

## شبیه سازی احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مورد مطالعه: حوضه آبخیز پیوهژن - ارتفاعات جنوبی بینالود)

دریافت مقاله: ۹۵/۷/۱۶ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۱۳

صفحات: ۱۳۰-۱۱۵

ملیحه محمدنیا: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.  
malihe.mohamadnia@yahoo.com  
غلامعباس فلاح قاهره: دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.  
ab\_fa789@yahoo.com

### چکیده

زمین لغزش به علت ماهیت خطرناک خود در مناطق کوهستانی مورفولوژی را به طور ناگهانی بر هم می زند و خسارت هایی عمده به مناطق مسکونی، جاده ها، زمین های کشاورزی و... وارد می کند. در این مطالعه با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی به ارزیابی و پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه پیوهژن در استان خراسان رضوی پرداخته شده است. مجموعاً هشت معیار اصلی ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی و کاربری اراضی مرتبط با وقوع پدیده زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. زیرمعیارها با استفاده از مدل نسبت فراوانی وزن دهی و فازی سازی شدند. وزن معیارها نیز با استفاده از مدل AHP تعیین گردید. سپس نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگرهای فازی ۰/۸، ۰/۰ و ۰/۷ تهیه و با استفاده از منحنی ROC صحت سنجی گردیدند. نتایج نشان داد عامل شیب بیشترین تاثیر و عامل کاربری اراضی کمترین اثر را در وقوع لغزش در حوضه داشته است. نتایج اعتبار سنجی مدل گویای دقت ۹۰ درصدی نقشه حساسیت زمین لغزش با عملگر ۰/۷ در حوضه بوده است. بنابراین مدل فازی گاما با عملگر ۰/۷ بهترین شکل نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه پیوهژن را ارائه داده است.

کلیدواژگان: زمین لغزش، پهنه بندی حساسیت، مدل AHP، منطق فازی، حوضه پیوهژن.

## مقدمه

ناپایداری دامنه های طبیعی یکی از پدیده های ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد (مددی و همکاران ۱۳۹۴:۱۲۵ و بلاسیو ۲۰۱۱:۵). زمانی که این فرایند فعالیت های انسانی را تحت تاثیر قرار دهد به پدیده ای خطرناک تبدیل می شود (فاطمی عقدا و همکاران ۱۳۸۲:۲۹ و پائولتی و همکاران ۲۰۱۳:۱۴۷). یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی بررسی موقعیت مکان های خطر پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است (ابراهیمی و همکاران ۱۳۹۴:۱۴۴). از میان حرکات دامنه ای زمین لغزش ها با توجه به تکرار وقوع این پدیده و خسارات زیان بار آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (میرصانعی و کاردان ۱۳۷۸:۷۰). زمین لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه ها (محمودی ۱۳۸۷:۳۸). این پدیده زمانی رخ می دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (علی پور و ملکیان ۱۳۹۴:۱۶۶). امروزه نیاز فزاینده ای برای مدیریت خطر زمین لغزش به صورت کمی و پهنه بندی آن وجود دارد (فل و همکاران ۲۰۰۸:۸۶). تهیه نقشه خطر وقوع زمین لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کومار ۲۰۰۸:۴۹۶). مدیریت ریسک و ارزیابی خطر زمین لغزش ها با شناسایی جامع و تهیه نقشه آن ها شروع می شود و این امر می تواند مبنایی جهت کسب آگاهی از توزیع مکانی و زمانی آن ها بکار رود (گازتی ۲۰۰۰:۹۰ براردینونی و همکاران ۲۰۰۳:۱۸۰).

کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، ضعف مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه های محیطی، به عنوان یک کشور پرمخاطره به شمار می رود (یاراحمدی و همکاران ۱۳۹۴:۴۴). ایران از نظر بلایای طبیعی جزء ده کشور اول دنیا بوده و هر ساله وقوع زمین لغزش ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارات و صدمات جبران ناپذیری به بار می آورد (حجازی و رنجبریان شادباد، ۱۳۹۳:۱۱۵). زمین لغزش های ایران به عنوان یکی از بلایای طبیعی هر ساله نقش بسزایی در تخریب جاده های ارتباطی، تخریب مراتع و باغات، مناطق مسکونی و همچنین فرسایش خاک و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه های آبخیز کشور دارند (پورهاشمی و همکاران ۱۳۹۴:۸۲ و کریمی و همکاران ۱۳۹۰:۹۶). با تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش می توان مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و درباره برنامه های مورد نظر تصمیم گیری کرد (صابر چناری و همکاران ۱۳۹۴:۱۰۶).

در زمینه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در داخل و خارج از کشور مطالعات زیادی صورت گرفته است. زارع و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان پهنه بندی حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوضه آبخیز واز نقشه حساسیت زمین لغزش در این حوضه را تهیه نمود. نتایج نشانگر حساسیت بالای حوضه مورد مطالعه در بروز زمین لغزش می باشد. میرنظری و همکاران (۱۳۹۳)، در حوضه آبریز پشت تنگ سر پل ذهاب به ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی پرداختند. در این پژوهش نه معیار کاربری اراضی، خاک، نهشته های سطحی، خطوط همباران، پوشش گیاهی، شیب، ژئومورفولوژی، زمین شناسی و ارتفاع استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد مدل فازی گاما بهترین شکل نقشه خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه را ارائه داده است. در همین سال در پژوهشی مشابه عابدینی و فتحی به پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۷۴ درصد از لغزش های رخ داده در کلاس حساسیت زیاد و

