

توسعه نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت به منظور بهبود خروجی مدل‌های پتانسیل خطر زمین لغزش

واحد قیاسی^{۱*}، صادق میرزایی^۲، مهیار یوسفی^۳

- ۱- استادیار مهندسی عمران- ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ملایر
- ۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ملایر
- ۳- دانشیار مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه ملایر

* V.ghiasi@malayeru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۷

چکیده

هدف از انجام این پژوهش توسعه نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. به این منظور پس از تعریف یک مدل توصیفی و مفهومی در برگزیده پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، همه مشخصاتی که می‌توانند به عنوان معیارهای مناسب استفاده شود، شناسایی و در قالب یک مدل هدف جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی مختلف و وزن دار نمودن آنها با کاربرد تابع لجستیکی، نقشه‌های شاهد و پیشگوی وزن‌دار بدست آمد. در این خصوص برای اولین بار به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نقشه‌های وزن دار به شکل پیوسته و بدون طبقه‌بندی و ساده‌سازی داده‌ها به قسمت‌های مختلف و همچنین با به حداقل رساندن قضاوت کارشناسی، تولید شدند. وزن هر کدام از لایه‌ها با استفاده از چگالی نرمال شده مشخص شد. در نهایت کلیه نقشه‌های وزن‌دار با استفاده از روش شاخص همپوشانی داده محور با هم یکی شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌سازی با استفاده از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت می‌تواند ۵۵ درصد نقاط زمین لغزش را در ۴۵ درصد مساحت کل منطقه شناسایی کند. کاربرد مدل توسعه داده شده در حوضه آبخیز عشوند شهرستان نهاوند اثبات نمود که مدل‌سازی به روش فوق می‌تواند به شکل مطلوبی نواحی بررسی شده را کوچک نموده و اهداف را برای بررسی‌های بیشتر صحرایی شناسایی نماید.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت، تابع لجستیک، شاخص همپوشانی داده محور، سیستم اطلاعات

جغرافیایی، نهاوند

۱- مقدمه

اطمینان کافی به مصرف برسد تا متضمن بقاء و دوام منافع حیاتی انسان باشند. اما وجود پیچیدگی‌های طبیعت، مشکلاتی را بر سر راه انجام شدن این امر فراهم می‌آورد

نیاز روز افزون انسان به طبیعت و روند رو به رشد فعالیت‌های عمرانی، بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری‌های ملی و زیربنایی را به خود اختصاص داده است. این سرمایه‌ها باید با

و ضمن ائتلاف سرمایه‌های ملی و مردمی، انسان‌های بی-گناه را قربانی می‌کند. حوادث و وقایع طبیعی بزرگ مقیاس مانند آتشفشان‌ها، زلزله‌ها و باران‌های سیل‌آسا که به عنوان حوادث غیرمترقبه یا بلایای طبیعی خوانده می‌شوند، از جمله وسیع‌ترین و پر دامنه‌ترین این مشکلات هستند که به طور مستقیم و غیر مستقیم باعث بروز تلفات و خسارات قابل توجهی می‌شوند. از جمله آثار غیر مستقیم این حوادث ایجاد زمین لغزش‌ها و ریزش‌های سنگی در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای است. حرکت توده‌ای از مواد تشکیل دهنده زمین، از یک شیب به سمت پایین را زمین لغزش یا ناپایداری شیب می‌نامند [۱، ۲، ۳، ۴]. هادجی و همکاران به بررسی نقش عوامل پستی و بلندی، زمین شناسی اقلیمی در رخداد زمین لغزش با استفاده از GIS پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آنان نشان داده که نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های شهری برای کاهش خطرات استفاده کرد [۵]. ایلانلو اقدام به بررسی رویکرد منطق فازی برای پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از GIS در حوزه سد کرج نموده است. نتایج پژوهش نشان داده که ۱۰٪ از منطقه در پهنه خطر بسیار بالا قرار داشته و مجموعه‌های فازی می‌توانند به طور مؤثری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مفید باشند [۶]. تین و بیوآی در پژوهشی با استفاده از منطق فازی و توابع شاهد به پیش‌بینی و بررسی خطر زمین لغزش در شهرستان هواپینه در کشور ویتنام پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل GAMMA فازی دارای کارایی بهتر نسبت به مدل فازی SUM است [۷]. یوسف و همکاران به تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوزه فیفا در عربستان سعودی توسط روش‌های آماری دو و چند متغیره و ترکیبی از آنها پرداختند. آنها بیان کردند که ترکیب مدل‌های نسبت فراوانی به همراه رگرسیون لجستیک از به کار بردن تک تک آنها دارای درستی بالاتری است [۸]. یوسفی و همکاران از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت استفاده نمودند و نتیجه گرفتند به جای استفاده از نظر

کارشناسان نقشه‌های ورودی با استفاده از نمودار پیش‌بینی - مساحت (P-A) و چگالی نرمال شده، وزن-دهی شوند، بنابراین می‌توان از آن برای ارزیابی موثر و رتبه‌بندی نقشه‌های ورودی استفاده کرد [۹]. بیشتر زمین لغزش‌ها روی شیب‌های برشی زمین‌ها یا چاله‌های کنار جاده‌ها و بزرگراه‌ها در مناطق کوهستانی و یا مناطقی با میزان بارندگی فراوان، رخ می‌دهند [۱۰]. مکارم و زارعی از مدل منطق فازی در مدلسازی استفاده کردند و نتایج نشان داد که روش AHP از دقت بالایی برخوردار است [۱۱]. چن و همکاران از سه مدل، فازی، شبکه عصبی و بهینه‌سازی SWARM استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل بهینه SWARM از دقت پایینتری نسبت به دو مدل دیگر برخوردار است [۱۲]. کایاستها و همکاران از روش AHP و فاکتورهای مؤثر زمین لغزش در راستای نگاهت حساسیت زمین لغزش در ناحیه آبخیز تیناو در غرب نپال، استفاده نمودند. در این مقاله نقشه تولید شده با استفاده از روش‌های فیزیکی و آماری ارزیابی شد. روش آماری مورد استفاده در مقاله مذکور آزمون خی اسکور (chi_square) بوده است. نتایج پیش‌بینی با درستی ۷۷٪/۵۴ نشان دادند که ۳۹٪ زمین لغزش‌های مشاهداتی، تنها ۱۰٪ منطقه مورد مطالعه را در ناحیه خیلی حساس و با حدود ۳۱٪ زمین لغزش‌های مشاهداتی، تنها ۲۰٪ منطقه مورد مطالعه را در ناحیه حساس نسبت داده است [۱۳]. ادھیکاری آنالیز حساسیت زمین لغزش را به روش آماری در نپال غربی انجام داد. نپال یکی از کشورهای مستعد زمین لغزش در جهان است. توپوگرافی بالا، شیب تند، زمین‌شناسی پیچیده و پوشش گیاهی ناهمگون آن را مستعد زمین لغزش کرده است. ادھیکاری برای ارزیابی هر فاکتور مؤثر در حساسیت زمین لغزش، هر یک را بطور جداگانه با نقشه زمین لغزش مربوط به منطقه همپوشانی داد، سپس وزن هر کلاس تخمین زده شد و با استفاده از آن شاخص حساسیت زمین لغزش (LST) تعیین شد، مقادیر LSI^۱ به پنج کلاس حساسیت با استفاده

