

## تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از استان گلستان

مجید محمدی<sup>۱\*</sup>

[majid.mohammady@semnan.ac.ir](mailto:majid.mohammady@semnan.ac.ir)

شنطیا جمال<sup>۲</sup>

آرمان منصوری<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۳۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** ایران به ویژه در مناطق شمالی به خاطر شرایط اقلیمی و توپوگرافی، همواره در معرض خطر زمین لغزش است. شناخت نواحی مستعد وقوع زمین لغزش و خطرات ناشی از آن یکی از اقدامات اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی های توسعه ای و عمرانی است. بررسی زمین لغزش جهت تهیه نقشه های حساسیت و شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و همچنین شناسایی مکان های امن برای توسعه سکونت گاه های جدید در آینده مورد توجه برنامه ریزان قرار دارد. هدف اصلی این تحقیق تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش در بخشی از استان گلستان است.

**روش بررسی:** ۷۸ لغزش در بخشی از استان گلستان شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش ها در سال ۱۳۹۵ تهیه گردید. نقشه های عوامل موثر شامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، طبقه ارتفاعی، سنگ شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طول شیب در محیط GIS تهیه شد. سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به کار برده شد. همچنین از منحنی ROC برای ارزیابی دقت نقشه های حساسیت استفاده شد.

**یافته ها:** اولویت بندی فاکتورهای موثر با استفاده از AHP نشان داد فاصله از جاده، شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از مناطق مسکونی بیشترین تاثیر را بر وقوع زمین لغزش دارند. نقشه های حساسیت تهیه شده با استفاده از سه مدل با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد مدل نسبت فراوانی با سطح زیر منحنی ۰/۸ بیشترین دقت را در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش دارد.

**بحث و نتیجه گیری:** به طور کلی نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه پتانسیل زیادی برای وقوع زمین لغزش دارد. شناسایی مناطق حساس کمک می کند تا حد امکان از تغییرات حالت طبیعی این مناطق جلوگیری نموده و باعث تحریک این مناطق نشویم.

**واژه های کلیدی:** زمین لغزش، تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک.

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دانش آموزان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

## **Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression and AHP models in the part of Golestan province**

**Majid Mohammady<sup>1\*</sup>**

[majid.mohammady@semnan.ac.ir](mailto:majid.mohammady@semnan.ac.ir)

**Shantia Jamal<sup>2</sup>**

**Arman Mansoori<sup>2</sup>**

Admission Date: December 28, 2016

Date Received: June 20, 2016

### **Abstract**

**Background and objective:** Iran is always exposed to landslide hazard especially in the north because of climatic and topographic conditions. Identification of landslide prone areas and its hazards is one of the first works in natural resources management and development programs. Policymakers pay high attention to landslide investigation in order to landslide susceptibility mapping and identifying susceptible areas and stable locations for development of new settlements in the future. The main goal of his research is landslide susceptibility mapping in the part of Golestan province.

**Material and Methodology:** 78 landslides were identified from the field surveys in the part of Golestan province, and then landslide inventory map was created in year 2016. Effective factor maps such as slope degree, slope aspect, plan curvature, altitude, lithology, land use, distance from road, distance from fault, distance from drainage and slope-length (LS), were prepared in the GIS environment. Three methods such as analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic ratio were applied to landslide susceptibility mapping. Also ROC curve was used to accuracy assessment of susceptibility maps

**Findings:** prioritization of effective factors using AHP showed that distance from road, slope, distance from drainage and distance from residential area have the most effect on landslide occurrence. Landslide susceptibility map obtained from three models was compared using Relative Operating Characteristic (ROC) and Area under Curve (AUC). The result showed that frequency ratio model with the AUC equal to 0.8 has the most accuracy to landslide susceptibility mapping.

**Discussion and Conclusion:** In general, the results showed that the study area has a high potential for landslides occurrence. Identifying susceptible areas help to prevent changes in the natural state of these areas as much as possible.

