دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

پیش بینی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری کمی، تحلیل سلسله مراتبی و تلفیقی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز واز)

م. زارع[1] و ع. ا. نظری سامانی[2]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، نویسنده مسئول: Mohammad_zare64@yahoo.com
۲- استادیار دانشگاه تهران

چکیده

زمین لغزش ها یکی از بزرگترین خطرات طبیعی محسوب شده که هر ساله باعث خسارات مستقیم و غیرمستقیم سنگین مالی می شود. یکی از مناطق مستعد در بروز این عامل طبیعی حوزه آبخیز واز در شمال کشور می باشد. به منظور تهیه نقشه خطر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و ۶ روش کمی فاکتور اطمینان، شاخص زمین لغزش، فاکتور وزنی، نسبت فراوانی، تلفیق فاکتور وزنی با شاخص لغزش، تلفیق شاخص لغزش با تحلیل سلسله مراتبی پهنه بندی خطر زمین لغزش انجام شد. بررسی کارایی مدل ها نشان داد مدل تلفیق شاخص لغزش و فاکتور وزنی با مقدار جمع کیفی ۱/۰۲ دارای بهترین کارایی در پیش بینی خطر زمین لغزش بود. بررسی مهمترین عوامل موثر در بروز زمین لغزش نشان داد که عوامل زمین شناسی و احداث غیر اصولی جاده مهمترین عوامل بروز زمین لغزش های حوزه آبخیز واز بودند. اکثر مدل های آماری به منظور پیش بینی خطر لغزش ها نشان داد بیش از ۷۰ درصد مساحت طبقات خطر زمین لغزش مربوط به خطرات زیاد و خیلی زیاد می باشد.

واژه های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، فاکتور اطمینان، شاخص لغزش، فاکتور وزنی، واز

مقدمه

زمین لغزش ها یکی از بزرگترین خطرات طبیعی محسوب شده که هر ساله باعث خسارات مستقیم و غیرمستقیم سنگین مالی می شود (۹). به عنوان نمونه خسارات سالانه ناشی از زمین لغزش در کشور آمریکا ۱/۵ میلیارد دلار، در کشور ژاپن ۲/۶ میلیارد دلار و در کشور ایتالیا ۲/۶ میلیارد دلار برآورد گردید (۴). به منظور جلوگیری از خسارات زمین لغزش بایستی قبل از وقوع رخداد آن را پیش بینی نمود ولی به علت اینکه عوامل متعددی در وقوع زمین لغزش ها موثرند، پیش بینی رخداد آن بسیار پیچیده می باشد. نقشه خطر زمین لغزش یکی از کارامدترین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

روش ها برای پیش بینی خطر زمین لغزش در هر منطقه ای می باشد (۱ و ۱۸) به طور کلی هدف از تهیه نقشه خطر زمین لغزش یا نقشه حساسیت تعیین ناپایدارترین مناطق براساس مطالعه و بررسی عواملی است که در وقوع زمین لغزش ها موثرند می باشد (۳۸). روش های تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش براساس روش های کیفی یا دانش بنیان (۵، ۱۸، ۳۴ و ۳۵) و روش های کمی (۲، ۱۲، ۲۷، ۳۷ و ۴۱) طبقه بندی می شود. مبنای پهنه بندی خطر زمین لغزش در روش های کیفی براساس ویژگی های ذاتی و طبیعی لغزش ها می باشد. روش های کیفی به دو دسته تقسیم می شوند: روش های ژئومورفولوژی که براساس تحقیقات میدانی و مشاهدات مستقیم انجام می شود و روش های نیمه کیفی که از وزن دهی براساس گزارش مشاهدات و نقشه های موجود استفاده می کند (۴). AHP شامل ساختار شناخت عناصر تصمیم گیری (عوامل موثر در لغزش ها) و سپس ایجاد مقایسه از طریق ماتریس های جفتی و وزن دهی به هر یک از عوامل می باشد. این روش بر ۳ اصل تجزیه، مقایسه قضاوت ها و سنتز است (۲۶) و می توان ادعا کرد این روش مطمئن ترین روش در وزن دهی عوامل در مخاطرات طبیعی از جمله زمین لغزش ها می باشد (۲۳، ۳۹، ۴۰ و ۴۳). روش های کمی براساس ارتباط بین عوامل کنترلی و زمین لغزش ها با بیان عددی استوار است. روش های کمی به دو دسته تقسیم می شود: روش های جبری و روش های آماری، روش های کمی جبری به اصول مهندسی در ناپایداری شیب از نظر عوامل ایمنی وابسته است. روش های آماری بر پایه پیش بینی های بدست آمده از زمین لغزش ها و از تعدادی پارامتر استفاده می شود (۵ و ۲۲). روش های آماری در پهنه بندی خطر زمین لغزش به دو صورت روش های آماری دو متغیره و چند متغیره استفاده می شود (۹، ۱۰ و ۲۵). روش های آماری چند متغیره برای نقشه خطر لغزش مبتنی بر تجزیه و تحلیل های آماری در ارتباط با ترکیب نمودن متغیرها و زمین لغزش ها می باشد (۸). روش دو متغیره شامل مقایسات آماری بین پراکنش زمین لغزش ها، به عنوان متغیره وابسته و تعداد عوامل مستقل در ایجاد ناپایداری می باشد (۱۷). در این تحقیق روی روش های آماری دو متغیره تمرکز شده است. حوزه آبخیز واز به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی های طبیعی و زمین شناختی یکی از مناطق مستعد بروز حرکات توده ای است. وجود اقلیم مناسب منطقه به خصوص در فصول بهار و تابستان سبب شده تا هر ساله بر جمعیت این حوزه افزوده شود اما آنچه را که باعث نگرانی ساکنین این حوزه می شود خانه ها و باغات و همچنین راههای مواصلاتی که بین روستا و شهر واقع شده در معرض خطر زمین لغزش های متعدد می باشد. به همین دلیل لزوم بهره گیری از نقشه خطری با استفاده از روش های مختلف به منظور پیش بینی رخداد زمین لغزش ها در آینده ضروری به نظر می رسید. بنابراین در این پژوهش از روش های آماری دو متغیره که شامل: روش های شاخص زمین لغزش، نسبت