معیار دقیق و قطعی برای آن وجود ندارد و چه بسا که در روش دانش‌محور، تخصیص وزن به الگوها تحت تأثیر محل‌های زمین‌لغزش شناخته شده در منطقه قرار گرفته و این ویژگی‌ها نیز در قضاوت مؤثر بوده که باز همان مشکلات تشریح شده در فوق حاصل شده و باعث بروز خطاهای تصادفی خواهد شد. بنابراین هدف این پژوهش برطرف کردن مشکلات بیان شده و کاهش میزان خطا و عدم قطعیت است. به همین منظور با تابع لجستیک معیار-های: شیب، ارتفاع، بارش، تراکم آبراهه و فاصله از گسل به صورت پیوسته و بدون طبقه‌بندی و ساده‌سازی داده‌ها و همچنین بدون استفاده از نقاط زمین‌لغزش قبلی و نظر کارشناس وزن دار شدند. و از نظر کارشناسی فقط برای وزن‌دهی به عوارض گسسته شامل: جهت‌شیب و زمین-شناسی استفاده شده است. همچنین برای اولین بار در دنیا وزن هر کدام از لایه‌ها با استفاده از نمودار نرخ پیش‌بینی مساحت بدون قضاوت کارشناسی مشخص شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه

حوضه آبخیز عشوند واقع در استان همدان و شمال شرق شهرستان نهاوند است، که مساحتی حدود ۴۷/۹۶ کیلومتر مربع و محیطی حدود ۴۲/۲۴ کیلومتر مربع را دارد. مختصات جغرافیایی "۵۱° ۲۲' ۴۸" تا "۵۰° ۳۰' ۴۸" طول شرقی و "۵۱° ۹' ۳۴" تا "۱۵° ۲۳' ۳۴" عرض شمالی است. ارتفاع بیشینه و کمینه این حوضه آبخیز از سطح دریا به ترتیب ۲۵۸۷/۳۷ و ۱۷۰۳/۳۶ متر است. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهد.

از انحراف میانگین استاندارد تقسیم بندی شد. اثر هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های نسبت (Rating Curve) آنالیز شد. نتایج نشان داد که اثر پارامترهای حساسیت خاص در هر منطقه‌ای حائز اهمیت است. اثر لیتولوژی در برخی مناطق متفاوت بود اما شیب، لیتولوژی و پوشش اراضی اثر یکسانی بر سایر مناطق داشت. همچنین همه پارامترهای ورودی بجز پوشش اراضی در خروجی آنالیز حساسیت تغییر کردند [۱۴]. روش‌های مختلفی در محیط GIS به منظور تولید مدل پتانسیل زمین‌لغزش توسعه داده شده است. این روش‌ها به طور کلی به روش‌های داده‌محور و دانش‌محور، تقسیم می‌شوند. روش‌های داده‌محور با تکیه بر نقاط زمین‌لغزش موجود و روش دانش-محور بر اساس قضاوت کارشناسی است. معایب این روش‌ها بدین صورت است که در روش داده‌محور اگر تعداد نقاط زمین‌لغزش موجود (که در آن پدیده زمین‌لغزش اتفاق افتاده) در منطقه مورد مطالعه کم باشد، خروجی مدل دارای عدم قطعیت بالا بوده و نتایج از اعتبار کمی برخوردار خواهد بود. همچنین اگر در یک منطقه، زمین‌لغزش تاکنون شناخته نشده باشد، نمی‌توان از روش داده‌محور استفاده نمود. علاوه بر این در روش‌های داده‌محور از آنجا که این روش‌ها نقاط زمین‌لغزش شناخته شده داخل محدوده مطالعه شده به عنوان آموزش در مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل نهایی به صورت جهت‌دار تحت تأثیر محل زمین‌لغزش‌های شناخته شده قبلی بوده و یک خطای سیستماتیک اتفاق خواهد افتاد. در مورد روش‌های دانش‌محور نیز تخصیص وزن به معیارهای مختلف بر اساس قضاوت‌های کارشناسی بوده و هیچ



Fig. 1. Location of the study area, Nahavand

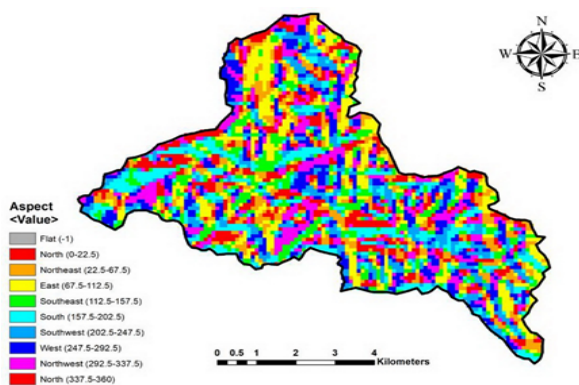
۲-۲-۱- تهیه نقشه‌های پایه معیارهای تاثیرگذار بر وقوع زمین

لغزش

بعد از بازدید از منطقه مطالعه شده و بررسی مشخصات لغزش‌ها، ۷ عامل به عنوان عامل‌های موثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه انتخاب شد که این عوامل شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارش، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، زمین شناسی است. سپس از روی نقشه توپوگرافی یا DEM نقشه معیارهای شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه، ارتفاع ساخته شد. نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین شناسی کشور تهیه شد. همچنین از روی نقشه زمین شناسی نقشه فاصله از گسل ساخته شد. نقشه بارش نیز از اداره آب منطقه استان همدان تهیه شد. تمامی نقشه‌ها در محیط نرم افزار ArcGis10.4.1 مطابق شکل (۳) ساخته شدند.

شکل ۳. نقشه عوامل موثر بر زمین لغزش

(الف) نقشه جهت شیب



(a) Aspect map

۲-۲-۲- داده‌ها و روش استفاده شده در این پژوهش

پس از تهیه نقشه‌های پایه و تعریف مدل مفهومی و مشخص کردن متغیرهای مدل هدف، نقشه هر کدام از معیارهای تعیین شده از قبیل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، بارش، زمین شناسی در قالب متغیرهای ورودی به عنوان نواحی شاهد تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش ساخته شد. سپس با استفاده از تابع لجستیک وزن دهی لایه‌ها صورت گرفت. در ادامه چگالی نرمال و وزن هر کدام از لایه با ترسیم نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت بدست آمد. در نهایت تمامی نقشه‌های وزن دار تولید شده با روش شاخص همپوشانی داده محور تلفیق شدند. شکل (۲) پراکنش ۷۳ نقطه زمین لغزش واقعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۲. نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

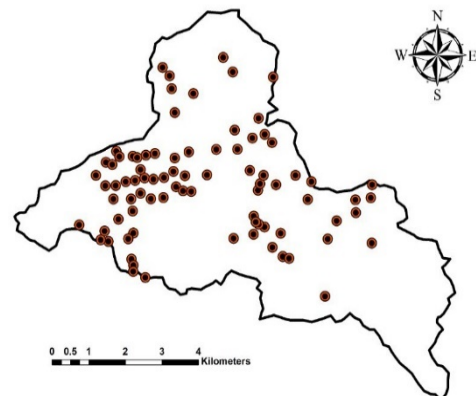
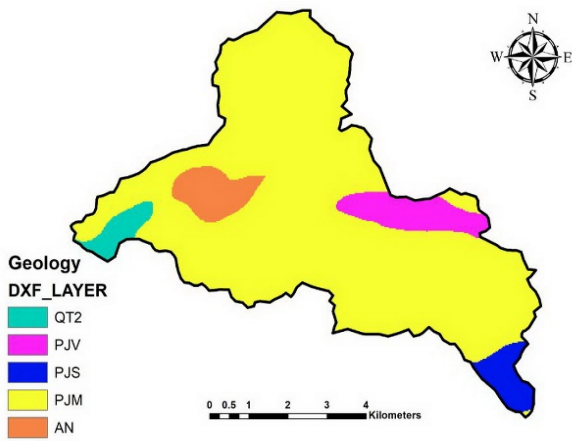


