



## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

صدرالدین متولی<sup>۱\*</sup>، رضا اسماعیلی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول: استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، sadr\_m1970@yahoo.com

۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران، r.esmaili@umz.ac.ir

### چکیده

یکی از انواع فرآیندهای دامنه‌ای که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی فراوان در بسیاری از نقاط ایران و جهان می‌شود، پدیده زمین‌لغزش است. تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش این امکان را فراهم می‌سازد که مناطق آسیب‌پذیر شناسایی و در برنامه‌ریزی‌های محیطی مد نظر قرار بگیرد. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان از طریق لایه‌های اطلاعاتی و عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما می‌باشد. مجموعه اطلاعات ورودی مورد استفاده در ارزیابی پتانسیل خطر لغزش در این پژوهش شامل ۹ لایه‌ی ارتفاع، شیب، جهت، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و تراکم آبراهه است. نقاط لغزشی حوزه از طریق تصاویر ماهواره‌ای به پهنه‌های لغزشی تبدیل شدند و سطح همبستگی هر یک از عوامل مؤثر و پهنه‌های لغزشی با استفاده از مدل نسبت فراوانی (FR) مشخص و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شد. نتایج حاصل از شاخص مجموع کیفیت (QS) نشان داد که گامای ۰/۷ با مقدار ۰/۲۵، از دقت بالاتری نسبت به دو گامای دیگر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش آبخیز طالقان برخوردار است.

### واژه‌های کلیدی:

پهنه‌بندی زمین‌لغزش، نسبت فراوانی، مجموع کیفیت، حوزه آبخیز طالقان

## ۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت، گسترش سکونتگاه‌های انسانی در نواحی کوهستانی، مشکل بودن پیش‌بینی زمان وقوع زمین لغزش و متعدد بودن عامل‌های مؤثر در رویداد این پدیده، ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را آشکار می‌سازد. با استفاده از پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نموده و با ارائه راهکارها و شیوه‌های مدیریتی مناسب تا حدی از وقوع زمین لغزش‌ها جلوگیری و یا خسارات ناشی از آن‌ها را کاهش داد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۲؛ کورکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر (از هیچ تا بسیار زیاد) تقسیم می‌کند (Comforth, 2005). در مورد پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تاکنون بررسی‌های زیادی صورت گرفته است و پژوهشگران مختلف با استفاده از روش‌های گوناگون، طبقه‌بندی‌های متنوع و متعددی را ارائه کرده‌اند. اما بسته به وضعیت موجود در منطقه مورد مطالعه، دقت و انعطاف هر یک از روش‌ها متفاوت با دیگری است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین، برای شناخت مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر باید بهترین و دقیق‌ترین روش را با توجه به عوامل مؤثر در رخداد وضعیت منطقه انتخاب نمود.

لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ با ارائه نظریه مجموعه‌های فازی، برای اولین بار اقدام به ارائه مبانی منطق‌های فازی چند ارزی کرد. روش‌های مبتنی بر این نظریه همچنان در حال توسعه‌اند و هر سال با ارائه روش‌های جدیدتری بر مبنای مفاهیم نظریه مجموعه‌های فازی، این امکان فراهم می‌شود تا به استدلال‌های غیر قطعی مبهم و نامعین ذهن انسان صورت‌بندی ریاضی بخشیده شود (شریعت جعفری و حامدپناه، ۱۳۸۶). لی و جوانگ<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) و جونگ<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۶) نوعی روش ارزیابی کمی با استفاده از منطق فازی برای نواحی دارای استعداد زمین لغزش در هنگ کنگ ارائه نمودند و با استفاده از این مدل منطقه مورد مطالعه را به پنج پهنه خطر از خیلی ناپایدار تا خیلی پایدار تقسیم‌بندی نمودند. کندان و مورات<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیدند که به دلیل پیچیده بودن ماهیت زمین لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن، استفاده از روابط فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از سایر روش‌ها بهتر و به واقعیت نزدیک‌تر است. سابویا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که در این مدل چون کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن‌دهی نماید، بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. گرسوسکی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مجموعه‌های فازی محدودیت روش‌های کمی را بر طرف ساخته است.

شادفر (۱۳۸۴) زمین لغزش حوزه آبخیز چالکرو در استان مازندران را با استفاده از اپراتورهای منطق فازی پهنه‌بندی نمود. صحت نقشه‌ها را با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS)<sup>۶</sup> مورد ارزیابی قرار داد و نشان داد که اپراتور فازی گامای ۰/۸ مناسب-

<sup>1</sup> Lee and Juang

<sup>2</sup> Jung

<sup>3</sup> Candan and Murat

<sup>4</sup> Sabuya

<sup>5</sup> Gorsevski

<sup>6</sup> Quality Sum

ترین اپراتور جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوزه آبخیز مورد بررسی می‌باشد. عبادتی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) کارایی اپراتورهای منطق فازی را در تعیین زمین‌لغزش در حوزه آبخیز شیروود مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اپراتور فازی گامای ۰/۸ مناسب‌ترین اپراتور در تعیین خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه است. متکان و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور را جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز لاجیم بکار بردند و به این نتیجه رسیدند که مدل گامای ۰/۷ فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی به‌دلیل کم‌ترین تغییرپذیری و انحراف از معیار در مدل‌سازی، مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه هستند. مرادی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما در حوزه آبخیز هراز، سطح همبستگی هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و نقاط لغزشی را با استفاده از مدل نسبت فراوانی  $(Fr)^Y$  مشخص و سپس مقادیر فازی را با نظرات کارشناسی و تعیین توابع عضویت برای هر یک از عوامل مؤثر تعیین نمودند و به این نتیجه رسیدند که اپراتور فازی گاما با مقدار ۰/۹۷۵ بیش‌ترین دقت را در تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی دارد. نادری (۱۳۹۱) در پژوهش خود با عنوان کاربرد منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از تئوری منطق فازی و شاخص نسب تراکم  $(Dr)^A$ ، نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش را در محدوده مطالعاتی تهیه نمود و به این نتیجه رسید که اپراتور گاما به لحاظ تفکیک مناسب طبقات خطر زمین‌لغزش از مطلوبیت بیش‌تری نسبت به دیگر اپراتورهای فازی برخوردار می‌باشد.

بررسی علمی پدیده زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آن، از یک سو به‌منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های انسانی نظیر راه‌ها، مسیر انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها و ... در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد (Naderi, et al., 2010). پژوهش حاضر بر آن است تا ضمن پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان با استفاده از اپراتورهای ضرب، جمع و گامای فازی، به تعیین اپراتور بهینه و دارای بیش‌ترین دقت به‌منظور تهیه نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش در حوزه مورد مطالعه بر اساس شاخص مجموع کیفیت (Qs) بپردازد.

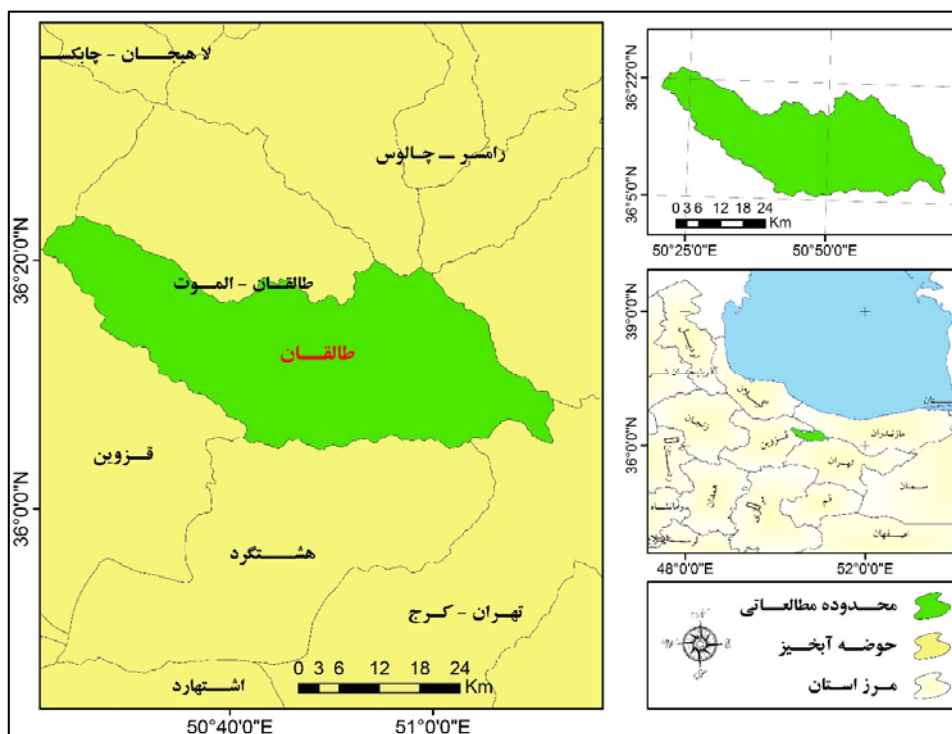
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز طالقان با مساحتی معادل ۱۳۲۶ کیلومتر مربع یکی از زیرحوزه‌های مهم سفید رود به‌شمار می‌رود که در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی تهران و به فاصله‌ی ۱۲۰ کیلومتری از این شهر واقع شده است. موقعیت جغرافیایی حوزه بین  $5^{\circ} 36'$  تا  $36^{\circ} 23'$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 21'$  تا  $51^{\circ} 1'$  طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط حوزه ۲۷۴۰ متر از سطح دریا (ارتفاع حداکثر ۴۴۰۰ و حداقل ۱۰۸۰ متر) می‌باشد. بر مبنای دوره آماری ۱۰ ساله داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و هشتگرد و ایستگاه باران‌سنجی جزنیان، میانگین بارش سالانه حوزه آبخیز طالقان ۵۱۵ میلی‌متر و دمای سالانه آن نیز ۱۰/۵ درجه سانتیگراد است (سازمان هواشناسی استان تهران). حوزه آبخیز طالقان جزء پهنه رسوبی - ساختمانی البرز است. در این منطقه، رسوبات آبرفتی دوره کواترنری و نهشته‌های سیلتستونی و گل‌سنگی قرمز رنگ با عدسی‌های رسی اواخر ترشیاری بیش‌ترین رخنمون را دارند.

