

## کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین لغزش نمونه موردی: حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه های بینالود

ابوالفضل بهنیافر\*

استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

محمدرضا منصوری دانشور

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، فارغ التحصیل دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

پروین کهربائیان

مدرس و عضو هیأت علمی گروه آمار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

### چکیده

ناپایداری دامنه‌ای به ویژه خطر زمین لغزش از جمله مخاطرات عمده‌ای است که به دلیل ماهیت مناطق کوهستانی، معمولاً از فراوانی زیادی برخوردار است. البته اگر این مخاطره با خطرات دیگری چون زلزله و سیل نیز همراه شود، دامنه وسیع تری به خود می‌گیرد. زون کوهستانی بینالود به دلیل گسترش سازندهای حساس شیل و فیلیت و همچنین شدت زیاد کاربری اراضی و سایر فعالیت‌های آنتروپوژنیک، حساسیت ویژه‌ای در برابر مخاطرات زمین لغزش دارد. در این میان حوضه آبریز فریزی با وسعت زیاد خود و استقرار در بستر دو نوع لیتولوژی متفاوت فیلیتی و آهکی شرایط ویژه‌ای دارد. ما در این مقاله با استفاده از مدل AHP و منطق فازی به ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه فریزی پرداختیم. مجموعاً ۱۵ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده زمین لغزش مورد تحلیل گرفت. این معیارها به عنوان نقشه‌های عامل، هر کدام جداگانه کلاسه بندی شده و از روش‌های آماری ارزش گذاری شدند. نقشه نهایی تولید شده برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه او لا نشان داد که مجموعاً حدود ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین لغزش قرار دارند. نتایج مشخص کرد که متغیر سازند فیلیتی با برخورداری از معناداری بالا ( $\text{Sig} < 0.05$ )، نسبت به سازندهای دیگر موجود در حوضه همبستگی قوی تری را با متغیر وابسته خطر زمین لغزش دارد ( $R^2 = 0.835$ ). اطلاعات برداشت شده با GPS هم انطباق پذیری بالایی با تکنیک مورد استفاده بر اساس منطق فازی نشان داد. همچنین مناسبیت کاربرد این مدل برای پهنه بندی ناپایداری های دامنه‌ای در حوضه‌های کوهستانی تأیید شد.

**واژگان کلیدی:** منطقه بندی خطرات زمین لغزش، منطق فازی، مدل AHP، وزن‌های استاندارد، حوضه آبریز

فریزی، زون کوهستانی بینالود

### مقدمه

منطق فازی ابزاری دقیق و توانمند در مدل سازی از پدیده‌های ژئومورفیک به ویژه حرکات توده‌ای دامنه در ژئومورفولوژی می‌باشد زیرا بیشتر پدیده‌های ژئومورفیک غیر خطی و پیچیده هستند و در وقوع آن‌ها چندین

متغیر با درجه شدت‌های متفاوت دخالت دارند. ضمناً برخی از این پدیده‌ها مانند لغزش‌ها را نمی‌توان از طریق سری‌های زمانی منطقه بندی کرد و مدل‌های ریاضی برای آن‌ها ناکافی است. اما سیستم‌های فازی ابزاری مفید برای مدل‌سازی لغزش‌ها و سایر پدیده‌های دینامیکی محسوب می‌شوند. تئوری مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پروفیسور (لطفی) زاده<sup>۱</sup> مطرح شد و برای توسعه استدلال تقریبی به کار گرفته شد (Zadeh, 1965) و (Zadeh, 1373). برای پیش بینی سری‌های زمانی با استفاده از منطق فازی هم، مدل‌های بسیاری در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ مطرح شده است که از آن‌ها برای پهنه بندی و پیش بینی پدیده‌ها می‌توان استفاده کرد (Gooijer, 2006). طبق این تئوری یک مجموعه فازی کلاسی از اشیا و موضوعات است که دارای درجه ای از تعلق می‌باشند. فرض کنید  $u$  مجموعه جامع یا مجموعه جهانی و به صورت رابطه  $u = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$  باشد که در آن  $u_n$  یک مقدار زبانی ممکن برای  $u$  است در این صورت  $A$  را یک مجموعه فازی در مجموعه جهانی  $U$  و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$A = [f_A(u_1)u_1 + f_A(u_2)u_2 + \dots + f_A(u_n)u_n] / u_n$$

در این جا  $f_A$  یک تابع متعلق از  $A$  خواهد بود که خود دارای روابط دیگری است که از ذکر آن‌ها خودداری می‌شود. با این مدل می‌توان متغیرهای زیادی را که در ایجاد یا وقوع زمین لغزش‌ها مداخله گر بوده، دسته بندی و اولویت بندی کرده و درجه شدت هر کدام را در وقوع حادثه تعیین کرد. بنابراین نه تنها تأثیر متغیرها در ایجاد لغزش‌ها بلکه ترکیب آن‌ها در وقوع حادثه ارزیابی می‌شوند و هدف از آن ایجاد یک مدل برای وقوع لغزش‌ها و پهنه بندی آن‌ها بر اساس مجموعه زوج‌های ورودی و خروجی است. همچنین می‌توان برای تسهیل تحلیل رگرسیون فازی از جبر ماتریس‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. در مجموع برای پهنه بندی زمین لغزش‌های مناطق کوهستانی تا به حال از تکنیک‌های زیادی مانند مدل‌های ریاضی و مدل‌های تجربی نظیر مدل آنبالاگان استفاده شده‌اند که هر یک از آن‌ها به دلیل ضعف قضاوت‌های دقیق کارشناسی و روابط بین مدل از دقت کمتری نسبت به سیستم فازی برخوردار می‌باشند. از این نظر در این پژوهش با استفاده از مدل متکی بر منطق فازی پهنه بندی لغزش‌های زمین در یک حوضه کوهستانی تعیین شد و پس از آن با عملیات میدانی به وسیله GPS مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت و مؤثرترین متغیرهای مسبب زمین لغزش در منطقه بر اساس آزمون همبستگی به دست آمد.