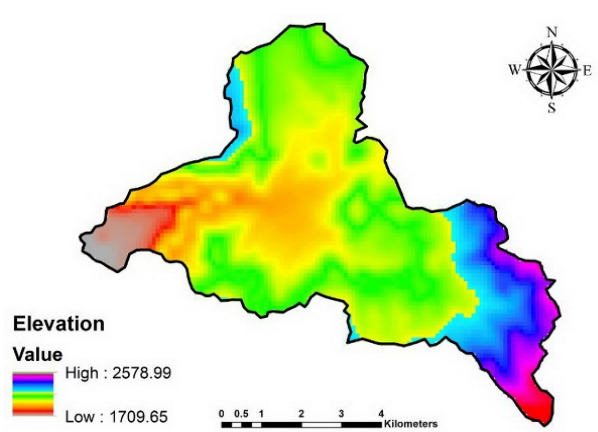
Fig. 2. Landslide distribution map in the study area

(ث) نقشه زمین شناسی



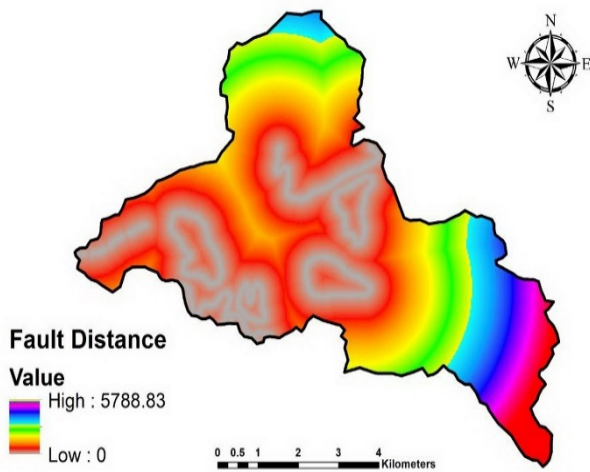
(e) Geology map

(ب) نقشه ارتفاع



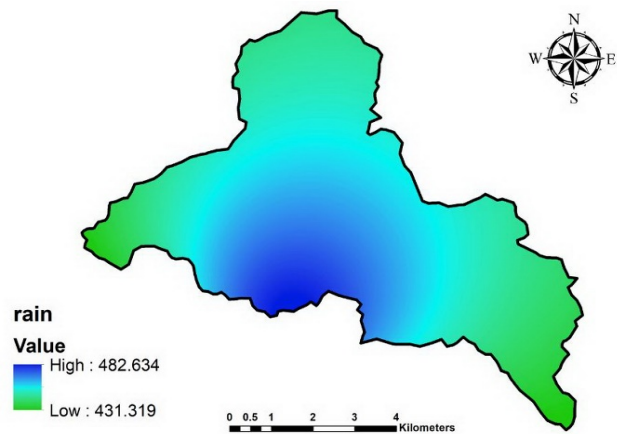
(b) Elevation map

(ج) نقشه فاصله از گسل



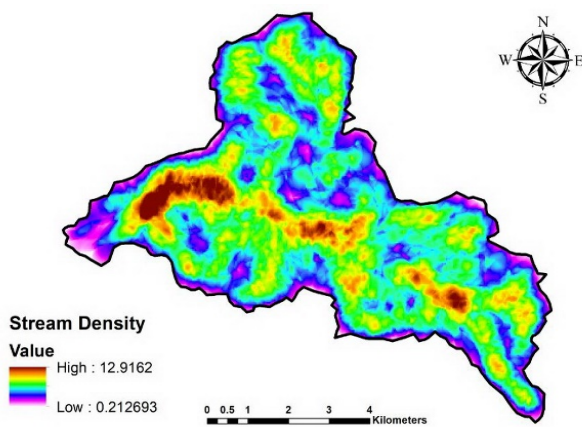
(f) Fault distance map

(پ) نقشه بارش



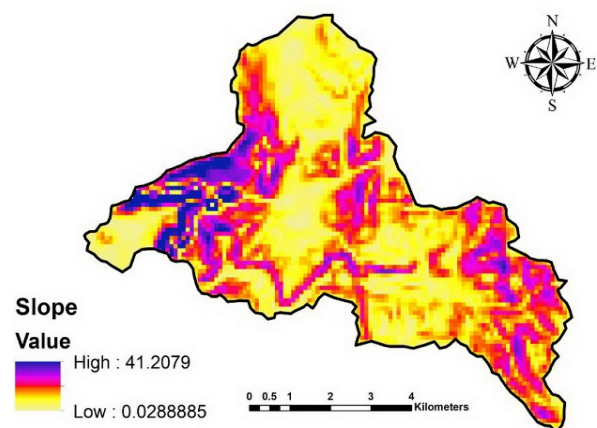
(c) Rain map

(چ) نقشه تراکم آبراهه



(g) Stream Density map

(ت) نقشه شیب



(d) Slope map

Fig. 3. Map of factors affecting landslid

۲-۲-۲- وزن دار کردن نقشه‌های شاهد با استفاده از

تابع لجستیک

با توجه به اینکه هدف از انجام یک پژوهش افزایش میزان دقت و کاهش میزان خطای ناشی از وزن‌دهی به صورت تصادفی (کلاسه‌بندی و ساده‌سازی) و سیستماتیک (داده‌محور) و همچنین قضاوت کارشناسی (دانش‌محور) است. بنابراین با تابع لجستیک می‌توان بدون استفاده از نقاط زمین‌لغزش قبلی (داده‌محور) و با کمترین قضاوت کارشناسی (دانش‌محور) وزن‌دهی نقشه‌های شاهد صورت پذیرد. یوسفی و کارنزا، روش فازی پیوسته را برای تولید لایه‌های شاهد وزن دار به کار گرفتند. در این روش از تابع لجستیک به منظور تخصیص امتیاز عضویت فازی به معیارها استفاده میشود. آنها تبدیلات خطی و غیرخطی (با استفاده از تابع لجستیک) را روی داده‌های شاهد اکتشافی اعمال نموده و نتایج را مقایسه نموده و نشان دادند که تبدیلات غیر خطی برای وزن‌دهی مناسب‌تر هستند. تابع لجستیکی کل داده‌ها را به یک دامنه محدود [۰-۱] انتقال می‌دهد. این تابع بر اساس مقادیر کمینه و بیشینه داده‌ها و تغییرات شیب بین آنها، کلیه داده‌ها را به فضای صفر و یک انتقال می‌دهد [۹]. در این خصوص تابع لجستیکی بیان شده در رابطه (۱) برای فازی‌سازی نقشه‌های شاهد استفاده شده است [۱۵].

$$\text{رابطه (۱)} \quad F_{EV} = \frac{1}{1 + e^{-S(EV-1)}}$$

در رابطه (۱)، F_{EV} وزن فازی نظیر EV ، i نقطه عطف، S شیب تابع، EV مقدار عددی هر یک از معیارها است.