<sup>2</sup> Frequency Ratio

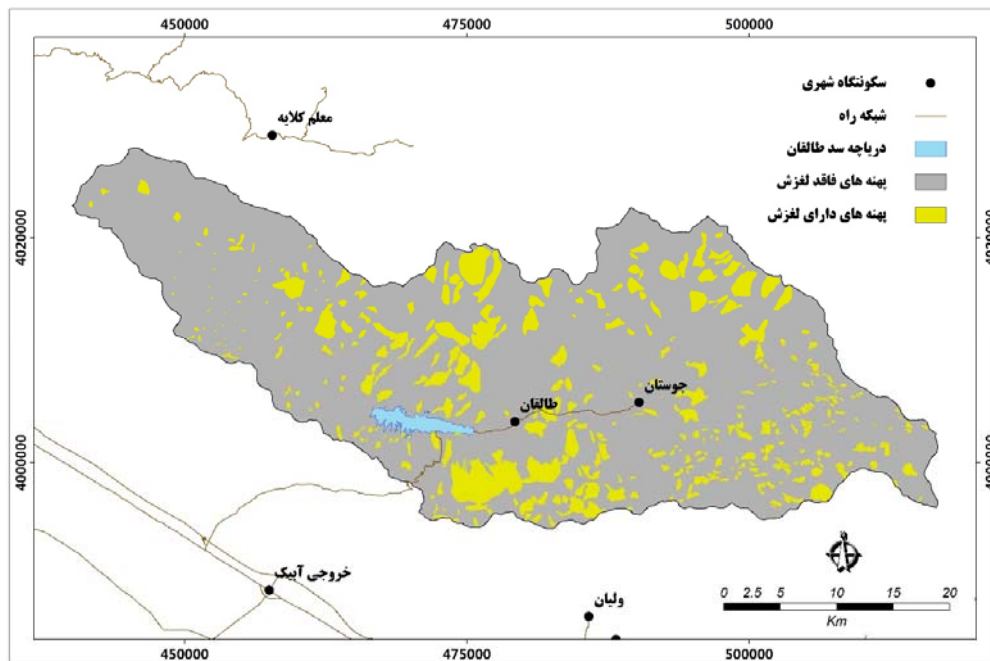
<sup>3</sup> Density Ratio



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز طالقان

۲-۲- تهیه نقشه متغیرهای مؤثر، نسبت فراوانی

انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های خطر در این پژوهش، بر مبنای تلفیق زمین‌لغزش‌های منطقه با معیارهای دخیل در زمین‌لغزش‌ها می‌باشد که در اینجا به نحوه تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها اشاره می‌شود. در ابتدا داده‌های پراکنش رخداد‌های زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه، به صورت نقطه‌ای از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه گردید؛ سپس این لایه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و نیز Google Earth و همچنین نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ورقه‌های شکران، قزوین و مرزن‌آباد به پهنه‌های لغزشی تبدیل شد؛ یعنی با تعیین پراکنش موقعیت نقطه‌ای زمین‌لغزش‌ها بر روی منابع اطلاعاتی ذکر شده از منطقه، بر مبنای این موقعیت و محدوده مکانی زمین‌لغزش اتفاق افتاده و هم‌چنین ویژگی‌های ظاهری آن (محل بریدگی، مقدار توده افتاده، میزان جابجایی سطحی خاک و ...)، لایه‌ی نقطه‌ای به لایه‌ی سطح یا پهنه‌ای زمین‌لغزش‌ها تبدیل گردید. لایه‌ی بدست آمده از پهنه‌های زمین‌لغزش به‌عنوان مهم‌ترین لایه مورد استفاده در پژوهش حاضر، متغیر وابسته در اجرای مدل‌های پهنه‌بندی می‌باشد. پراکنش رویدادهای زمین‌لغزش منطقه مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نقشه پراکنش پهنه‌های زمین لغزش حوزه آبخیز طالقان

در ادامه، پارامترهای مؤثر بر وقوع پهنه‌های لغزشی در حوزه آبخیز طالقان شناسایی شدند. لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM)<sup>۱</sup> با اندازه سلول‌های ۱۰ متری استخراج گردیدند. جهت تهیه متغیر پوشش گیاهی حوزه آبخیز طالقان از شاخص تراکم پوشش گیاهی NDVI و تصویر ماهواره‌ای لندست ETM سال ۲۰۱۰ استفاده شد. برای تهیه لایه‌های جاده و گسل از تابع Distance بر مبنای حداکثر فاصله استفاده شد. جهت استفاده از لایه آبراهه، از تراکم آبراهه (بر حسب طول به متر) در واحد سطح (بر حسب مساحت به کیلومتر مربع) استفاده گردید. پس از آماده شدن لایه‌های عامل (شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و تراکم آبراهه)، این لایه‌ها به عنوان متغیرهای مؤثر با لایه‌های پهنه‌های زمین لغزش تلفیق شدند. تلفیق یا هم‌پوشانی لایه‌ها با استفاده از تابع ضرب در تحلیل گر رستری<sup>۲</sup> محیط ArcMap انجام گرفت. به این ترتیب، تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر طبقه از هر کدام از عوامل مؤثر مورد استفاده در این پژوهش بدست آمد. در مرحله بعد با استفاده از مدل نسبت فراوانی، وزن نسبی هر یک از عوامل و طبقات مرتبط با آن از رابطه ۱ محاسبه گردید (Lee, 2007). این وزن هر یک از طبقات، همان مقدار وزن نسبی محاسبه شده برای هر طبقه از هر متغیر به عنوان میزان نقش آن طبقه در رخداد‌های لغزشی حوزه آبخیز مورد مطالعه است.

$$FR=A/B \quad (1)$$

که در آن FR: نسبت فراوانی، A درصد پیکسل‌های لغزشی و B درصد پیکسل‌های فاقد زمین لغزش است.

۳-۲- روش کار

۳-۲-۱- منطق فازی، اپراتور فازی گاما

<sup>1</sup> Digital Elevation Model

<sup>2</sup> Raster Analyst

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به‌عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به‌شمار می‌آیند. در ارتباط با به‌کارگیری منطق فازی، باید اشاره نمود که در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته شده است. در واقع روشی است برای برگرداندن طیف متنوع و گسترده‌ای از داده‌های عینی، اطلاعات کمی، نظرات و قضاوت‌های ذهنی به یک زبان طبیعی برای توصیف اثرات محیط. با استفاده از رابطه‌ی ۲ نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از اپراتور فازی گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شدند.

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum} \times \text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad (2)$$

که در آن  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از گامای فازی و  $\gamma$  پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است. وقتی  $\gamma$  برابر با ۱ باشد ترکیبی که اعمال می‌شود همان جمع جبری فازی و زمانی که  $\gamma$  برابر صفر باشد ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح  $\gamma$  مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی سازگاری دارد. مقادیر پیکسل‌ها بستگی به انتخاب صحیح توان گاما دارند. مقادیری که  $\gamma$  می‌تواند اختیار کند از صفر تا یک بوده که معمولاً از ۰/۵ تا ۰/۹ برای آن در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد  $\gamma$  کوچک‌تر به عملگر ضرب فازی و  $\gamma$  بزرگ‌تر به عملگر جمع فازی نزدیک می‌شود. بنابراین  $\gamma$  های بزرگ‌تر حالتی خوش‌بینانه خواهند داشت. در این پژوهش از مقادیر ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان استفاده شده است.

