

## مقدمه

بر اساس تعریف زمین شناسی مهندسی، زمین لغزش<sup>۳</sup> عبارت است از جابه جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب نصیری [۲۱]. زمین لغزش‌ها، با توجه به ماهیت و تنوعشان و به دلیل ایجاد مخاطره و آثار مصیبت باری که برای جان و مال انسان‌ها دارند، همواره مورد توجه و مطالعه دانشمندان رشته‌های مختلف علوم زمین از جمله زمین شناسی مهندسی، ژئومورفولوژی، آبخیزداری، ژئوتکتونیک و غیره بوده اند صفاری و مقیمی [۲۷]. برنامه ریزی برای کنترل این پدیده و جلوگیری از خسارت‌های ناشی از آن امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد. عمل پهنه بندی با استفاده از مدل‌های مختلف یکی از روش‌هایی است که از طریق آن می‌توان مناطق مستعد برای لغزش‌های آینده را شناسایی و از انجام فعالیت‌های عمرانی در آن مناطق جلوگیری کرد یا برای بهسازی و ترمیم آن اقدام نمود.

کشور ایران به دلیل خصوصیات زمین شناسی نظیر لیتولوژی، تکتونیک، لرزه خیزی و شرایط خاص آب و هوایی از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است. قرار گرفتن ایران بر روی کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست مارنی شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در سرتاسر استان لرستان شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی به وجود آورده است. همچنین شرایط توپوگرافی و زمین شناسی منطقه بررسی شده به گونه‌ای است که بهترین وضعیت را برای لغزش قطعات و توده‌های بزرگ خاک و سنگ در مقیاس کوچک تا بسیار بزرگ مهیا کرده است اجل لوئیان و همکاران؛ بهاروند [۵ و ۲].

در سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناخت زمین لغزش‌ها به عنوان یکی از بلاای طبیعی در مراکز مختلف تحقیقاتی داخلی و خارجی به انجام رسیده است. با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر، پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل‌های همپوشانی فازی و AHP می‌باشد؛ لذا در راستای عنوان و موضوع پژوهش به بررسی پیشینه می‌پردازیم. فاطمی عقدا و همکاران [۱۰]، خطر زمین لغزش منطقه رودبار را با استفاده از مدل منطق فازی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که تراکم لغزش‌ها در پهنه ی با خطر بالا بیشتر از پهنه با خطر کم می‌باشد.

پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش حوضه نوژیان  
با مدل‌های همپوشانی فازی و AHPسوسن طولابی<sup>۱</sup> و موسی عابدینی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

## چکیده

هدف از این پژوهش، پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوژیان با مدل‌های همپوشانی فازی، AHP و تکنیک GIS می‌باشد. در این مطالعه به منظور تهیه نقشه ی پهنه بندی خطر، نه عامل مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل در محیط نرم افزار GIS به صورت نقشه تهیه و سپس طبقه بندی و وزن دهی شدند. این نقشه‌ها با نقشه ی پراکنش زمین لغزش‌های حوضه همپوشانی گردید تا نقش طبقات در پراکنش زمین لغزش‌ها مشخص شود. در نهایت، هفت عامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارندگی و ارتفاع به عنوان عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های حوضه شناسایی شدند. نقشه ی پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس این هفت عامل و با روش‌های AHP و عملگر گامای فازی با لاندهای ۰٫۷، ۰٫۸ و ۰٫۹ در محیط GIS تهیه شد. از شاخص جمع کیفی (Qs) نیز برای ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه بندی استفاده شد. نتایج ارزیابی نقشه‌ها نشان داد که، مقدار شاخص Qs برای مدل AHP برابر با ۰٫۷ و برای عملگر گامای فازی با لاندهای ۰٫۷، ۰٫۸ و ۰٫۹ به ترتیب برابر با ۰٫۷۵، ۰٫۷۱ و ۰٫۶۳ می‌باشد؛ بنابراین نتیجه می‌گیریم که عملگر گامای فازی با لاندهای ۰٫۷ نسبت به سایر روش‌های ارائه شده دارای مطلوبیت بهتری در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوژیان می‌باشد و منطقی است که هرگونه برنامه ریزی محیطی با توجه به آن صورت گیرد.

کلید واژه‌ها: پهنه بندی زمین لغزش، حوضه آبخیز نوژیان،

مدل همپوشانی فازی، مدل AHP، روش GIS، Qs.

۱- نویسنده مسئول: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران.  
(sosan.tolabi@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

عبادی نژاد و همکاران [۹]، کارایی عملگرهای منطق فازی را در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز شیروود مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که عملگرگامای فازی ۰,۸ مناسب ترین عملگر در تعیین توانمندی زمین لغزش منطقه مورد مطالعه می باشد. متکان و همکاران [۹۱]، جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاجیم از مدل های منطق فازی و سنجش از دور استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که از میان مدل های مختلف استفاده شده در این پژوهش، مدل گامای فازی ۰,۷ و مدل میانگین مرتب شده ی فازی از کارایی مناسبی جهت تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش برخوردار بودند. محمدی و همکاران [۱۸]، کارایی مدل های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و AHP را در پهنه بندی خطر زمین لغزش بخشی از حوضه آبخیز هراز ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل های عامل اطمینان، AHP و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیشترین دقت در تهیه نقشه خطر زمین لغزش در منطقه را دارا می باشند. گرابی و کریمی [۱۲]، خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام را با ۵ مدل ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، AHP، روش پیشنهادی کوپتا- جوشی و نسبت فراوانی پهنه بندی نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل AHP از مناسب ترین روش ها جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش می باشد. بهینافر و همکاران [۶]، برای منطقه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز فریزی از مدل های AHP و منطق فازی استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که مدل منطق فازی نتایج مطلوب تری نسبت به مدل AHP ارائه داده است. مقتدر و همکاران [۱۷]، خطر زمین لغزش در استان لرستان را با سه روش: پیشنهادی راهنما، آماری تک متغیره و مجموعه های فازی پهنه بندی نمودند. مرادی و همکاران [۲۰]، با استفاده از مدل AHP خطر زمین لغزش را در بخشی از جاده هراز تحلیل و برآورد نمودند. نتایج نشان داد که سه عامل واحدهای زمین شناسی، فاصله از جاده و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر و دو عامل گسل و بارش کمترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش های منطقه داشته اند. صفاری و اخدر [۲۶]، با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی خطر زمین لغزش در جاده ارتباطی مریوان- سنندج را پهنه بندی نمودند. نتایج نشان داد که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه ی پراکنش زمین لغزش های رخ داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، روش مناسب تری برای پهنه بندی زمین لغزش ها در این جاده ارتباطی محسوب می شود. نادری [۲۲]، خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام را با استفاده از اپراتورهای فازی پهنه بندی نمودند. نتایج پژوهش بیانگر کارایی بالاتر اپراتور گامای فازی نسبت به دیگر اپراتورها در پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه بود. حاتمی فرد و همکاران [۱۲]، خطر زمین لغزش در شهرستان خرم آباد را با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS پهنه بندی نمودند. نتایج پژوهش بیانگر دقت بودن مدل فوق بود. یمانی و همکاران [۳۱]، برای پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز