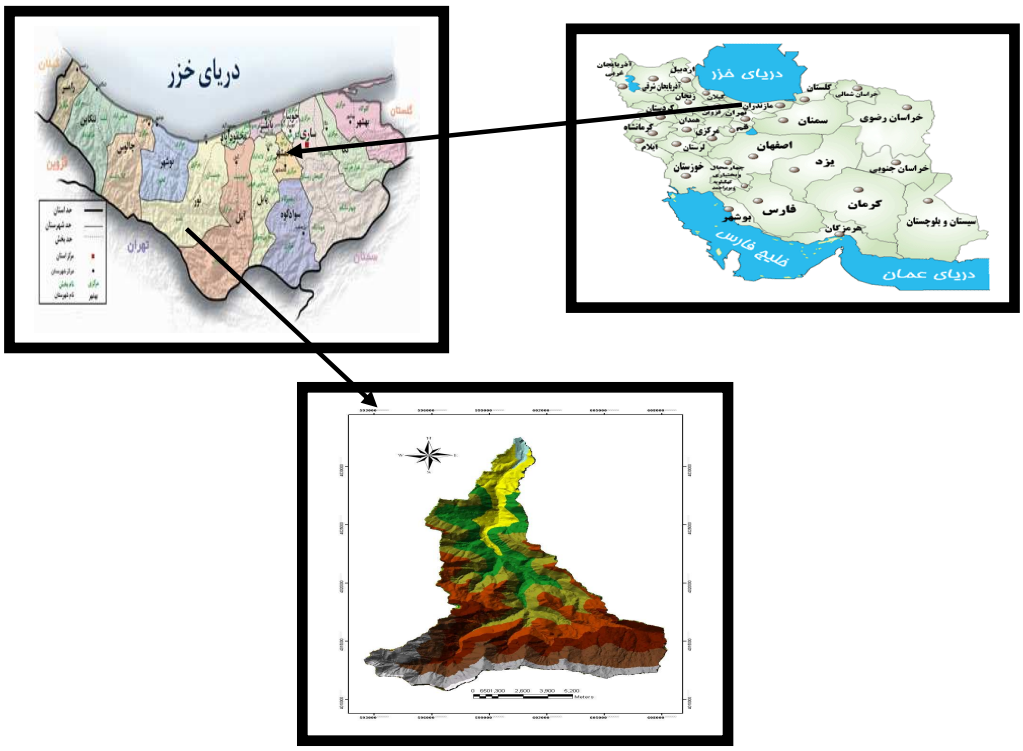
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

فراوانی، فاکتور اطمینان، فاکتور وزنی، تلفیق فاکتور وزنی با شاخص زمین لغزش، AHP و تلفیق تحلیل سلسله مراتبی با شاخص زمین لغزش استفاده شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد که بخشی از زیرحوزه رودخانه هراز می باشد. این حوزه دارای مساحت ۱۴۲ کیلومتر مربع و دارای مختصات عرض شمالی "۱۴ '۲۶ °۳۶ تا "۵۴ '۲۵ °۳۶ درجه و طول شرقی "۴۶ '۰۱ °۵۲ تا "۳۰ '۱۲ °۵۲ درجه قرار گرفته است. ارتفاع بیشینه و کمینه در منطقه به ترتیب ۳۵۹۰ متر در بخش جنوبی روستای رودبارک در خط الراس مشترک با حوزه آبخیز نوررود و ۲۴۰ متر در منطقه جوربند می باشد. رودهای زیادی از ارتفاعات آن سرچشمه گرفته که مجموعاً تحت نام رودخانه وازرود از حوزه خارج می گردد. نوع اقلیم منطقه براساس تقسیم بندی دمارتن مرطوب بوده ونوع نزولات در ارتفاعات پایین دست بیشتر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف می باشد. میزان متوسط بارندگی سالانه ۶۱۶ میلیمتر در سال و درجه حرارت متوسط سالانه ۱۶/۳ درجه سانتیگراد می باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوزه واز.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

روش تحقیق

عوامل موثر در وقوع زمین لغزش

در ابتدا با استفاده از GPS نقاط لغزشی حوزه را ثبت کرده و وارد نرم افزار ArcGIS 9.2 گردید. همچنین نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه زمین شناسی ۱:۰۰۰۰۰ منطقه از سازمان زمین شناسی کشور، نقشه کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر سنجنده +ETM ۲۰ جولای سال ۲۰۰۲ که در محیط نرم افزار ENVI 4.5 تصحیح گردید. نقشه خطوط هم بارش منطقه نیز از میانیابی ایستگاه های درون و مجاور حوضه (بلده، چمستان و نوشهر) به دست آمد. نقشه های کاربری اراضی، هم بارش، شیب، جهت شیب، هیپسومتری، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و سنگ شناسی در محیط GIS تهیه شدند.

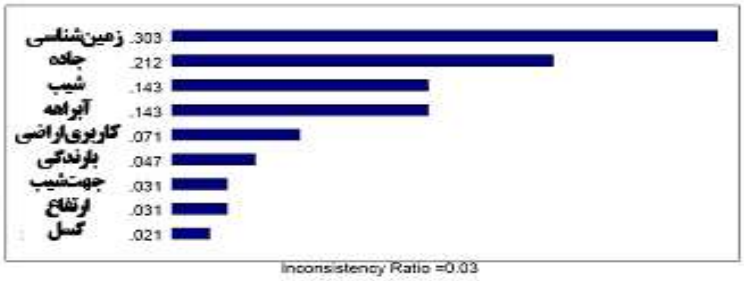
اولویت بندی عوامل موثر بر زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