۲-۳-۲- ارزیابی دقت روش پهنه‌بندی

در این مرحله با انطباق دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر در محیط ArcGIS، به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) پرداخته می‌شود و مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی انتخاب می‌گردد. برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر از نسبت تراکم (Dr) استفاده می‌شود (Yalcin, 2008؛ Yin and Yan, 1988).

۲-۳-۳- صحت یا مجموع کیفیت (QS)

در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار مجموع کیفیت یا جمع کیفی می‌توان نقشه‌های با دقت بیش‌تر و صحیح‌تر را شناسایی نمود. یک نقشه خطر مناسب، نقشه‌ای می‌باشد که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین‌لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین‌لغزش ایجاد نماید. برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه گردد، که این محاسبه در قالب رابطه ۳ صورت می‌پذیرد (Gee, 1992).

$$Dr = \left( \frac{S_i}{A_i} \right) / \left( \sum_i^n S_i / \sum_i^n A_i \right) \quad (3)$$

که در آن  $S_i$ : مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر؛  $A_i$ : مساحت آمین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی؛ و  $n$  : تعداد رده‌های خطر می‌باشد.

تراکم زمین لغزش در نقشه‌های خطری که به طور صحیح تهیه شده‌اند، از رده‌های خطر کم تا رده‌های پرخطر به صورت صعودی است. در یک روش (نقشه) پهنه‌بندی، تراکم لغزش رده با  $Dr = 1$  معادل با متوسط تراکم لغزش در کل منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر به وسیله‌ی شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) دارای دقت یا مطلوبیت بیش‌تری می‌باشد. مقدار مجموع کیفیت (QS) که از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌گردد، نشان‌دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین لغزش منطقه است.

$$QS = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 \times S) \quad (4)$$

که در آن QS: مجموع کیفیت؛ Dr: نسبت تراکم؛ S: نسبت مساحت خطر به مساحت کل منطقه و n: تعداد کلاس خطر می‌باشد. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر تا ۷ قرار می‌گیرد. البته از بعد نظری (تئوریک) حدی برای آن وجود ندارد. اختلاف بین مقادیر QS، کم‌تر از ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود و مقادیر با اختلاف کم‌تر از این مقدار تقریباً یکسان لحاظ می‌گردند؛ در واقع QS از جنس واریانس می‌باشد. اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین پهنه‌های مختلف، به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار QS نیز پایین می‌باشد و اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین پهنه‌های مختلف، زیاد باشد نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها با یکدیگر تفاوت داشته و در نتیجه مقدار عددی QS بزرگ می‌گردد. بنابراین در ارزیابی روش‌ها، هرچه مقدار مجموع کیفیت (QS) در روشی بیش‌تر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیش‌تری در تفکیک خواهد داشت.

$$P = 4 - 3 - 2 \quad (P)$$

عبارت است از نسبت مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر بالا و خیلی بالا به مساحت کل آن پهنه‌ها که از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$P = K_s / S \quad (5)$$

که در آن P: دقت روش در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا؛  $K_s$ : مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا و S: مساحت پهنه‌های خطر مرتبط است.

### ۳- نتایج

بررسی نتایج حاصل از مقادیر عضویت فازی (نسبت فراوانی) و ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد. با توجه به این جدول، بیش‌ترین تعداد پیکسل‌های زمین لغزش در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر قرار داشته و در طبقه ۱۰۶۰ تا ۱۵۰۰ کم‌ترین درصد پیکسل‌های زمین لغزش وجود دارد. بر اساس وزن نسبی محاسبه شده، طبقه ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر بیش‌ترین مقدار عضویت فازی را دارا می‌باشد. در عامل شیب، بیش‌ترین مقدار عضویت فازی را طبقه شیب ۱۲ تا ۲۰ درجه و کمترین مقدار را طبقه ۰ تا ۵ درجه دارد؛ می‌توان مشاهده نمود که با افزایش شیب تا حد مشخصی، مقدار عضویت فازی نیز افزایش داشته، اما در شیب‌های بالای ۴۰ درجه،

عضویت فازی کم شده است. بیش‌ترین تعداد پیکسل‌های دارای لغزش نیز در طبقه شیب ۲۰ تا ۳۰ درجه وجود دارد. در متغیر جهت شیب، دامنه‌های غربی با مقدار ۱ بیش‌ترین و دامنه‌های جنوب شرقی با عدد ۰/۶۷۶ کم‌ترین مقدار عضویت فازی در وقوع زمین‌لغزش‌ها را دارا می‌باشند. بیش‌ترین وزن نسبی در عامل کاربری اراضی، برای اراضی باغی محاسبه شده است. نقشه‌های عضویت فازی تهیه شده از مدل نسبت فراوانی برای متغیرهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های طالقان در شکل‌های ۳ تا ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر عضویت فازی (وزن نسبی) مربوط به هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد پیکسل فاقد لغزش	Fr	وزن نسبی
	۱۰۶۰ - ۱۵۰۰	۲۴۹۸۵۸	۲۴۳۸	۰,۱۲	۲۴۷۴۲۰	۲,۱۹	۰,۰۶	۰,۰۴۴
	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۲۲۵۳۵۲۰	۲۰۷۸۶۲	۱۰,۶۲	۲۰۴۵۶۵۸	۱۸,۱۰	۰,۵۹	۰,۴۵۶
ارتفاع	۲۵۰۰ - ۳۰۰۰	۴۵۲۴۲۸۳	۷۱۸۳۶۳	۳۶,۷۰	۳۸۰۵۹۲۰	۳۳,۶۸	۱,۰۹	۰,۸۴۷
(متر)	۳۰۰۰ - ۳۵۰۰	۳۷۷۲۸۱۰	۶۰۱۴۳۸	۳۰,۷۲	۳۱۷۱۳۷۲	۲۸,۰۶	۱,۰۹	۰,۸۵۱
	۳۵۰۰ - ۳۰۰۰	۱۸۷۴۸۹۵	۳۴۱۸۲۱	۱۷,۴۶	۱۵۳۳۰۷۴	۱۳,۵۷	۱,۲۹	۱
	۳۵۰۰ - ۴۳۶۵	۵۸۲۷۳۵	۸۵۶۵۷	۴,۳۸	۴۹۷۰۷۸	۴,۴۰	۰,۹۹	۰,۷۷۳
شیب	۵ - ۰	۵۰۴۰۰۵	۵۰۴۹۳	۲,۵۸	۴۵۳۵۱۲	۴,۰۱	۰,۶۴	۰,۵۶۴
(درجه)	۱۲ - ۵	۱۲۳۱۰۰۸	۱۸۶۵۳۶	۹,۵۳	۱۰۴۴۴۷۲	۹,۲۴	۱,۰۳	۰,۹۰۵
	۲۰ - ۱۲	۲۰۹۳۱۴۵	۳۴۴۹۳۰	۱۷,۶۲	۱۷۴۸۲۱۵	۱۵,۴۷	۱,۱۴	۱
	۳۰ - ۲۰	۴۱۵۹۰۹۶	۶۳۵۵۸۰	۳۲,۴۷	۳۵۲۳۵۱۶	۳۱,۱۸	۱,۰۴	۰,۹۱۴
	۴۰ - ۳۰	۳۸۴۲۷۳۳	۵۴۲۵۹۴	۲۷,۷۲	۳۳۰۰۱۳۹	۲۹,۲۰	۰,۹۵	۰,۸۳۳
	۷۹ - ۴۰	۱۴۲۸۱۱۴	۱۹۷۴۴۶	۱۰,۰۹	۱۲۳۰۶۶۸	۱۰,۸۹	۰,۹۳	۰,۸۱۳
	N	۱۵۴۵۲۴۲	۲۱۳۰۴۵	۱۰,۸۸	۱۳۳۲۱۹۷	۱۱,۷۹	۰,۹۲	۰,۷۴۷
	NE	۱۶۳۴۲۰۷	۲۱۰۵۳۴	۱۰,۷۵	۱۴۲۳۶۷۳	۱۲,۶۰	۰,۸۵	۰,۶۹۱
	E	۱۴۹۵۲۱۱	۲۰۰۴۳۴	۱۰,۲۴	۱۲۹۴۷۷۷	۱۱,۴۶	۰,۸۹	۰,۷۲۳
جهت شیب	SE	۱۵۷۹۰۰۷	۱۹۹۵۴۵	۱۰,۱۹	۱۳۷۹۴۶۲	۱۲,۲۱	۰,۸۴	۰,۶۷۶
	S	۱۷۴۵۵۸۳	۲۵۶۵۰۷	۱۳,۱۰	۱۴۸۹۰۷۶	۱۳,۱۸	۰,۹۹	۰,۸۰۵
	SW	۱۸۸۰۶۹۹	۳۰۰۲۸۵	۱۵,۳۴	۱۵۸۰۴۱۴	۱۳,۹۹	۱,۱۰	۰,۸۸۸
	W	۱۷۵۱۴۳۷	۳۰۸۷۵۶	۱۵,۷۷	۱۴۴۲۶۸۱	۱۲,۷۷	۱,۲۴	۱
	NW	۱۶۲۶۷۱۵	۲۶۸۴۷۳	۱۳,۷۱	۱۳۵۸۲۴۲	۱۲,۰۲	۱,۱۴	۰,۹۲۴
	باغ	۱۷۶۱۱۸	۲۸۶۶۵	۱,۴۶	۱۴۷۴۵۳	۱,۳۰۵	۱,۱۲	۰,۴۴۷
	مرتع خوب	۸۵۹۹۵۱	۹۱۶۹۶	۴,۶۸	۷۶۸۲۵۵	۶,۷۹۸	۰,۶۹	۰,۲۷۵