کارون از مدل AHP استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش AHP به دلیل برخورداری از متغیرهای بیشتر و طبقه بندی اصولی نسبت به سایر روش های پهنه بندی از دقت بیشتری برخوردار است. کامک [۱۵]، نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه ی اسلوونی<sup>۱</sup> را به دو روش AHP و MS تهیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که، روش AHP بهترین مدل برای وزن دهی به عوامل مؤثر می باشد و ارتباط نزدیکی بین مناطق دارای حساسیت بالای زمین لغزش و پراکنش جاده و جمعیت وجود دارد. یالسن [۱۹]، نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه آردسن<sup>۲</sup> ترکیه را به سه روش AHP، WF و Wi تهیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که، روش AHP نسبت به دو روش دیگر یک تصویر واقعی تر از مناطق دارای حساسیت زمین لغزش نشان می دهد. پردهن [۲۴]، برای تجزیه و تحلیل حساسیت زمین لغزش بخش شرقی ایالت سیلانگور<sup>۳</sup> مالزی از مدل منطق فازی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که از میان عملگرهای فازی، عملگر گامای فازی ۰,۸ بالاترین دقت و عملگر ضرب جبری فازی کمترین دقت را نشان داد. شهابی و همکاران [۲۸]، نقشه خطر زمین لغزش حوضه زاب مرکزی را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تئوری مجموعه فازی تهیه و با استفاده از روش جمع کیفی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که عملگر گامای فازی ۰,۹ دارای بالاترین دقت در پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می باشد. بشت و همکاران [۷]، از GIS و مدل AHP برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه روپا<sup>۴</sup> (واقع در نپال) استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که، نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش می توانند در برنامه ریزی ها به کار برده شوند و کمک مؤثری در به حداقل رساندن زمین لغزش ها می باشند. دهبان اوان استخری [۸]، برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش مخزن سد خاکی پلرود گیلان از روش منطق فازی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با توجه به دقت بالای عملگر گاما در پهنه بندی خطر زمین لغزش، تابع گوسی و عملگر گامای ۰,۷ دارای بالاترین کیفیت می باشند. بررسی پیشینه نشان داد که در اکثر موارد مدل AHP نسبت به سایر مدل ها از کارایی بالاتر و نسبت به مدل منطق فازی از کارایی پایین تری در پهنه بندی خطر زمین لغزش مناطق مورد مطالعه برخوردار است. همچنین از میان عملگرهای فازی، عملگر گاما نتایج مطلوب تری را ارائه داده است؛ بنابراین، در این پژوهش از عملگر گامای فازی با انداهای ۰,۷، ۰,۸ و ۰,۹ برای مقایسه با مدل AHP در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوزیان استفاده شد.

## مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نوزیان با مساحت ۳۴۴/۹۱ کیلومتر مربع یکی از

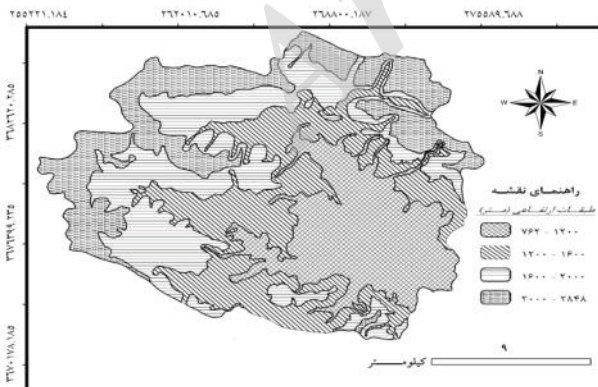
- 1- Slovenia
- 2- Ardesen
- 3- Selangor
- 4- Rupa

مدل عملیات همپوشانی با استفاده از ۵ عملگر به نام اشتراک فازی، اجتماع فازی، ضرب فازی، جمع فازی و گامای فازی صورت می‌گیرد.

مدل AHP<sup>۳</sup> (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی) برای اولین بار توسط ساتی (۱۹۸۰) ارائه شده است. این مدل بر پایه مقایسه دوتایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش استوار بوده و ابتدا با وزن دهی به تک تک عوامل مؤثر در نظر گرفته شده برای پهنه بندی و سپس امتیاز دهی به هر کدام از طبقه‌های مربوط به هر یک از عوامل، ضریبی به دست می‌آورد که بر اساس آن مدل نهایی را ارائه می‌نماید احمدی و همکاران [۱]. مزیت اصلی این روش آن است که به تصمیم گیران کمک می‌کند تا یک مسئله پیچیده را به صورت ساختار سلسله مراتبی بشکافند و سپس به حل آن بپردازند صدوق و همکاران [۲۵]. در مدل AHP، برای پهنه بندی از سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته می‌شود. این قسمت شامل وارد کردن داده‌ها به محیط GIS، تجزیه و تحلیل و تولید لایه‌های اطلاعاتی است عظیم پور و همکاران [۴].

شناسایی عوامل مؤثر و تهیه نقشه‌ی آن‌ها معمول ترین روش شناسایی عوامل مؤثر استفاده از پرسش نامه و مورفومتری زمین لغزش‌های موجود در داخل حوضه با استفاده از کارهای زمینی می‌باشد که برای حوضه آبخیز نوژیان صورت گرفته است. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته بر روی حوضه پارامترهایی مثل: کاربری اراضی، فاصله از گسل، شیب، بارندگی، لیتولوژی، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه اصلی و فاصله از جاده به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه شناسایی و نقشه‌های مربوط به هر یک از عوامل به وسیله امکانات GIS تهیه شد. (شکل‌های ۲ الی ۱۰).