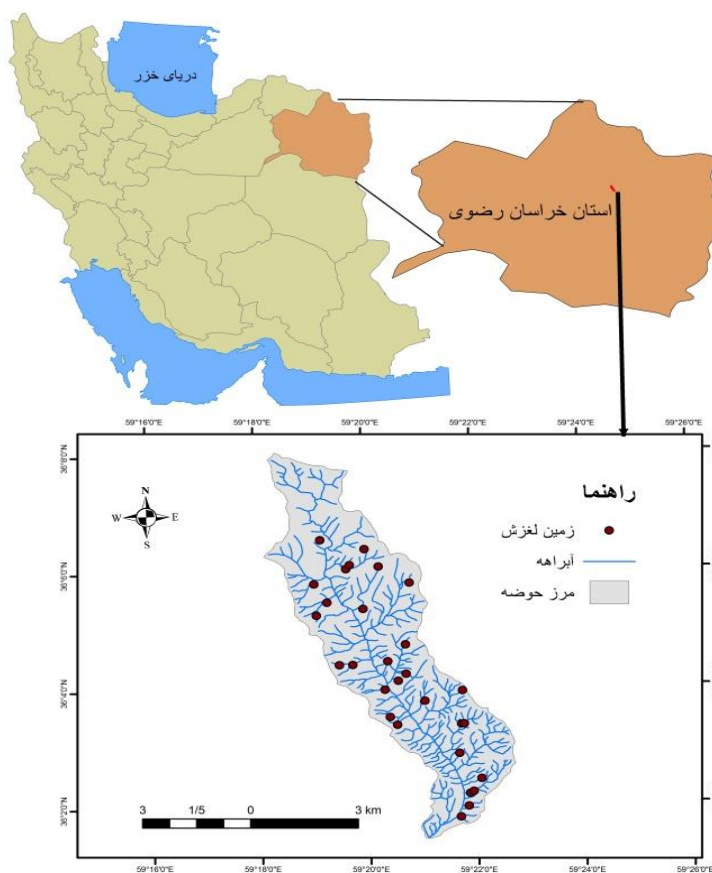
خیلی زیاد واقع گردیده است (عابدینی و فتحی ۱۳۹۳). صفاری و اخدر (۱۳۹۱) به مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده سنندج- مریوان پرداختند. نتایج نشان داد نقشه پهنه بندی خطر با گامای ۰/۸ مدل نسبت فراوانی تطابق بیشتری با پهنه های لغزشی رخ داده دارد. اکسوی و اورکانگلو (۲۰۱۲) در مطالعه ای برای تشخیص مناطق حساس به زمین لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه بندی تصاویر ماهواره ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین لغزش های این ناحیه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که عملگر فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد. چامپاتی ری و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما برای تهیه نقشه زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۹۸ بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

روش های بسیاری برای پهنه بندی خطر زمین لغزش وجود دارد ولی به طور کلی این روش ها به دو دسته روش های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می شوند. روش های مستقیم پهنه بندی، بر پایه قضاوت های متکی بر مناطق لغزش یافته صورت می گیرد، ولی روش های غیرمستقیم بر پایه شناسایی عوامل کنترل کننده و تلفیق این عوامل به عنوان معرف های پتانسیل زمین لغزش، در پهنه بندی است (قنواتی و همکاران؛ ۱۳۹۳: ۹). با توجه به پتانسیل وقوع زمین لغزش در حوضه مطالعاتی و وجود آثار و شواهد وقوع زمین لغزش های مکرر در محدوده، تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت خطر، ضروری بنظر می رسد. بر همین اساس، عوامل موثر در وقوع رخداد زمین لغزش در حوضه پیوه ژن شناسایی و میزان تاثیر آن با استفاده از روش AHP و منطق فازی مشخص و نقشه حساسیت زمین لغزش برای حوضه تهیه گردید.

## روش تحقیق

### محدوده مورد مطالعه

محدوده حوضه آبخیز پیوه ژن در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهر مشهد و ۵۵ کیلومتری شرق نیشابور و در حاشیه شمالی جاده ترانزیتی در دامنه های جنوبی کوه های بینالود و بین دو طول "۱۰' ۳۷' ۵۴" و "۵۶' ۴۱' ۵۴" و عرض های "۴۶' ۰۲' ۳۶" تا "۱۰' ۰۶' ۳۶" شمالی قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می دهد. حوضه آبخیز پیوه ژن از اهمیت زیادی به دلیل احداث شهرک صنعتی و مسکونی بینالود در قسمت جنوبی حوضه برخوردار است. روستای پیوه ژن در داخل حوضه واقع است. به دلیل رونق نظام باغداری و صعوبت العبور بودن مراتع و شرایط استقرار نامناسب روستای پیوه ژن جهت فعالیتهای دامی و زمستان سخت و طولانی دامداری رونق چندانی نداشته و مراتع روستای پیوه ژن قابلیت چرای کمتری دارد. از نظر اقتصادی سه بخش کشاورزی، خدمات و دامداری به ترتیب مهمترین منابع درآمدی روستا را تشکیل می دهند.



شکل (۱). موقعیت حوضه مورد مطالعه

شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش مهم‌ترین مرحله پهنه بندی این رویداد خطر است. در این پژوهش به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری زمین و زمین‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌های معیارهای مذکور از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای ETM جمع‌آوری و در محیط GIS آماده شد. آمار مربوط به زمین لغزش‌های رخ داده نیز از اداره آبخیزداری استان خراسان رضوی تهیه گردید. جهت وزن‌دهی به معیارهای مورد نظر از روش نسبت فراوانی استفاده گردید. با توجه به اینکه پهنه بندی در این روش بر مبنای تطبیق نقشه زمین لغزش‌های حادث شده در منطقه با نقشه معیارهای موثر در زمین لغزش صورت می‌گیرد لایه پراکنش نقاط لغزش یافته حاصل از اداره آبخیزداری در Google Earth و با استفاده از بازدیدهای میدانی تبدیل به پهنه‌های لغزشی گردید. تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با معیارهای مورد نظر، تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر طبقه از لایه‌های عاملی را بدست می‌آورد. در مدل نسبت فراوانی وزن هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (لی و سمبث، ۲۰۰۶):

رابطه (۱):

$$Fr = \frac{A}{B}$$

در رابطه (۱) Fr نسبت فراوانی، A درصد پیکسل‌های لغزشی، و B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش است. برای تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های بدست آمده از روش نسبت فراوانی نرمال سازی (بین صفر و یک) و سپس وارد نرم افزار Arc GIS 10 شد و هر کدام از نقشه‌های مذکور فازی گردید. سپس جهت محاسبه وزن معیارها از روش AHP استفاده گردید. در نهایت نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گاما تهیه شد. منطق فازی

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده در مقاله ای با عنوان مجموعه‌های فازی در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. لطفی زاده ادعا نمود که برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌باید تابع عضویت تعریف شود یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقا صفر و یک نباشد بلکه مقادیری مابین این دو است. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک یعنی به طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد (ژو و اسکات مای، ۲۰۰۱).