### قلمرو پژوهش

محدوده مورد مطالعه این تحقیق را به طور اخص حوضه آبریز فریزی واقع در دامنه‌های شمالی بینالود تشکیل می‌دهد که از نظر تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان چناران قرار دارد (شکل ۱). این حوضه با مساحتی بالغ بر ۳۵۰ کیلومتر مربع، در محدوده  $36^{\circ}20'$  تا  $36^{\circ}35'$  عرض شمالی و  $58^{\circ}48'$  تا  $59^{\circ}08'$  طول شرقی قرار دارد. تنها سکونتگاه‌های حوضه عبارتند از روستاهای فریزی، پایه و خبیج که دو مورد اول در مرکز هندسی حوضه روستای سوم در محل خروجی حوضه قرار دارد و مجموعاً دارای ۶۷۵ نفر جمعیت

می‌باشند (سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۸۵). شهر چلچران و شهر جدید گلپه‌هار نیز مجموعاً با ۴۸۶۲۴ نفر جمعیت در مخروط افکنه خروجی این حوضه قرار دارند و به طور مستقیم از ساز و کارهای حوضه تأثیر می‌پذیرند. از نظر اقلیمی (آمار ایستگاه سینوپتیک گل‌مکان، ۲۰۰۶-۱۹۹۷) میانگین دمای سالانه حوضه فریزی، ۱۰ درجه سانتیگراد و مجموع بارش سالانه آن ۲۷۵ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین مقدار بارش در ماه مارس ۵۰/۷ میلی‌متر و کمترین میزان در ماه آگوست ۰/۴ میلی‌متر به وقوع می‌پیوندد (شکل ۲). منحنی هیپسو متریک حوضه نشان می‌دهد که این حوضه در بخش مرتفع‌تر در مرحله بلوغ ولی در بخش کم ارتفاع‌تر در مرحله نسبتاً جوانی خود به سر می‌برد (شکل ۳). این موضوع نشان دهنده تفاوت نوع سازندهای زمین‌شناسی و توپوگرافی در این دو بخش از حوضه است.

از نظر توپوگرافی مرتفع‌ترین بخش حوضه با ۳۱۵۰ متر در جنوب حوضه و پست‌ترین قسمت حوضه با ۱۴۵۰ متر در شمال حوضه قرار دارد. حدود ۵۷ درصد حوضه بالاتر از کد ارتفاعی ۲۰۰۰ متر قرار دارد (شکل ۴). همچنین از لحاظ سازندهای زمین‌شناسی (نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد) حدود ۶۵ درصد این حوضه در بخش مرتفع بر روی سازندهای شیلی<sup>۲</sup> و فیلیتی<sup>۳</sup> از تشکیلات دوره ژوراسیک<sup>۴</sup> و ۳۵ درصد حوضه در بخش کم ارتفاع‌تر نیز بر روی تشکیلات آهک میکریتی و آهک دولومیتی گسترش یافته است (شکل ۵). در بررسی‌های میدانی وجود میکروگسل‌های<sup>۵</sup> با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی در بخش‌های مرتفع این حوضه به همراه شواهد گسل‌تراستی در محل کنتاکت لیتولوژی شیلی با آهکی مشاهده شده است. این حوضه دارای شکل پهن و ضریب شکل حوضه<sup>۶</sup> معادل ۰/۴۱ می‌باشد. حدود ۶۷ درصد دامنه‌های حوضه جزء دامنه‌های پشت به آفتاب با پتانسیل زیاد حفظ رطوبت می‌باشند. همین‌طور بیش از ۶۲ درصد حوضه را دامنه‌های با شیب بیشتر از ۱۵ درجه تشکیل می‌دهد. بر اساس درجه بندی آبراهه‌های حوضه بر اساس روش کار استراهلر (دور کمپ و همکاران، ۱۳۷۰، ۱۰-۸)، طول آبراهه اصلی حوضه فریزی با درجه ۷ می‌باشد که از محدوده عرفی روستای فریزی عبور می‌کند و با امتداد زهکشی آن تا خط الرأس حوضه بیش از ۳۰ کیلومتر طول دارد (شکل ۶). بیشترین کاربری باغی نیز در پیرامون این آبراهه شکل گرفته است. عمده‌ترین پوشش اراضی در حوضه را مراتع نیمه متراکم با ۳۳٪، مراتع کم تراکم با ۳۰٪، مراتع متراکم با ۲۴٪ و پوشش باغی و بیشه زار با ۱۲٪ تشکیل می‌دهد (شکل ۷).