در این پژوهش با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای TM، و کار میدانی گسترده مناطق لغزشی اعم از سقوطی و رانشی شناسایی شده، سپس این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار GIS رقومی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه تهیه شد (شکل ۱۱).

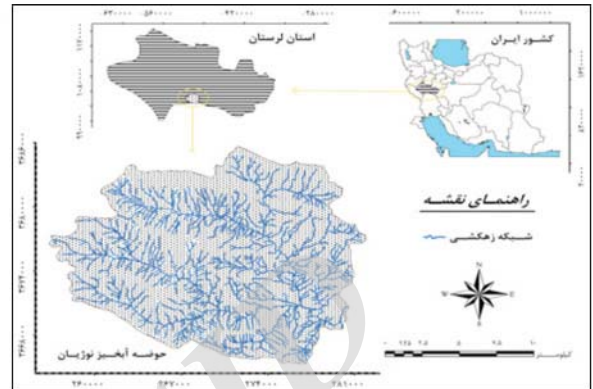


شکل ۲- نقشه ارتفاع حوضه

Figure 2. The map of watershed elevation

3- Analytical Hierarchy Process

زیرحوضه‌های سد دز می‌باشد. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی ۲۳° ۴۸' - ۴۰' ۴۸° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۰۶' ۳۳° - ۱۷° ۳۳° شمالی قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه ۶۸۶ میلی متر و اقلیم آن نیمه مرطوب با زمستان‌های بسیار سرد می‌باشد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریای آزاد ۱۶۳۵ متر است. شکل (۱)، نقشه‌ی موقعیت حوضه آبخیز نوژیان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز نوژیان

Figure 1. The map of geographical location the Nojjan watershed

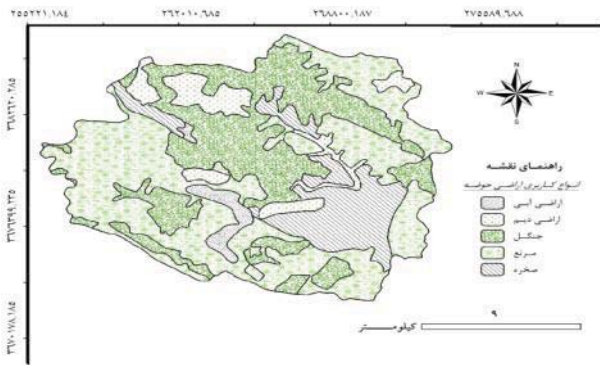
مواد و روش پژوهش  
با توجه به این که، هدف اصلی این پژوهش پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوژیان با استفاده از روش‌های همپوشانی فازی و AHP می‌باشد؛ لذا با توجه به ماهیت موضوع پژوهش، روش آن به صورت اسنادی، مورفومتری، کارهای میدانی و تجربی می‌باشد و برای انجام آن چهار مرحله‌ی ذیل صورت گرفت: (۱) جمع آوری و بررسی کتب، پایان نامه‌ها، مقالات و هرگونه مطلب مرتبط با موضوع پژوهش، (۲) مشاهدات و بررسی‌های میدانی، (۳) انجام محاسبات، پردازش، تجزیه و تحلیل داده‌ها، (۴) ارائه گزارش نهایی پژوهش. مواد پژوهش نیز عبارتند از: نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی و ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای TM، نرم‌افزارهای EC (Expert Choice 11) و GIS 10.

معرفی مدل‌ها

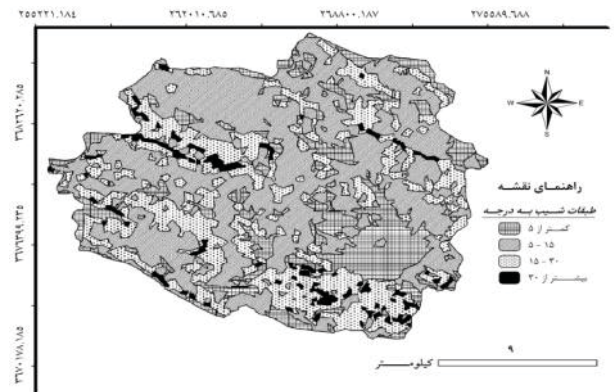
تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی، برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی زاده (۱۹۶۵) در مقاله‌ای تحت عنوان «مجموعه‌های فازی» ارائه شد. بر اساس این نظریه، یک مجموعه فازی زیرمجموعه‌ای است که مقدار عضویت عناصر آن در مجموعه اصلی بین صفر و یک باشد. مقدار درجه عضویت براساس نظرات کارشناسی و استفاده از دانش داده‌ای تعیین می‌گردد [۳۲]. در این

1- Fuzzy Logic

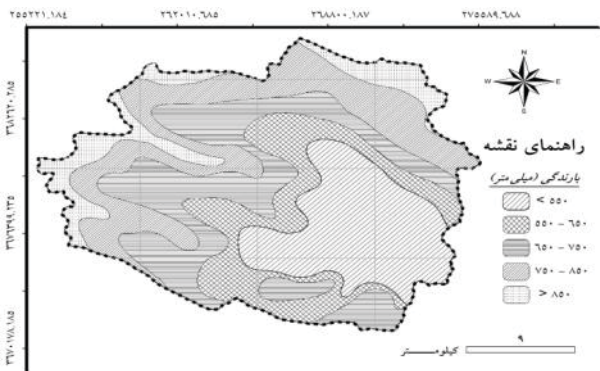
2- Fuzzy sets



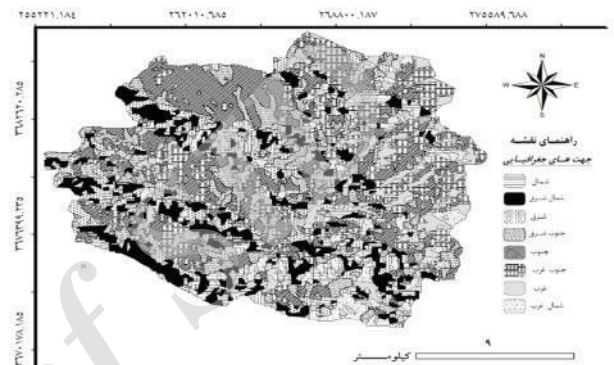
شکل ۶- نقشه کاربری اراضی حوضه  
Figure 6. The map of watershed land use