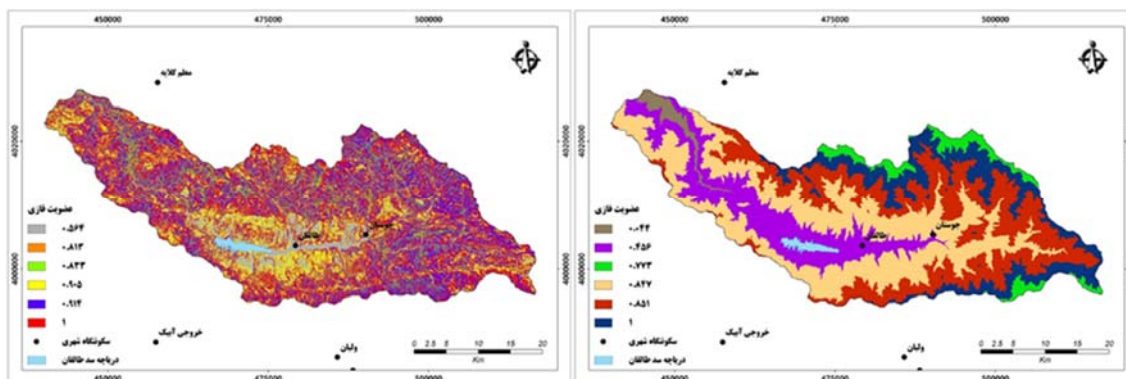
عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزشی	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد پیکسل فاقد لغزش	Fr	وزن نسبی
	(کشاورزی - باغ)	۴۳۶۴۹۶	۶۹۲۶۴	۳,۵۴	۳۶۷۲۳۲	۳,۲۵۰	۱,۰۹	۰,۴۳۴
کاربری اراضی	(کشاورزی - آبرفتی)	۲۶۷۸۰	۶۲	۰	۲۶۷۱۸	۰,۲۳۶	۰,۰۱	۰,۰۰۵
	زراعی	۴۹۲۵۸	۱۲	۰	۴۹۲۴۶	۰,۴۳۶	۰	۰,۰۰۱
	(باغ - آبرفتی)	۳۸۳۸۵	۱۱۶۲۵	۰,۵۹	۲۶۷۶۰	۰,۲۳۷	۲,۵۱	۱
	(اراضی دیم - آبرفتی)	۱۷۸۰۴	۰	۰	۱۷۸۰۴	۰,۱۵۸	۰	۰
	(مرتع خوب - آبرفتی)	۶۱۰۸۴۰۰	۱۰۹۶۴۸۲	۵۶,۰۱	۵۰۱۱۹۱۸	۴۴,۳۵۲	۱,۲۶	۰,۵۰۴
	مرتع متوسط	۵۵۳۷۱۰۳	۶۵۹۷۷۳	۳۳,۷۰	۴۸۷۷۳۳۰	۴۳,۱۶۱	۰,۷۸	۰,۳۱۱
	مرتع فقیر	۱۲	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰
کاربری اراضی	ساخته شده	۷۶۹۰	۰	۰	۷۶۹۰	۰,۰۶۸	۰	۰
	Cm	۵۰۰۳۲	۹۸۹۴	۰,۵۱	۴۰۱۳۸	۰,۳۶	۱,۴۲۳	۰,۵۵۷
	Eb	۳۰۹۵۲	۶۱۳۶	۰,۳۱	۲۴۸۱۶	۰,۲۲	۱,۴۲۷	۰,۵۵۸
	Ek	۳۵۱۴۶۰۱	۴۳۳۵۵۸	۲۲,۱۵	۳۰۸۱۰۴۳	۲۷,۲۶	۰,۸۱۲	۰,۳۱۸
	Ekggy	۳۱۳۵۰۷	۲۴۶۵۴	۱,۲۶	۲۸۸۸۵۳	۲,۵۶	۰,۴۹۳	۰,۱۹۳
	Em	۱۳۶۸۰۷	۳۵۶۸۱	۱,۸۲	۱۰۱۱۲۶	۰,۸۹	۲,۰۳۷	۰,۷۹۷
	Etliv	۳۲۳۳۳	۰	۰	۳۲۳۳۳	۰,۲۹	۰	۰
	Evai	۹۷۵۲۴	۵۵۶	۰,۰۳	۹۶۹۶۸	۰,۸۶	۰,۰۳۳	۰,۰۱۳
	Evvb	۳۷۶۶۲۳۳	۵۳۵۳۰۲	۲۷,۳۵	۳۲۳۰۹۳۱	۲۸,۵۹	۰,۹۵۶	۰,۳۷۴
	Evib	۲۲۲۱۱۰	۳۲۹۸۷	۱,۶۹	۱۸۹۱۲۳	۱,۶۷	۱,۰۰۷	۰,۳۹۴
	Ez	۴۴۱۵۵	۶۲۷۱	۰,۳۲	۳۷۸۸۴	۰,۳۴	۰,۹۵۶	۰,۳۷۴
لیتولوژی*	Jl	۱۴۱۷۰۱	۲۳۱۵۸	۱,۱۸	۱۱۸۵۴۳	۱,۰۵	۱,۱۲۸	۰,۴۴۱
	Js	۶۹۱۶۶	۶۳۵۰	۰,۳۲	۶۲۸۱۶	۰,۵۶	۰,۵۸۴	۰,۲۲۸
	Msm	۲۶۸۵۴۳۸	۴۵۸۵۶۶	۲۳,۴۳	۲۲۲۶۸۷۲	۱۹,۷۱	۱,۱۸۹	۰,۴۶۵
	Oiiv	۳۶۶۷۵۵	۴۶۴۹۹	۲,۳۸	۳۲۰۲۵۶	۲,۸۳	۰,۸۳۸	۰,۳۲۸
	P	۸۱	۰	۰	۸۱	۰	۰	۰
	Pec	۴۸۸۶۹۸	۴۷۸۷۵	۲,۴۵	۴۴۰۸۲۳	۳,۹۰	۰,۶۲۷	۰,۲۴۵