**Keywords:** Landslide, Analytical hierarchy process, Frequency ratio, Logistic regression.

---

1 - Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran. \*(Corresponding Author)

2- Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran.

## مقدمه

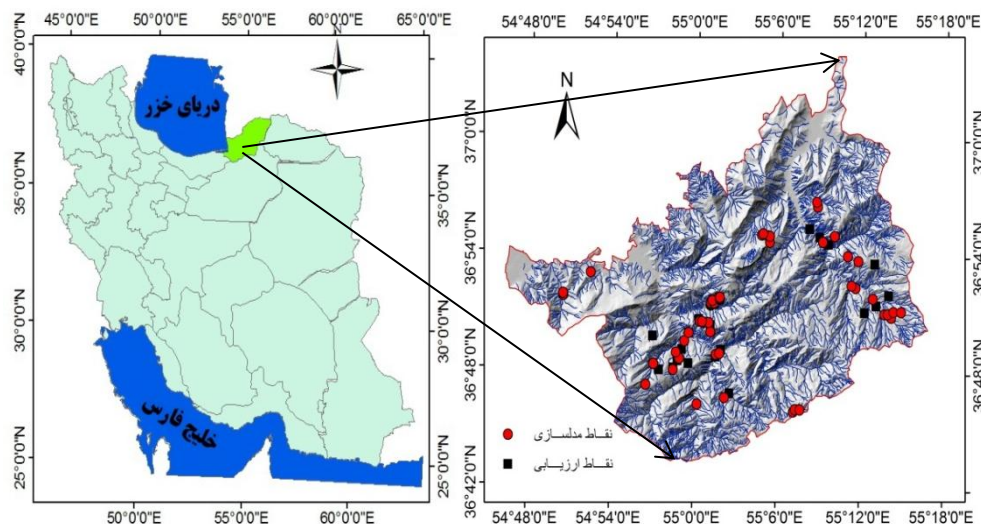
مستعد وقوع زمین لغزش و خطرات ناشی از آن یکی از اقدامات اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی است. با توجه به مشکلات زیاد ناشی از زمین لغزش امروزه روش‌های مختلفی در بسیاری از مناطق دنیا به منظور بررسی این پدیده صورت گرفته و روش‌های مختلفی ارائه شده است. از جمله روش‌های استفاده شده می‌توان به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (۷-۳)، رگرسیون لجستیک (۱۲-۸) روش‌های دو متغیره مانند نسبت فراوانی (۷، ۱۳ و ۱۴) اشاره نمود. اولین اقدام در مدیریت زمین لغزش و کاهش خسارات زیست‌محیطی آن تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش و شناسایی مناطق در معرض خطر است. استان گلستان به دلیل شرایط آب و هوایی و خصوصیات توپوگرافی همواره با مشکل زمین لغزش مواجه است، لذا در این تحقیق بخشی از استان گلستان به عنوان منطقه مطالعاتی استفاده گردید. هدف این تحقیق تهیه نقشه حساسیت‌پذیری با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک است. در واقع سعی بر این است از سه دسته مدل‌های کارشناسی، دو متغیره و چند متغیره استفاده شده و مدل مناسب برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شود.

## روش بررسی

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد قسمتی از حوزه آبخیز باغ‌سالیان در استان گلستان با مساحتی در حدود ۸۲۰ کیلومتر مربع است. این منطقه بین طول‌های  $30^{\circ} 46' 54''$  تا  $30^{\circ} 16' 55''$  شرقی و عرض‌های  $36^{\circ} 43' 30''$  تا  $37^{\circ} 43' 30''$  شمالی در جنوب استان گلستان واقع شده است. ارتفاع کمینه و بیشینه آن به ترتیب برابر با ۱۷۲ و ۲۹۴۷ متر از سطح دریا بوده و کاربری اراضی منطقه شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مناطق مسکونی است (شکل ۱).