شکل ۳- نقشه شیب حوضه  
Figure 3. The map of the watershed slope



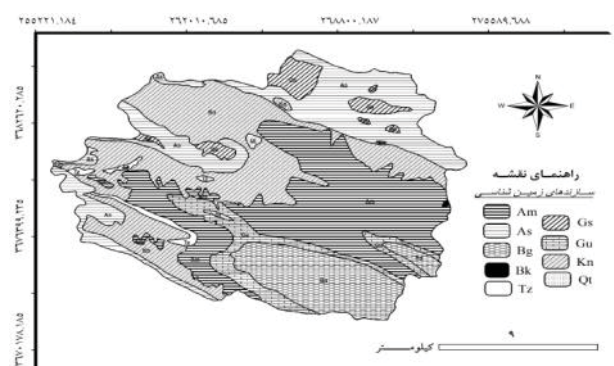
شکل ۷- نقشه بارندگی حوضه  
Figure 7. The map of watershed rainfall



شکل ۴- نقشه جهت شیب حوضه  
Figure 4. The map of watershed aspect



شکل ۸- نقشه فاصله از گسل‌های حوضه  
Figure 8. The map of distance from watershed faults

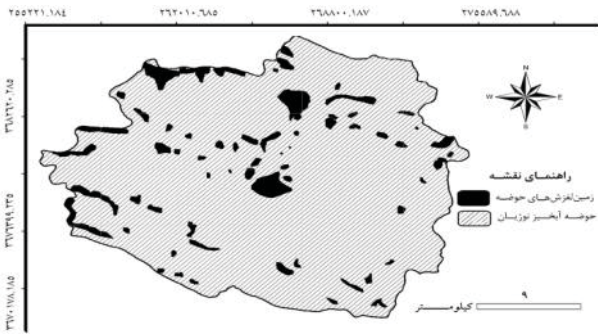


شکل ۵- نقشه لیتولوژی حوضه (Bg: آهک مارنی و مارن، Gu: آهک مارنی، Am: شیل و ماسه سنگ، Tz: آهک توده ای، Kn: سازند کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن قرمز، As: آهک توده‌ای و دولومیت، Gs: مارن، ژئپس و ماسه سنگ، Bk: کنگلومرای بختیاری، Qt: رسوبات آبرفتی عهد حاضر).

Figure 5. The map of watershed litholog

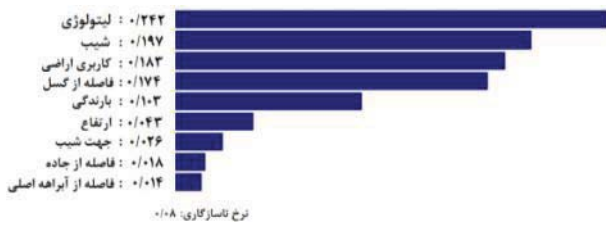
اولویت بندی عوامل مؤثر، ۲- تولید ماتریس مقایسه دوتایی براساس نظر کارشناسی، ۳- محاسبه وزن نسبی و تعیین نرخ ناسازگاری با نرم‌افزار EC، ۴- محاسبه وزن نهایی عوامل مؤثر و اولویت بندی آن‌ها، ۵- تهیه نقشه ی نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش، ۶- محاسبه

روش کار مدل‌ها برای پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل AHP، بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر و کلاسه بندی آن‌ها و همچنین تهیه لایه زمین لغزش‌های حوضه، مراحل ذیل به ترتیب طی شد: ۱- شناسایی و



شکل ۱۱- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه  
Figure 11. The map of watershed landslide

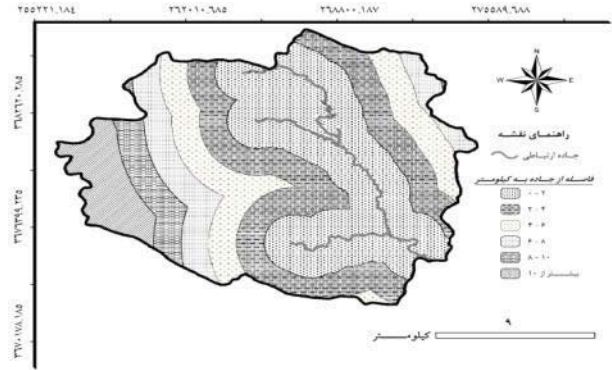
یک تا نه اختصاص داده شد. نتایج این مقایسه در جدول (۱) آمده است. برای تعیین وزن نسبی عوامل، از نرم‌افزار Expert Choice 11 استفاده شد. شکل (۱۲)، وزن نسبی عوامل و اولویت بندی آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- اولویت بندی عوامل بر اساس وزن نسبی  
Figure 12. Prioritize the factors based on the relative weight

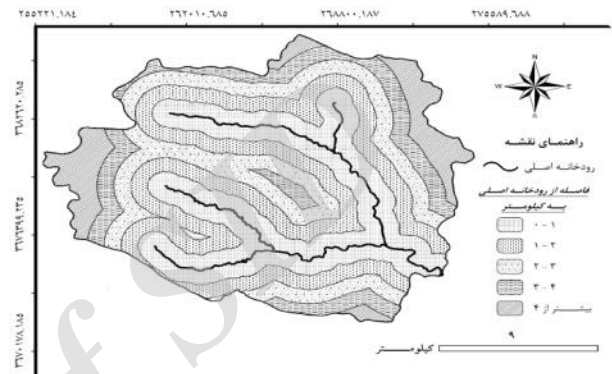
همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌کنید، بر اساس وزن نسبی، عامل لیتولوژی با وزن نسبی ۰,۲۴۲ به عنوان مؤثرترین عامل و عامل فاصله از آبراهه اصلی با وزن نسبی ۰,۰۱۴ به عنوان کم‌تأثیرترین عامل شناخته شده است. میزان نرخ ناسازگاری نیز ۰,۰۸ به دست آمد که این بیانگر مقایسه‌ی زوجی صحیح عوامل مؤثر می‌باشد.