۲-۲-۳- رسم نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت

معمولاً برای اینکه بتوان مشخص کرد که مدل نهایی چند درصد توانسته نقاط زمین‌لغزش را در مساحت کل منطقه مطالعه شده پیش‌بینی کند، از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت استفاده می‌شود. در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت، دو منحنی وجود دارد، اولین منحنی مربوط به نرخ پیش‌بینی موقعیت زمین لغزش‌های شناخته شده و منحنی دیگر مساحت تحت پوشش برحسب درصد هر طبقه از مدل نسبت به کل منطقه مطالعه شده است. در

این نمودار نقطه تقاطع دو منحنی (منحنی نرخ پیش‌بینی و منحنی مساحت)، هرچه نقطه تقاطع دو نمودار بالاتر باشد، ارزش نقشه مدلسازی شده بیشتر است [۱۶]. همچنین برای محاسبه چگالی نرمال و وزن لایه‌های شاهد از رابطه (۲) و رابطه (۳) استفاده می‌کنیم:

$$N_d = \frac{P_i}{O_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، N_d چگالی نرمال، P_i نرخ پیش‌بینی، O_i مساحت تحت پوشش

$$W_E = \ln N_d \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، W_E وزن لایه‌های شاهد، N_d چگالی نرمال اگرچه نرخ پیش‌بینی تعریف شده در نقطه برخورد دو منحنی در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت می‌تواند به طور نسبی اهمیت لایه‌های شاهد را به عنوان معیار مناسب برای ارزیابی مدل‌های تولید شده، نشان دهد اما وزن لایه در نقطه برخورد بدست نمی‌آید. می‌توانستیم و بونهام کارتر به منظور بدست آوردن چگالی نرمال بر اساس مساحت، نرخ پیش‌بینی هر کلاس را بر مساحت متناظر هر کلاس تقسیم نمودند تا وزن کمی هر کلاس از لایه‌های شاهد محاسبه شود [۱۷].

۲-۲-۳- تلفیق با استفاده از روش شاخص همپوشانی

داده محور

بعد از تخصیص وزن به تمام معیارها با تابع لجستیک نقشه‌های وزن‌دار تولید شده با روش شاخص همپوشانی داده محور با همدیگر تلفیق می‌شوند. اندازه پیکسل‌ها در کل نقشه‌های تولید شده یکسان است، پس در این عملگر کل نقشه‌ها پیکسل به پیکسل در هم تلفیق می‌شوند و نقشه تولید شده وزنی بین (۰/۰۱ تا ۰/۹۹) می‌گیرد. یعنی مناطقی که دارای خطر بیشتری هستند امتیازی نزدیک به (۰/۹۹) و مناطق کم خطر امتیاز نزدیک به (۰/۰۱) می‌گیرند، در این خصوص از رابطه (۴) استفاده می‌شود [۱۸]. تلفیق در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول تمامی معیارها شامل: شیب، جهت شیب، بارش، ارتفاع، فاصله

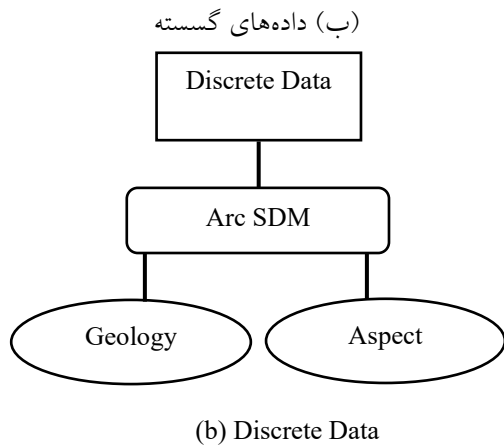


Fig. 4. Landslide hazard zoning structure

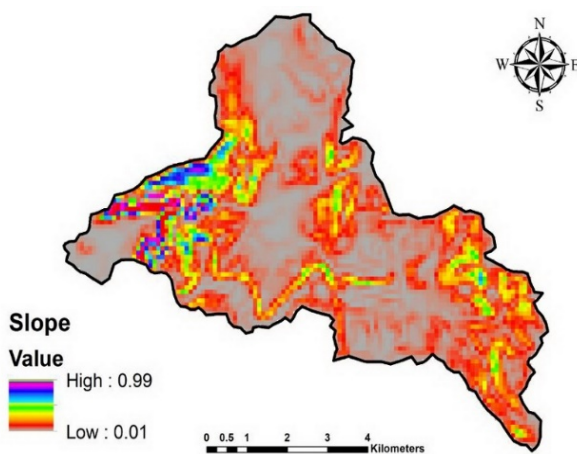
۳-۱- فازی سازی نقشه‌های شاهد با استفاده از تابع

لجستیک

به منظور وزن‌دهی به صورت پیوسته بدون استفاده از نقاط زمین لغزش قبلی و نظر کارشناسان و همچنین بدون کلاسه‌بندی و ساده‌سازی، داده‌های پیوسته شامل: شیب، تراکم آبراهه، ارتفاع، بارش، فاصله از گسل با استفاده از رابطه (۱) مطابق شکل (۵) وزن دار شدند. و برای وزن‌دار کردن داده‌های گسسته شامل: جهت شیب و زمین‌شناسی همچنان از روش وزن‌دهی گسسته (بر اساس قضاوت کارشناسی) استفاده می‌شود. شکل (۶) نقشه‌های وزن‌دار معیارهای جهت شیب و زمین‌شناسی است.

شکل ۵. نقشه وزن‌دار داده‌های پیوسته

(الف) نقشه وزن‌دار شیب



(a) Slope weighted map

از گسل، تراکم آبراهه و زمین‌شناسی باهم تلفیق شدند. و در مرحله دوم بدون در نظر گرفتن معیار جهت شیب. دلیل اعمال نکردن نقشه جهت شیب در تلفیق مرحله دوم پایین بودن چگالی نرمال، و وزن آن است.

$$DM_{io} = \frac{\sum_i W_{vi} w_i}{\sum_i W_i} \quad \text{رابطه (۴)}$$

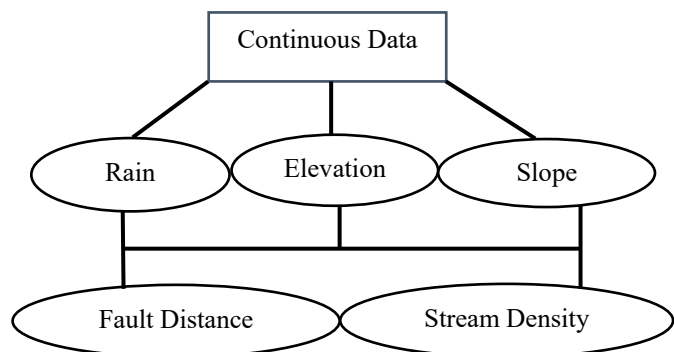
در رابطه (۴)، W_i وزن معیار نام نقشه شاهد i ام، W_{vi} وزن پیوسته معیارها در هر سلول از منطقه مطالعه شده در نقشه شاهد i ، DM_{io} امتیاز همپوشانی شاخص برای هر سلول از منطقه مطالعه شده به منظور رتبه‌بندی مناطق پتانسیل‌دار زمین لغزش است.