افزایش جمعیت، بالا رفتن سطح زندگی و نیاز به منابع موجب تخریب منابع و محیط‌زیست و افزایش بلایای طبیعی در سال‌های اخیر شده است. بلایای طبیعی به صورت مستقیم و غیرمستقیم روی مسائل اقتصادی و اجتماعی انسان‌ها تأثیرگذار بوده و خسارات ناشی از آن در کشورهای در حال توسعه جدی‌تر است. زمین لغزش از جمله بلایای طبیعی بوده که منجر به خسارات انسانی و اقتصادی زیادی از جمله خسارت به مناطق مسکونی، صنعتی و منابع طبیعی می‌شود (۱). یکی از بلایای طبیعی که در تمام دنیا از جمله ایران رو به افزایش است حرکات توده‌ای و زمین لغزش بوده که بسیاری از مناطق ایران به‌ویژه شمال و غرب در معرض آن قرار دارند. وجود عواملی از قبیل مستعد بودن ناهمواریها از نظر منشأ ساختمانی و دینامیک، قطع درختان و بهره برداری‌های بی‌رویه از جنگل‌ها، رعایت نکردن اصول فنی و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره برداری غیر اصولی از منابع موجب تحریک و افزایش این پدیده شده است (۲). با توجه به تلفات جانی، خسارات مالی و تأثیرات زیست‌محیطی، زمین لغزش یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی در جهان و به‌ویژه در کشورمان بوده که همه ساله در اکثر استانهای کشور موجب خسارت‌های اقتصادی به راهها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج و پالایش نفت و گاز، شبکه شریان‌های حیاتی داخل شهرها، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، سدها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی، جنگل‌ها و مراتع و منابع طبیعی، مزارع و مناطق مسکونی و روستاها گشته و یا آنها را مورد تهدید قرار می‌دهد. بر اساس یک برآورد اولیه، سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق حرکات توده‌ای و زمین لغزش بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیر قابل بازگشت به حساب آورده نشود. شناخت نواحی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

Figure 1. Location of the case study in the Golestan province and Iran

### تهیه نقشه‌ها

یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای وزن‌دهی به هر فاکتور قسمت-هایی که به طور تقریبی از نظر مشخصات دیگر مشابه بوده و فاکتور مورد نظر تغییر می‌کند در نظر گرفته شده و با مشاهده تغییرات این فاکتور و تاثیر آن بر وقوع لغزش‌ها، بر اساس نظر کارشناس با هم مقایسه و یکی از وزن‌های جدول ۱ انتخاب شد که بستگی به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد. سپس نتایج این مقایسات به نرم افزار Expert Choice وارد و در آنجا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه و تمامی عوامل نسبت به هم اولویت‌بندی شد. این نرم‌افزار همچنین ضریب ناسازگاری<sup>۱</sup> را به ما می‌دهد که اگر کمتر از ۰/۱ باشد قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسات انجام می‌شود (۱۵).

نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان جغرافیایی تهیه شده و نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب و شاخص طول شیب با استفاده از آن تهیه گردید. نقشه زمین‌شناسی از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و پس از رقومی شدن، لایه‌های سنگ‌شناسی و گسل از آن استخراج گردید. نقشه‌های شبکه آبراهه و جاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه استخراج و نقشه فاصله از این عوارض در محیط GIS تهیه شد. کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ در سال ۲۰۱۲ به دست آمد. نقشه هم‌باران نیز از مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های استان تهیه گردید. ۷۸ زمین‌لغزش در بازدیدهای زمینی در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه پراکنش آن تهیه گردید. ۵۲ مورد از زمین‌لغزش‌ها برای مدل‌سازی و ۲۶ مورد برای ارزیابی مدل استفاده شد.