2- Shale Formation

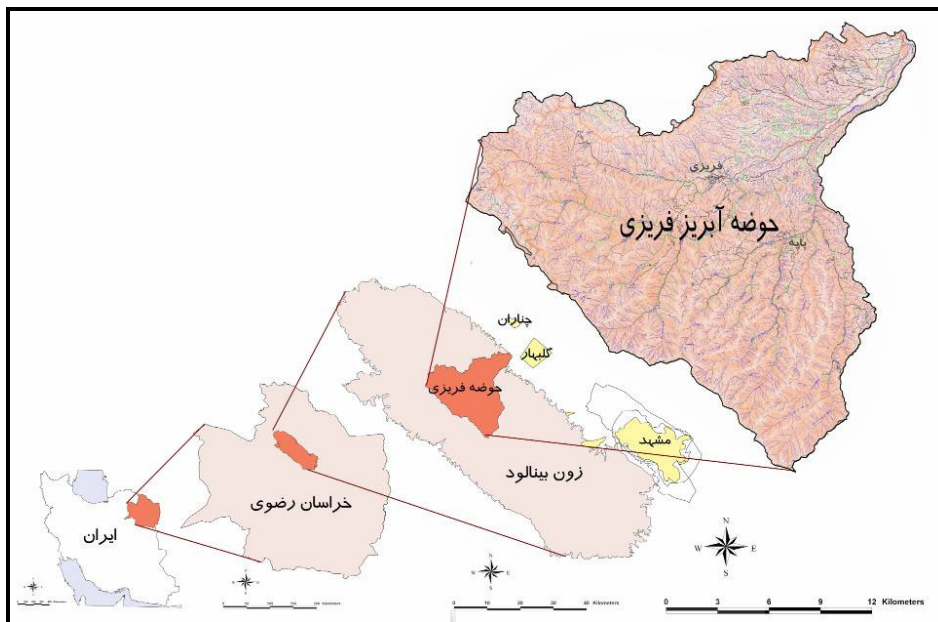
3- Phyllite

4- Jurassic

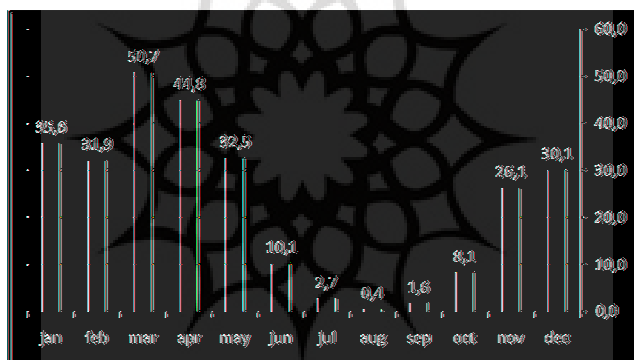
5- Micro faults

6- Shape Factor

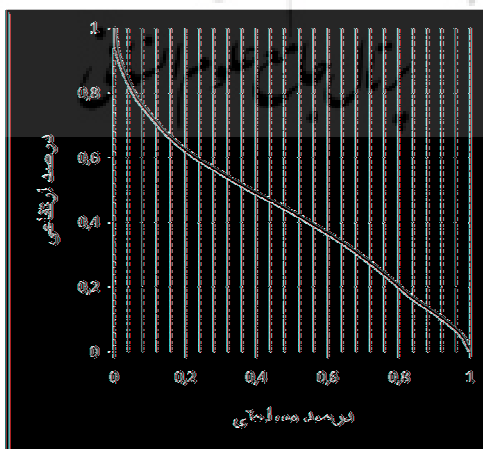
بر پایه پیشنهاد انجمن مهندسين مشاور ارتش آمريكا ضريب شكل حوضه (SF) معادل مجذور طول حوضه به مساحت آن است (علیزاده،



شکل ۱. جایگاه محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. بارش ماهانه حوضه فریزی بر اساس آمار ده ساله ایستگاه سینوپتیک گلکمان (۱۹۹۷-۲۰۰۶)