اولین کار در اولویت بندی عوامل موثر بر زمین لغزش با استفاده از AHP انجام مقایسات زوجی بین عوامل است. جهت انجام این کار با استفاده از جدول توصیفی زمین لغزش (جدول ۱) و با توجه به مشخصات منطقه و خصوصیاتی که در بازدید میدانی مشاهده وزن دهی انجام می شود. برای وزن دهی به هر فاکتور قسمت هایی که به طور تقریبی از نظر مشخصات دیگر مشابه بوده و فاکتور مورد نظر تغییر می کند در نظر گرفته می شود و با مشاهده تغییرات این فاکتور و تاثیر آن بر وقوع لغزش ها براساس نظر و دید کارشناس نسبت به منطقه فاکتور ها به صورت دو به دو با هم مقایسه و یکی وزن های جدول انتخاب می شود که بستگی به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد. سپس نتایج این مقایسات در ماتریسی شبیه جدول وارد می گردد. به این ترتیب کلیه فاکتور ها نسبت به یکدیگر مقایسه شدند. این ماتریس در نهایت به نرم افزار Expert Choice وارد و در آنجا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه شد. این نرم افزار همچنین ضریب ناسازگاری را به ما می دهد که اگر کمتر از ۰/۱ باشد قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسات انجام می شود (۱۶). که در این پژوهش ضریب مربوطه ۰/۰۳ بدست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- مقیاس مقایسه دو به دو تحلیل سلسله مراتبی

قضاوت شفاهی	مقدار عددی
کاملا مرجع یا مطلوب ترین	۹
ترجیح یا مطلوب خیلی قوی	۷
ترجیح یا مطلوب قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مطلوب تر	۳
ترجیح با مطلوبیت کمتر یا کمی مهمتر	۱
ترجیحات بین فواصل	۸، ۶، ۴، ۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]



شکل ۲- وزن هر یک از فاکتورهای موثر در خروجی نرم افزار Expert Choice.

مدل فاکتور اطمینان

از میان روش های آماری دو متغیره مدل فاکتور اطمینان (CF) بررسی های موشکافانه ای را انجام می هد (۳، ۷ و ۲۴). این مدل مشکل ترکیب لایه های اطلاعاتی ناهمگن و نامتجانس را برطرف می کند. در واقع تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل های دو متغیره تحوه تلفیق نقشه ها در آن است. به این صورت که ابتدا نقشه ها کلاسه بندی شده، سپس با استفاده از رابطه ۱ وزن هر پیکسل بدست می آید.

رابطه (۱)

$$CF = \begin{cases} \frac{pp_a - pp_s}{pp_a(1-pp_s)} & \text{if } pp_a \geq pp_s \\ \frac{pp_a - pp_s}{pp_s(1-pp_a)} & \text{if } pp_a < pp_s \end{cases}$$

که در اینجا PPa نسبت تعداد پیکسل های لغزشی در یک کلاس به کل پیکسل های آن کلاس و PPs نسبت کل پیکسل های لغزشی منطقه به کل پیکسل های نقشه می باشد. با کمک این فرمول هر کلاس به صورت ۱- و ۱+ ارزشگذاری می شود. اگر ارزش کلاس مربوطه مثبت بود نشان دهنده این است که اطمینان وقوع زمین لغزش بالاست و اگر ارزش کلاس مربوطه منفی بود یعنی اطمینان وقوع زمین لغزش کم می باشد. و اگر ارزش آن کلاس صفر بود یعنی در اینجا اطلاعات کافی درباره متغیر وجود نداشته و بنابراین عدم اطمینان در وقوع زمین لغزش وجود دارد (۳، ۷ و ۲۴). در مرحله بعد ترکیب لایه ها براساس قانون فاکتور اطمینان انجام می شود به این صورت که یک نقشه را به عنوان X نقشه دیگر را به عنوان Yدر نظر گرفته و آنها را با هم بر طبق رابطه ۳ ترکیب می کند که ۳ فرمول برای حالت های مختلف X و Y وجود دارد. دوباره نقشه X و Y جدید براساس همین رابطه با هم ترکیب می شود. این ترکیب نقشه ها تا آخرین نقشه انجام شده و وزن نهایی محاسبه می گردد (۳، ۲۰ و ۲۹).

روش شاخص زمین لغزش

روش شاخص زمین لغزش براساس لگاریتم طبیعی (ln) تراکم لغزش ها در هر کلاس به تراکم لغزش های کل نقشه می باشد (۲ و ۳۸) رابطه آن به صورت زیر است:

رابطه (۲)

$$W_i = \ln \frac{Densclass}{Densmap} \ln \frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{SNpix(S_i)}{SNpix(N_i)}}$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

Wi: وزن هر یک از کلاس ها در نقشه

Densclass: تراکم زمین لغزش در هر یک از کلاس ها

Densmap: تراکم زمین لغزش در کل نقشه

Npix(Si): تعداد پیکسل های لغزشی در یک کلاس مشخص

Npix(Ni): تعداد کل پیکسل ها در یک کلاس مشخص

SNpix(Si): تعداد کل پیسکل های لغزشی نقشه

SNpix(Ni): تعداد کل پیکسل های نقشه

روش فاکتور وزنی

این روش به منظور اصلاح داده های روش شاخص زمین لغزش مورد استفاده قرار می گیرد (۶ و۳۲). نحوی ارزش گذاری برای هر طبقه براساس روش شاخص زمین لغزش می باشد اما در ادامه پس از جمع همه پیکسل هایی که وزن دهی در آن انجام شده ماکزیمم و مینمم همه لایه ها را در فرمول لحاظ می کند. در نهایت دامنه تغییرات وزن های روش مذکور بین ۱ تا ۱۰۰ برای هر لایه بر طبق رابطه ۳ تعیین می شود:

رابطه (۳)

$$Wf = \frac{(TWi_{value}) - (MinTWi_{value})}{(MaxTWi_{value}) - (MinTWi_{value})} \times 100$$

که در این اینجا Wf: محاسبه وزن فاکتور برای هر لایه، TWi_{value}: مجموع وزن های شاخص لغزش همراه با پیکسل های لغزشی در هر لایه $MinTWi_{value}$: مینمم کل وزن های شاخص لغزش در لایه ها، $MaxTWi_{value}$: ماکزیمم کل وزن های شاخص لغزش در لایه ها.

تلفیق روش فاکتور وزنی با شاخص زمین لغزش

وزن هایی که در روش Wf بدست آمده با وزن هایی که در روش Wi بدست آمد، ضرب و مجموع پیکسل های لایه ها با هم جمع شده تا نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بدست آید (۴۲).

مدل تلفیقی AHP و شاخص زمین لغزش

در این روش وزن هر یک از کلاسه ها با استفاده از مدل شاخص زمین لغزش طبق رابطه محاسبه شد. سپس وزن هر عامل که با استفاده از مدل AHP به دست آمده در وزن کلاسه های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر کلاسه به دست آمد. با ضرب معادله به دست آمده در نقشه، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه به دست آمد (۴۲).