برای محاسبه وزن نهایی عوامل مؤثر، ابتدا نقشه‌ی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه به طبقاتی تقسیم و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با هریک از آن‌ها همپوشانی و درصد سطح لغزش یافته در هر طبقه محاسبه شد. در نهایت بر اساس درصد سطح لغزش یافته به هریک از طبقات امتیازی بین صفر تا ۱۰۰ اختصاص داده شد. به این صورت که برای طبقه‌ای که بیشترین درصد سطح زمین لغزش را دارا می‌باشد ارزش ۱۰۰ و برای سایر طبقات نیز با توجه به مقادیر درصد سطح لغزش یافته شان ارزش‌های متفاوتی داده شد. امتیازات به دست آمده برای هر طبقه از هر عامل، در وزن نسبی آن عامل ضرب شده تا وزن نهایی برای هر طبقه محاسبه شد. با جمع کردن وزن نهایی طبقات باهم، وزن نهایی برای هر عامل به دست آمد که جدول (۲)، وزن نهایی عوامل و اولویت بندی آن‌ها



شکل ۹- نقشه فاصله از جاده‌های حوضه

Figure 9. The map of distance from watershed roads



شکل ۱۰- نقشه فاصله از آبراهه اصلی حوضه

Figure 10. The map of the distance from watershed main stream

ی مساحت و درصد مساحت طبقات خطر در نقشه‌ی پهنه بندی. برای پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل همپوشانی فازی نیز، بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر، طبقه بندی آن‌ها، تهیه نقشه رستری آن‌ها و تهیه لایه زمین لغزش‌های حوضه، مراحل ذیل به ترتیب طی شد: ۱- تعیین سطح همبستگی بین نقاط لغزشی و عوامل مؤثر، ۲- عملیات فازی سازی ۳- تهیه نقشه رستری لایه‌ها بر اساس مقادیر عضویت فازی، ۴- همپوشانی لایه‌ها و تهیه نقشه‌ی پهنه بندی، ۵- محاسبه‌ی مساحت و درصد مساحت طبقات خطر در نقشه‌ی پهنه بندی.

## نتایج و بحث

### پهنه بندی با مدل AHP

در منطقه مورد مطالعه، در درجه اول عوامل لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از گسل، بارندگی، ارتفاع، جهت شیب، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه اصلی به ترتیب اولویت به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز نوزبان شناسایی شدند. در ادامه صحت این اولویت بندی و صحت تعداد عوامل مؤثر، به وسیله‌ی مدل‌ها اثبات خواهد شد. برای تهیه ماتریس مقایسه دوتایی، دو به دو عوامل فوق باهم مقایسه و به آن‌ها مقادیری از

جدول ۱- ماتریس مقایسه دوتایی عوامل

Table 1. The matrix of the pairwise comparison of factors

عوامل Factors	لیتولوژی Litholog	شیب Slope	کاربری اراضی Land use	فاصله از گسل Distance from faults	بارندگی Rainfall	ارتفاع Elevation	جهت شیب Aspect	فاصله از جاده Distance from roads	فاصله از آبراهه اصلی Distance from main stream
لیتولوژی Litholog	1	1.5	2	2.5	4	5	6	8.5	9
شیب Slope		1	1.5	2	3.5	4.5	6	8	9
کاربری اراضی Land use			1	1.5	4	6	7	8	9
فاصله از گسل Distance from faults				1	4.5	7	8	8	9
بارندگی Rainfall					1	6	7	8.5	9
ارتفاع Elevation						1	3	4	5
جهت شیب Aspect							1	2	3
فاصله از جاده Distance from roads								1	2
فاصله از آبراهه اصلی Distance from main stream									1

تقسیم بر درصد سلول‌های فاقد لغزش (B). درصد سلول‌های لغزشی، عبارت است از (تعداد سلول‌های لغزشی هر واحد) / (کل سلول‌های لغزشی حوضه) \* ۱۰۰. درصد سلول‌های فاقد لغزش، عبارت است از (تعداد سلول‌های هر واحد) / (کل سلول‌های حوضه) \* ۱۰۰ [۲۴، ۳۳]

$$FR = \frac{A(\%)}{B(\%)} \quad (1)$$

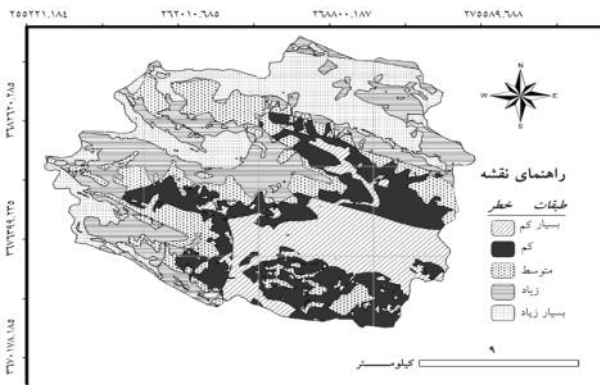
در مرحله ی بعد عملیات فازی سازی صورت گرفت. به این صورت که به هریک از طبقات با توجه به مقادیر نسبت فراوانی، امتیازی بین صفر تا یک اختصاص داده شد. در مورد مقادیر نسبت فراوانی، اگر مقدار آن برای هر طبقه بیشتر از یک باشد رابطه ی بین وقوع زمین لغزش و آن طبقه مثبت یعنی نقش بیشتری در زمین لغزش دارد و اگر کمتر از یک باشد این رابطه منفی و احتمال وقوع زمین لغزش کمتر است. بنابراین دو عامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه اصلی به دلیل نداشتن رابطه منطقی با زمین لغزش‌ها از میان عوامل حذف شدند. بعد از محاسبه مقادیر عضویت فازی برای هریک از طبقات، نقشه‌هایی رستری براساس مقادیر فازی تهیه گردید که شکل (۱۴)، آن‌ها را نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه نهایی پهنه بندی با مدل همپوشانی فازی از عملگر

را نشان می‌دهد.

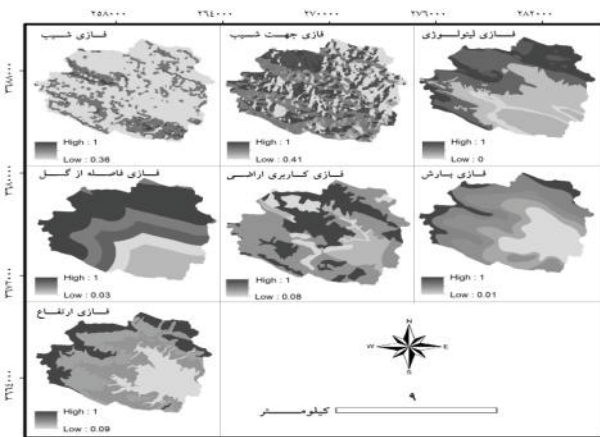
بررسی درصد سطح لغزش یافته و وزن نهایی طبقات عوامل مؤثر نشان داد که دو عامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه اصلی به دلیل نداشتن رابطه ی منطقی تأثیری در زمین لغزش‌های حوضه ندارند؛ به این مفهوم که با افزایش فاصله از جاده و فاصله از آبراهه درصد زمین لغزش‌ها افزایش می‌یافت که این منطقی نیست. بنابراین، این دو عامل حذف و در تهیه نقشه ی نهایی پهنه بندی اعمال نشدند. برای تهیه نقشه ی پهنه بندی، بر اساس وزن نهایی طبقات نقشه‌هایی رستری تهیه و در نهایت با جمع این نقشه‌ها در محیط GIS، نقشه نهایی به دست آمد. شکل (۱۳)، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه و جدول (3) مساحت و درصد مساحت طبقات خطر را نشان می‌دهند.