۳- نتایج

در مطالعه حاضر وزن دار کردن معیارهای تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش به دو صورت انجام پذیرفت. در این وزن‌دهی معیارها به دو صورت داده‌های پیوسته و داده‌های گسسته تقسیم‌بندی شدند. داده‌های پیوسته شامل: شیب، تراکم آبراهه، ارتفاع، بارش، فاصله از گسل برخلاف روش‌های گذشته بدون استفاده از نقاط زمین لغزش قبلی (داده محور) و بدون قضاوت کارشناسی (دانش محور) وزن دار شدند. و داده‌های گسسته شامل: جهت شیب و زمین‌شناسی همچنان بر اساس قضاوت کارشناسی وزن دار گردیدند. فلوجارت داده‌های پیوسته به صورت شکل (الف) و داده‌های گسسته به صورت شکل (ب) مطابق شکل (۴) ترسیم شده است.

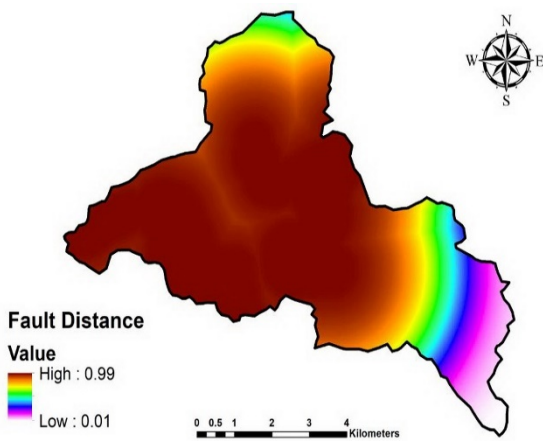
شکل ۴. ساختار پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