مدل Frequency ratio

نسبت احتمال رخداد یک پدیده به عدم رخداد آن پدیده را Frequency ratio می نامند. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش مشخص، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و نهایتا نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل هایی که در آن لغزش رخداده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل های فاقد لغزش) محاسبه گردید. سپس شاخص

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

حساسیت به خطر لغزش براساس رابطه محاسبه شد (۲۵ و ۳۳).

رابطه (۴) $LSI=\sum Fr$

LSI[1]: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش، Fr: وزن هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش می باشد. در این رابطه اگر Fr>1 باشد همبستگی عامل موثر با لغزش بسیار زیاد و اگر Fr<1 باشد این همبستگی بسیار ضعیف است.

بررسی کارایی مدل های پهنه بندی

در تهیه نقشه های پهنه بندی برای وزن دهی به لایه های مختلف اطلاعاتی از نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه استفاده شد. بعد از تهیه نقشه های وزنی براساس رابطه مدل، نقشه پهنه بندی زمین لغزش تهیه و در چهار کلاس خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. در نتیجه جهت ارزیابی نقشه پهنه بندی زمین لغزش نمی توان از نقشه پراکنش زمین لغزش حوزه استفاده کرد (۳۶). جهت حل این مشکل از ۱۳۶ نقطه لغزشی که در منطقه شناسایی گردید دو سوم نقاط لغزشی (۹۰ نقطه لغزشی) برای پهنه بندی و یک سوم نقاط لغزشی (۴۶ نقطه لغزشی) برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱۹). سپس نقشه حاصله با نقشه پراکنش زمین لغزش مقایسه گردید. برای مقایسه رده های مختلف خطر از تراکم زمین لغزش ها یا نسبت تراکمی (Dr) در هر یک از رده های خطر استفاده شد. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین لغزش ها محاسبه گردید. با استفاده از مقدار جمع کیفی (Qs) نقشه های صحیح تر و با دقت بیشتر را می توان شناسایی نمود. Qs بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده های خطر مختلف است. جمع کیفی (Qs) به صورت رابطه تعریف می گردد (۱۵ و ۲۸).

رابطه (۵) $Qs=\sum_{i=1}^{n}(Dr-1)^2\times s$

که در آن n: تعداد رده های خطر s: مساحت رده خطر به درصد در منطقه است. از نظر تئوری حد فوقانی خاصی برای Qs نمی توان در نظر گرفت ولی معمولا مقدار آن بین صفر تا هفت است. هر نقشه پهنه بندی که دارای Qs بالاتر باشد دارای صحت و دقت بیشتری می باشد (۱۴ و ۳۰).

نتایج و بحث

نقشه پراکنش لغزش ها، با نقشه های عامل های تاثیر گذار بر رخداد زمین لغزش تلفیق شده و تراکم سطح لغزش ها در هر یک از طبقه های عامل های تاثیر گذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاسه ها با بهره گیری از مدل های فاکتور وزنی Wf، شاخص لغزش Wi، نسبت فراوانی Fr، فاکتور اطمینان CF و تحلیل سلسله مراتبی W_{AHP} به دست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

1- Landslide Susceptibility Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۳- وزن هر یک از طبقات موثر در وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز واز