پس از محاسبه وزن‌های نسبت فراوانی نرمال سازی لایه‌ها با استفاده از رابطه (۲) انجام شد و تمام لایه‌های اطلاعاتی براساس رابطه (۲) دارای ویژگی کمی با دامنه‌ای از ارقام پیوسته صفر تا یک شدند (ال محسن، ۲۰۰۹).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x > a \\ (x_{\max} - x) / \Delta x & b > x > a \\ 0 & b > x \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

بعد از فازی سازی تمام زیر معیارها ضرایب بدست آمده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای هر یک از نقشه‌ها اعمال گردید. سپس نقشه‌های تهیه شده با استفاده از دستور Fuzzy overlay روی هم اندازی و نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گامای ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷ و تهیه گردید.

#### ارزیابی روش پهنه بندی

از آنجا که نمی‌توان جهت ارزیابی کارایی و صحت نقشه حساسیت زمین لغزش از نقشه پراکنش زمین لغزش استفاده کرد (ایمن‌دو و همکاران ۲۰۰۳) جهت حل این مشکل از دو سوم داده‌ها جهت پهنه بندی و یک سوم جهت کالیبره کردن مدل استفاده گردید (کوماک ۲۰۰۶).

منحنی تجمعی روشی مفید در نشان دادن کیفیت تشخیص‌های احتمالاتی و قطعی و سیستم‌های پیش‌بینی است. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در تعیین خصوصیات، شناسایی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (ون وسترن، ۲۰۰۲:۲). در منحنی ROC ایده‌آل‌ترین مدل، دارای بیشترین سطح زیر منحنی است و مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخدادهای لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه‌شده، است.

همبستگی کمی- کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین عبارتند از است: (۰-۹، عالی، ۰،۸-۰،۹، خیلی خوب، ۰،۷-۰،۸، خوب، ۰،۶-۰،۷، متوسط، ۰،۵-۰،۶، ضعیف) (ون وسترن، ۲۰۰۲:۳).

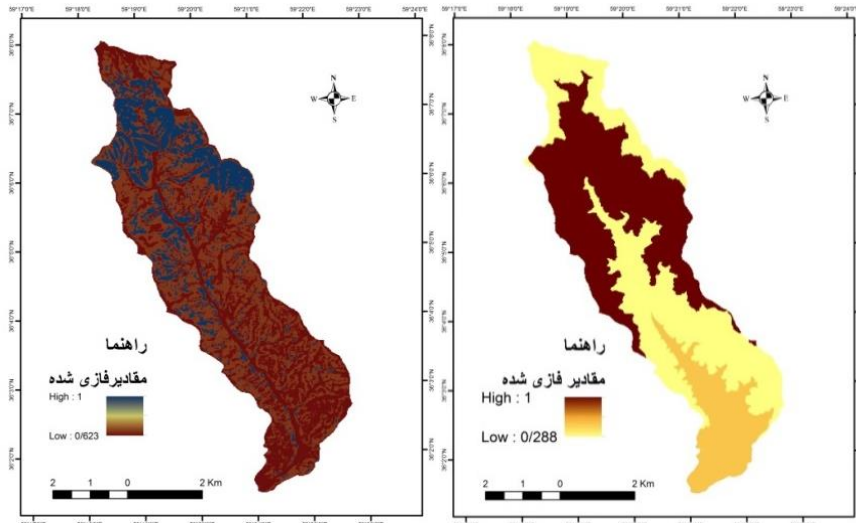
### نتایج

شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی آن در مناطق مختلف از نیازهای اساسی و بسیار مهمی است که برنامه ریزان به آن محتاج می‌باشند (رنجبر و روغنی ۱۳۸۸:۲۲). در این تحقیق ابتدا عوامل هشت گانه: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی و زمین شناسی به عنوان عوامل موثر در بروز زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی گردید. پس از روی هم اندازی نقشه های عاملی کلاس بندی شده با نقشه زمین لغزش های بوقوع پیوسته، وزن هر واحد از نقشه های عاملی با مدل نسبت فراوانی تعیین و سپس فازی سازی (بین صفر و یک) گردید. با استفاده از این وزن ها نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه گردید. شکل های (۲ تا ۹). در جدول (۱) مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای موثر در وقوع زمین لغزش از طریق روش نسبت فراوانی محاسبه شده است. این مقادیر برای تهیه نقشه های فازی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۱). مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای مختلف در منطقه مورد مطالعه

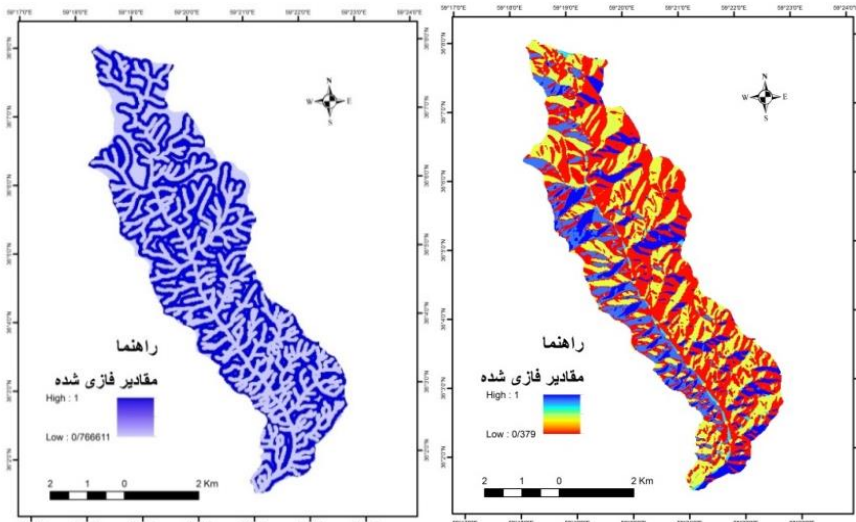
| ارتفاع به متر          |                     |                         |              |            |
|------------------------|---------------------|-------------------------|--------------|------------|
| کلاس                   | درصد پیکسلهای لغزشی | درصد پیکسلهای فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| ۱۸۰۰-۱۶۰۰              | ۱۵/۷۳               | ۱۵/۸۲                   | ۰/۹۹         | ۰/۷۳       |
| ۲۰۰۰-۱۸۰۰              | ۲۶/۳۷               | ۳۰/۲۲                   | ۰/۸۷         | ۰/۶۴       |
| ۲۲۰۰-۲۰۰۰              | ۳۳/۶۱               | ۲۶/۶۴                   | ۱/۲۶         | ۰/۹۳       |
| ۲۴۰۰-۲۲۰۰              | ۱۹/۲۷               | ۱۴/۳۴                   | ۱/۳۴         | ۱          |
| بیشتر از ۲۴۰۰          | ۵/۰۱                | ۱۲/۹۵                   | ۰/۳۸         | ۰/۲۸       |
| شیب به درجه            |                     |                         |              |            |
| کلاس                   | درصد پیکسلهای لغزشی | درصد پیکسلهای فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| ۱۰-۰                   | ۸/۷۱                | ۱۰/۶۶                   | ۰/۸۱         | ۰/۶۴       |
| ۲۰-۱۰                  | ۲۴/۱۲               | ۲۶/۳۵                   | ۰/۹۱         | ۰/۷۲       |
| ۳۰-۲۰                  | ۴۱/۸۷               | ۴۳/۷۰                   | ۰/۹۵         | ۰/۷۵       |
| بیشتر از ۳۰            | ۲۵/۲۸               | ۱۹/۲۸                   | ۱/۳۱         | ۱/۰۳       |
| جهت شیب                |                     |                         |              |            |
| کلاس                   | درصد پیکسلهای لغزشی | درصد پیکسلهای فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| مسطح                   | ۲/۰۸                | ۱/۶۵                    | ۱/۲۵         | ۰/۷۱       |
| شمال                   | ۹/۳۲                | ۵/۲۹                    | ۱/۷۶         | ۱          |
| شمالشرق                | ۱۴/۹۱               | ۱۰/۹۰                   | ۱/۳۶         | ۰/۷۷       |
| شرق                    | ۹/۳۴                | ۱۴                      | ۰/۶۶         | ۰/۳۷       |
| جنوب شرق               | ۱۴/۴۸               | ۱۴/۲۳                   | ۱/۰۱         | ۰/۵۷       |
| جنوب                   | ۱۴/۹۷               | ۱۴/۳۵                   | ۱/۰۴         | ۰/۵۹       |
| جنوب غرب               | ۱۳/۴                | ۱۸/۰۲                   | ۰/۷۴         | ۰/۴۲       |
| غرب                    | ۱۰/۴۷               | ۱۴/۰۶                   | ۰/۷۴         | ۰/۴۲       |
| شمالغرب                | ۱۰/۹۸               | ۷/۴۵                    | ۱/۴۷         | ۰/۸۳       |
| فاصله از آبراهه به متر |                     |                         |              |            |