(الف) داده‌های پیوسته



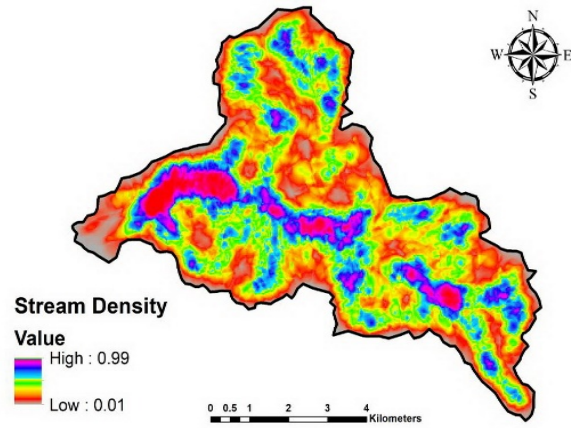
(a) Continuous Data

(ث) نقشه وزن دار فاصله از گسل



(e) Fault Distance weighted map

(ب) نقشه وزن دار تراکم آبراهه

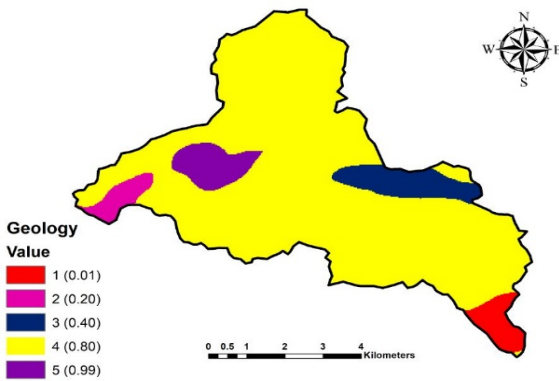


(b) Stream density weighted map

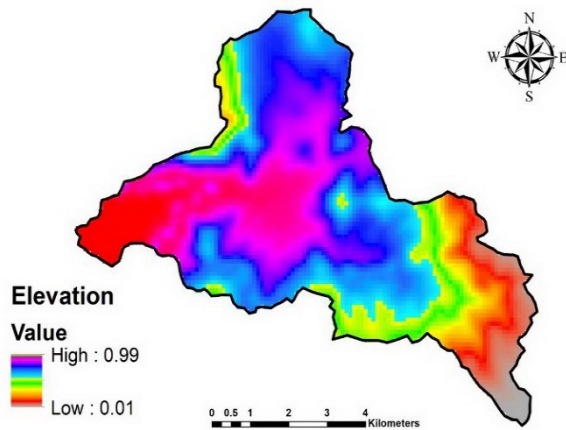
Fig. 5. Map and weight continuous data

شکل ۶. نقشه وزن دار داده‌های گسسته

(الف) نقشه وزن دار زمین شناسی

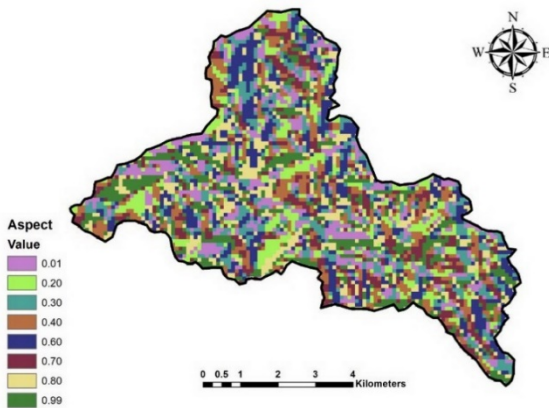


(a) Geology weighted map



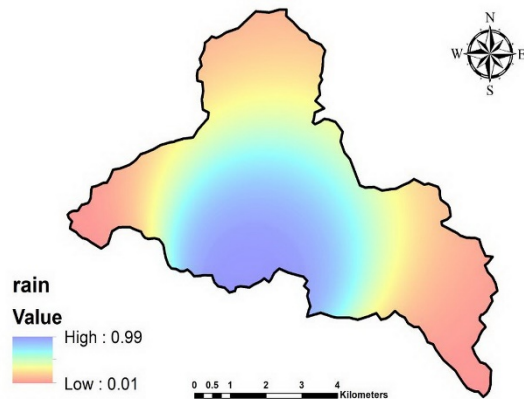
(c) Elevation weighted map

(ب) نقشه وزن دار جهت شیب



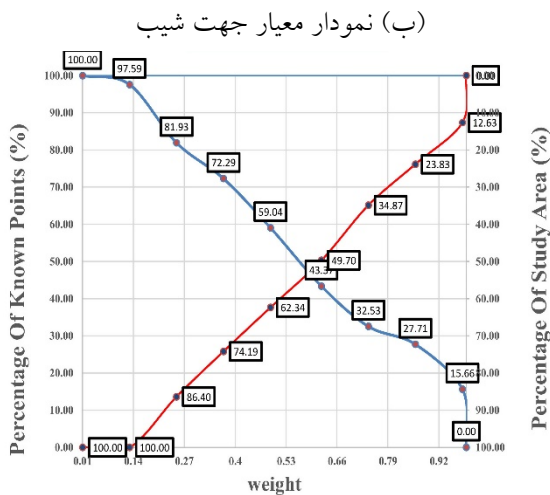
(b) Aspect weighted map

(ت) نقشه وزن دار بارش

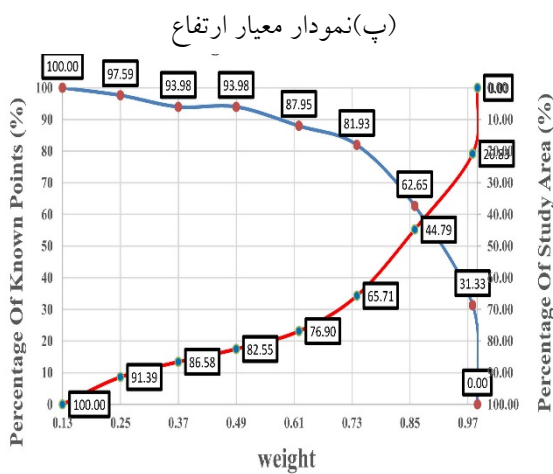


(d) Rain weighted map

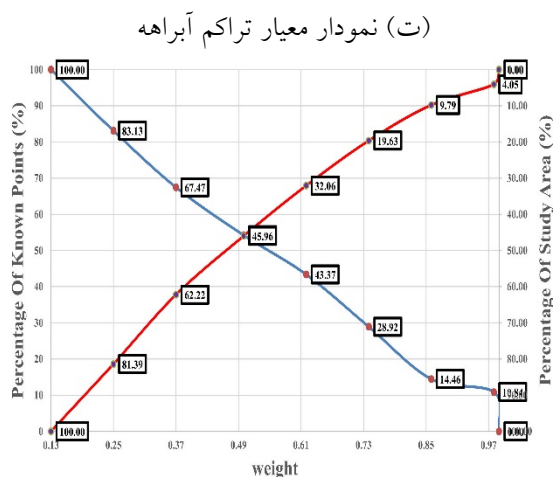
Fig. 6. Map and weight discrete data



(b) Aspect benchmark diagram



(c) Elevation benchmark diagram



Stream density benchmark diagram

(d)

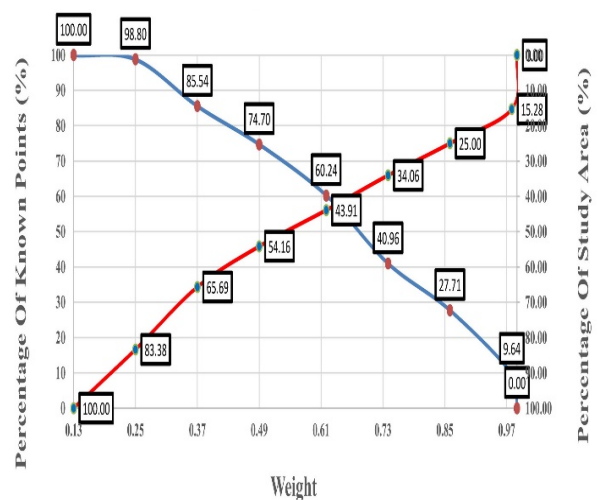
۲-۳- تعیین چگالی نورمال و وزن لایه‌های شاهد با

نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت

پس از تولید نقشه‌های شاهد وزن‌دار، از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مشخص کردن نسبت نرخ پیش‌بینی نقاط زمین لغزش به مساحت تحت پوشش به منظور تعیین وزن هر کدام از لایه‌ها استفاده شد. همچنین با تعیین وزن واقعی لایه‌ها تاثیرگذارترین عامل موثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی شد. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت معیارها به صورت شکل (۷) رسم شد. و نسبت نرخ پیش‌بینی نقاط زمین لغزش به مساحت تحت پوشش بر حسب درصد هر کدام از لایه‌ها در جدول (۱) آمده است. پس از رسم نمودار هر معیار، با استفاده از رابطه (۲) چگالی نورمال و در نهایت با رابطه (۳) وزن هر لایه به صورت جدول (۲) استخراج شد. در رابطه (۴) W_i وزن هر لایه است که طبق روابط نرخ پیش‌بینی - مساحت برای نخستین بار بدون قضاوت کارشناسی بدست آورده شد.

شکل ۷. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت معیارها

(الف) نمودار معیار بارش



(a) Rain Benchmark diagram

جدول ۱. نسبت نرخ پیش بینی شده نقاط زمین لغزش به مناطق تحت پوشش

Area covered (%)	Landslide points prediction rate (%)	Criteria
40	60	Slope
52	48	Aspect
45	55	Geology
42	58	Rain
41	59	Elevation
45	55	Fault Distance
47	53	Stream Density

Table 1. The ratio of the predicted rate of landslide points to the area covered

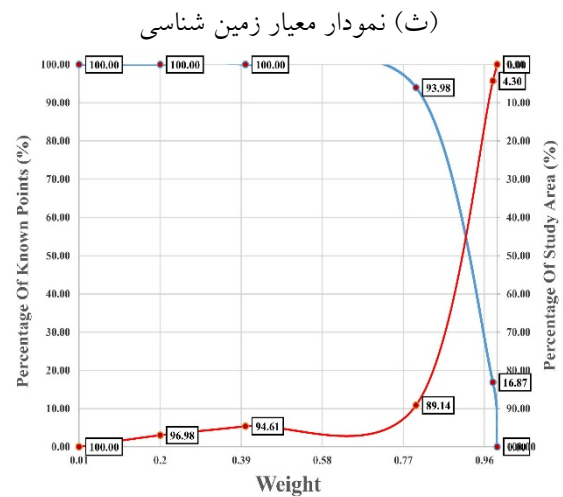
جدول ۲. تعیین چگالی نرمال و وزن هر کدام از معیارها

Weight	Normal Density	Criteria
0/405	1/50	Slope
0/80	0/923	Aspect
0/200	1/222	Geology
0/322	1/380	Rain
0/363	1/439	Elevation
0/200	1/222	Fault Distance
0/119	1/127	Stream Density

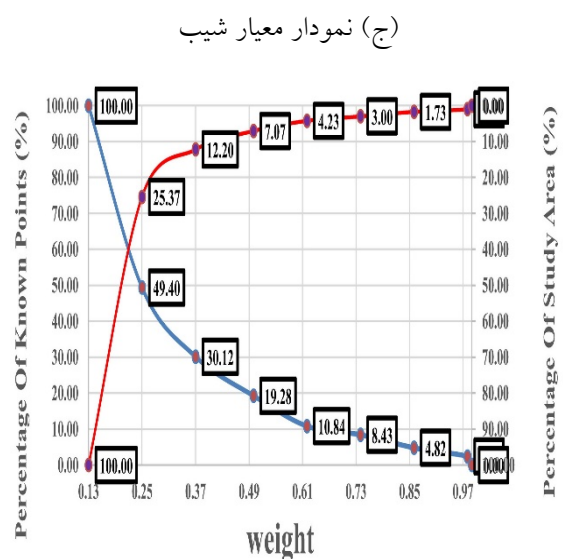
Table 2. Determine the normal density and weight of each criterion