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزشی	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد پیکسل فاقد لغزش	Fr	وزن نسبی
	PEk	۴۱۸۷۷۵	۱۰۶۸۳۵	۵,۴۶	۳۱۱۹۴۰	۲,۷۶	۱,۹۷۷	۰,۷۷۳
	PEs	۲۶۶۴۱۸	۲۷۳۵۴	۱,۴۰	۲۳۹۰۶۴	۲,۱۲	۰,۶۶۱	۰,۲۵۸
	PLiai	۲۹۰	۰	۰	۲۹۰	۰	۰	۰
	Pr	۸۸۳	۲۷۱	۰,۰۱	۶۱۲	۰,۰۱	۲,۵۵۶	۱
	Qt1	۶۱۱۳۴۷	۱۵۵۶۳۲	۷,۹۵	۴۵۵۷۱۵	۴,۰۳	۱,۹۷۱	۰,۷۷۱
	Qt2	۲۹۵	۰	۰	۲۹۵	۰	۰	۰
تراکم پوشش گیاهی	کم	۸۷۳۵۱۶۶	۱۲۰۹۰۴۹	۶۱,۷۷	۷۵۲۶۱۱۷	۶۷,۲۶	۰,۹۲	۰,۷۷۷
	متوسط	۳۸۵۱۵۹۵	۶۵۹۷۳۶	۳۳,۷۰	۳۱۹۱۸۵۹	۲۸,۵۲	۱,۱۸	۱
	زیاد	۵۶۰۸۴۴	۸۸۶۵۱	۴,۵۳	۴۷۲۱۹۳	۴,۲۲	۱,۰۷	۰,۹۰۸
	۰ - ۱۰۰	۱۷۳۷۹۸۸	۲۰۹۳۶۸	۱۰,۷۰	۱۵۲۸۶۲۰	۱۳,۵۳	۰,۷۹	۰,۶۷۸
	۱۰۰ - ۳۰۰	۲۰۸۷۲۴۸	۲۶۴۷۹۳	۱۳,۵۳	۱۸۲۲۴۵۵	۱۶,۱۳	۰,۸۴	۰,۷۱۹
	۳۰۰ - ۵۰۰	۲۵۵۱۸۲۵	۳۷۴۵۱۰	۱۹,۱۳	۲۱۷۷۳۱۵	۱۹,۲۷	۰,۹۹	۰,۸۵۲
فاصله از گسل (متر)	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۷۵۳۷۵۸	۲۸۷۲۳۹	۱۴,۶۷	۱۴۶۶۵۱۹	۱۲,۹۸	۱,۱۳	۰,۹۷۰
	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۱۳۶۰۰۴۴	۱۸۸۶۲۳	۹,۶۴	۱۱۷۱۴۲۱	۱۰,۳۷	۰,۹۳	۰,۷۹۷
	۲۰۰۰ <	۳۷۶۷۲۱۷	۶۳۳۰۴۶	۳۲,۳۴	۳۱۳۴۱۷۱	۲۷,۷۳	۱,۱۷	۱
	۰ - ۱۰۰	۱۶۰۴۴۶۶	۲۳۱۰۵۱	۱۱,۸۰	۱۳۷۳۴۱۵	۱۲,۱۵	۰,۹۷	۰,۸۳۵
	۱۰۰ - ۳۰۰	۲۴۰۸۹۲۷	۳۸۱۷۶۴	۱۹,۵۰	۲۰۲۷۱۶۳	۱۷,۹۴	۱,۰۹	۰,۹۳۵
فاصله از جاده	۳۰۰ - ۵۰۰	۱۹۴۷۴۴۹	۲۹۳۷۶۷	۱۵,۰۱	۱۶۵۳۶۸۲	۱۴,۶۳	۱,۰۳	۰,۸۸۲
	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۳۲۵۵۷۵۵	۴۳۹۱۳۹	۲۲,۴۳	۲۸۱۶۶۱۶	۲۴,۹۲	۰,۹۰	۰,۷۷۴
	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۵۸۶۷۵۸	۳۶۸۰۱۲	۱۸,۸۰	۲۲۱۸۷۴۶	۱۹,۶۳	۰,۹۶	۰,۸۲۴
	۲۰۰۰ <	۱۴۵۴۷۰۳	۲۴۳۸۴۶	۱۲,۴۶	۱۲۱۰۸۵۷	۱۰,۷۲	۱,۱۶	۱
	< ۲,۳۶	۱۸۴۷۳۰۶	۱۹۷۲۵۷	۱۰,۰۸	۱۶۵۰۰۴۹	۱۴,۶۰	۰,۶۹	۰,۵۶۸
	۲,۳۶ - ۳,۲۴	۲۸۷۹۶۰۵	۴۶۰۷۲۳	۲۳,۵۴	۲۴۱۸۸۸۲	۲۱,۴۰	۱,۱۰	۰,۹۰۶
تراکم آبراهه Km/Km2	۳,۲۴ - ۴,۱۰	۳۰۲۴۹۳۰	۴۹۹۵۲۱	۲۵,۵۲	۲۵۲۵۴۰۹	۲۲,۳۴	۱,۱۴	۰,۹۴۰
	۴,۱۰ - ۴,۹۸	۳۲۳۷۳۶۹	۵۶۲۵۷۳	۲۸,۷۵	۲۶۷۴۷۹۶	۲۳,۶۷	۱,۲۱	۱
	۴,۹۸ - ۶,۴۸	۲۲۷۰۰۷۶	۲۳۶۹۴۳	۱۲,۱۱	۲۰۳۳۱۳۳	۱۷,۹۹	۰,۶۷	۰,۵۵۴

\*ویژگی‌های سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ توضیح داده شده است.

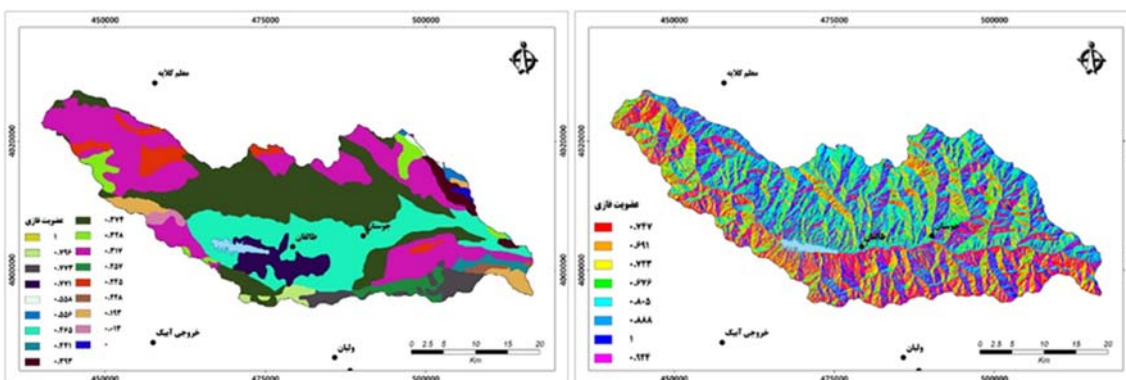
جدول ۲: ویژگی‌های سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه

واحد	ویژگی سنگ‌شناسی	دروه	واحد	ویژگی سنگ‌شناسی	دوره
Qt2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع	کواترنری	Evbv	عمدتاً بازالت و آندزیت با بافت حفره‌ای	اوسن میانه
Qt1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع	کواترنری	Ekgy	ژپس	اوسن پایانی
PLiai	گرانیت دیوریتی	پلیوسن	Jl	سنگ آهک توده‌ای- نازک لایه خاکستری روشن - ژوراسیک کرتاسه (سازند لار)	-
Pec	کنگلوما با میان لایه‌های ماسه سنگی	پلیوسن - اوسن	Js	شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (سازند شمشک)	تریاس
Ez	سنگ آهک ریفی و مارن ژپس دار (سازند زیارت)	پلیوسن - اوسن	P	سنگ‌های تفکیک نشده پرمین	پرمین
Msm	مارن، ماسه سنگ کلسیم‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرای ریز	میوسن	Pr	سنگ آهک توده‌ای تا متوسط لایه (سنگ آهک روته)	پرمین
Oiiv	دیوریت	الیگوسن	Cm	سنگ آهک فسیل‌دار خاکستری تیره تا سیاه به همراه شیل سیاه زیرین (سازند مبارک)	کربونيفر
Ek	شیل تیره توف‌دار با میان لایه‌هایی از توف (عضو زیرین توف) (سازند کرج)	اوسن	Em	دولومیت نازک تا ضخیم لایه، سنگ آهک نرم فسیل دار، سیلتستون و ماسه سنگ (سازند میلا)	کامبرین
Etbv	توف بازالتی	اوسن	PEs	واحد دولومیت ضخیم و سنگ آهک، بطور بخشی چرتی با میان لایه‌های شیل ضخیم (سازند سلطانیه)	پركامبرین - کامبرین
Evib	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	اوسن	Eb	سنگ‌های تفکیک نشده پروتروزوئیک بالایی- کامبرین زیرین	پركامبرین
Etliv	توف گدازه‌ای آندزیتی	اوسن	PEk	شیل سلیتی با میان لایه‌های فرعی ماسه سنگ کوارتزیتی (سازند کهر، سری‌های مراد و سازند کلمرد)	پركامبرین
Evai	گدازه‌های داسیتی تا آندزیتی	اوسن	-	-	-