### روش AHP

فرآیند تحلیل سلسله (AHP) یک روش نیمه‌کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند (۴). فاکتورهای موثر بر وقوع زمین‌لغزش بر اساس جدول ۱ به صورت زوجی با

1- Inconsistency Ratio

$$\text{Logit}(P) = \frac{1}{1+e} - B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$$

که در آن P احتمال رخداد یک واقعه،  $B_0$  عرض از مبدأ، n تعداد متغیرهای مستقل،  $B_i$  ضرایب هر یک از عوامل و  $X_i$  هر یک از متغیرهای مستقل است. وزن‌های به دست آمده در نقشه‌ها اعمال، نقشه‌های وزنی با هم جمع و در نهایت نقشه حساسیت زمین لغزش به دست آمد. یکی از نکات مهم در استفاده از رگرسیون لجستیک، بررسی هم‌بستگی بین دو متغیر مستقل با یکدیگر است که به این منظور از دو شاخص عامل تورم واریانس<sup>۲</sup> (VIF) و ضریب تحمل<sup>۳</sup> استفاده می‌گردد. ضریب تحمل کم‌تر از ۰/۲ یا ۰/۱ و عامل تورم واریانس ۵ یا بزرگتر از مقدار یادشده نمایان‌گر مسئله هم‌خطی<sup>۴</sup> و ارتباط زیاد بین دو متغیر مستقل است (۱۸).

#### ارزیابی نقشه‌های حساسیت زمین لغزش

نقشه‌های حساسیت بر اساس شکستگی‌های طبیعی<sup>۵</sup> به چهار طبقه (حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم‌بندی گردیدند. جهت ارزیابی تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل یادشده (به ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (۱۹ و ۲۰). آن‌گاه با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)<sup>۶</sup> دقت نقشه‌های تهیه شده بررسی شد (۱۳ و ۲۱). منحنی ROC یکی از مفیدترین روش‌ها بوده که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند. سطح زیر منحنی (AUC)<sup>۷</sup>، بیان‌گر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. چنان‌چه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیرمنحنی برابر با یک داشته باشد بیان‌گر بهترین دقت از نقشه

#### جدول ۱- مقادیر ترجیحات در مدل AHP (۱۶)

Table 1. Preferences of AHP model

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸۰۲،۴،۶	اولویت بین فواصل

مانند روش بالا طبقات هر یک از عوامل نیز نسبت به یکدیگر اولویت‌بندی و وزن‌دهی شد. سپس وزن هر عامل در وزن هر یک از طبقات ضرب و وزن نهایی هر طبقه به دست آمد. وزن‌های به دست آمده در نقشه‌ها اعمال شده و با جمع کردن نقشه‌های وزنی نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه گردید.

#### روش نسبت فراوانی

روش نسبت فراوانی نسبت مناطق لغزشی به مناطق غیر لغزشی را نشان می‌دهد به این صورت که برای هر فاکتور موثر لغزش‌های رخ داده در یک طبقه نسبت به کل لغزش‌های منطقه تقسیم بر نسبت مساحت آن طبقه به کل مساحت منطقه سنجیده می‌شود. با جمع نسبت‌های فراوانی به دست آمده برای تمام طبقات شاخص حساسیت پذیری زمین لغزش<sup>۱</sup> (LSI) به دست می‌آید (۱۳).

#### روش رگرسیون لجستیک

هدف از کاربرد رگرسیون لجستیک بیان ارتباط بین حضور و عدم حضور زمین لغزش (متغیر وابسته) و تعدادی عوامل موثر بر وقوع آن (متغیر مستقل) است. در این مدل، متغیر وابسته جهت بیان حضور و عدم حضور زمین لغزش با یک و صفر کد گذاری شده و سپس بر اساس رابطه ۱ احتمال رخداد یک واقعه تخمین زده می‌شود (۱۷ و ۱۸).