۳-۳- تلفیق با روش شاخص همپوشانی داده محور

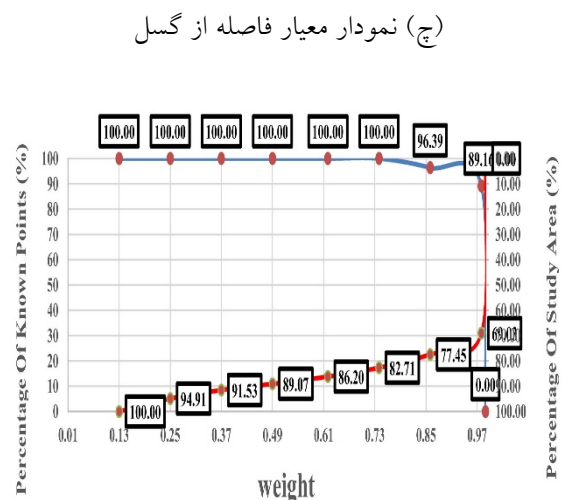
بعد از تخصیص وزن به تمام معیارها با استفاده از تابع لجستیک نقشه‌های شاهد وزن دار تولید شد. سپس کلیه نقشه‌ها با استفاده از روش شاخص همپوشانی داده محور به صورت ضرب هر نقشه کلاسه‌بندی شده در وزن آن و تقسیم بر وزن کل معیارها، تلفیق شدند. اندازه پیکسل‌ها در کلیه نقشه‌های تولید شده یکسان است. پس در این عملگر کل نقشه‌ها پیکسل به پیکسل در هم تلفیق می‌شوند و به نقشه تولید شده وزنی بین (۰/۰۱ تا ۰/۹۹) اختصاص می‌یابد. یعنی مناطقی که دارای خطر بیشتری هستند امتیازی نزدیک به (۰/۹۹) و مناطق کم خطر امتیاز



(e) Geology benchmark diagram



(f) Slope benchmark diagram



(g) Fault distance benchmark diagram

Fig. 7. Predicted-area (P_A) plot

شکل ۹. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت کلیه معیارها

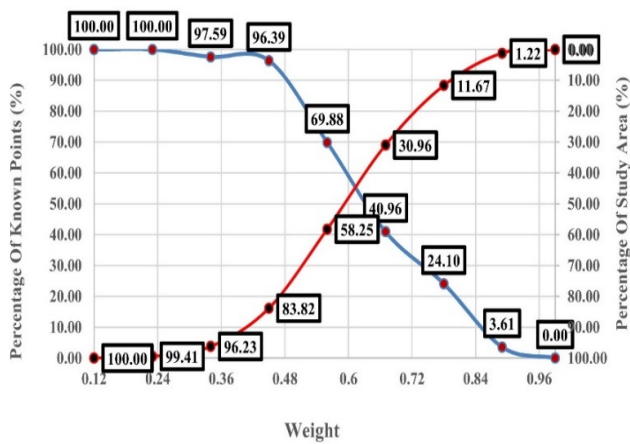


Fig. 9. Prediction - Area plot of all criteria

شکل ۱۰. نقشه تلفیق بدون لحاظ کردن معیار جهت شیب

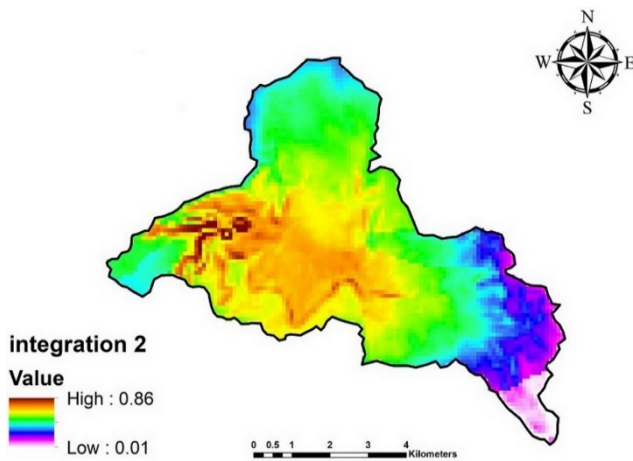


Fig. 10. Integration map without including slope criterion

شکل ۱۱. نمودار تلفیق بدون لحاظ معیار جهت شیب

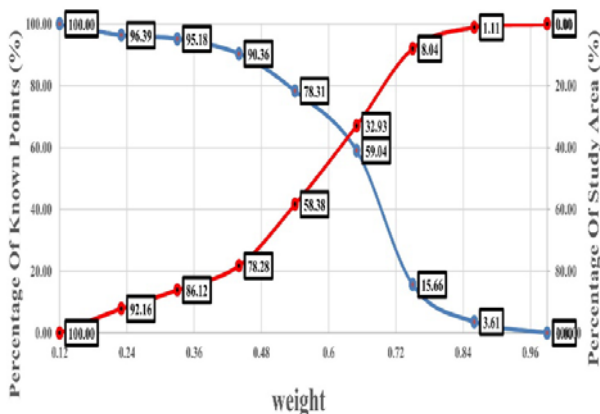


Fig. 11. Integrated diagram without Aspect

نزدیک به (۰/۰۱) می‌گیرند. پس از وزن دار کردن نقشه-های شاهد و تعیین چگالی نرمال و وزن هرکدام از معیارها مشخص شد که معیار جهت شیب نسبت نرخ پیش-بینی به مساحت آن پایین‌تر از حد مورد انتظار می‌باشد. و تاثیر زیادی بر وقوع زمین لغزش ندارد. به همین دلیل نقشه تلفیق معیارها در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول کلیه معیارها با هم مطابق شکل (۸) و در مرحله دوم معیارهای شیب، ارتفاع، بارش، تراکم آبراهه، فاصله از گسل و زمین شناسی مطابق شکل (۱۰) تلفیق شده‌اند. همچنین نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت مطابق شکل (۹) برای تمامی معیارها و شکل (۱۱) برای معیارها بدون لحاظ کردن جهت شیب ترسیم شد. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای تمامی معیارها نشان داد که مدل نهایی می‌تواند ۵۵ درصد نقاط زمین لغزش را در ۴۵ درصد مساحت کل منطقه و در صورت لحاظ نکردن معیار جهت شیب، مدل نهایی ۶۲ درصد نقاط زمین لغزش را در ۳۸ درصد مساحت کل منطقه شناسایی کند. در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت هر چه تقاطع نمودارها بالاتر باشد مدل نهایی ارزش بیشتری دارد.