پهنه بندی با مدل همپوشانی فازی

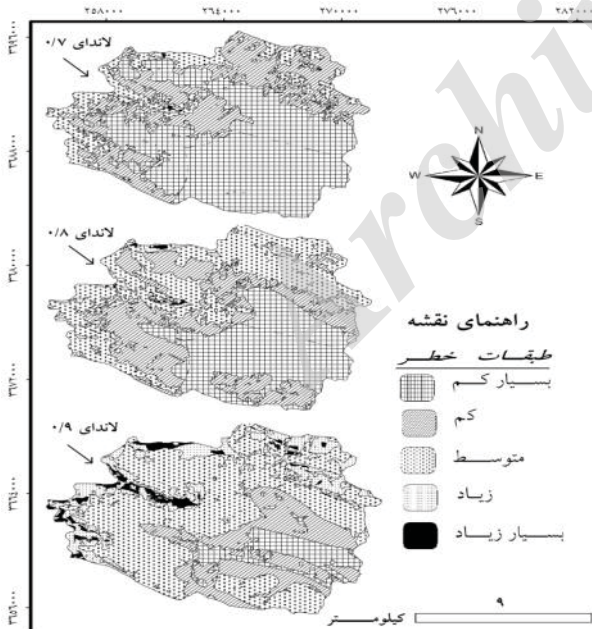
برای تعیین سطح همبستگی بین نقاط لغزشی و عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های حوضه از روش نسبت فراوانی (FR) استفاده شد. نسبت فراوانی که از طریق رابطه ی (۱) محاسبه می‌شود، برای هر واحد از هر عامل عبارت است از درصد سلول‌های لغزشی (A)



شکل ۱۳- نقشه ی پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش AHP  
Figure 13. The map zonation of landslide hazard by AHP



شکل ۱۴- نقشه های فازی عوامل مؤثر  
Figure 14. Maps fuzzy the factors



شکل ۱۵- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با گامای فازی  
Figure 15. The map zonation the landslide hazard by fuzzy gama

جدول ۲- وزن نهایی عوامل مؤثر و اولویت بندی آن ها  
Table 2. The final weight of factors and prioritize them

وزن نهایی Final weight	عوامل مؤثر Factors	اولویت ها Preference
82.76	لیتولوژی Litholog	1
45.90	شیب Slope	2
44.54	فاصله از گسل Distance from faults	3
35.86	کاربری اراضی Land use	4
22.45	بارندگی Rainfall	5
14.17	جهت شیب Aspect	6
8.72	ارتفاع Elevation	7
5.79	فاصله از جاده Distance from roads	8
3.12	فاصله از آبراهه اصلی Distance from main stream	9

جدول ۳- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر

Table 3. Area and percent area of the risk classes

مساحت طبقات Percent area(%)	مساحت طبقات Area(Km <sup>2</sup> )	طبقات Classes
21	72.35	بسیار زیاد Very high
23	79.47	زیاد High
19	63.29	متوسط Medium
20	68.82	کم Low
17	57.34	بسیار کم Very low

گاما با لانداهای ۰,۷، ۰,۸، و ۰,۹ استفاده شد. بنابراین با استفاده از هفت نقشه ی فازی، نقشه های پهنه بندی برای لانداهای فوق تهیه و شکل (۱۵) آن ها را نشان می دهد. جدول (۴) نیز مساحت و درصد مساحت طبقات خطر در آن ها را نشان می دهد.

جدول ۴- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر

Table 4. Area and percent area of the risk classes

طبقات Classes	عملگر گامای ۰,۷ Gama 0.7		عملگر گامای ۰,۸ Gama 0.8		عملگر گامای ۰,۹ Gama 0.9	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
	Area (km <sup>2</sup> )	مساحت Area(%)	Area (km <sup>2</sup> )	مساحت Area(%)	Area (km <sup>2</sup> )	مساحت Area(%)
بسیار زیاد Very high	0.24	0.07	1	0.29	10.83	3
زیاد High	1.61	1	7.06	2	52.68	16
متوسط Medium	46.02	13	116.9	34	178.08	52
کم Low	103.2	30	107.52	31	69.11	20
بسیار کم Very low	190.19	56	108.67	32	30.57	9

### نتیجه گیری

در تهیه ی نقشه پهنه بندی خطر، هفت عامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارندگی و ارتفاع به عنوان عوامل مؤثر مورد استفاده قرار گرفت و دو عامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه اصلی به دلیل بی تأثیر بودن در وقوع زمین لغزشها از میان عوامل حذف شدند. در پژوهش پیش رو از روش های AHP و همپوشانی فازی (عملگر گاما با لاندهای ۰,۷، ۰,۸ و ۰,۹) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش و از روش Qs نیز برای ارزیابی صحت نقشه های پهنه بندی استفاده شد. نتایج ارزیابی نقشه های پهنه بندی نشان داد که روش گامای فازی با لاندهای ۰,۷ (با Qs: ۰,۷۵) از مطلوبیت بهتری نسبت به سایر روش های استفاده شده برخوردار است که این با پژوهش انجام شده توسط متکان و همکاران [۱۹] و دهیان اوان استخری [۸] مطابقت دارد. لازم به ذکر است که این پژوهشها نیز با شاخص جمع کیفی ارزیابی شده اند. روش گامای فازی با لاندهای ۰,۸ و روش AHP به ترتیب (با Qs: ۰,۷۱ و ۰,۷) در اولویت های دوم و سوم قرار می گیرند. مقدار نسبت تراکمی (Dr) به دست آمده برای هریک از پهنه های خطر نیز بیانگر این است که، تفکیک پذیری پهنه های خطر با دقت صورت گرفته است، زیرا متناسب با افزایش خطر، مقدار نسبت تراکمی در پهنه های خطر نیز افزایش یافته است.