(۱)

- 2- Variance Inflation Factor (VIF)
- 3- Tolerance
- 4- Multi-Collinearity
- 5- Natural Breaks
- 6- Receiver Operating Characteristics
- 7- Area Under Curve

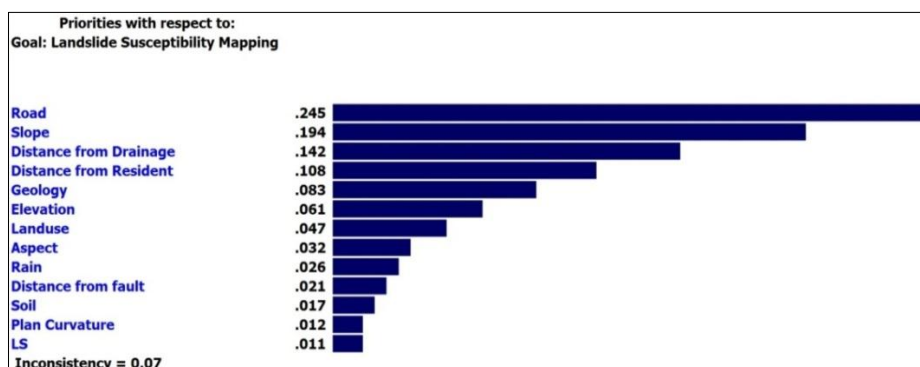
- 1- Landslide Susceptibility Index (LSI)

از جاده، شیب و فاصله از آبراهه به ترتیب بیشترین تاثیر را بر وقوع زمین لغزش داشته‌اند (شکل ۲). همچنین ضریب ناسازگاری ۰/۰۷ به دست آمد که دقت وزندهی را تایید می‌کند (۱۵).

پهنه‌بندی تهیه شده است. تقسیم‌بندی سطح زیر منحنی شامل ۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۷-۰/۸-۰/۶، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف است (۲۱).

#### یافته‌ها

همان‌طور که بیان شد برای اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش از روش AHP استفاده شد. نتایج نشان داد فاصله



شکل ۲- نتایج اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش

Figure 2. Prioritization of landslide conditioning factors

برای سایر عوامل نیز به همین ترتیب وزندهی انجام شده و وزن طبقات به دست آمد که به عنوان نمونه وزن طبقات فاصله از جاده در شکل ۳ نشان داده شده است.