شکل ۳. منحنی هیپسومتریک حوضه آبریز فریزی

## روش‌شناسی و مواد تحقیق

روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها و درجه‌شدت آن‌ها وجود دارند که بسته به شرایط محیطی قابلیت انطباق کاربرد دارند. از جمله می‌توان به مدل‌های تجربی (Anbalagan, 1991)، (Pachauri & Pant, 1992)، (Van Westen, 1993) و (Mora & Vahrson, 1994) اشاره کرد. برخی پژوهش‌گران نیز پراکنش زمین‌لغزش‌ها را با استفاده از مدل‌های آماری خطی<sup>۷</sup>، فازی<sup>۸</sup>، AHP<sup>۹</sup>، ANP<sup>۱۰</sup> و ANN<sup>۱۱</sup> مورد توجه قرار داده‌اند. برای مثال در کارهای جدیدتر برخی از کارشناسان شاهد استفاده گسترده از روش‌های آماری رگرسیونی می‌باشیم (Lee, et al., 2002)، (Ayalew, et al., 2004) و (Guinau, et al., 2005). در ایران هم بهینافر و همکاران (۱۳۸۸) و شادفر و همکاران (۱۳۸۶)، مدل‌های احتمال و AHP را مورد توجه قرار داده‌اند. استفاده از GIS هم به عنوان یک پس‌زمینه قوی در مطالعات پهنه‌بندی مطرح بوده است به طوری که در کارهای شیرانی و همکاران (۱۳۸۴)، کرد و همکاران (۱۳۸۴)، شادفر و همکاران (۱۳۸۵)، بابکان و همکاران (۱۳۸۵) و کرمی و همکاران (۱۳۸۵) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده زیادی از تکنیک GIS شده است. در این مقاله با استفاده از منطق فازی که یکی از کاربردی‌ترین روش‌های ریاضی-آماري در پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌هاست، به طبقه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش‌ها پرداخته ایم که قابلیت انطباق با محیط GIS داشته باشد که در این زمینه تا کنون ژئومورفولوژیست‌ها کمتر با متخصصین آمار و ریاضی همکاری داشته‌اند. به طور خلاصه اساس کاربرد منطق فازی در GIS مبتنی بر تبدیل نقشه‌های برداری<sup>۱۲</sup> به نقشه‌های شبکه‌ای<sup>۱۳</sup> و تولید نقشه‌های GRID می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۵۵) از مهمترین کارهای انجام شده در زمینه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی می‌توان به فعالیت‌هایی اشاره کرد که به دلیل دخالت چندین متغیر با درجه‌شدت‌های متفاوت در پدیده زمین‌لغزش، این تکنیک را مناسب‌ترین روش تشخیص داده‌اند (Murat, et al., 2004) و (Sabuya, et al., 2006). در ایران هم می‌توان به کاری که توسط غیومیان و همکاران (۱۳۸۱) و فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از منطق فازی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش انجام شده، اشاره کرد. در پژوهش حاضر مجموعاً ۱۵ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده زمین‌لغزش مورد مطالعه قرار گرفت. این معیارها به عنوان نقشه‌های عامل، هر کدام جداگانه کلاسه‌بندی شده و با استفاده از روش AHP ارزش‌گذاری شدند. ضمناً به منظور کاربرد منطق فازی طی عملیات صحرایی زمین‌لغزش‌ها با GPS موقعیت‌یابی شدند و سپس با پهنه‌های فازی مطابقت داده شدند. در سیستم فازی روش کار بر خلاف دیگر مدل‌های ریاضی آن است که بین متغیرهای مؤثر در هر حادثه (مانند زمین‌لغزش) و رگرسیون فازی نیز محاسبه می‌شود و روابط میان پارامترها دقیقاً بررسی و محاسبه خواهد شد. سپس ترکیب

7- Linear

8- Fuzzy

9- Analytic Hierarchy Process

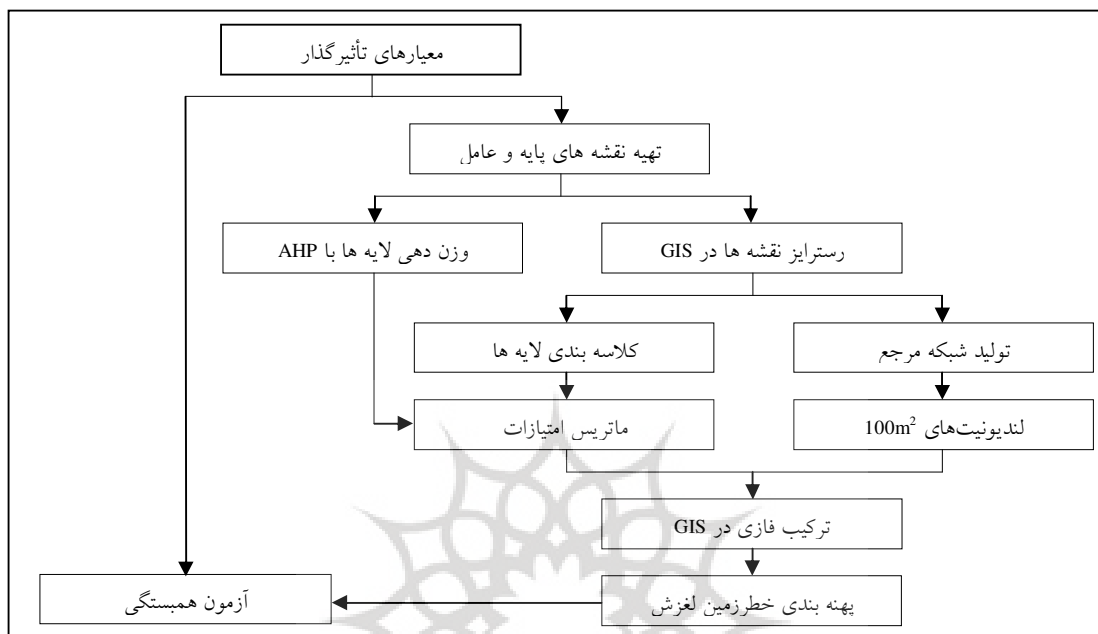
10- Analytic Network Process

11- Artificial Neural Networks

12- Vector

13- Raster

معیارها در هر پهنه زمین لغزش بررسی شد. بنابراین فرآیندهای اصلی و مسیر کار در (شکل ۸) تشریح می شود.