| کلاس                           | درصد پیکسل‌های لغزشی | درصد پیکسل‌های فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|------------|
| ۵۰-۰                           | ۴۴/۱۰                | ۴۵/۹۷                    | ۰/۹۵         | ۰/۸۷       |
| ۱۰۰-۵۰                         | ۳۳/۱۸                | ۳۰/۹۶                    | ۱/۰۷         | ۰/۹۸       |
| ۱۵۰-۱۰۰                        | ۱۴/۵۲                | ۱۳/۳۹                    | ۱/۰۹         | ۱          |
| بیشتر از ۱۵۰                   | ۸/۱۸                 | ۹/۷۶                     | ۰/۸۳         | ۰/۷۶       |
| فاصله از جاده                  |                      |                          |              |            |
| کلاس                           | درصد پیکسل‌های لغزشی | درصد پیکسل‌های فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| ۱۰۰-۰                          | ۱۴/۸۳                | ۱۶/۸۸                    | ۰/۸۷         | ۰/۶۸       |
| ۲۰۰-۱۰۰                        | ۱۳/۴                 | ۱۲/۱۰                    | ۱/۱۰         | ۰/۸۶       |
| ۳۰۰-۲۰۰                        | ۱۴/۱۵                | ۱۱/۰۴                    | ۱/۲۸         | ۱          |
| ۴۰۰-۳۰۰                        | ۱۱/۷۸                | ۱۰/۰۶                    | ۱/۱۷         | ۰/۹۱       |
| ۵۰۰-۴۰۰                        | ۷/۹۵                 | ۸/۹۵                     | ۰/۸۸         | ۰/۶۹       |
| بیشتر از ۵۰۰                   | ۳۷/۸۶                | ۴۰/۹۴                    | ۰/۹۲         | ۰/۷۲       |
| فاصله از گسل                   |                      |                          |              |            |
| کلاس                           | درصد پیکسل‌های لغزشی | درصد پیکسل‌های فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| ۱۰۰-۰                          | ۲۰/۵۱                | ۱۵/۹۹                    | ۱/۲۸         | ۰/۷۸       |
| ۲۰۰-۱۰۰                        | ۲۴/۴۶                | ۱۶/۶۳                    | ۱/۴۷         | ۱          |
| ۳۰۰-۲۰۰                        | ۱۸/۹۶                | ۱۶/۸۱                    | ۱/۱۲         | ۰/۷۶       |
| ۴۰۰-۳۰۰                        | ۱۰/۴۱                | ۱۴/۹۵                    | ۰/۶۹         | ۰/۴۷       |
| بیشتر از ۴۰۰                   | ۲۵/۶۳                | ۳۵/۵۹                    | ۰/۷۲         | ۰/۴۸       |
| کاربری اراضی                   |                      |                          |              |            |
| کلاس                           | درصد پیکسل‌های لغزشی | درصد پیکسل‌های فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| Dfg(باغات دیم)                 | ۱/۴۳                 | ۴/۶۱                     | ۰/۳۱         | ۰/۱۸       |
| Ifg(باغات آبی)                 | ۶/۲۸                 | ۶/۶۰                     | ۰/۹۵         | ۰/۵۶       |
| U(مناطق مسکونی)                | ۰                    | ۰/۴۱                     | ۰            | ۰          |
| Rack(راضی صخره ای)             | ۲۵/۴۷                | ۱۵/۰۲                    | ۱/۶۹         | ۱          |
| Ra(مراتع)                      | ۶۶/۸۱                | ۷۲/۸۸                    | ۰/۹۱         | ۰/۵۴       |
| Rw(بستر مسیل)                  | ۰                    | ۰/۴۶                     | ۰            | ۰          |
| زمین شناسی                     |                      |                          |              |            |
| کلاس                           | درصد پیکسل‌های لغزشی | درصد پیکسل‌های فاقد لغزش | نسبت فراوانی | عضویت فازی |
| SD(ماسه سنگ و شیل)             | ۰                    | ۳/۶۲                     | ۰            | ۰          |
| Db(سازند بهرام)                | ۱۴/۴۰                | ۱۲/۸۶                    | ۱/۱۱         | ۰/۷۲       |
| Qt2(تراس های جوان)             | ۶/۰۳                 | ۳/۹۱                     | ۱/۵۴         | ۱          |
| TR3-J1(سری مایان)              | ۷۲/۷۲                | ۷۱/۵۲                    | ۱/۰۱         | ۰/۶۵       |
| Qa1(پادگانه های قدیمی)         | ۰                    | ۰/۴۶                     | ۰            | ۰          |
| S-D(ماسه سنگ-کوارتزیت-سنگ آهک) | ۶/۸۳                 | ۷/۶۰                     | ۰/۸۹         | ۰/۵۸       |