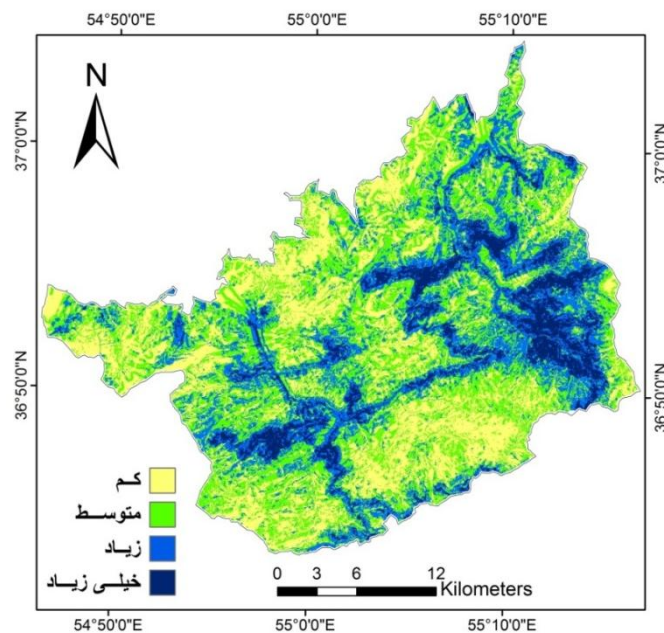


شکل ۳- اولویت‌بندی طبقات فاصله از جاده بر حسب متر

Figure 3. Prioritization of distance from the road

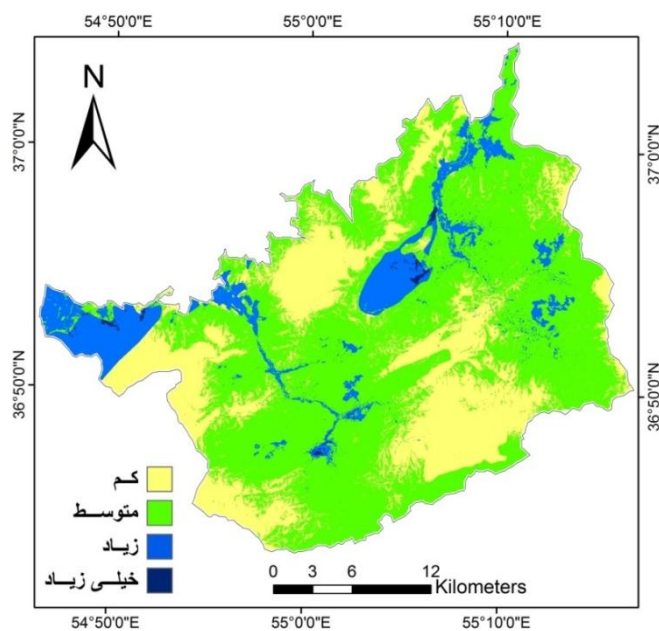
استفاده از روش رگرسیون لجستیک نیز به همین شکل در نقشه‌ها اعمال و نقشه حساسیت تهیه شد که در شکل ۵ نمایش داده شده است.

وزن هر عامل در وزن طبقه‌های آن ضرب و نقشه‌های وزنی تهیه شد. با جمع نقشه‌های وزنی در محیط ArcGIS نقشه نهایی مطابق شکل ۴ تهیه شد. وزن‌های به دست آمده با



شکل ۴- نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش AHP

Figure 4. Landslide susceptibility map using AHP method



شکل ۵- نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک

Figure 5. Landslide susceptibility map using logistic regression method

نظر گرفته شد. جدول ۲ نتایج مربوط به روش نسبت فراوانی را نشان می‌دهد.

برای محاسبه وزن‌ها با استفاده از روش نسبت فراوانی تعداد لغزش در طبقات مختلف عوامل موثر و مساحت هر طبقه در

## جدول ۲- نسبت فراوانی زمین لغزش‌ها

Table 2. Frequency ratio of landslides

عامل موثر	طبقات هر عامل	تعداد لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه	وزن نسبت فراوانی
شیب بر حسب درصد	۰-۵	۱	۲۶۸۳۴۴۰۰	۰/۵۷۶۱