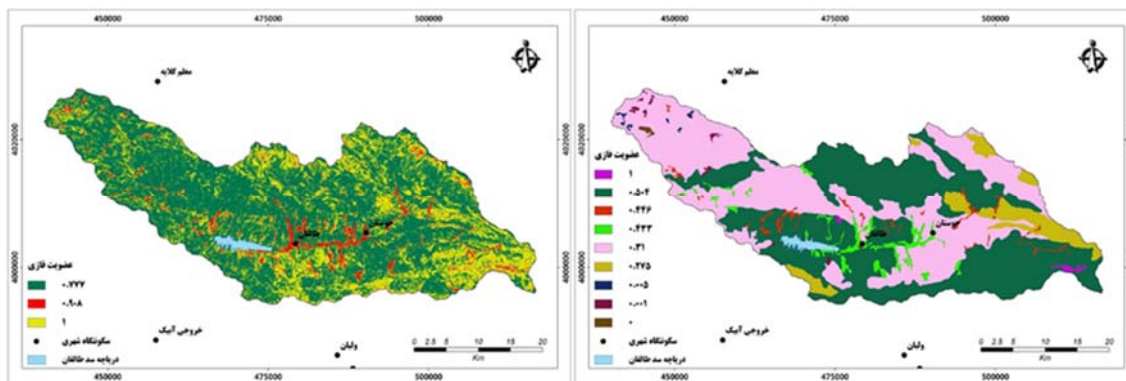
شکل ۳. نقشه فازی متغیر ارتفاع

شکل ۴. نقشه فازی متغیر شیب



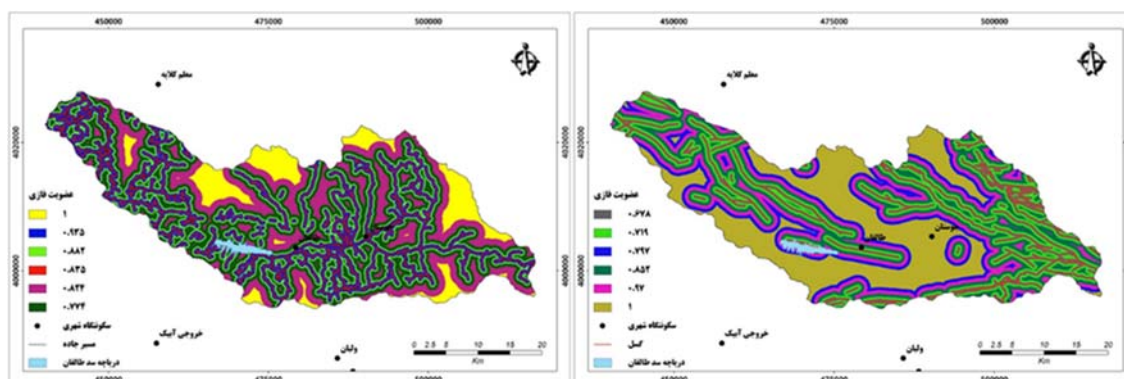
شکل ۵. نقشه فازی متغیر جهت شیب

شکل ۶. نقشه فازی متغیر زمین‌شناسی



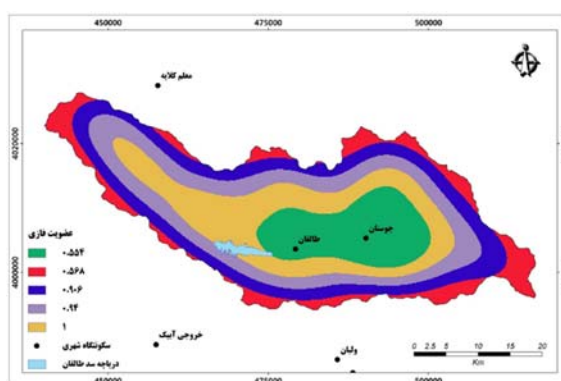
شکل ۷. نقشه فازی متغیر کاربری اراضی

شکل ۸. نقشه فازی متغیر تراکم پوشش گیاهی



شکل ۹. نقشه فازی متغیر فاصله از گسل

شکل ۱۰. نقشه فازی متغیر فاصله از جاده



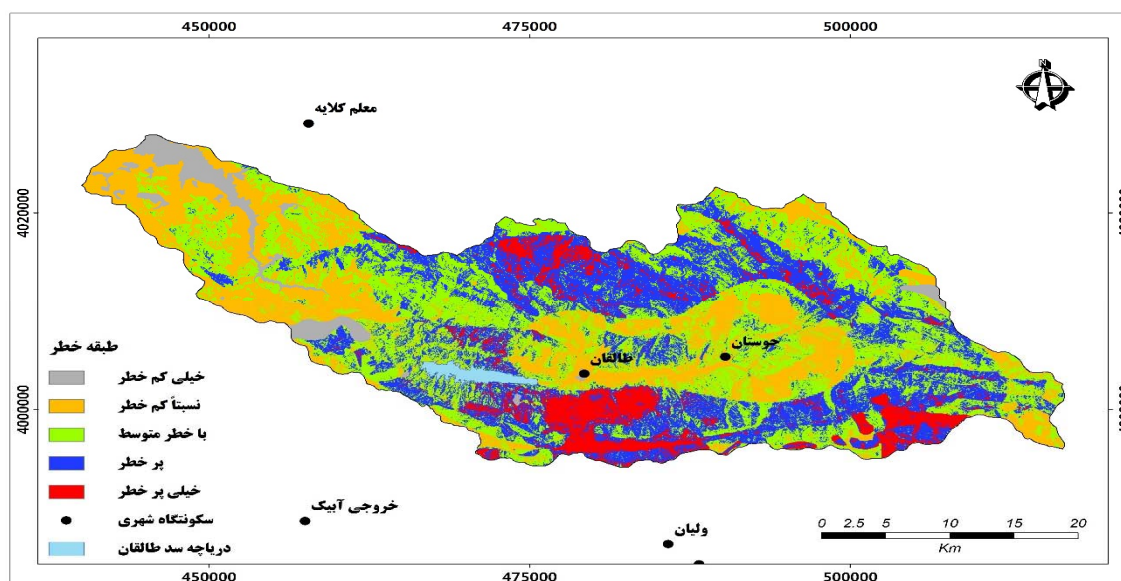
شکل ۱۱. نقشه فازی متغیر تراکم آبراهه

با توجه به رابطه‌های تعریف شده جهت اعمال گامای فازی، لایه‌ی نهایی حاصل از هر کدام از مقادیر ۷ در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ نشان داده شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر با گامای ۰/۷ نشان می‌دهد که مساحت طبقه بسیار پرخطر زمین لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه ۱۱۰/۰۷ کیلومتر مربع است که معادل ۸/۳۳ درصد از مجموع مساحت آن می‌باشد. پهنه‌های لغزشی پر خطر با ۳۷۱/۲۷ کیلومتر مربع مساحت، ۲۱/۰۹ درصد از مساحت حوزه را به خود اختصاص داده‌اند. طبقه با خطر متوسط ۴۶۸/۱۱ کیلومتر مربع مساحت دارد که ۳۵/۴۲ درصد از مساحت حوزه را شامل می‌شود. مساحت طبقات نسبتاً کم خطر و خیلی کم خطر هم به ترتیب ۳۲۵/۱۸ و ۴۷/۰۷ کیلومتر مربع است که معادل ۲۴/۶ و ۳/۵۶ درصد از مساحت حوزه هستند (جدول ۳). در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با گامای ۰/۸، مساحت طبقات خیلی پر خطر، پر خطر، با خطر متوسط، نسبتاً کم خطر و خیلی کم خطر بترتیب ۲۶۵/۴۸، ۵۷۸/۲۵، ۴۳۰/۷۵، ۳۷/۷۸ و ۹/۴۵ می‌باشد. و بالاخره اینکه مساحت همین پهنه‌ها در نقشه‌ی پهنه‌بندی با گامای ۰/۹ به ترتیب ۳۲۸/۳۴، ۵۷۹/۷۳، ۳۶۶/۶۲، ۴۱/۲۲ و ۵/۸۱ کیلومتر مربع است (جدول ۳).

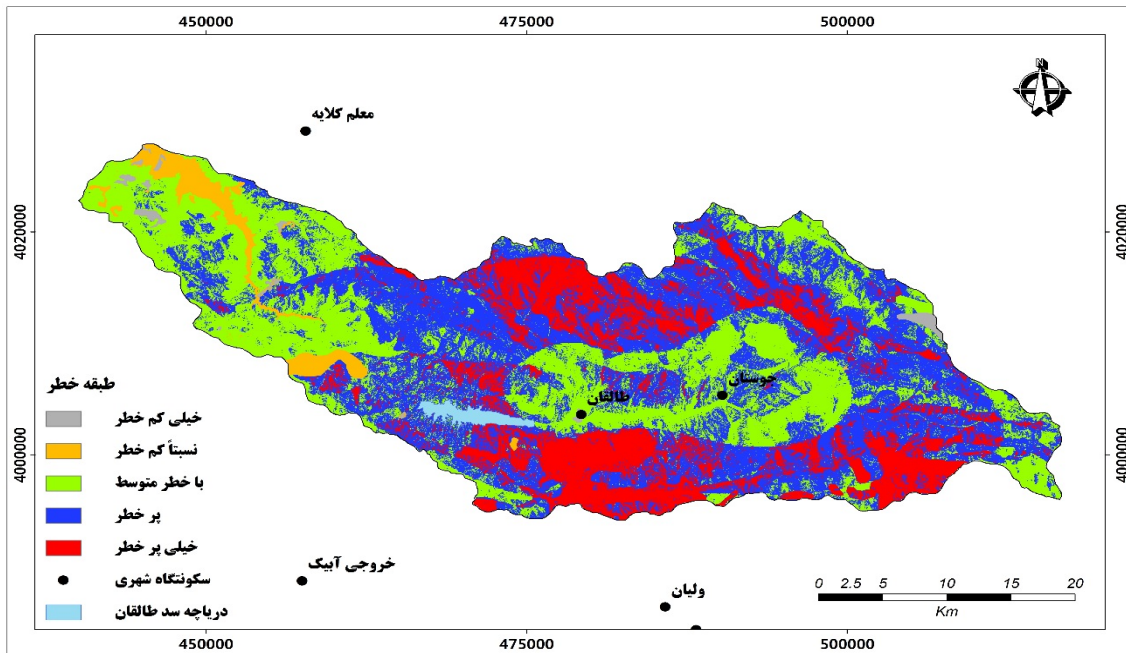
جدول ۳. مساحت طبقات احتمال وقوع خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان (منطق فازی)