شکل ۸. مراحل پژوهشی در پهنه بندی زمین لغزش ها به روش منطق فازی

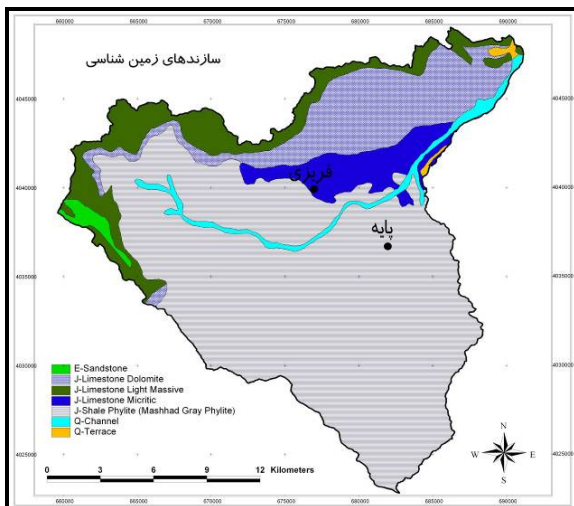
### تهیه نقشه های عامل و ماتریس مقایسه زوجی معیارها

به منظور استفاده کاربردی از معیارهای تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش ها، ابتدا نقشه منطقه مطالعاتی بر روی نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و در ۴ برگه به شماره های ۷۷۶۲۱ و ۷۷۶۳۲ و ۷۸۶۳۳ و ۷۸۶۲۴ شناسایی شد و چارچوب حوضه آبریز فریزی از سرمنشأ آن تا خط کنیک<sup>۱۴</sup> بین دشت و کوهستان تدقیق شد. روش کار بر اساس روش کار هیدرولوژیک و دنبال کردن روند خط الرأس ها<sup>۱۵</sup> استوار بود. سپس بر این مبنا نقشه های عامل متناسب با ۱۵ معیار مورد بررسی قرار گرفته و نقشه های عامل از جمله توپوگرافی، زمین شناسی، کاربری زمین و شبکه زهکشی حوضه فریزی در محیط ArcGIS تهیه شدند.