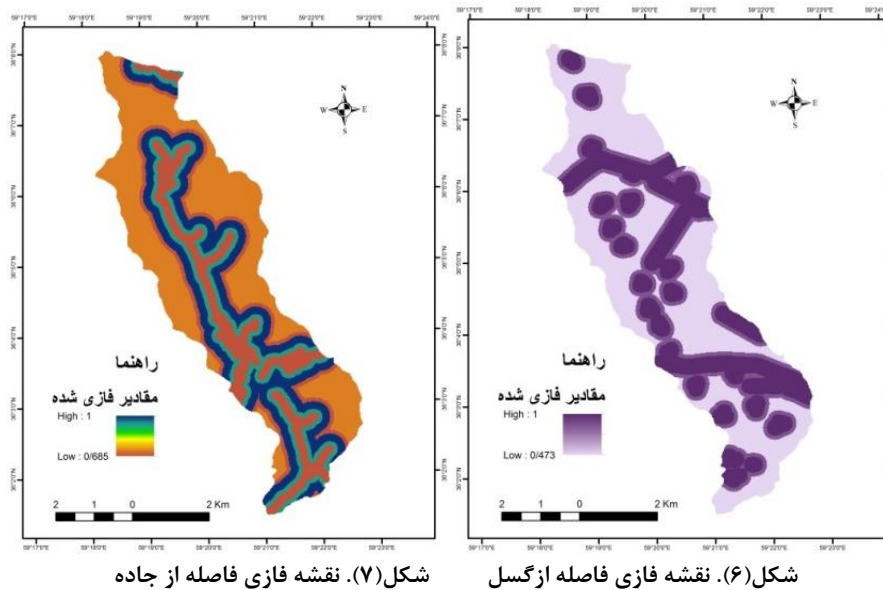
شکل (۳). نقشه فازی شیب

شکل (۲). نقشه فازی ارتفاع



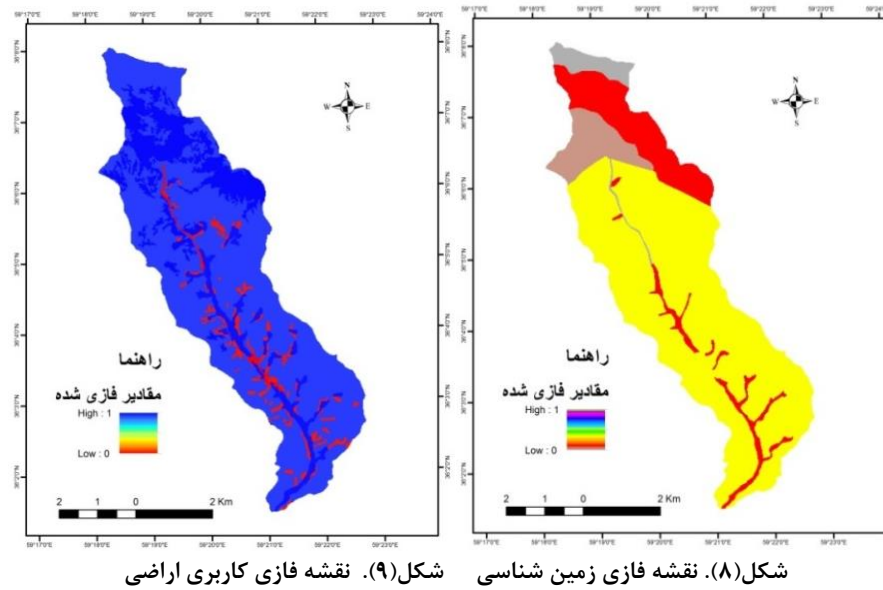
شکل (۵). نقشه فازی فاصله از آبراهه

شکل (۴). نقشه فازی جهت شیب



شکل (۷). نقشه فازی فاصله از جاده

شکل (۶). نقشه فازی فاصله از گسل



شکل (۹). نقشه فازی کاربری اراضی

شکل (۸). نقشه فازی زمین شناسی

در مرحله بعد معیارهای مورد نظر با توجه به اهمیت نسبی هر کدام نسبت به وقوع پدیده زمین لغزش و روابط بین آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی و به صورت ماتریسی مقایسه شدند. بعد از مشخص شدن وزن‌های نهایی مقدار سازگاری بدست آمد (۰/۰۵۶۶) و به دلیل اینکه کمتر از ۰/۱ بود صحت آن تایید شد. جداول (۲ و ۳).

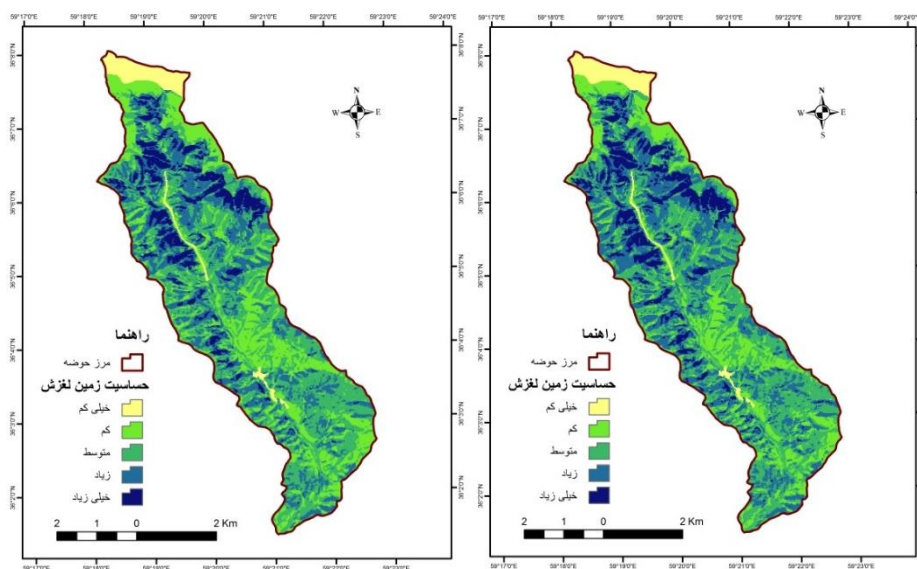
جدول (۲). امتیازهای تعلق گرفته به هر کدام از زیرمعیارها به روش AHP

|                 | ارتفاع | شیب  | جهت شیب | فاصله از آبراهه | فاصله از جاده | فاصله از غسل | زمین شناسی | کاربری اراضی |
|-----------------|--------|------|---------|-----------------|---------------|--------------|------------|--------------|
| ارتفاع          | ۱      | ۰/۳۳ | ۰/۵     | ۰/۵             | ۲             | ۳/۳۳         | ۱/۶۶       | ۱/۲۵         |
| شیب             |        | ۱    | ۱/۲۵    | ۱/۱۱            | ۳/۳۳          | ۳/۳۳         | ۲          | ۵            |
| جهت شیب         |        |      | ۱       | ۱/۱۱            | ۲/۵           | ۱/۶۶         | ۱/۴۲       | ۲/۵          |
| فاصله از آبراهه |        |      |         | ۱               | ۳/۳۳          | ۲/۵          | ۱/۴۲       | ۳/۳۳         |
| فاصله از جاده   |        |      |         |                 | ۱             | ۱/۲۵         | ۱/۴۲       | ۲            |
| فاصله از غسل    |        |      |         |                 |               | ۱            | ۱/۶۶       | ۵            |
| زمین شناسی      |        |      |         |                 |               |              | ۱          | ۲            |
| کاربری اراضی    |        |      |         |                 |               |              |            | ۱            |

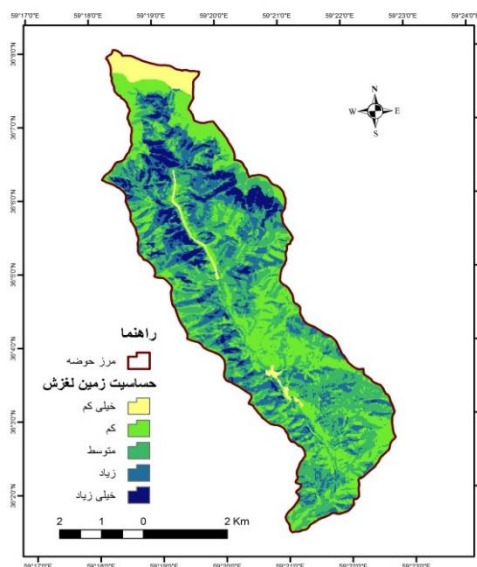
جدول (۳). امتیاز تعلق گرفته به معیارها

| عامل            | وزن نسبی |
|-----------------|----------|
| ارتفاع          | ۰/۱۲۱۶   |
| شیب             | ۰/۲۳۱۴   |
| جهت شیب         | ۰/۱۶۱۵   |
| فاصله از آبراهه | ۰/۱۸۱۴   |
| فاصله از جاده   | ۰/۰۷۷۲   |
| فاصله از غسل    | ۰/۰۹۴۸   |
| زمین شناسی      | ۰/۰۸۴۱   |
| کاربری اراضی    | ۰/۰۴۷۹   |
| CR: ۰/۰۵۶۶      |          |

در مرحله قبل لایه های مورد نظر فازی سازی شدند و این فرایند بر روی هر یک از معیارها صورت گرفت. در این حالت از اهمیت تک تک معیارها نسبت به هم صرف نظر شد. به عبارت دیگر طبقه بندی بر روی هر کدام از معیارها انجام گرفت و ارزش هر کدام از آنها با استفاده از روش فازی معین شد. در این مرحله وزن های مشخص شده برای معیارها با مدل AHP در هر کدام از لایه های فازی تاثیر داده شد. سپس نقشه حساسیت زمین لغزش با عملگر گامای فازی با عملگر ۰/۹، ۰/۸، و ۰/۷ تهیه شد. سپس نقشه های خطر تهیه شده براساس شکست های طبیعی به پنج کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. شکل های (۱۰ تا ۱۲).



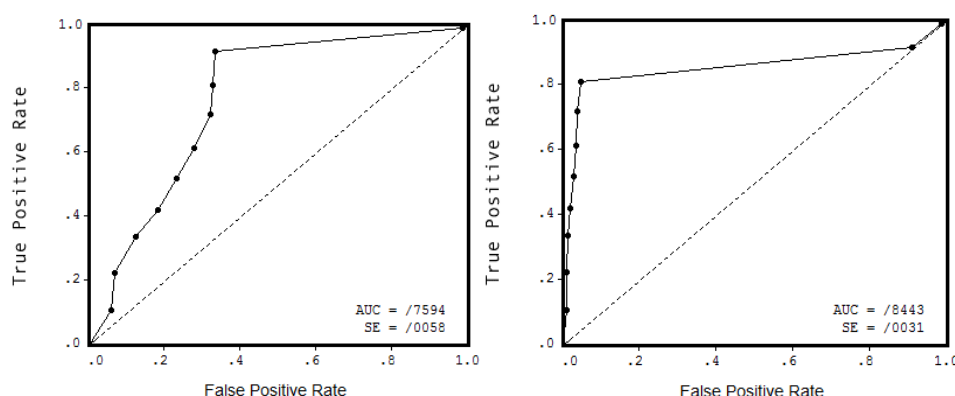
شکل (۱۰). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۹      شکل (۱۱). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۸



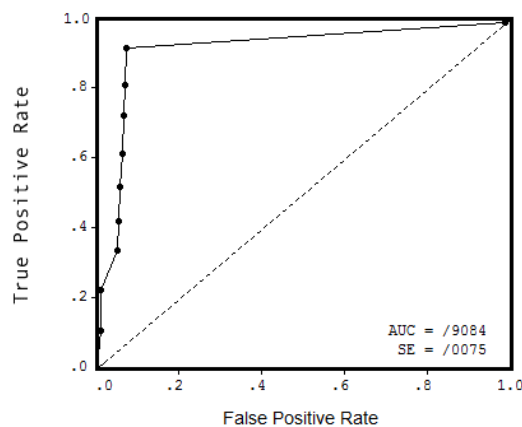
شکل (۱۲). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۷