شکل ۸. نقشه تلفیق تمامی معیارها

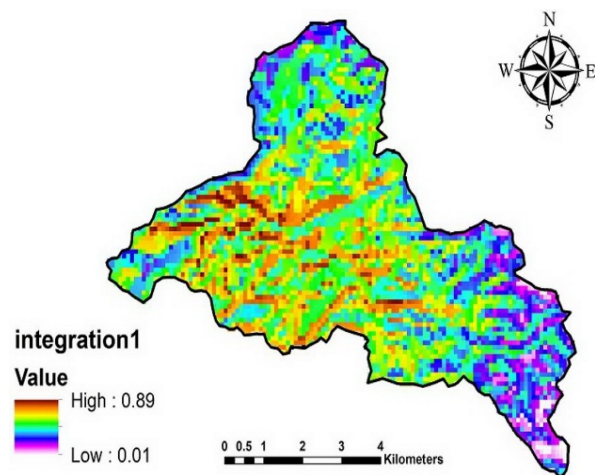


Fig. 8. Integration map of all criteria

۴ - نتیجه گیری

مهمترین مسئله در خصوص مدل‌سازی و پهنه‌بندی زمین لغزش، چگونگی شناسایی مناطق دارای خطر زمین لغزش است. بنابراین باید روشی در نظر گرفته شود که با استفاده از آن مناطق دارای خطر زمین لغزش را با میزان دقت بالاتر و خطای پایین‌تر شناسایی و مدل‌سازی کند. در این خصوص عواملی زیادی در ناپایداری و وقوع زمین لغزش تاثیرگذار هستند که بسته به نوع و شرایط منطقه مورد مطالعه معیارها موثر در زمین لغزش متفاوت هستند. در این مطالعه از روش وزن‌دهی پیوسته بدون کلاسه‌بندی (طبقه‌بندی) استفاده شد. در نتیجه نقشه‌های شاهد وزن دار معیارها موثر بر وقوع زمین لغزش بدون استفاده از نقاط زمین لغزش قبلی (داده محور) و با کمترین قضاوت کارشناسی (دانش محور) با استفاده از تابع لجستیک وزن‌دار شدند. استفاده از تابع لجستیک در وزن دار کردن نقشه‌های شاهد سبب کاهش خطاهای تصادفی ناشی از نظرات کارشناسی نیز شد. پس از وزن‌دار کردن نقشه‌های شاهد نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت رسم شد. با استفاده از نمودار و روابط آن وزن هر لایه برای اولین بار نه تنها در ایران بلکه در دنیا بدون دخالت نظر کارشناسان مشخص شد. نتایج استفاده از روش نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت سه عامل برتری نسبت به روش‌های گذشته (داده محور و دانش محور) را ارائه داد: یک، تخصیص وزن به معیارها به صورت پیوسته و بدون استفاده از نقاط زمین لغزش قبلی و همچنین بدون کلاسه‌بندی و با کمترین قضاوت کارشناسی است. دوم، تعیین وزن هر کدام از معیارها با استفاده از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت و بدون دخالت نظر کارشناسان. سوم، مشخص شدن مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش است. سپس تمامی نقشه‌ها با استفاده از شاخص همپوشانی داده محور در دو مرحله با همدیگر تلفیق شدند. نتایج نشان داد که روش فوق توانسته ۵۵ درصد نقاط زمین لغزش را در ۴۵ درصد مساحت کل منطقه در صورت اعمال تمامی معیارها و در صورت لحاظ نکردن معیار جهت شیب، ۶۲

درصد نقاط زمین لغزش را در ۳۸ درصد مساحت کل منطقه شناسایی کند. و ناحیه بررسی شده را به شکل مطلوبی کوچک نموده و مناطق مناسب را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در حوضه آبخیز عشوند به خوبی مشخص کند.

۵ - منابع

- [1] Safaei, M., Omar, H., Huat, B. K., Yousof, Z. B., & Ghiasi, V. 2011 Deterministic rainfall induced landslide approaches, advantage and limitation. *Electronic journal of geotechnical engineering*, 16, 1619-1650.
- [2] Mafian, S., Huat, B. B. K., & Ghiasi, V. 2009 Evaluation on root theories and root strength properties in slope stability. *European Journal of Scientific Research*, 30(4), 594-607.
- [3] Safaei, M., Omar, H., Yousof, Z. B., & Ghiasi, V. (2010). Applying geospatial technology to landslide susceptibility assessment. *Electronic journal of geotechnical engineering*, 15(G), 677-696.
- [4] Fell, R. 1994 Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2), 261-272.
- [5] Hadji, R., errahmane Boumazbeur, A., Limani, Y., Baghem, M., el Madjid Chouabi, A., & Demdoum, A. 2013 Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: a case study of Souk Ahras region, NE Algeria. *Quaternary International*, 302, 224-237. "(In Persian)."
- [6] Ilanloo, M. 2011 A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 668-676. "(In Persian)."
- [7] Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. 2012 Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. *Computers & Geosciences*, 45, 199-211.
- [8] Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. 2015a Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity

- Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- [14] Adhikari, M. 2011 *Bivariate Statistical Analysis of Landslide Susceptibility in Western Nepal* (Master's thesis).
- [15] Yousefi, M., & Nykänen, V. 2016 Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 94-106.
- [16] Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. 2015b Prediction-area (P-A) plot and C-A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling. *Computers & Geosciences*, 79, 69-81.
- [17] Mihalasky, M. J., & Bonham-Carter, G. F. 2001 Lithodiversity and its spatial association with metallic mineral sites, Great Basin of Nevada. *Natural Resources Research*, 10(3), 209-226.
- [18] Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., & Carranza, E. J. M. 2012 Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 115, 24-35.
- mapping. *Computers & Geosciences*, 74, 97-109.
- [9] Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. 2015 Prediction-area (P-A) plot and C-A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling. *Computers & Geosciences*, 79, 69-81.
- [10] Pradhan, B., & Lee, S. 2010 Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 747-759.
- [11] Mokarram, M., & Zarei, A. R. 2018 Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy-AHP. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(6), 3931-3943. "(In Persian)."
- [12] Chen, W., Panahi, M., Tsangaratos, P., Shahabi, H., Ilia, I., Panahi, S., & Ahmad, B. B. 2019 Applying population-based evolutionary algorithms and a neuro-fuzzy system for modeling landslide susceptibility. *Catena*, 172, 212-231.
- [13] Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. 2013 Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west

Development of Prediction - Area charts to improve the output of landslide potential models

Vahed Ghiasi ^{1*}, Sadegh Mirzaei ², Mahyar Yousefi ³

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Malayer

2- Master of Engineering, Faculty of Engineering, University of Malayer

3- Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Malayer

* V.ghiasi@malayeru.ac.ir

Abstract

Landslide is one of the natural disasters that causes huge loss of life and financial loss in different countries every year. The purpose of the present study is to develop a forecast-area rate chart for landslide hazard zoning. Landslide zoning is one of the ways in which the critical areas can be identified in terms of slope stability and the zoning maps obtained in sustainable development planning. Zoning is the division of land into several zones and the classification of these zones according to the degree of actual or potential risk of a phenomenon. Landslide hazard zoning maps can be used as a useful tool for managers and decision makers to determine suitable locations for the development of residential areas and critical arteries. Landslide studies in the past have mostly been done to stabilize instability in natural slopes and to carry out specific projects. Engineers have developed techniques in this field to design structures to control slope instability. Extensive variations in geotechnical properties of materials, internal friction angle (Φ) and cohesion coefficient (C), heterogeneity of natural environments at regional and regional scales compared to homogeneity in local expensive models, and time-consuming exploration techniques. The desert makes old ways inappropriate. Because this seems unreasonable given the cost to profit ratio, especially in the early stages of decision making in engineering projects. To address this problem, taking into account that landslide risk assessment should be based on a careful study of the natural conditions of an area and all possible parameters involved in slope instability should be analyzed seriously in the area of landslide hazard zoning. Initial measures in this area should be based on field studies and analysis of instability relationships in slopes and natural and geographical conditions. The results of engineering geological and geomorphological surveys that pay particular attention to minor landslide issues are generalized to the entire study area with no instability observed in its natural slopes and to sites that are naturally occurring. Geographies of landslide conditions are being searched. Defining a descriptive and conceptual model including landslide hazard zoning, all the features that could be used as suitable criteria were identified and collected in a target model. Then, by analyzing different information layers and weighting those using logistic function, control maps and weighted prediction were obtained. In this regard, for the first time to weighted landslide hazard maps, weighted maps were produced continuously, without classifying and simplifying the data into different parts, as well as minimizing expert judgment. It was also identified using the Prediction - Area chart of each layer and identifying the most important factor affecting landslide occurrence for the first time without expert judgment. Finally, all the weighted maps were integrated using the data-driven overlay index method. It was also able to identify 55% of the landslide points in 45% of the total area. Application of the developed model in the Oshvand watershed located in Nahavand city, proved that modeling the above method can optimally reduce the studied areas and reduce the objectives. Identify for further field surveys.

Key words: Landslide, Prediction-Area Rate Graph, Logistic Function, Data-Based Overlay Index, GIS, Nahavand