طبقه خطر	گاما ۰/۷		گاما ۰/۸		گاما ۰/۹	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خیلی کم خطر	۴۷,۰۷	۳,۵۶	۹,۴۵	۰,۷۲	۵,۸۱	۰,۴۴
نسبتاً کم خطر	۳۲۵,۱۸	۲۴,۶۰	۳۷,۷۸	۲,۸۶	۴۱,۲۲	۳,۱۲
با خطر متوسط	۴۶۸,۱۱	۳۵,۴۲	۴۳۰,۷۵	۳۲,۵۹	۳۶۶,۶۲	۲۷,۷۴
پر خطر	۳۷۱,۲۷	۲۸,۰۹	۵۷۸,۲۵	۴۳,۷۵	۵۷۹,۷۳	۴۳,۸۶
خیلی پر خطر	۱۱۰,۰۷	۸,۳۳	۲۶۵,۴۸	۲۰,۰۹	۳۲۸,۳۴	۲۴,۸۴

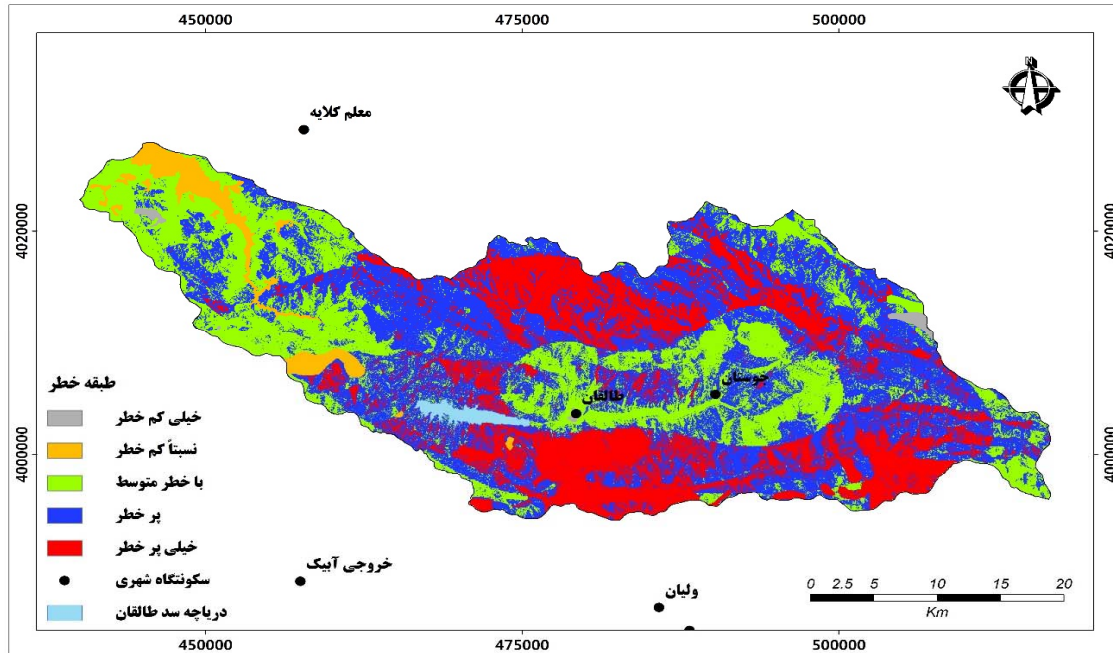
یافته‌های حاصل از محاسبه مقادیر شاخص‌های مجموع کیفیت و دقت روش در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این یافته‌ها، نسبت تراکمی (که همان مقادیر شاخص زمین‌لغزش مربوط به پهنه‌های خطر است) در هر ۳ روش به کار گرفته شده، ضمن تفکیک‌پذیری خوب، متناسب با افزایش خطر پهنه‌ها رو به فزونی نهاده است. مقدار شاخص مجموع کیفیت (QS) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشان می‌دهد، در گام‌های فازی ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲۳ و ۰/۲۲ بدست آمده است. مقادیر دقت روش (P) هم برای سه اپراتور فازی به کار گرفته شده، به ترتیب عبارت است از: ۰/۱۸، ۰/۱۵ و ۰/۱۵. بر اساس این یافته‌ها، اپراتور گامی ۰/۷ به عنوان مناسب‌ترین گامی فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز طالقان انتخاب شده و از صحت و مطلوبیت بیش‌تری در مقایسه با دو اپراتور ۰/۸ و ۰/۹ جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی برخوردار می‌باشد.



شکل ۱۲. نقشه‌ی طبقات خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان (گاما ۰/۷)



شکل ۱۳. نقشه‌ی طبقات خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز طالقان (گاما ۰/۸)



شکل ۱۴. نقشه‌ی طبقات خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز طالقان (گاما ۰/۹)

جدول ۴. صحت و دقت روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان

مدل پهنه بندی	رده خطر لغزش	مساحت پهنه به کیلومتر مربع (Ai)	مساحت لغزش پهنه به کیلومتر مربع (Si)	نسبت تراکمی (DR)	درصد مساحت (S)	مجموع QS در هر رده	دقت روش (P)
گاما ۰/۷	۱	۴۷,۰۶	۰,۳۱	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳۳	
	۲	۳۲۶,۱۶	۲۳,۸۷	۰,۴۹	۰,۲۵	۰,۰۶۳	
	۳	۴۶۷,۲۵	۶۳,۲۲	۰,۹۱	۰,۳۵	۰,۰۰۳	۰,۱۸
	۴	۳۷۰,۲۲	۷۱,۸۴	۱,۳۱	۰,۲۸	۰,۰۲۷	
	۵	۱۱۰,۴۱	۳۶,۳۴	۲,۲۲	۰,۰۸	۰,۱۲۵	
	Sum	۱۳۲۱,۷	۱۹۵,۷				
گاما ۰/۸	۱	۹,۴۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰۷	
	۲	۳۷,۷۹	۰,۳۱	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۲۶	
	۳	۴۳۰,۸۸	۳۴,۹۲	۰,۵۵	۰,۳۳	۰,۰۶۷	۰,۱۵
	۴	۵۷۸,۰۲	۸۹,۳۲	۱,۰۴	۰,۴۴	۰,۰۰۱	
	۵	۲۶۵,۵۲	۷۱,۱۴	۱,۸۱	۰,۲۰	۰,۱۳۲	
	Sum	۱۳۲۱,۷	۱۹۵,۷				
گاما ۰/۹	۱	۵,۸۱	۰	۰	۰,۰۴	۰,۰۰۴	
	۲	۴۱,۲۲	۰,۳۱	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۲۸	
	۳	۳۶۶,۷۷	۲۷,۸۷	۰,۵۱	۰,۲۸	۰,۰۶۶	۰,۱۵
	۴	۵۷۹,۵۲	۸۴,۸۲	۰,۹۹	۰,۴۴	۰,۰۰۰	
	۵	۳۲۸,۳۵	۸۲,۶۸	۱,۷۰	۰,۲۵	۰,۱۲۲	
	Sum	۱۳۲۱,۷	۱۹۵,۷				

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور شناسایی پهنه‌های دارای پتانسیل زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان انجام گردید. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، عوامل متعددی در سبب بروز این پدیده می‌شود که از جمله‌ی مهم‌ترین این عوامل می‌توان به تناوب لایه‌های سنگ آهک و مارن، وجود درز و شکاف‌های فراوان بر روی لایه‌ها، شیب زیاد ساختمانی، نفوذ آب، دخالت تکتونیک و بالاخره نیروی ثقل در کنار سایر عوامل، اشاره نمود. تلفیق متغیرهای مستقل و وابسته واقعیت‌هایی از نحوه‌ی تأثیرگذاری هر پارامتر بر وقوع پهنه‌های زمین‌لغزشی منطقه آشکار ساخت. در مورد پارامترهایی همچون ارتفاع و شیب می‌توان گفت که با افزایش مقدار آنها تا حد مشخصی، احتمال وقوع زمین‌لغزش نیز بالاتر می‌رود. اما این ارتباط مستقیم از