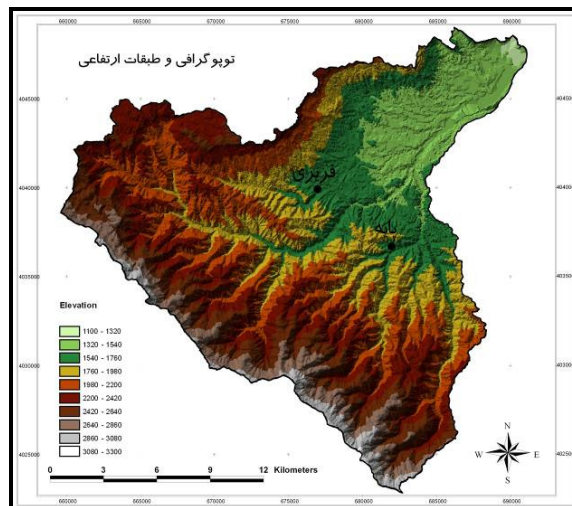
14- Knick Line

15- Crest Lines

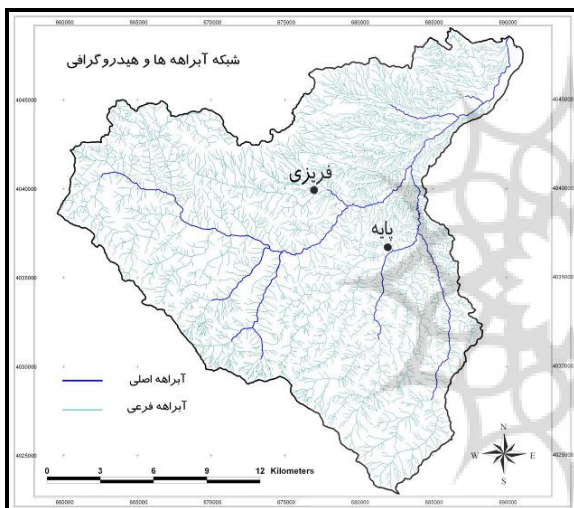




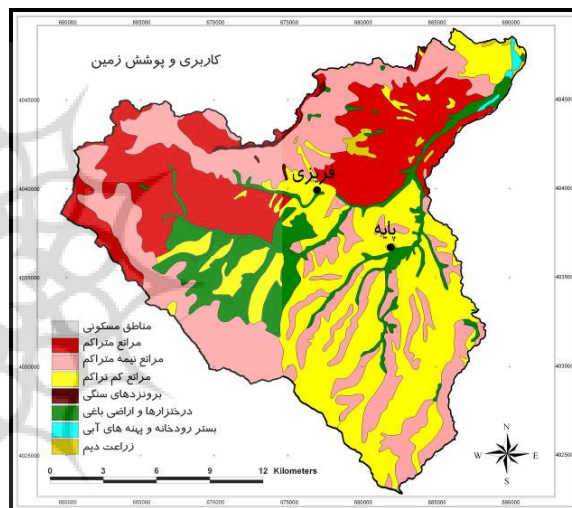
شکل ۵. زمین شناسی حوضه



شکل ۴. توپوگرافی و طبقات ارتفاعی



شکل ۷. عامل شبکه آبراهه ها



شکل ۶. عامل کاربری و پوشش زمین

همچنین در این مرحله مطالعات صحرائی هم با استفاده از GPS مدل Garmin برای شناسایی زمین لغزشها و دامنه‌های دارای پتانسیل زمین لغزش انجام شد، به طوری که تعدادی از زمین لغزش‌های کوچک و متوسط مقیاس منطقه مطالعاتی موقعیت یابی شدند. از نظر سازندهای زمین شناسی مشخص شد دامنه‌هایی که مواد تشکیل دهنده آنها از سنگ و مواد سست یا از خاک ضخیم لایه تشکیل شده اند، پتانسیل لغزش دارند (دریو، ۱۳۸۲، ۲۵). همچنین اگر سازندها از طبقات سخت و سست تشکیل شده باشند، نفوذ آب در لایه سست حجم عظیمی از سنگ‌های سخت و یکپارچه فوقانی را جابه جا می کند (محمودی، ۱۳۸۶، ۳۸). پس از تهیه شدن نقشه‌های عامل، لایه های اطلاعاتی مذکور ابتدا متناسب با نحوه اثر گذاری هر معیار بر وقوع زمین لغزش، کلاسه بندی شدند و سپس با استفاده از متد AHP وزن دهی و امتیازگذاری شدند. این وزن‌ها بر اساس روابط ریاضی از مجموع نسبت‌های دویه دوی معیارها به دست آمد و سپس نسبت استاندارد

شده وزن هر معیار و نسبت پایداری<sup>۱۶</sup> آن محاسبه شد. نسبت پایداری ماتریس معیارهای مؤثر در وقوع حرکات توده ای و ناپایداری دامنه از رابطه  $CR=CI/RI$  به دست آمد که در آن CI معرف شاخص پایداری<sup>۱۷</sup> و مشخص کننده اندازه انحراف معیار از پایداری است، RI شاخص تصادفی است که از جداول استاندارد استخراج می شود و CR نسبت پایداری است این نسبت وقتی قابل قبول است که کمتر از ۰/۱ باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۱۹). این مقدار در ماتریس تحقیق حاضر در سطح قابل قبولی به دست آمد ( $CR=0.001$ ). سپس لایه های اطلاعاتی کلاسه بندی شده، در قالب شبکه مرجع و با لندیونیت های ۱۰۰ متر مربعی به شکل نقشه های رستری درآمدند. این نقشه ها با ماتریس امتیازات تلفیق شدند و آنگاه با استفاده از منطق فازی، آماده برای محاسبه و تحلیل شدند (جدول ۱).

جدول ۱. معیارهای مؤثر در زمین لغزش و وزن استاندارد آنها به روش AHP

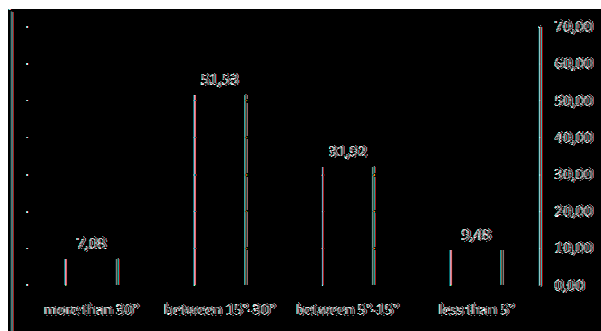
ردیف	معیارها	وزن های استاندارد
۱	طبقات ارتفاعی	0.0228
۲	میزان شیب	0.1845
۳	جهت شیب	0.0574
۴	ضریب زهکشی	0.0124
۵	شبکه آبراه ها	0.0264
۶	واحدهای لیتولوژی	0.1681
۷	عامل گسل ها	0.1496
۸	واحدهای خاک	0.0575
۹	کاربری زمین	0.0931
۱۰	عامل همبارش	0.0321
۱۱	عامل همدمای	0.0144
۱۲	عامل چشمه ها	0.0172
۱۳	پتانسیل رواناب و سیلاب	0.0596
۱۴	پتانسیل فرسایش و رسوب	0.0361
۱۵	عوامل آنتروپوژنیک	0.0688

تحلیل وزن استاندارد معیارها بر اساس ماتریس AHP نشان داد که متغیر شیب بیشترین وزن و اثرگذاری را بر وقوع زمین لغزش در حوضه فریزی دارد. نتایج مطالعات میدانی هم نشان داد که بیشترین درصد مساحت حوضه در کلاس شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه می باشد به طوری که بیش از ۵۱ درصد مساحت حوضه آبریز فریزی در این گروه شیب واقع است که استعداد بالاتری برای لغزشها داشته اند و در ماتریس زوجی وزن بیشتری یافته اند تا بعداً از طریق جمع فازی تحلیل شوند (شکل ۹).

16 -Consistency Ratio

17 -Consistency Index





شکل ۹. درصد اراضی با شیب های مختلف در حوضه آبریز فریزی

### تولید نقشه پهنه بندی زمین لغزش با عملکرد جمع فازی

نقشه پهنه بندی زمین لغزش با ترکیب معیارها و به طور مشخص با عملکرد جمع فازی<sup>۱۸</sup> که حساسیت بیشتری نسبت به سایر اپراتورهای فازی در شناسایی مناطق در معرض خطر دارد، تهیه شد (شکل ۱۰). نتایج نشان داد که تقریباً ۲۳ درصد حوضه در معرض خطر بحرانی زمین لغزش قرار دارند. همین طور ۴۵ درصد حوضه نیز در معرض خطر متوسط لغزش و سایر حرکات توده ای قرار دارند (جدول ۲).

### نتیجه گیری

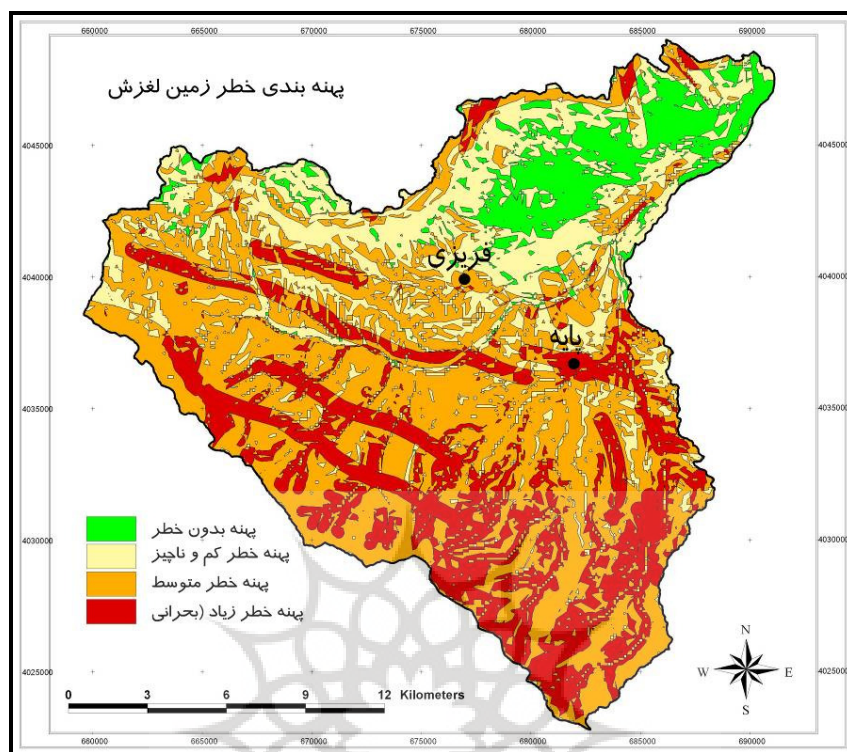
تحلیل نسبت مجموع زمین لغزش های متوسط و بحرانی در هر کدام از سازندها نشان داد که سازندها فیلیتی با پوشش دو برابری حوضه به نسبت سازندهای آهکی نزدیک به ۵۹ درصد از پتانسیل زمین لغزش های حوضه را دارد که حدود ۷ برابر بیشتر از پتانسیل زمین لغزش سازندهای آهکی در حوضه است (جدول ۳). این موضوع با تحلیل نتایج و مطالعات صحرائی نیز به نحو مؤثری تأیید شد چرا که سطح بیشتر دامنه های فیلیتی مشرف به آبراهه ها را واریزه های اسلیت، شیست و فیلیت تشکیل داده است که نیازمند اقدامات اصلاحی برای کاهش آثار زمین لغزش در فعالیت های توسعه ای می باشند.

در نهایت ما برای تعیین مهمترین متغیرهای مؤثر در وقوع زمین لغزش و سایر حرکات دامنه ای علاوه بر عملیات پیمایشی در سطح واحدهای ارضی از آزمون همبستگی در برنامه SPSS استفاده کردیم. بر این اساس آزمون همبستگی انجام شده نشان دهنده وجود ارتباط قوی بین نوع سازندهای زمین شناسی حوضه با پهنه های خطر زمین لغزش بود. همچنین نتایج پهنه بندی خطرات زمین لغزش در حوضه نشان داد که از بین سازندهای حاکم بر حوضه، متغیر سازندها شیلی و فیلیتی با برخورداری از معناداری بالا ( $Sig < 0.05$ ), نسبت به سایر سازندهای موجود در حوضه همبستگی قوی تری را با متغیر وابسته خطر زمین لغزش در هر لندیونیت ۱۰۰ مترمربعی از حوضه فریزی دارد. میزان این همبستگی در آزمون پیرسون،<sup>۱۹</sup> ۰/۹۱۴ با  $R^2 = 0.835$  به دست آمد (جدول ۴). همچنین محاسبات آشکار کرد که بین متغیر گسل با زمین لغزش هم

18 -Fuzzy Sum

19- Pearson test

ارتباط و همبستگی مستقیمی وجود دارد که به نحوی که اثر آن در پهنه بندی نهایی خطرات زمین لغزش مشهود می‌باشد.



شکل ۱۰. پهنه بندی خطرات زمین لغزش در حوضه آبریز فریزی

جدول ۲. وسعت و درصد اراضی در معرض درجات خطر زمین لغزش در حوضه آبریز فریزی

درصد	وسعت (کیلومترمربع)	درجه خطر زمین لغزش
۸/۸۴	۳۰/۹۸	بدون خطر
۲۳/۴۳	۸۲/۰۶	کم خطر
۴۵/۰۴	۱۵۷/۷۸	متوسط خطر
۲۲/۶۹	۷۹/۴۷	بحرانی
۱۰۰	۳۵۰/۳۰	مجموع

جدول ۳. تحلیل نسبت مجموع زمین لغزش متوسط و بحرانی در هر کدام از سازندها

سایر	سازند آهکی	سازند فیلیتی	کل حوضه	
۰	۸/۸۶	۵۸/۸۷	۶۷/۷۳	درصد زمین لغزش
۳/۸۴	۳۰/۸۰	۶۵/۳۶	۱۰۰	درصد مساحت

جدول ۴. وضعیت رابطه همبستگی زمین لغزش با متغیر سازند فیلیتی

متغیر	آزمون	زمین لغزش (متوسط و بحرانی)
سازند فیلیتی	Pearson Correlation	0.914
	Sig. (2-tailed)	0.000