	۵-۱۵	۲	۳۵۶۸۲۸۰	۰/۸۶۶۵
	۱۵-۳۰	۱۱	۱۴۸۳۱۷۲۰۰	۱/۱۴۶۵
	۳۰-۴۵	۱۸	۲۱۶۴۸۱۲۰۰	۱/۲۸۵۴
کاربری اراضی	بیشتر از ۴۵	۲۰	۳۷۶۵۵۴۰۰	۰/۸۲۱۱
	کشاورزی	۴	۴۶۶۶۷۲۰۰	۱/۳۲۵۰
	جنگل	۲۷	۶۲۵۸۶۰۴۰۰	۰/۶۶۶۹
	مرتع	۲۱	۱۲۸۴۴۵۶۰۰	۲/۵۲۷۴
شاخص طول شیب	مسکونی	۰	۲۸۹۶۴۰۰	۰
	۰-۶	۱۰	۱۸۸۴۶۸۸۰۰	۰/۸۲۰۲
	۶-۱۲	۲۵	۲۸۲۲۸۴۰۰۰	۱/۳۶۹۱
	۱۲-۲۰	۱۳	۲۴۵۰۶۶۴۰۰	۱/۸۲۰۱
فاصله از جاده بر حسب متر	بیشتر از ۲۰	۴	۸۸۰۵۰۴۰۰	۰/۷۰۲۳
	۰-۱۰۰	۱۵	۶۳۸۵۵۲۰۰	۳/۶۳۱۴
	۱۰۰-۴۰۰	۲۰	۱۲۶۵۴۲۰۰۰	۲/۴۴۳۳
	۴۰۰-۱۰۰۰	۷	۱۹۴۴۹۴۴۰۰	۰/۵۵۶۴
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۸	۲۳۷۴۱۰۰۰۰	۰/۵۲۰۹
زمین‌شناسی	بیشتر از ۲۰۰۰	۲	۱۸۱۵۶۸۰۰۰	۰/۱۷۰۳
	کربونیفر	۱۳	۲۲۶۶۱۷۲۰۰	۰/۸۸۶۸
	کرتاسه	۵	۱۸۴۸۰۰۰۰	۴/۱۸۲۶
	دوونین	۹	۱۷۹۰۲۱۲۰۰	۰/۷۷۷۲
	ژوراسیک	۱۰	۱۰۲۰۱۰۰۰۰	۱/۵۱۵۴
	پالئوژن	۳	۲۲۰۱۱۶۰۰	۲/۱۰۶۹
	پرمین	۹	۱۲۱۷۳۱۲۰۰	۱/۱۴۲۹
	کواترنری	۱	۸۱۱۳۵۲۰۰	۰/۱۹۰۵
	سیلورین	۰	۱۹۹۰۲۴۰۰	۰
	تریاس	۲	۳۲۹۶۰۸۰۰	۰/۹۳۸۰
فاصله از مناطق مسکونی بر حسب متر	۰-۲۰۰	۵	۱۲۱۴۴۰۰۰	۶/۳۶۴۹
	۲۰۰-۵۰۰	۳	۲۴۰۸۲۰۰۰	۱/۹۲۵۸
	۵۰۰-۱۰۰۰	۹	۶۵۱۳۶۰۰۰	۲/۱۳۶۰
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۸	۱۸۷۵۱۸۰۰۰	۱/۴۸۳۹
	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۷	۳۴۰۹۵۶۰۰۰	۰/۷۷۰۸
	بیشتر از ۴۰۰۰	۰	۱۷۴۰۳۳۶۰۰	۰