یک ارتفاع و شیب مشخص به بعد، دیگر برقرار نیست. به طوری که با افزایش ارتفاع، نوع بارش از باران به برف تغییر می‌یابد و نیز از میزان بسترهای سست کم شده و بر میزان بسترهای مقاوم، افزوده می‌گردد؛ این کم شدن بسترهای سست در شیب‌های بالا نیز حاکم است که به تبع آن احتمال وقوع زمین لغزش نیز کاهش پیدا می‌کند. دامنه‌های غربی و شمال‌غربی حوزه آبخیز طالقان با توجه به اینکه در مسیر ورود توده هواهای مرطوب‌تری نسبت به سایر دامنه‌ها قرار دارند، انتظار وقوع لغزش‌های بیشتری در آن‌ها وجود دارد؛ تلفیق زمین لغزش‌های اتفاق افتاده با زیرکلاس‌های جهت دامنه در حوزه نیز همین واقعیت را منعکس ساخت و بالاترین وزن‌های نسبی برای این دو جهت دامنه بدست آمد. تناوب لایه‌های سنگ آهک و مارن به نحوی که لایه‌های آهکی در سطح قرار می‌گیرند، مهم‌ترین مشخصه‌ی زمین‌شناسی تأثیرگذار حوزه طالقان در وقوع زمین لغزش‌های آن است؛ وزن نسبی اختصاص داده شده به پهنه‌های آهکی و مارنی (وزن نسبی ۱)، نقش بارز این مشخصه را به خوبی آشکار ساخت. در مورد پارامترهایی همچون جاده و گسل بر خلاف آنچه که معمولاً انتظار می‌رود با افزایش فاصله از این عامل‌ها، احتمال وقوع زمین لغزش کاهش یابد، در پژوهش حاضر تلفیق لایه‌های مستقل و وابسته نشانگر این امر بود که فراوان بودن سازندهای زمین‌شناسی سست نقش بارزتری بر وقوع سطح‌های زمین لغزشی در حوزه دارند. در واقع پهنه‌های با سازندهای سست دارای پتانسیل بیشتری از نظر احتمال وقوع زمین لغزش هستند و این پهنه‌ها در طبیعت شاید همیشه با پهنه‌های نزدیک به فاکتورهای جاده و گسل انطباق نداشته باشد. آن‌چنان‌که در حوزه آبخیز طالقان این عدم انطباق وجود دارد و تأثیرگذاری بیش‌تر عامل زمین‌شناسی، نحوه‌ی تأثیرگذاری سایر عوامل را تحت الشعاع خود قرار داده است. بنابراین، واقعیت هر منطقه باید در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش آن در نظر گرفته شود که این امر از طریق تهیه‌ی سطح‌های زمین لغزشی منطقه امکان‌پذیر است.

نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از روش‌های انتخاب شده در این پژوهش، دقت‌های متفاوتی را از گام‌های فازی ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ در تهیه‌ی نقشه نهایی پهنه‌بندی نشان داد. اگر چه بر اساس دقت روش (P) که نشان از تفکیک‌پذیری پهنه‌های خطر در هر روش دارد، مقادیر تقریباً یکسانی برای روش‌ها بدست آمد و محدودیتی برای دخالت دادن پارامترها به چشم نمی‌خورد. اما اختلاف در صحت یا مطلوبیت (Qs) که بیان‌کننده ارجحیت روش‌ها است، می‌تواند ناشی از مواردی از این دست باشد: ماهیت ذاتی پارامترها یا عوامل مؤثر در مدل‌های مختلف متفاوت هستند و روشی که بتواند اولویت عوامل مؤثر و مقدار وزن آن‌ها را با همدیگر محاسبه کند، دارای صحت بیشتری است و به عبارتی، انطباق بهتری با پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه خواهد داشت؛ که در پژوهش حاضر گامای ۰/۷ نسبت به گامای ۰/۸ و ۰/۹ از دقت بالاتری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز طالقان برخوردار بود.

## ۵- مراجع

- ۱- احمدی، ح.، ا. اسمعیلی، س. فیض نیا، و م. شریعت‌جعفری، ۱۳۸۲. پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره MR و تحلیل سلسله مراتبی AHP "مطالعه موردی حوزه آبخیز گرمی چاه"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، صص ۳۲۳-۳۳۶.
- ۲- شادفر، صمد، ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی حوزه آبخیز چالکرو. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، صص ۱۱۸-۱۲۶.
- ۳- شریعت‌جعفری، م.، و ر. حامدپناه، ۱۳۸۶. پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی، نشریه منابع طبیعی ایران، شماره ۳، صص ۷۴۵-۷۵۷.
- ۴- شیرانی، ک.، ع. سیف، و م. علیمرادی، ۱۳۸۹. صحت‌سنجی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کمک تکنیک (GIS) (مطالعه موردی: حوزه رودخانه ماربر). مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، شماره ۳، صص ۹۱-۱۰۸.
- ۵- عبادتی‌نژاد، س.، ع. م. یمانی، م. مقصودی و ص. شادفر، ۱۳۸۶. ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین-لغزش در حوزه آبخیز شیروود، مجله علمی- پژوهشی علوم مهندسی آبخیزداری، سال اول، شماره ۲، صص ۳۹-۴۴.
- ۶- کورکی‌نژاد، م.، م. اونق، م. اسلامی، آ. کبیر، و ا. شفیع‌زاده، ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در آبخیز سیاه رودبار گلستان، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، چاپ اول، صص ۳۶۸-۳۶۱.
- ۷- متکان، ع.ا.، ج. سمیعا، س.ح. پورعلی، و م. صفایی، ۱۳۸۸. مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش در حوزه‌ی آبخیز لاجیم، صل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵، شماره ۴، صص ۳۱۸-۳۲۵.
- ۸- مرادی، ح.ر.، ح.ر. پورقاسمی، م. محمدی، و م.ر. مهدویفر، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز). علوم محیطی، سال هفتم، شماره ۴، صص ۱۲۹-۱۴۲.
- ۹- نادری، ف.ا.، ۱۳۹۱. کاربرد منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام. پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۴، صص ۷۴-۸۵.

- 10- Cornforth, D.H., 2005. Landslides in Practice. USA: John Wiley & Sons Inc., 591p.
- 11- Gee, M.D., 1992. Classification of Landslides Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. In: Bell, Davi, H. (eds.), Proceedings 6th International Symposium on Landslide, 48-56.
- 12- Gorsevski, P.V., P. Jankowski, and P.E. Gelssler, 2006. Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*, (35): 1-26.
- 13- Juang, C.H., Hauang, R.D., and Chen, J.W., 1996. Determining of relative density of sands from CPT using fuzzy sets. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(1): 1-16.
- 14- Lee, D.H., and C.H. Juang, 1992. Evaluation of failure potential in mudstone slopes using fuzzy sets. ASCE Geotechnical Special Publication 31, Stability and Performance of Slopes and Embankment-II (2): 1137-1151.
- 15- Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, (50): 847-855.
- 16- Murat, E., and G. Candan., 2003. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (west black sea region, turkey). *Engineering geology*. (75), pp24.
- 17- Naderi, F., B. Naseri., H. Karimi., and G.H. Habibi Bibalani., 2010. Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province): First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.
- 18- Sabuya, F.M., G. Alves., and W.D. Pinto., 2006. Assessment of failure susceptibility of soil slopes sings fuzzy logic. *Engineering Geology*, pp14.



- 19- Yalcin, A., 2008. GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of results and confirmations. *Catena*, (72): 1-12.
- 20- Yin, K.J., and T.Z. Yan., 1988. Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks. *Proceedings 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland*, (2): 1269-1272.



Quarterly Journal of  
Environmental Erosion Researches  
No. 8, winter 2013, pp: 1-20  
[www.magazine.hormozgan.ac.ir](http://www.magazine.hormozgan.ac.ir)

## Landslide Hazard Zoning using Gamma Fuzzy Operator (A Case Study: Taleghan Watershed)

Motevalli, S<sup>1\*</sup>, Esmaili, R<sup>2</sup>

- 1- \*Corresponding Author: Assistant Professor, Islamic Azad University, Nour Branch
- 2- Assistant Professor, University of Mazandaran.

### Abstract

One of the slopping processes which created much damage in many locations of IRAN and the world is landslide phenomenon. Creating landslide susceptibility map provides the possibility to recognize susceptible areas and to verify them in the environmental programs. The purpose of this research is mapping susceptibility of landslide in Taleghan watershed by establishing informational layers and effective factors in occurrence of landslide via gamma fuzzy operator. Input information set in assessment of potential hazardous landslide include nine factors: elevation, slope, aspect, geology, land use, vegetation density, and distance from road, distance form fault and drainage density. Landslide points of watershed were converted to landslide areas using satellite images; and level of correlation between each effective parameter in landslide occurrence and landslide areas was determined by the frequency ratio; and then zoning maps of landslide were created using gamma fuzzy operator 0.7, 0.8 and 0.9. The result from quality sum index showed that a gamma fuzzy operator with value 0.7 had a higher accuracy compare than other two gamma fuzzy operators in making a landslide hazard susceptibility map in study area.

### Keywords:

Landslide Zoning, Frequency Ratio, Quality Sum, Taleghan Watershed