عوامل موثر	طبقات	تعداد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های غیرلغزش	CF	We	Fr	Li
فاصیه از آبراهه (m)	۰-۱۰۰	۶۹	۱۹۳۸۹	۰/۸۱۴	۵۹۰۸۷	۱/۳۱	۰/۷۶۳
	۱۰۰-۲۰۰	۱۰	۱۰۰۳۸	-۰/۱۱۱		۰/۳۶	۰/۱۱۳
	۲۰۰-۳۰۰	۵	۳۱۰۶	-۰/۵۴۸		۰/۵۹	۰/۰۵۴
	۳۰۰-۴۰۰	۲	۹۰۲	-۰/۸۳۱		۰/۸۲	۰/۰۲۲
	۴۰۰<	۵	۲۱۵	-۰/۹۴۵		۸/۷۶	۰/۰۵۷
فاصله از جاده (m)	۰-۱۰۰	۳۶	۵۱۳۳	۰/۰۶۴	۳۰۹۷	۲/۵۹	۰/۷۶
	۱۰۰-۲۰۰	۱۱	۵۸۹۸	-۰/۸		۰/۶۹	۰/۱۱
	۲۰۰-۳۰۰	۹	۵۶۰۹	-۰/۱۷۲		۰/۵۹	۰/۰۵
	۳۰۰-۴۰۰	۸	۵۱۴۷	-۰/۱۷۶		۰/۵۷	۰/۰۲۲
	۴۰۰<	۲۷	۱۱۸۶۳	-۰/۳۸۶		۰/۸۴	۰/۰۵
فاصله از گسل (m)	۰-۱۰۰	۴	۱۸۸۰	-۰/۰۶	۶۸۰۲۸	۰/۷۸	۰/۰۴۴
	۱۰۰-۲۰۰	۶	۲۴۳۰	۰/۷۱۸		۰/۹۱	۰/۰۶۳
	۲۰۰-۳۰۰	۶	۲۴۶۱	۰/۷۱۹		۰/۹	۰/۰۶۳
	۳۰۰-۴۰۰	۵	۲۷۲۸	۰/۹۲۶		۰/۶۷	۰/۰۶۳
	۴۰۰<	۶۹	۲۴۱۵۴	۰/۲۱۲		۱/۰۵	۰/۷۶۴
کاربری اراضی	جنگل	۶۸	۱۸۹۹۰	۰/۲۸۵	۸۵.۸	۱/۳۲	۰/۷۵۲
	باغ	۲	۵۰۶	۰/۵۱۱		۱/۴۶	۰/۰۲۳
	مناطق مسکونی	۲	۳۹۰	۰/۵۱۷		۱/۹	۰/۰۲۱
	مرتع خوب	۱۲	۴۹۸۹	۰/۱۶۵		۰/۹	۰/۱۳۳
	مرتع متوسط	۷	۶۵۰۲	-۰/۶۱۳		۰/۳۹	۰/۰۷
	مرتع ضعیف	۰	۲۲۴۹	-۰/۹۹۹		۰	۰/۰۰۰۰۰۳
پهنه‌های بارش (mm)	۵۰۰>	۰	۳۵۷	-۰/۹۹۶	۳۵۰۹۷	۰	۰/۰۰۰۰۰۳
	۵۰-۶۰۰	۷	۷۰۰۳	-۰/۴۲۸		۰/۳۷	۰/۰۷۲
	۶۰۰-۷۰۰	۱۶	۷۸۳۲	-۰/۱۶۴		۰/۷۵	۰/۱۷۴
	۷۰۰-۸۰۰	۴۶	۱۳۰۲۹	۰/۲۴۹		۱/۳	۰/۲۴۸
	۸۰۰-۹۰۰	۲۲	۵۴۲۴	-۰/۹۹۶		۱/۵	۰/۰۰۰۰۰۳
شیب (٪)	۰-۵	۰	۱۵۶	-۰/۹۹۴	۷۷۰۵۱	۰	۰/۰۱۳۴
	۶-۱۵	۳	۷۶۲	۰/۵۶۹		۱/۴۵	۰/۰۳۲
	۱۶-۳۰	۲۰	۶۷۱۶	۰/۶۳۷		۱/۱	۰/۲۱۸
	۳۱-۶۰	۲۹	۱۸۹۹۰	۰/۷۳۳		۰/۵۶	۰/۳۱۴
	۶۰<	۳۹	۷۰۶۵	۰/۹۰۴		۲/۰۲	۰/۴۳۴
جهت شیب	N	۹	۶۳۳۹	-۰/۵۱۲	۶۱۰۲۸	۰/۵۲	۰/۱۰۷
	E	۲۵	۴۷۲۸	۰/۱۱۲		۱/۹۵	۰/۲۷۶
	S	۵	۲۲۳۷	۰/۵۵۳		۰/۸۲	۰/۰۵۶
	W	۳	۳۱۶۳	-۰/۰۲		۰/۳۵	۰/۳۰۲
	NE	۱۸	۶۵۸۹	۰/۰۱۶		۱/۰۱	۰/۲۸۴
	NW	۱۴	۵۲۲۸	۰/۰۷۴		۰/۹۹	۰/۱۵۴
	SE	۱۴	۳۰۴۲	۰/۴۷۳		۱/۷	۰/۱۵۸
	SW	۳	۲۳۲۵	-۰/۵۹۷		۰/۴۷	۰/۰۳۶
کلاس ارتفاعی	۳۰۰>	۰	۳۹	-۰/۹۹۶	۱۰۰	۰	۰/۰۰۰۰۰۰۳
	۳۰۰-۶۰۰	۹	۱۹۷۴	۰/۵۱۳		۱/۶۹	۰/۱۰۱
	۶۰۰-۹۰۰	۱۶	۲۹۹۰	۰/۶۲۴		۱/۹۸	۰/۱۷۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

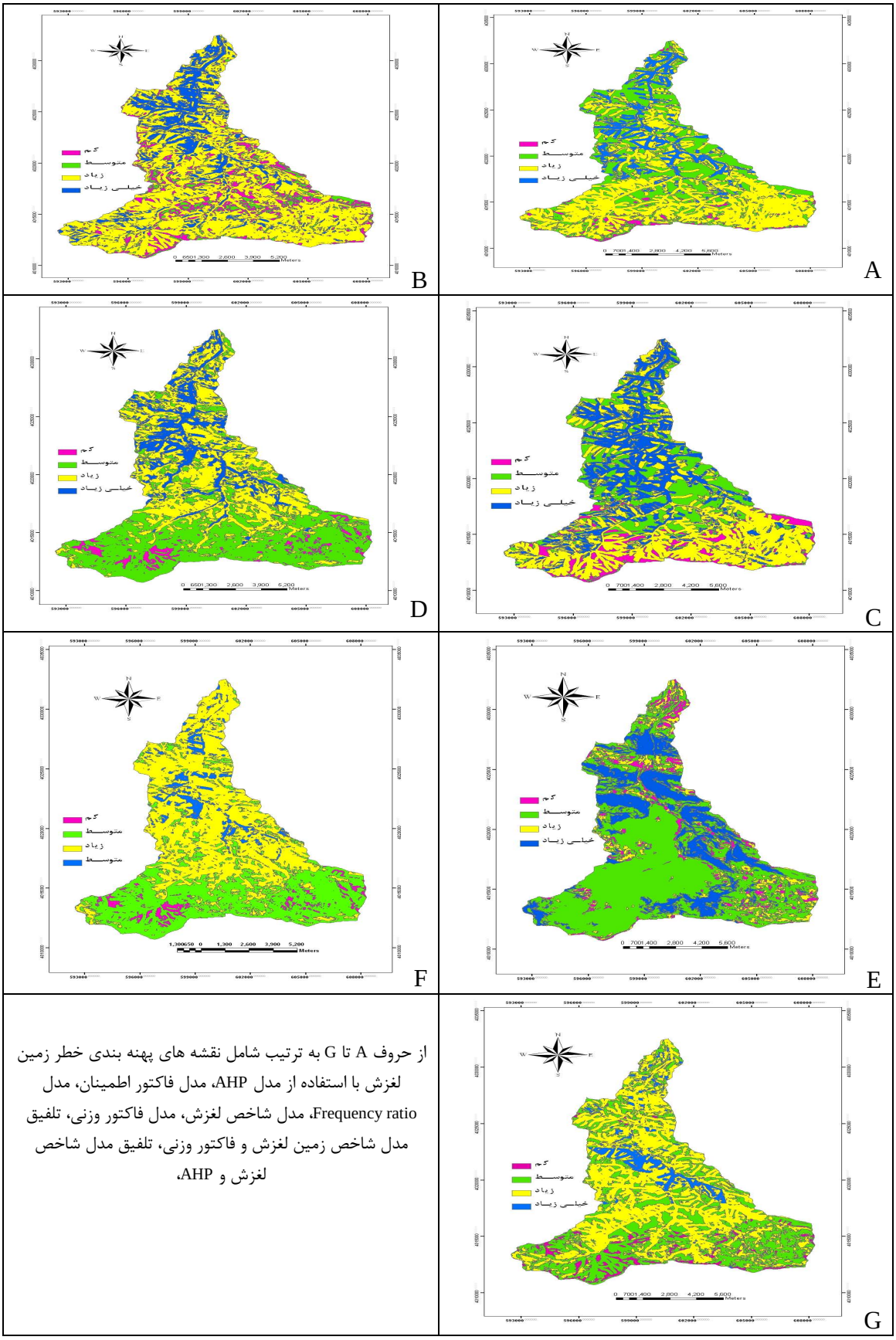
ادامه جدول ۳

	۹۰۰-۱۲۰۰	۲۷	۳۷۰۰	۰/۶۴۹		۲/۷	۰/۳۱۱
	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۰	۴۰۰۱	-۰/۱۷۴		۰/۹۲	۰/۱۱
	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۶	۴۴۱۷	۰/۱۶۷		۱/۳۴	۰/۱۷۶
	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۴	۴۳۵۰	-۰/۶۲۸		۰/۳۴	۰/۰۴۱
	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۰	۴۰۳۵	-۰/۹۹۴		۰	۰/۰۰۰۰۰۰۳
	۲۴۰۰-۲۷۰۰	۸	۳۹۵۰	-۰/۰۵۴		۰/۷۵	۰/۰۸۵
	۲۷۰۰-۳۰۰۰	۰	۲۸۲۰	-۰/۹۹۹		۰	۰/۰۰۰۰۰۰۳
	۳۰۰۰-۳۳۰۰	۰	۱۲۳۶	-۰/۹۹۹		۰	۰/۰۰۰۰۰۰۳
	۳۳۰۰<	۰	۱۳۱	-۰/۹۹۴		۰	۰/۰۰۰۰۰۰۳
زمین‌شناسی	Q2	۰	۴۵	-۰/۹۹۹	۹۳۰۹	۰	۰/۰۰۰۰۰۱
	Q^{s}	۰	۴۴	-۰/۹۹۴		۰	۰/۰۰۰۰۰۱
	P_r	۰	۴۱	-۰/۹۹۶		۰	۰/۰۰۰۰۰۱
	R_e^2	۵۲	۱۶۶۸۴	-۰/۰۵۸		۱/۱۵	۰/۱۵۷
	$R_3 J_S$	۱۹	۱۲۲۶۰	۰/۵۸		۰/۵۷	-۰/۶۰۳
	Q_U	۰	۱۵۱	-۰/۹۹۹		۰	۰/۰۰۰۰۰۱
	R_e^1	۱۲	۲۱۹۷	۰/۷۳۲		۲/۰۲	۰/۷۳۱
	$K_2^{l,m}$	۷	۲۰۸۳	۰/۶۶۴		۱/۲۵	۰/۴۴

پس از محاسبه وزنی ترکیب شده و نقشه پهنه بندی با بهره گیری از هر مدل به دست آمده که در شکل ۲ نشان داده شده است. در نهایت در جدول ۴ ارزیابی هر یک از این مدل ها براساس جمع کیفی نشان داده شده است.

به منظور تعیین وزن هریک از عوامل تاثیرگذار در پهنه بندی خطر زمین لغزش از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. نتایج این آنالیز در شکل نشان داده شده است. دقت در شکل مذکور نشان می دهد که عوامل لیتولوژی و فاصله از جاده بیشترین تاثیر را پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان داده است که با نظرات (۱۱، ۳۱ و ۳۳) همخوانی دارد. نتایج حاصل از وزن های بدست آمده از طریق روش های آماری دو متغیره درستی موثر بودن عوامل لیتولوژی و فاصله از جاده در روش AHP را تایید می کند بنابراین نشان می دهد دقت مدل مذکور در اولویت بندی عوامل تاثیرگذار بالا بوده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]



از حروف A تا G به ترتیب شامل نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP، مدل فاکتور اطمینان، مدل Frequency ratio، مدل شاخص لغزش، مدل فاکتور وزنی، تلفیق مدل شاخص زمین لغزش و فاکتور وزنی، تلفیق مدل شاخص لغزش و AHP،

شکل ۲- نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز واز.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۴- ارزیابی مدل های بکارگرفته شده در پهنه بندی خطر زمین لغزش

نوع مدل	طبقه بندی خطر	Area (٪)	Landslide (٪)	Dr	$(Dr-1)^2 \times Area\%$	جمع کیفی
AHP	کم	۲/۴۱	۰	۰	۰/۰۰۲۴	۰/۴۱۷
	متوسط	۳۱/۸۱	۲۲/۲۲	۰/۶۹	۰/۰۲۹	
	زیاد	۵۱/۰۶	۴۰	۰/۷۸	۰/۰۲۴	
	خیلی زیاد	۱۴/۶۹	۳۷/۷۷	۲/۵۷	۰/۳۶۲	
شاخص لغزش	کم	۳/۳۶	۲/۲۷	۰/۶۷	۰/۰۰۳۶	۰/۷۲
	متوسط	۴۳/۰۱	۱۵/۹	۰/۳۶	۰/۱۷۶	
	زیاد	۳۸/۸	۳۸/۶۵	۱	۰	
	خیلی زیاد	۱۴/۸۳	۴۳/۱۸	۲/۹۱	۰/۵۴۱	
فاکتور وزنی	کم	۵/۹۳	۴/۴۵	۰/۷۶	۰/۰۰۳۴	۰/۱۰۷
	متوسط	۵۹/۷۱	۴۷/۷۲	۰/۷۹	۰/۰۲۶	
	زیاد	۱۰/۵۳	۱۸/۱۹	۱/۷۹	۰/۰۶۵	
	خیلی زیاد	۲۳/۸۳	۲۹/۵۵	۱/۲۴	۰/۰۱۳	
تلفیق شاخص لغزش و فاکتور وزنی	کم	۳/۵۴	۰	۰	۰/۰۰۳۵	۱/۰۳
	متوسط	۳۹/۶	۲۷/۲۷	۰/۶۸	۰/۰۴	
	زیاد	۵۱/۰۴	۴۳/۱۸	۰/۸۴	۰/۰۱۳	
	خیلی زیاد	۵/۸۴	۲۹/۵۵	۵/۰۵	۰/۹۵۷	
تلفیق AHP و شاخص لغزش	کم	۴/۲۷	۰	۰	۰/۰۰۴۲	۰/۶۵۲
	متوسط	۳۷/۱۲	۲۰/۲۱	۰/۵۴	۰/۰۷۸	
	زیاد	۵۲/۴۱	۵۴/۷۷	۱/۰۴	۰/۰۰۰۸	
	خیلی زیاد	۶/۲	۲۵/۰۲	۴/۰۳	۰/۵۶۹	
عامل اطمینان	کم	۱۱/۵۸	۴/۴۴	۰/۳۸	۰/۰۴۴	۰/۵۴۸
	متوسط	۵/۹	۰	۰	۰/۰۵۹	
	زیاد	۶۵/۰۱	۵۱/۱۵	۰/۷۸	۰/۰۳۱	
	خیلی زیاد	۱۷/۴۹	۴۴/۴۴	۲/۵۴	۰/۴۱۴	
نسبت فراوانی	کم	۳۶/۳۳	۴/۴۵	۰/۷۶	۰/۰۰۳۴	۰/۱۰۷
	متوسط	۱/۶۶	۴۷/۷۲	۰/۷۹	۰/۰۲۶	
	زیاد	۳۸/۶۸	۱۸/۱۹	۱/۷۹	۰/۰۶۵	
	خیلی زیاد	۲۳/۳۳	۲۹/۵۵	۱/۲۴	۰/۰۱۳	

همچنین از دیگر نتایج حاصل از وزن های بدست آمده از روش های آماری یافته های دیگری را نیز نشان می دهد. به طوری که تقریبا در تمامی وزن های بدست آمده، عامل فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری از جاده به عنوان یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش ها به حساب آمده است و هر چه از جاده فاصله می گیریم از شدت وقوع لغزش ها کاسته می شود. علت اصلی این موضوع آن است که جاده ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادل منطقه را به هم زده و بریدگی های عمودی به وجود می آورند و بر بخش پایین جاده فشار اضافی وارد می کنند و باعث افزایش زمین لغزش در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

نزدیکی جاده ها می شوند. در باغات، زمین های کشاورزی و مناطق جنگلی لغزش های زیادی رخ داده است. چراکه یکی از دلایل عمده وقوع لغزش ها تغییرات کاربری اراضی و قطع جنگل ها به مناطق مسکونی، جاده سازی و تبدیل آنها بعضا به دیگر کاربری ها، عمده ترین عامل ایجاد زمین لغزش های این حوضه می باشد که این نتایج (۱۲ و ۱۳)، مطابقت دارد. شیب بالای ۶۰ درصد یکی دیگر از عوامل مهم بروز لغزش ها بوده است به علت اینکه ویژگی های اقلیمی و پوشش گیاهی شرایط خاکسازی در این درجه از شیب کاملا مهیا بوده که با بالا بودن نیروی ثقل شرایط برای لغزش مهیا بوده است. در بین سازندهای زمین شناسی، سازند الیکا با لیتولوژی سنگ آهک مارنی نازک لایه تا شیل بیشترین حساسیت را به وقوع زمین لغزش و بیشترین وزن را در بین روش های آماری به خود اختصاص داد. ارزیابی روش های آماری به منظور پیش بینی خطر زمین لغزش در منطقه نشان داد که در بین مدل های دو متغیره، شاخص لغزش دارای بیشترین کارایی بوده است (۳۴ و ۳۸). اما زمانی که این مدل با مدل فاکتور وزنی تلفیق شد کارایی بیشتری را ارائه داد. زیرا مدل فاکتور وزنی نقش عواملی که در ایجاد لغزش موثرتر بوده اند را برجسته کرده و این امر باعث می شود این فاکتورها وزن بیشتری به خود بگیرند و زمانی که با مدل شاخص لغزش تلفیق می شوند باعث بالا رفتن نمره عوامل موثرتر شده بنابراین اجازه نمی دهد عواملی که نقش کمتری در وقوع لغزش ها داشته اند، وزن کل را تحت تاثیر قرار دهد. اکثر مدل های آماری به منظور پیش بینی خطر لغزش ها نشان می دهد که بیش از ۷۰ درصد مساحت طبقات خطر زمین لغزش مربوط به خطرات زیاد و خیلی زیاد قرار دارد به طوری که مدل تلفیقی شاخص لغزش و فاکتور وزنی که بیشترین کارایی را در بین سایر مدل ها به خود اختصاص داده اند بیش از ۵۰ درصد از مساحت حوضه را تنها در رده خطر زیاد قرار داده است که این امر نشان دهنده خطرپذیری بالای حوزه آبخیز واز در ایجاد زمین لغزش ها می باشد.

منابع

1. Anbalagan, R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Eng. Geol., 32: 269-277.
2. Ayalew, L. and H. Yamagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65: 15- 31.
3. Binaghi, E., L. Luzi, P. Madella, F. Pergalani and A. Rampini. 1998. Slopeinstability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster. shafer approaches, Natural Hazards, 17: 77-97.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

4. Blöchl, A. and B. Braun. 2005. Economic assessment of landslide risks in the Swabian Alb, Germany-Research framework and first results of homeowners' and experts' surveys. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, pp: 389-396.
5. Carrara, A. and F. Guzzetti. 1995. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp: 135-175.
6. Cevik, E. and T. Topal. 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). Environmental Geology 44: 949-962.
7. Chung, C.F. and A.G. Fabbri. 1993. Representation of geoscience datafor information integration. Journal of Non-Renewable Resources 2(2):122-139.
8. Chen, Z. and W. Jinfei. 2007. Landslide hazard mapping using logistic regression model in Machenzie Valley, Canada, Nat Hazard, 42: 75-89.
9. Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42(3/4): 213-228.
10. Donati, L. and M.C. Turrini. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). Engineering Geology 63: 277-289.
11. Duman, T.Y., T. Can, C. Gokceoglu, H.A. Nefeslioglu and H. Sonmez. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, Environmental Geology, 51: 241-256.
12. Ercanoglu, M. and G.P. Candan. 2004. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area(West Black Sea Region, Turkey), Engineering Geology, (75): 229-250.
13. Fatemi Aghda, M., J. Ghiomian and A. Eshgheli Farahani. 2004. Evaluation efficiency statistics methods in determined Landslide hazard potential. J. Geosciences, 11(47-48): 28-47.
14. Feiznia, S., A. Klarestaghi, H. Ahmadi and M. Safaei. 2003. Investigation effective parameters in Landslide occurs and Landslide hazard zoning (Case study: Tejen dam watershed), Iranian J. Natural Resources, 57(1): 3-20.
15. Gee, M.D. 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, Landslides, Bell (ed.), 1991 Balkema, Rotterdam. pp: 947-952.
16. Ghodsipour, H. 2006. Discussion about multi criteria decision and AHP, publication Amir Kabir Industry University, 220 pp.
17. JURKO, J., P. Paudits and J. Vlcko. 2005. Landslide Susceptibility Zonation using GIS- statistical approach, international symposium on latest natural disasters, Sofia, on CD, 118(3): 475-493.
18. Kienholz, H. 1978. Maps of geomorphology and natural hazards of Grindelwald, Switzerland: scale 1:10,000. Arctic and Alpine Research 10(2): 169-184.
19. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prialpine Slovenia, Geomorphology, 74-17-28.
20. Lan, H.X., C.H. Zhou, L.J. Wang, H.Y. Zhang and R.H. Li. 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. Engineering Geology 76: 109-128.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

21. Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators landslide susceptibility mapping, Environmental Geology, 52: 615-623.
22. Lee, S., J.H. Ryu, J.S. Won and H.J. Park. 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. Engineering Geology, 71: 289-302.
23. Li, Z., G. Zeng, H. Zhang, B. Yang and S. Jiao. 2007. The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly region based on GIS-A case study in Changsha City, China. Ecological Modeling 202: 540-546
24. Luzi, L. and F. Pergalani. 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the 'Oltre Po Pavese' case history (Regione Lombardia-Italy). Natural Hazards 20: 57- 82.
25. Nadi, A. and A. Shakoor. 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, 110: 11-20.
26. Malczewski, J. 1999. GIS and Multi-criteria Decision Analysis. John Wiley and Sons, New York, 58, 275 pp.
27. Mathew, J., V.K. Jha and G.S. Rawat. 2007. weights of evidence modeling for landslide hazard zoation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand, Current science, Vol. 92, No. 5, 10.
28. Mirsanei, R. 2002. Evaluation and application of landslide hazard zonation maps in 1:250000 scale by using GIS(Case study: Tehran), M.SC. Thesis, Tarbiat Moaalem University, 120 pp.
29. Mohammad0, M., H. Moradi, S. Feiznia and H. Pourghasemi. 2010. Comparison of the Efficiency of Certainty Factor, Information Value and AHP Models in Landslide Hazard Zonation (Case study: Part of Haraz Watershed), Journal of Range and watershed Management, 62(4): 539-551.
30. Mosafai, J. 2005. Performance comparison of statistical models and empirical landslide hazard zonation in Alamut watersheds and provide risk management program., M.Sc. thesis watershed management, natural resources faculty of Goran University, 102 pp.
31. Ohlmacher, G.C. and J.C. Davis. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA, Engineering Geology, 69: 331-343.
32. Oztekin, B. and T. Topal. 2005.GIS-based detachment susceptibility analyses of a cut slope in limestone, Ankara-Turkey. Environmental Geology 49: 124-132.
33. Porghasemi, H. 2006. Landslide Hazard Assessment Using of Fuzzy Logic, M.Sc. thesis Watershed Management, natural resources faculty of Tarbiat Modares University, 92 pp.
34. Rautela, P. and R.C. Lakhera. 2000. Landslide risk analysis between Giri and Ton Rivers in Himalaya (India). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2: 153-160.
35. Regmi, N.R., J. Giardio and J. Vitek. 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA., Geomorphology 115: 172-187.
36. Remendo, J., A. Gonzales, J. Teran, A. Cendrero, A. Fabbri and C. Chung. 2003. lidation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, Natural Hazard, 437-449.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

37. Tangestani, M. 2008. A Comparative Study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, Journal of Asian Earth Sciences 35: 66-73.
38. Van Westen, C.J. 2000. The modeling of landslide hazard using GIS. Surveys in Geophysics 21(2-3): 241-255.
39. Wu, Q., Y. Fu, M. Yang, Z. Shen, D. Dong, Z. Sun and X. Bai. 2004. Water-power erosion in mines coupling GIS, RS and AHP model. Coal Geology and Exploration 32(6): 35-38.
40. Xiong, Y., G. Zeng, G. Chen, L. Tang, K. Wang and D. Huang. 2007. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality-A case study of Hunan Province China. Ecological Modeling 209: 97-109.
41. Yilmaz, I. 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), Computers and Geosciences 35: 1125-1138.
42. Zare, M. 2011. Landslide Hazard Assessment Using of Fuzzy Logic and efficiently, Ms.C thesis Watershed Management, Natural resources faculty of Tehran University, 115 pp.
43. Zhang, H., Y. Zhou, S. Wang, H. Tang, H. Liu and X. Lei Wang. 2003. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu Farm of Jianghan plain. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 19(2): 219-222.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

Landslide Hazard Prediction Based on Statistical, AHP and Combination Methods (Case Study: Vaz Watershed)

M. Zare[1] and A.A. Nazari Samani[2]

1- M.Sc. Student, University of Tehran (Corresponding author: Mohammad_zare64@yahoo.com)
2- Assistant Professor, University of Tehran

Abstrac

Landslide is considered one of the greatest natural hazards that causes high damage direct or indirect financial every year. One of the areas prone to natural factors in the occurrence of this watershed and from the North Country. One of the occurs Susceptible areas in watershed vaz. Landslide hazard zonation map was prepared by using AHP and 6 certainly factor, landslide index, weight factor, frequency ratio, combination weight factor with landslide index and combination landslide index with AHP. The validate of models showed combination landslide index with weight factor model the value 1.02 was best performance in predicting risk of landslide. Lithology and distance from the road were the most important factors in landslide occurrence. Most statistical models to predict the risk of landslide showed 70 percent of the classes area of landslide risk is related to high risks and very high.

Keywords: AHP, Certainly factor, Landslide index, Weight factor, Vaz

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]