در حوضه آبخیز نوژیان منطقی است که هرگونه دخالت انسانها در شیبها و برنامه ریزی محیطی با توجه به نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش صورت بگیرد تا منجر به تشدید ناپایداری زمین نشود و از مخاطرات بالقوه احتمالی تا حد امکان ممانعت به عمل آید.

ارزیابی صحت نقشه های پهنه بندی با روش Qs

برای مقایسه نقشه های پهنه بندی از شاخص جمع کیفی (Qs) (به دلیل دقت بالا) استفاده شد. مقدار شاخص جمع کیفی نشان دهنده مطلوبیت عملکرد روشها در پیش بینی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه می باشد. بنابراین در ارزیابی روشها هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، روش مورد نظر از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. برای تعیین این شاخص، ابتدا باید نسبت تراکمی (Dr) را محاسبه نمود. نسبت تراکمی از طریق رابطه ی (۲) به دست می آید. در این رابطه، Si: مجموع مساحت زمین لغزش های واقع در هر طبقه ی خطر، Ai: مساحت i مین طبقه خطر و n: تعداد طبقه های خطر در یک نقشه ی پهنه بندی می باشد. مقدار شاخص جمع کیفی نیز از طریق رابطه (۳)، به دست می آید، که در آن Qs: شاخص جمع کیفی، Dr: نسبت تراکم و S: نسبت مساحت هر طبقه ی خطر به مساحت کل منطقه می باشد [۱۶، ۱۱، ۲۹]. جدول (۵)، نتایج ارزیابی نقشه های پهنه بندی با روش Qs را نشان می دهد.

$$Dr = \frac{Si}{\sum_{i=1}^n Si} \quad (2)$$

$$Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 * S) \quad (3)$$

همان طور که در جدول (۵) مشاهده می کنید، در پهنه های خطر مقادیر نسبت تراکمی (Dr) متناسب با افزایش خطر، افزایش یافته است که این بیانگر دقت بالای تفکیک پذیری پهنه های خطر در نقشه های پهنه بندی می باشد.

- 1- Quality sum  
2- Density ratio



جدول ۵- نتایج ارزیابی نقشه‌های پهنه بندی با روش Qs

Table 5. The evaluation results of zoning maps by Qs

Qs	S	Dr	Ai (km <sup>2</sup> )	Si (km <sup>2</sup> )	طبقات Classes	روش Method
	0.21	2.36	72.35	10.14	بسیار زیاد Very high	AHP
	0.23	1.4	79.47	6.6	زیاد High	
0.7	0.18	0.52	63.29	1.97	متوسط Medium	
	0.2	0.35	68.82	1.43	کم Low	
	0.16	0.01	57.34	0.05	بسیار کم Very low	
	0.0007	3.51	0.24	0.05	بسیار زیاد Very high	فازی Fuzzy (Goma 0.7)
	0.004	5.45	1.61	0.52	زیاد High	
0.75	0.13	2.63	46.02	7.17	متوسط Medium	
	0.3	1.45	103.2	8.86	کم Low	
	0.55	0.31	190.19	3.6	بسیار کم Very low	
	0.002	7.11	1	0.42	بسیار زیاد Very high	فازی Fuzzy (Gama 0.8)
	0.02	3.45	7.06	1.44	زیاد High	
0.71	0.34	1.85	116.9	12.77	متوسط Medium	
	0.31	0.77	107.52	4.9	کم Low	
	0.31	0.09	108.67	0.6	بسیار کم Very low	
	0.03	3.48	10.83	2.21	بسیار زیاد Very high	فازی Fuzzy (Gama 0.9)
	0.15	2.2	52.68	6.81	زیاد High	
0.63	0.52	1	178.08	10.53	متوسط Medium	
	0.2	0.11	69.11	0.46	کم Low	
	0.08	0	30.57	0	بسیار کم Very low	

9. Ebadinejad, S.A., Yamani, M., Maghsoodi, M., Shaudfar, S. 2007. The efficiency evaluation of Fuzzy Logic operators in the determining the landslide capability (Case Study: The Shiroud watershed). *Journal of Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 1(2): 39-44. (In Persian)
10. Fatemi Aghda, M., Ghaauomian, J., Teshnehlab, M., Eshghli Farauhani, A. 2005. The survey of the landslide hazard using Fuzzy Logic (A case study: the Roudbar zone). *Journal of Tehran University*. 31(1): 43-64. (In Persian)
11. Gee, M.D. 1992. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, Bell, Davi, H(Ed.). *Proceedings 6 th International Symposium on Landslide*. pp: 48-56.
12. Geeraay, P., Kariemi, H. 2010. The determination the most appropriate method the landslide hazard zonation in the Ilam dam watershed. *Journal of Geographical Research*. 24(96): 101-128. (In Persian)
13. Hatamifard, R., Mosavi, H., Alimoradi, M. 2012. The landslide hazard zonation using AHP model and GIS technique in the city of Khorramabad. *Journal of Geography and Environmental Planning*. 23(3): 43-60. (In Persian)
14. Kanungo, D.P., Avora, M.K. Sarkar, S., Gupta R.P. 2009. Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping – A Review. *Journal of South Asia Disaster studies*. 2(1): 81-105.
15. Komac, M. 2006. Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpineSloveni. *Geomorphology*. 74: 17-28.
16. Michael, D.G. 1991. Classification of Lanslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capabilty. *Proceeding of the 6th International Symposium on Landslide*. Balkema.
17. Mooghtader, A., Boohroodi, A., Sharifi, M.A., Mahdavisar, M.R. 2010. The applying the Methods of spatial analysis to determine the boundary of the hazard zones in landslide hazard zonation maps. *Journal of Surveying Engineering and Spatial Information*. 1(2): 97-109. (In Persian)
18. Moohamadi, M., Muoradi, H.R., Feiznia, S., Ahmadi, H., Esmali, A., Feiznia, S and Shariatjafari, M. 2003. The hazard zonation of the Mass movements using Two methods of multivariate regression (MR) and Analytical Hierarchy Process (AHP): A case study of Garmichai watershed. *Iranian Journal of Natural Resources*. 56(4): 323-326. (In Persian)
2. Ajalooian, R., Zeraui Sehaamieh, R., Baharvand, S and Frahadinejad, T. 2003. The landslide hazard zonation in Nojjan watershed (southeast of Khorramabad - Lorestan province). *Journal of Engineering Geology*. 1(2): 119-132. (In Persian)
3. Amirahmadi, A., Kamrani Dalir, H., Sadeghi, M. 2010. The landslide hazard zonation using Analytical Hierarchy Process (AHP): A case study in Chelauv watershed in Aumol. *Journal of Iranian Geographical Association*. 8(27): 182-203. (In Persian)
4. Azimpour, A.R., Sadoogh, H., Dalal Oughli, A., Servati, M.R. 2009. The evaluation the results of AHP model in the landslide hazard zonation: A case study Aharchai watershed. *Journal of geographical space*. 9(26): 71-87. (In Persian)
5. Baharvand, S. 2001. The evaluation of the landslide potential in the Nojjan watershed (Southeast of Khorramabad) and its zonation. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, North Tehran Branch. Iran. (In Persian)
6. Behniafar, A., Mansori Daneshvar, M.R., Kahrobaian, P. 2010. The application of the models the AHP and Fuzzy Logic in the landslide hazard zoning: A case study in Ferizi watershed in northern slopes of the Binalud mountains. *Journal of Physical Geography*. 3(9): 89-100. (In Persian)
7. Bhatt, B.P., Awasthi, K.D., Heyojoo, B.P., Silwal, T., Kafle, G. 2013. Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 1( 2): 14-22.
8. Dehban Avan Stakhri M. 2013. Landslide Susceptibility Mapping for Poulrood Earth Fill Dam Reservoir (The Comparison of Two Methods) Iran, Guilan Province. *Universal Journal of Geoscience*. 1 (2): 69-76.