نتایج بررسی طبقات معیارهای مورد بررسی نشان داد که در معیار ارتفاع، طبقات ارتفاعی ۲۲۰۰-۲۴۰۰ و ۲۴۰۰-۲۰۰۰ به ترتیب بیشترین وزن و طبقه ارتفاعی بیشتر از ۲۴۰۰ متر کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. به طور کلی با افزایش ارتفاع درصد وقوع زمین لغزش افزایش یافته اما مجدد در ارتفاعات بیش از ۲۴۰۰ متر روند کاهشی بوده است. که می توان به علت عدم وجود خاک و فرایندهای خاک سازی در این ارتفاعات باشد. بررسی عامل شیب نشان از همبستگی مثبت درجه شیب با وقوع لغزش ها در حوضه دارد. به طوری که کمترین

درصد وقوع لغزش در کلاس اول شیب (۰-۱۰ درجه) بوده و با افزایش درجه شیب درصد وقوع لغزش افزایش داشته و در کلاس چهارم (بیشتر از ۳۰ درجه) بیشترین درصد وقوع زمین لغزش اتفاق افتاده است. تحلیل تقاطع لغزش‌ها با جهات مختلف شیب نشان داد که لغزش‌ها تقریباً در تمام جهات شیب رخ داده اند اما بیشترین میزان وقوع مربوط به دامنه‌های شمالی و کمترین میزان در دامنه‌های شرقی به وقوع پیوسته است. دامنه‌های شرقی به علت عدم وجود رطوبت لغزش کمتری داشته است. فواصل ۵۰-۱۵۰ متری از آبراهه، ۱۰۰-۴۰۰ متری از جاده و ۱۰۰-۳۰۰ متری از غسل‌ها نیز پتانسیل بالایی در وقوع لغزش در منطقه داشته است. بررسی عامل کاربری اراضی نیز نشان داد که اراضی صخره‌ای بدون پوشش گیاهی بیشترین درصد لغزش‌های رخ داده را به خود اختصاص داده است. در بستر مسیل و مناطق مسکونی هیچ لغزشی رخ نداده است. بررسی عامل زمین‌شناسی نیز نشان داد که تراس‌های جوان مستعدترین مناطق لغزشی و پادگانه‌های قدیمی و آهک و شیل سازندهای با حساسیت‌پذیری بالایی در برابر خطر زمین لغزش می‌باشند. سپس نتایج با استفاده از منحنی ROC صحت‌سنجی گردید و بهترین نقشه به لحاظ دقت برای محدوده مورد مطالعه پیشنهاد گردید. نتایج صحت‌سنجی نشان داد نقشه تهیه شده با عملگر ۰/۷ بیشترین دقت (دقت عالی) و عملگر ۰/۸ کمترین دقت (خوب) را دارا می‌باشد. شکل‌های (۱۳ تا ۱۵).



شکل (۱۳). منحنی ROC مربوط به نقشه گامای ۰/۹. شکل (۱۴). منحنی ROC مربوط به نقشه گامای ۰/۸



شکل (۱۵). منحنی ROC مربوط به نقشه گامای ۰/۷

## نتیجه گیری

زمین لغزش یکی از مخاطره آمیزترین بلایای طبیعی است که دولت و موسسه های پژوهشی هر ساله برای ارزیابی میزان خسارت و نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می کنند. در این پژوهش هشت عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی و کاربری اراضی در وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی وزن دهی گردید. سپس وزن های حاصله فازی سازی و وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص گردید. نتایج روی هم اندازی لایه های عاملی با نقشه لغزش های رخ داده نشان داد که ارتفاع ۲۲۰۰-۲۴۰۰، شیب های بیشتر از ۴۰ درجه، دامنه های شمالی، فواصل ۵۰-۱۵۰ متری از آبراهه، ۱۰۰-۴۰۰ متری از جاده، ۰-۳۰۰ متری از گسل و اراضی صخره ای و تراس های جوان بیشترین لغزش های رخ داده را به خود اختصاص داده است. نتایج وزن دهی به معیارهای موثر در وقوع زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که موثرترین عامل در وقوع زمین لغزش های حوضه عامل شیب (۰/۲۳) و پس از آن عامل فاصله از آبراهه (۰/۱۸) و جهت شیب (۰/۱۶) می باشد. عامل کاربری اراضی با ۰/۰۴ به عنوان کم اهمیت ترین عامل در منطقه شناسایی گردید. وزن های حاصله از روش AHP و نسبت فراوانی با استفاده از روش گامای فازی (عملگر ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷) به صورت نقشه های حساسیت زمین لغزش تهیه و با استفاده از منحنی ROC صحت سنجی گردید که مشخص شد گامای ۰/۷ با سطح زیر منحنی ۰/۹ بهترین عملکرد را در سطح حوضه داشته. نقشه تهیه شده با این عملگر به عنوان نقشه خروجی حساسیت زمین لغزش با درصد بالای دقت و خطای کم به عنوان نقشه نهایی پیشنهاد می گردد. با توجه به مطالب اشاره شده در بالا و نیز نتایج ارزیابی و نقشه نهایی می توان اذعان کرد مدل قابلیت خوبی در منطقه از لحاظ پیش بینی زمین لغزش دارد.

## منابع

- ابراهیمی، مجید، حبیب اللهیان، محمود، امیراحمدی، ابوالقاسم، زنگنه اسدی، محمدعلی (۱۳۹۴)، بررسی اثر جاده سازی بر وقوع زمین لغزش های سطحی با استفاده از مدل پایداری دامنه ها، مطالعه موردی: حوضه آبخیز کلات، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۵(۱۵): ۱۵۶-۱۴۳.
- پورهاشمی، سیما، امیراحمدی، ابوالقاسم، اکبری، الهه (۱۳۹۴)، مدل سازی و برآورد حجم پهنه های زمین لغزش بر پایه مساحت (مطالعه موردی: حوضه بقیع نیشابور)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۶(۵۹): ۹۸-۸۱.
- حجازی، سید اسدالله، رنجبریان شادباد، مریم (۱۳۹۳)، شناسایی عوامل موثر و پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرندچای، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۳): ۱۲۹-۱۱۴.
- زارع، محمد، مقدم نیا، علیرضا، تالی خشک، صادق، سلمانی، حسین (۱۳۹۴)، پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوضه آبخیز واز، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۱۱: ۱۱۰-۱۰۱.
- صابر چناری، کاظم، سلمانی، حسین، محمدی، مجتبی (۱۳۹۴)، ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و LNRF، اکوهیدرولوژی، ۱۲(۱): ۱۱۶-۱۰۵.

صفاری، امیر، اخدر، آرش (۱۳۹۱). مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان - سنندج)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۴): ۹۶-۷۹.

رنجبر، محسن، روغنی، پریسا (۱۳۸۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، ۱(۲): ۳۰-۲۱.

فاطمی عقدا، محمود، غیومیان، جعفر، اشقلی فراهانی، عقیل (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش، فصلنامه علوم زمین، ۱۱(۴۷-۴۸): ۴۷-۲۸.

علی‌پور، حمید، ملکیان، آرش (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۹): ۱۸۰-۱۶۵.

کریمی، حاجی، نادری، فتح‌الله، مرشدی، ابراهیم، نیک سرشت، مهدی (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، ۷(۴): ۳۳۲-۳۱۹.

محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات پیام نور، ۲۸۳ صفحه.

مددی، عقیل، غفاری گیلانده، عطا، پیروزی، الناز (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴): ۱۴۱-۱۲۴.

میرصانعی، سید رضا، کاردان، رحمت‌الله (۱۳۷۸). نگرش تحلیلی بر ویژگی‌های زمین لغزش کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

میرنظری، جواد، شهبابی، هیمن، خضری، سعید (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۷): ۷۰-۵۳.

یاراحمدی، جمشید، روستایی، شهرام، شریفی کیا، محمد، روستایی، مه آسا (۱۳۹۴). شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش اینترفرومتری تفاضلی مطالعه موردی: حوضه آبریز گرمی چای میانه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴): ۵۹-۴۴.

Aksoy, B., Ercanoglu, M., (2012), **Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey)**, Computers & Geosciences, 38: 92-97.

Alipour, H., Malekian, A., (2015), **Landslide hazard zonation in Jahan watershed of Esfarayen, North Khorasan**, Journal of Geography and Development, 13(39): 165-180.

Al-Mohseen, K.A.A., (2009), **Drought Index Assessment for Fatha Region Using Fuzzy Logic Approach**, Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, held 23-27, at the University of Georgia. Athens, Georgia.

- Brardinoni, F., O. Slaymaker, M.A. Hassan, (2003). **Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data**, *Geomorphology*, 54: 179–196.
- Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S. (2007), **Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya**, *Landslides*, 4: 101-111.
- Ebrahimi M Habibollahian M Amirahmadi A ZanganeAsadi M A NejadSoleymani H (2015) **Investigating the effect of road construction on surface landslides occurrence using slope stability model, Case study: Kalat watershed**, *Preparation of geographic space*. 5(15): 143-156.
- Emendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. and Chung, C. (2003). **Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain**, *Natural Hazard*, 30(4): 437-449.
- Fatemi Aghda, M., Ghayomian, J., Farahani, A., (2001), **Evaluating the Efficiency of Statistical Methods in Determining Landslide Risk Potential**, *Journal of Earth Sciences*, 11(47-48): 1-16.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., (2008), **Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land Use Planning**, *Engineering Geology*, 102: 85-98.
- Guzzetti, F., (2000), **Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy**, *Engineering Geology*, 58(2):89-107.
- Hejazi, S. A., Ranjbarian Shadbash, M., (2014), **Identification of effective factors and zoning of landslide risk in the western part of Sarandachai catchment area**. *Quantitative geomorphology research*, 3(3): 114-129.
- Hu, A.X., and Scott Mackay, D. 2001. **Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling**. *Journal of Hydrology*, 284: 57-77.
- Karimi, H., Nareri, F. A., Morshedi, A., Nik Seresht, M., (2012), **Landslide hazard zonation in Chardavul Ilam watershed using Geographic Information System**, *Journal of Applied Geology*, 7 (4): 319-332.
- Komac, M. (2006), **A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia**, *Geomorphology*, 74: 17–28.
- Kumar Dahal, R., (2008), **Predictive Modeling of Rainfall-induced landslide in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of evidence**, *Geomorphology*, 102: .496-510.
- Lee, S., Sambath, T. (2006). **Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models**. *Environmental Geology* 50: 847-855.
- Madadi, A., Ghaffari Gilandeh, A., Pirozy, A (2015), **Landslide hazard assessment and zoning using the VIKOR model (Case study: Agh Laqan Chai watershed)**, *Research of the geomorphology quantitatively*, 3(4): 124 - 141.
- Mahmoudi, F., (2008), **Dynamic Geomorphology**, Second Edition, Payam-e Noor publication, 283 pp.
- Mirnazari, J., Shahabi, H., Khezri, S., (2014), **Landslide hazard assessment and zoning using the AHP model and fuzzy logic operators in the the Tang-**

**e Posht catchment area of Sarpol-e Zahab (Kermanshah province)**, Geography and development, 37(12): 53-70.

Mirsanei, R., Kardan, R. A., (2008), **An Analytical Attitude on Landslide Features of the Country**, Proceedings of First Conference on Environmental Engineering Geology of Iran, Tarbiat Moallem University of Tehran.

Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), **Level-2 susceptibility zoning on seismic induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy**. Physics and Chemistry of the Earth 63:147-159.

Pourhashemi, S., Amirahmadi, A., Akbari, E., (2015), **Modeling and estimating the volume of landslide zones based on area (case study: Baqi basin of Nishapur)**, Geography and Environmental Planning. 26(59): 81-98.

Ranjbar, M., Roghani, P., (2009), **Landslide hazard zonation in Ardal city using Analytical Hierarchy Process (AHP)**, Journal of the Zagros geographic perspective, 1(2): 22-88.

Saber Chenari, K., Salmani, H., Mohamadadi, M., (2015), **Landslide risk assessment using Information Value Model and LNRF**, Eco Hydrology, 2(1): 105-116.

Saffari, A., Akhdar, A., (2012), **Compare the relative frequency and fuzzy membership functions in landslide hazard zonation (Case study: Marivan-Sanandaj road link)**, Geography and environmental hazards, 1(4): 79-96.

Van Western, C.J., (2002), **Use of weights of evidence modeling for Landslide susceptibility mapping**, 21 pp.

Vittorio De Blasio, F. (2011), **Introduction to the physics of landslides**. Springer, 408 pp.

Yarahmadi, J., Rostaie, S., honorable Kia, M., Rostaie, M., (2015), **Detecting and Monitoring of Domain Instability by Differential Interferometer Method, Case Study: Garmi Chay Basin of Mianeh**, the research of geomorphology quantity, 3(4):44-59.

Zare, M., Moghadam Nia, A, R., Talikhoshk, S., Salmani, H., (2015), **Landslide sensitivity zoning using Neuro-Fuzzy model in Waz watershed**, Basin Management Journal, 11:101-110.