## منابع

- ۱- اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی، آمار ایستگاه سینوپتیک گلیمکان (۲۰۰۶-۱۹۹۷).
- ۲- بابکان، سولماز و همکاران، (۱۳۸۵): پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در ناحیه ساحلی دریای خزر با روش احتمالی نسبت فراوانی با استفاده از GIS، مجموعه مقالات سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی.
- ۳- بهنیا، ابوالفضل و همکاران، (۱۳۸۸): پهنه بندی خطر زمین لغزش و ناپایداری دامنه ای به روش‌های AHP و احتمال (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کنگ در دامنه‌های شمالی زون بینالود)، فصل‌نامه فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، شماره ۲۷: ۵۵-۷۸.
- ۴- دریو، ماکس، (۱۳۸۲): مبانی ژئومورفولوژی، اشکال ناهمواری‌های زمین، ترجمه مقصود خیام، انتشارات مینا، چاپ ۲ ناشر: ۲۵.
- ۵- دورکمپ، جی سی و همکاران؛ (۱۳۷۰) تحلیل کمی در ژئومورفولوژی، ترجمه جمشید فریفته، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ۱: ۸-۱۰.
- ۶- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، برگه مشهد.
- ۷- سازمان نقشه برداری شمال شرق کشور، نقشه‌های مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰ توپوگرافی ۷۷۶۲۱، ۷۷۶۳۲، ۷۸۶۳۳ و ۷۸۶۲۴ شامل ۱۶ برگه مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰
- ۸- شادفر، صمد و همکاران، (۱۳۸۶): پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکروند تنکابن، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵: ۱۲۶-۱۱۸.
- ۹- شادفر، صمد و همکاران، (۱۳۸۵): تحلیل و بررسی پتانسیل زمین لغزش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک.
- ۱۰- شیرانی، کورش و همکاران، (۱۳۸۴): بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در پادانای علیای سمیرم، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۱۱- علیزاده، امین، (۱۳۸۷): اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، چاپ ۲۴: ۴۸۱.
- ۱۲- غیومیان، جعفر و همکاران، (۱۳۸۱): پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه منطبق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۴۸-۴۷: ۲۸.
- ۱۳- فاطمی عقدا، سید محمود و همکاران، (۱۳۸۴): بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱: ۶۴-۴۳.
- ۱۴- کرد، فاطمه و همکاران، (۱۳۸۴): کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مورد: استان چهارمحال و بختیاری)، مجموعه مقالات همایش سیستم اطلاعات مکانی.
- ۱۵- کرمی، فریبا و همکاران، (۱۳۸۵): شناسایی و پهنه بندی نواحی مستعد زمین لغزش در حوضه آبریز اوجان چای (با استفاده از روش‌های آماری و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی)، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران.
- ۱۶- مالچفسکی، یاجک، (۱۳۸۵): سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزکار و عطا غفاری، انتشارات سمت، تهران، چاپ ۱: ۵۵.
- ۱۷- مرکز ملی آمار ایران، (۱۳۸۵): سرشماری عمومی نفوس و مسکن.

۱۸- محمودی، فرج ا...، (۱۳۸۶): ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ ۱: ۳۸.

- 19- Anbalagan, R., (1991) : Terrain Evaluation and Landslide Hazard Zonation for Environmental Regeneration and Land Use Planning in Mountainous Terrain, A. A Balkema Rotterdam Brookfield, Pp: 861- 868.
- 20- Ayalew, L., et al., (2004): Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Base Weighted linear Combination, The Case in Tsugawa Area of Again River, Niigata Prefecture, Japan, The Journal of Landslide, No.1: 73-81.
- 21- Gooijer, J., (2006): Hyndman, R., 25 Years of Time Series Forecasting, International Journal of Forecasting, No. 22: 443-473.
- 22- Guinau, M., et al., (2005): A Feasible Methodology Country; A Case Study of NW Nicaragua, The Journal of Engineering Geology, No. 80: 316-327.
- 23- Lee, S., et al., (2002): Landslide Susceptibility Mapping Correlation Between Topography and Geological Structure, Korea, The Journal of Geomorphology, No.46: 162-169.
- 24- Mora S., Vahrson W. G., (1994): Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination, The Journal of Bulletin of The Association of Engineering Geologist, No.1: 19-58.
- 25- Murat, E., and Candan, G., (2004): Use of Fuzzy Relation to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area, (West Black Sea Region, Turkey), The Journal of Engineering Geology, No.75: 229-250.
- 26- Pachauri, A.K., and Pant, M., (1992): Landslide Hazard Mapping Based on Geological attributes, The Journal of Engineering Geology, No.12: 81-100.
- 27- Sabuya, F., Alves, M.G., and Pinto, W.D., (2006): Assessment of Failure Susceptibility of soil Slopes Sing Fuzzy Logic, The Journal of Engineering Geology, No86: 211-224.
- 28- Van Westen C. J., Soeters R., and Renger N., (1993): Geographic Information Systems as applied to Landslide Hazard Zonation, Mapping Awareness & GIS in Europe, pp: 9-13.
- 29- Zadeh, L.A., (1965): Fuzzy Sets, Information and Control, No.8: 339.
- 30- Zadeh, L.A., (1973): Outline of Approach to Analysis of Complex System and Decision Process, IEEE Trans on System Man and Cybernetic, SMC.1: 28-44.