26. Safari, A., Akhdar, A. 2012. The Comparison of the Frequency Ratio model and Fuzzy membership functions in the landslide hazard zonation: A case study of the Marivan-Sanandaj road. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 4: 79-96. (In Persian)
27. Safari, A and Moghimi, A. 2009. The geomorphological assessment of the urban development and vulnerability resulting from landslides in the mountain slopes of the metropolitan Tehran. *Journal of Research in Physical Geography*. 67: 53-71. (In Persian)
28. Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Allahvirdiasl, H. 2012. Application of Satellite image and fuzzy set theory in Landslide hazard Mapping in Central Zab basin. *Journal of Applied Physics*. 1(4): 17-24.
29. Shirani, K., Seif, A. 2012. The landslide hazard zonation using the statistically methods: the Pishkuh region, Fereidoonshahr city. *Journal of Earth Sciences*. 22(85): 149-158. (In Persian)
30. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using Analytical Hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey). *Catena*. 72(1): 1-12.
31. Yamani, M., Hasanpour, S., Moostafai, A., Shadmaun Roodpooshti, M. 2012. The map of the landslide hazard zonation in Kauroon watershed using AHP model in GIS. *Journal of Geography and Environmental Planning*. 23(48): 39-56. (In Persian)
32. Zade, L.A. 1965. Fuzzy Sets. *Journal of Information and Control*. 8: 338-353.
33. Zaure, M., Nazari Saumauni, A. A. 2011. The forecast the landslide Hazard using the methods quantitative statistically, Analytical Hierarchy Process and Integration: A case study from the Vauz watershed. *Journal of watershed management*, 2(4): 57-72. (In Persian)
- Pourghausemi, H.R. 2009. The efficiency evaluation of the models Certainty Factor, Information Value and Analytic Hierarchy Process in landslide hazard zonation (case study: part of Haraz watershed). *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 62(4): 539-551. (In Persian)
19. Mootakaun, A.A., Saamia, J., Pourali, H., Safai, M. 2009. The models Fuzzy logic and remote sensing for landslide hazard zonation in Laujiem watershed. *Journal of Applied Geology*. 5(4): 318-325. (In Persian)
20. Muoradi, H.R., Mohamadi, M., Pourghausemi, H.R., Feiznia, S. 2010. The analysis and estimation the landslide hazard using the Analytical Hierarchy Process method as part of the haraz road. *Modares Journal of Human Science-Spatial Planning*. 14(2): 234-247. (In Persian)
21. Nasiri, Sh. 2004. Attitudinal on the Iran landslides: case study of slope instability in the Haraz road. *National Geoscience Database Of Iran*. (In Persian)
22. Nauderi, F. 2012. The application of the Fuzzy Logic in landslide hazard zonation in Chardavol watershed in Ilam. *Journal of Research of watershed management*. 94: 74-85. (In Persian)
23. Pradhan, B. 2010. Application of an advanced fuzzy logic model for landslide susceptibility analysis. *International Journal of Computational Intelligence System*. 3(3): 370-381.
24. Rajabi, A. M., MahdaviFar, M. R., Khamechian, M. 2012. The application of the Frequency Ratio model in the forecast the landslides induced the Manjil earthquak. *Iranian Journal of Geology*. 21(6): 3-13. (In Persian)
25. Sadoogh, M.H., Jafari, T., Eskandari, H. 2010. The landslide hazard zonation in Ghaarechai watershed using the method the Analytical Hierarchy Process (AHP) in GIS. *Journal of Sepehr*. 19(76): 34-38. (In Persian)

*Abstract***Landslide Hazard Zonation in Nojian Watershed with the Models Overlay  
Fuzzy and AHP**S. Tulabi<sup>1</sup> and M. Abedini<sup>2</sup>

Received: 2014/06/29 Accepted: 2016/08/02

The purpose of this study is zonation of landslide in Nojian basin with Fuzzy and AHP models. In this study in order to obtain hazard zonation map, 9 factors were studied. This factors in GIS software were mapped and then classified and weighted. These maps were overlapped with the landslides distribution map, until the role of landslides distribution to be determined. Finally, the 7 factors including lithology, slope, aspect, distance from the fault, land use, precipitation and elevation were identified as factors influencing in landslides the basin. The maps the landslide hazard zonation was prepared based on these 7 factors and the methods of AHP and Fuzzy Gamma operator 0.7, 0.8 and 0.9 in GIS. Also the index of Quality sum (Qs) were used for evaluation of the accuracy of zonation maps. The results of the evaluation of the maps showed that the amount the indices Qs for AHP model is equal to 0.7 and for Fuzzy Gamma operator, it would be 0.7, 0.8 and 0.9 respectively. Therefore, it is concluded that the operator the Fuzzy gamma would be 0.7 compared to other methods. So it is better for utilization in the landslide hazard zonation in Nojian basin. And it is reasonable to take any environmental planning with respect to it.

**Keywords:** *Landslide zonation, Nojian watershed, Fuzzy Overlay model, AHP model, Qs method, GIS.*

1. Master of geomorphology, Young Researchers and Elite Club, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran Corresponding Author: Sosan.Tolabi@yahoo.com.

2. Ph.D. in geomorphology, faculty member of University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran.