌نماید (حضری 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 به عنوان یک عامل بازدارنده در این رابطه عمل خواهد کرد. جهت فازی‌سازی لایه‌ی شیب از تابع خطی افزایشی استفاده شده است (شکل ۴).

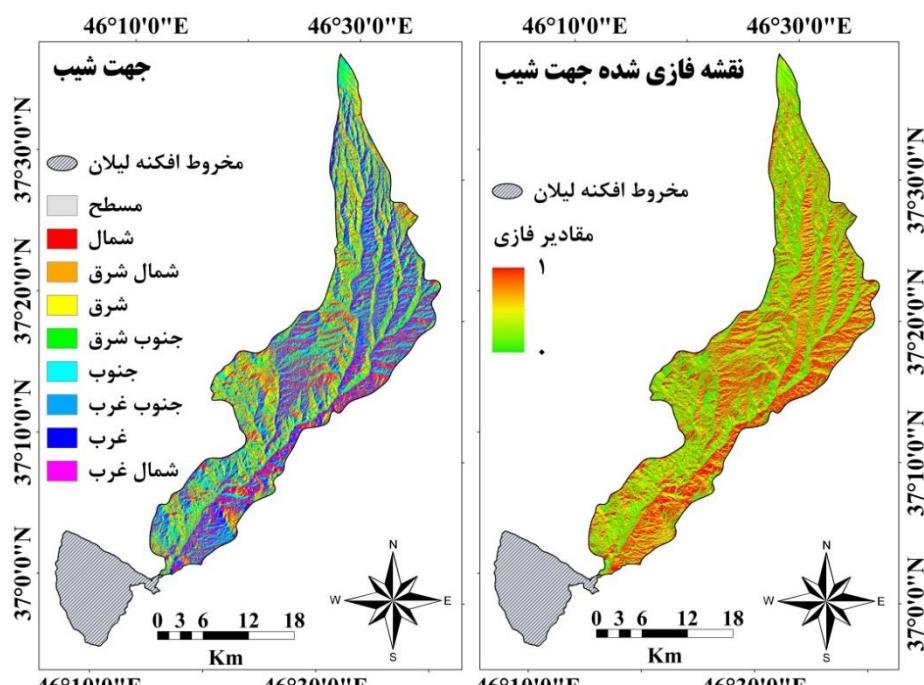


شکل (۴): نقشه‌ی شیب منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

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

د) جهت شیب: جهت شیب دامنه یعنی زاویه‌ای که هر دامنه با شمال می‌سازد، به عنوان 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 (حالی 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

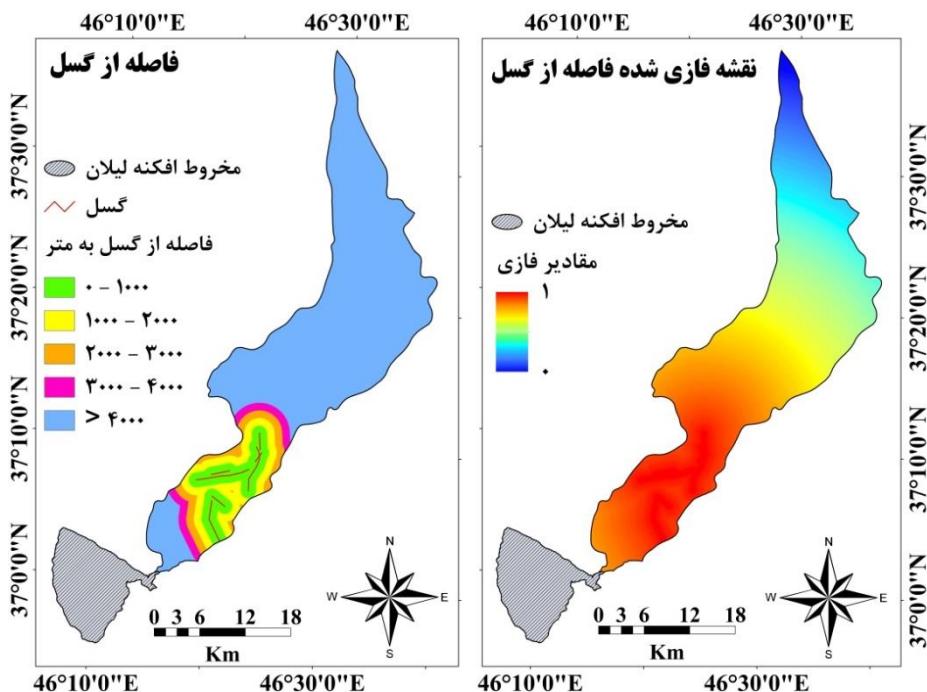
در وقوع جریان آواری دارند. فازی‌سازی این لایه با استفاده از دستور تعریف کاربر انجام شده و دامنه‌های حساس (شمالی، غربی و شمال غربی) مقادیر بالاتر فازی را کسب کرده‌اند. کمترین مقادیر فازی نیز به ترتیب به دامنه‌های جنوب شرقی، جنوبی و شرقی به دلیل تأثیر کمترشان در وقوع جریان آواری در منطقه‌ی مورد مطالعه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

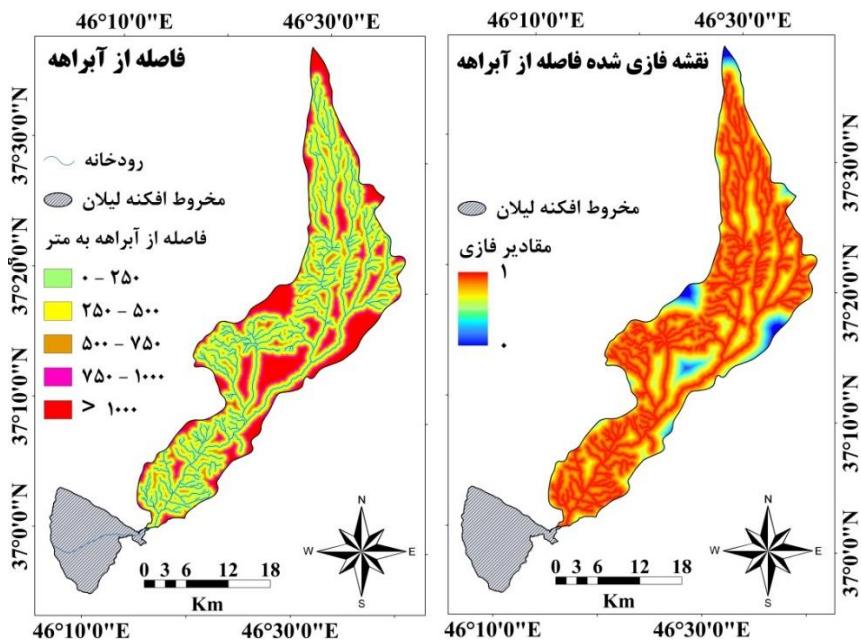
۵) فاصله از گسل: فاصله از گسل یک شاخص مهم می‌باشد که درجه ثبات و پایداری سطح را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین فاصله به گسل شدیدترین فعالیت تکتونیکی و بنایراین جدی‌ترین تخریب سطحی را خواهد داشت (کیانگ زو و همکاران، ۲۰۱۹). جهت تهیه نقشه گسل‌های منطقه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه استفاده شده و گسل‌های منطقه در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شدند. تمامی گسل‌های منطقه در پایین دست حوضه قرار گرفته‌اند. فازی‌سازی این لایه با استفاده ازتابع خطی کاهشی 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)

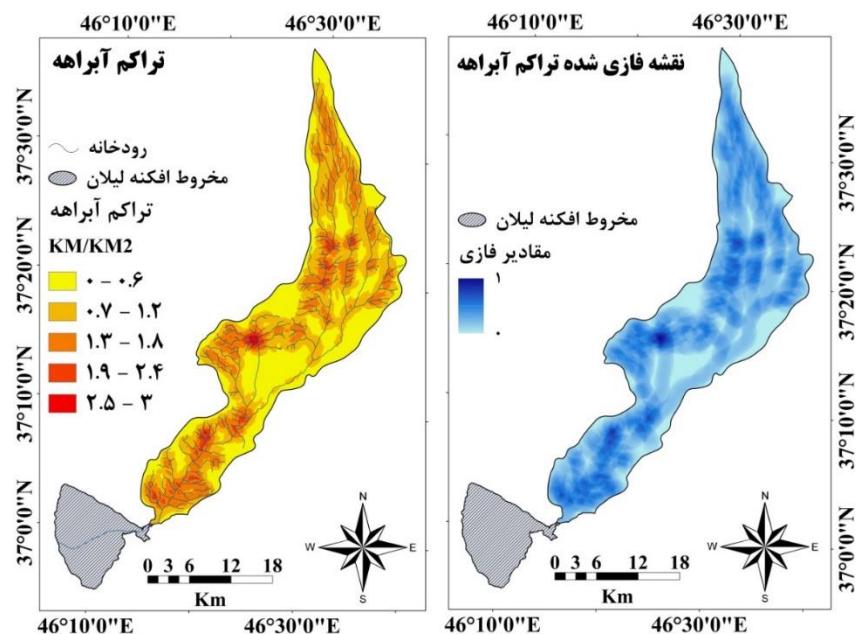
Fig. (6): Distance to fault of the study area

و) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه: رواناب حاصل از بارش‌های رگباری عامل مهم در جابجایی واریزه‌های نقاط تندریب بالادست دامنه‌هاست (اعتدلینی، ۱۳۸۷: ۲۰۰). علاوه بر این بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت، بیشتر از بارش‌های آرام بلندمدت، در جابجایی واریزه‌ها مؤثر است (می و جریس ول، ۱۴۷: ۲۰۰۴). فاصله واریزه‌ها از خطوط آبراهه یا قرار گرفتن در مسیر رواناب‌ها می‌تواند به عنوان یک عامل مؤثر در شکل‌گیری جریان‌های آواری باشد (حضری 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 موقع جریان آواری به این صورت هست که مناطق نزدیک به آبراهه از خطر وقوع بالایی برخوردار هستند. بنابراین جهت فازی‌سازی این لایه از تابع خطی کاهشی 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)

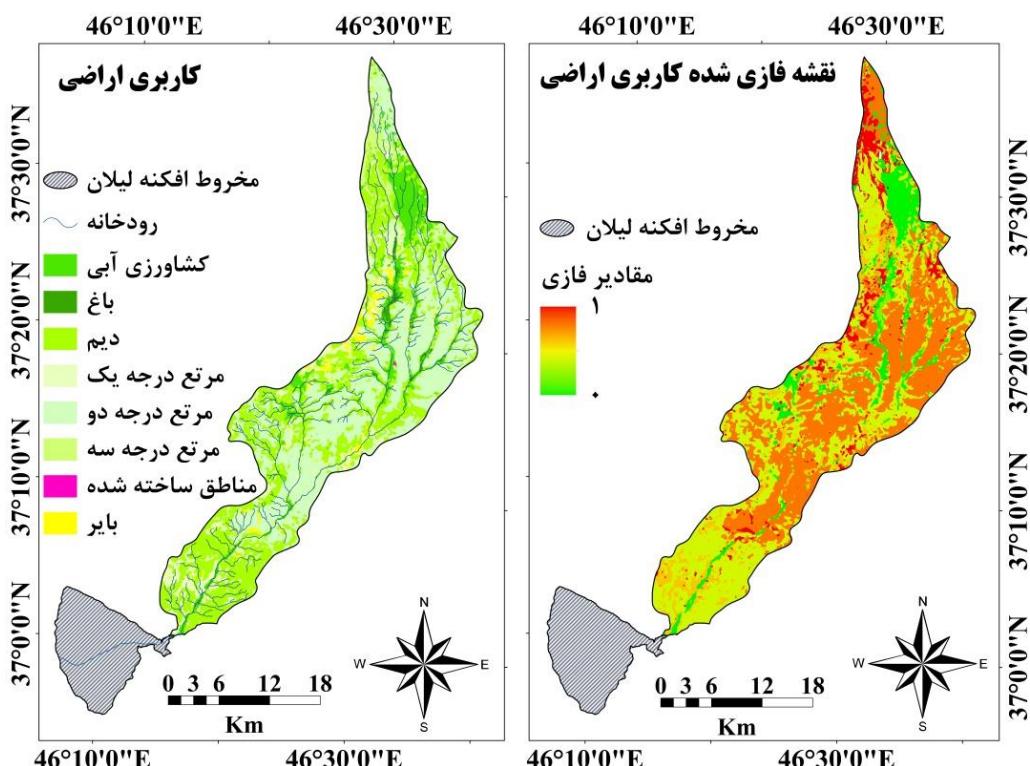
Fig. (7): Distance to river of the study area



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 (حضری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰). بهمنظور 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 نظارت شده 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، مرتع 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).

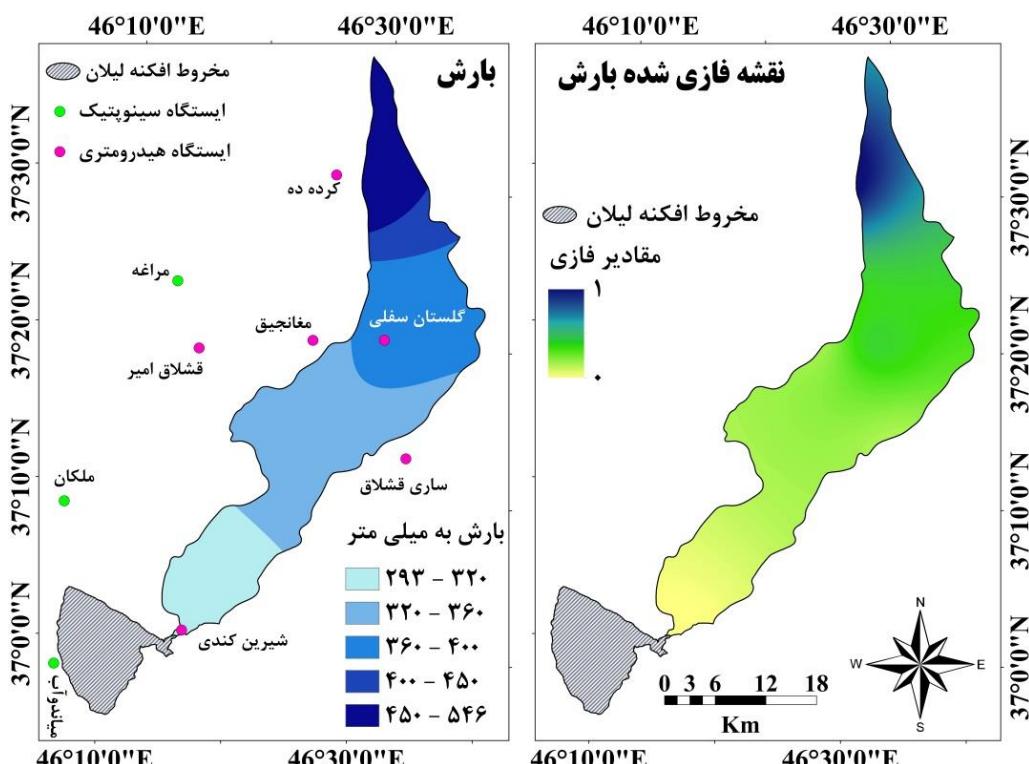


شکل (۹): نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

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). بهمنظور تهیه نقشه‌ی بارش منطقه از آمار بلند مدت بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (میاندوآب، ملکان و مراغه) و هیدرومتری

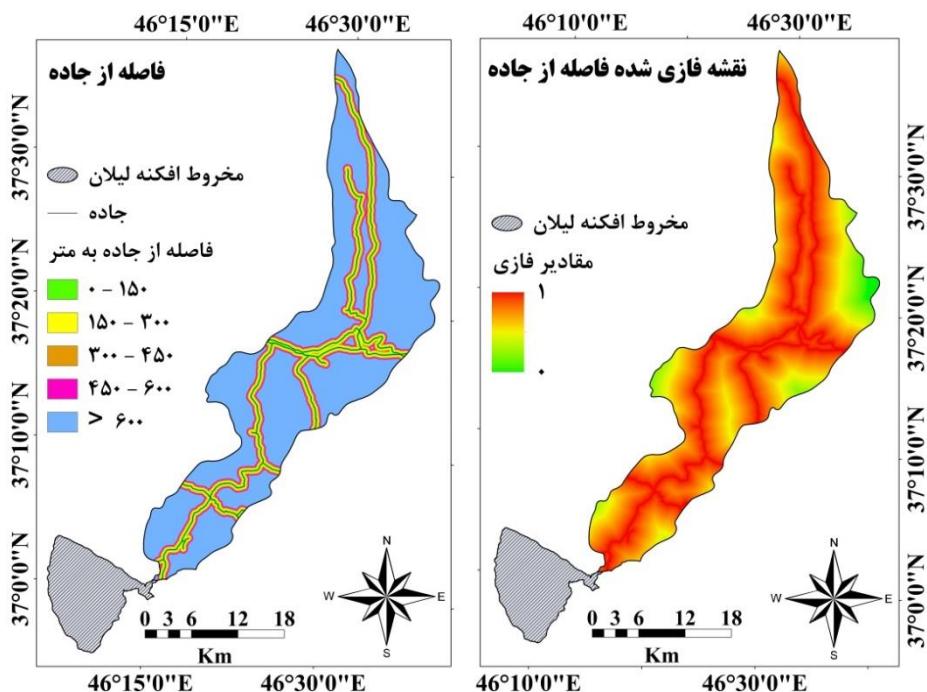
(شیرین کندي، ساري قشلاق، گلستان سفلی، قشلاق امير، مغانجيق و كرده ده) موجود در منطقه استفاده شده است. نقشه‌ي بارش با استفاده از روش درون‌بالي ArcGIS IDW در نرم‌افزار ArcGIS تهيه گردید. با توجه به اينکه با افزایش بارش پتانسیل خطر وقوع جریان آواری افزایش پيدا مي‌کند، از تابع خطی افزایشی جهت فازی‌سازی اين لايه استفاده شده است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): نقشه‌ي بارش منطقه‌ي مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

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

خ) فاصله از جاده: لرزه‌های حاصل از عبور قطارها و ترانزيت‌ها از روی دامنه‌ها، از عوامل تشديد‌کننده‌ي ريزش‌های سنگی و جريان‌های آواری هستند (عبداليني، ۱۳۸۷: ۲۰۵). جهت تهيه‌ي نقشه جاده‌هاي موجود در سطح منطقه از تصاویر ماهواره‌اي لندست ۸ و Google Earth استفاده شده است. برش دامنه‌ها و ايجاد جاده در سطح منطقه و همچنین وجود راه‌آهن تبريز - تهران در منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع جريان آواري در پاي دامنه‌ها مي‌تواند باشد. با توجه به اينکه مناطق نزديك به جاده و راه‌آهن از حساسيت بالايي برای وقوع جريان آواري برخوردار هستند از تابع خطی کاهشي جهت فازی‌سازی اين لايه 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 (جداول ۲ و ۳).

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

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

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

ادامه جدول (۲): وزن دهی طبقات معیارها با روش SAW (منبع: نگارندهان)

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

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

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

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

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

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

جهت شیب	وزن اولیه	وزن استاندارد شده	جهت شیب	وزن اولیه	وزن استاندارد شده	جهت شیب
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): وزن دهی معیارهای اصلی با روش SAW (منبع: نگارندگان)  
Table (3): Weighting the main criteria with SAW method

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

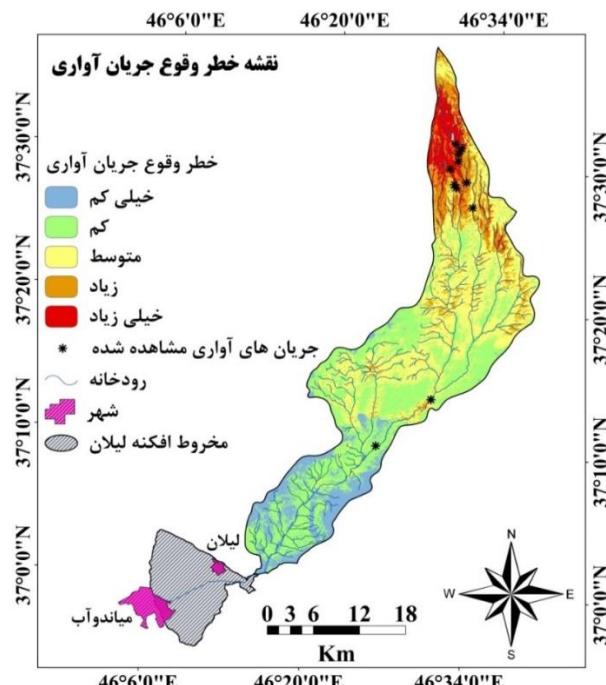
با توجه به نتایج جدول ۳ که از طریق پرسشنامه (تعداد سه نمونه) و نظرات کارشناسان و استادی بدست آمده است، معیارهای لیتوژی، شیب و بارش به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۶۰، ۰/۱۹۰ و ۰/۲۱۱ در موقع جریان آواری در منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در مقابل سه معیار فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از آبراهه اهمیت کمتری 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 بالا درست 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 لیتوژی مشخص شد که مناطق با پتانسیل خطر زیاد با سازندهای مربوط به جریان خاکستر همراه با کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (سازنده 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 مخروط‌افکن را تهدید می‌کند وقوع سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف می‌باشد که باعث طغیانی شدن رودخانه‌ی لیلان‌چای در سطح مخروط‌افکن 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 لیتلولوژی با سازنده‌های 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

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



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 لیتلولوژی، 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 لیتلولوژی (وجود خاکسترها آتشفسانی) 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 Azarbaejan), *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., *Hydrogeomorphlogy*, 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 IntergovernmentalPanel 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 offuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: Anexperience 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 Kohgiloyeh and Boyerahmad 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). Amethod for assessing reginal 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 debrise flow in the Italian Dolomites, *Geomorphology*, Vol.61, P 59-70.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., Mahdavifar, M.R., & Mohammdi, 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<sup>1</sup> & Xie He<sup>2</sup>&Xu Yan<sup>2</sup> & Zhang Min<sup>2</sup> & Niu Xiaobin<sup>2</sup> & 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, Carboneau, & 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 linguisticvariable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.