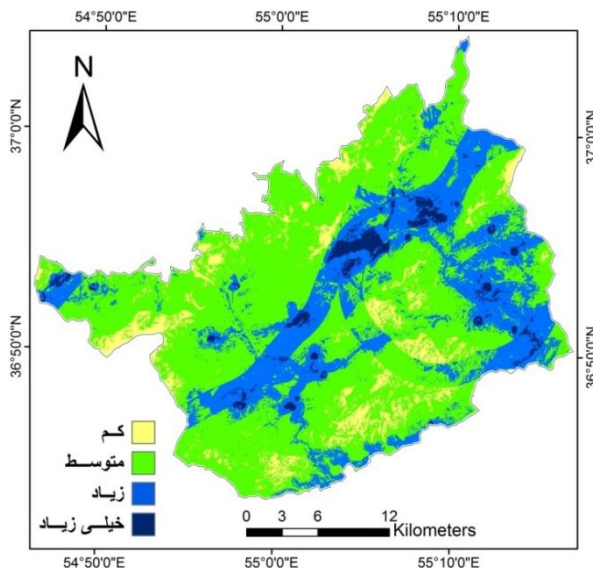


۰/۴۷۸۳	۹۶۹۶۱۶۰۰	۳	۰-۱۰۰۰	فاصله از گسل بر حسب متر
۰/۵۹۲۰	۱۸۲۸۰۲۴۰۰	۷	۱۰۰۰-۳۰۰۰	
۰/۰۸۹۱	۱۷۳۴۷۲۴۰۰	۱	۳۰۰۰-۵۰۰۰	
۳/۲۶۲۶	۱۵۱۶۲۳۶۰۰	۳۲	۵۰۰۰-۷۰۰۰	
۰/۶۹۹۱	۱۹۹۰۰۹۶۰۰	۹	بیشتر از ۷۰۰۰	طبقات ارتفاع
۰/۴۰۰۹	۱۱۵۶۸۱۲۰۰	۳	۰-۵۰۰	
۱/۵۵۰۴	۱۷۹۴۸۱۶۰۰	۱۸	۵۰۰-۱۰۰۰	
۱/۳۸۵۹	۲۳۴۲۵۰۸۰۰	۲۱	۱۰۰۰-۱۵۰۰	
۰/۵۸۴۳	۱۸۵۱۹۸۴۰۰	۷	۱۵۰۰-۲۰۰۰	
۰/۵۱۹۶	۸۹۲۵۷۶۰۰	۳	بیشتر از ۲۰۰۰	فاصله از آبراهه بر حسب متر
۱/۱۸۵۴	۴۴۳۳۸۸۴۰۰	۳۴	۰-۱۰۰	
۰/۹۳۴۵	۲۸۱۲۱۷۲۰۰	۱۷	۱۰۰-۳۰۰	
۰/۲۸۲۸	۵۴۴۷۸۰۰۰	۱	۳۰۰-۵۰۰	
۰	۲۱۶۱۴۴۰۰	۰	۵۰۰-۱۰۰۰	بارش بر حسب میلی متر
۰	۳۱۷۱۶۰۰	۰	بیشتر از ۱۰۰۰	
۱/۳۰۶۴	۶۷۴۰۴۴۰۰	۶	کمتر از ۶۵۹	
۰/۸۸۲۸	۱۵۷۴۳۰۰۰۰	۹	۶۵۹-۶۹۸	
۰/۴۳۷۱	۲۱۲۱۹۳۶۰۰	۶	۶۹۸-۷۳۱	جهت شیب
۱/۳۷۶۱	۳۶۶۸۴۱۶۰۰	۳۱	بیشتر از ۷۳۱	
۱/۵۶۳۵	۳۰۳۶۱۶۰۰۰	۲۲	شمال	
۰/۳۰۹۷	۱۴۹۷۶۰۰۰۰	۳	شرق	
۱/۱۲۰۲	۱۲۸۵۳۶۴۰۰	۱۳	جنوب	شکل شیب
۰/۹۷۵۱	۲۲۱۹۵۷۲۰۰	۱۴	غرب	
۰/۹۸۴۶	۳۷۶۸۲۸۰۰۰	۲۴	مقعر	
۰	۱۶۴۶۹۶۰۰	۰	یکنواخت	
۱/۰۵۴۳	۴۱۰۵۷۲۰۰۰	۲۸	محدب	بافت خاک
۰	۸۳۲۶۸۰۰	۰	رسی	
۰	۷۱۱۳۲۰۰	۰	رسی-لومی	
۰	۱۳۲۷۸۰۰۰	۰	لومی	
۱/۰۳۷۰	۷۷۵۱۵۱۶۰۰	۵۲	سیلتی-رسی-لومی	

مناطق مسکونی، فاصله ۵۰۰۰-۷۰۰۰ متری از گسل، ارتفاع شیب‌های ۳۰-۴۵ و ۱۵-۳۰ به ترتیب بیشترین وزن و در نتیجه بیشترین حساسیت را دارند. همچنین کاربری مرتع و کشاورزی، طول شیب ۲۰-۱۲، فاصله ۱۰۰ متری از جاده، سازندهای مربوط به کرتاسه و پالئوژن، فاصله ۲۰۰ متری از مناطق مسکونی، فاصله ۵۰۰۰-۷۰۰۰ متری از گسل، ارتفاع شیب‌های ۳۰-۴۵ و ۱۵-۳۰، فاصله ۱۰۰ متری از آبراهه، بارش بیشتر از ۷۳۱، جهت جنوبی، شکل شیب محدب و بافت سیلتی-رسی-لومی بیشترین حساسیت را نسبت به وقوع زمین‌لغزش نشان داده‌اند.

نتایج حاصل از نسبت فراوانی برای عامل شیب نشان می‌دهد شیب‌های ۳۰-۴۵ و ۱۵-۳۰ به ترتیب بیشترین وزن و در نتیجه بیشترین حساسیت را دارند. همچنین کاربری مرتع و کشاورزی، طول شیب ۲۰-۱۲، فاصله ۱۰۰ متری از جاده، سازندهای مربوط به کرتاسه و پالئوژن، فاصله ۲۰۰ متری از

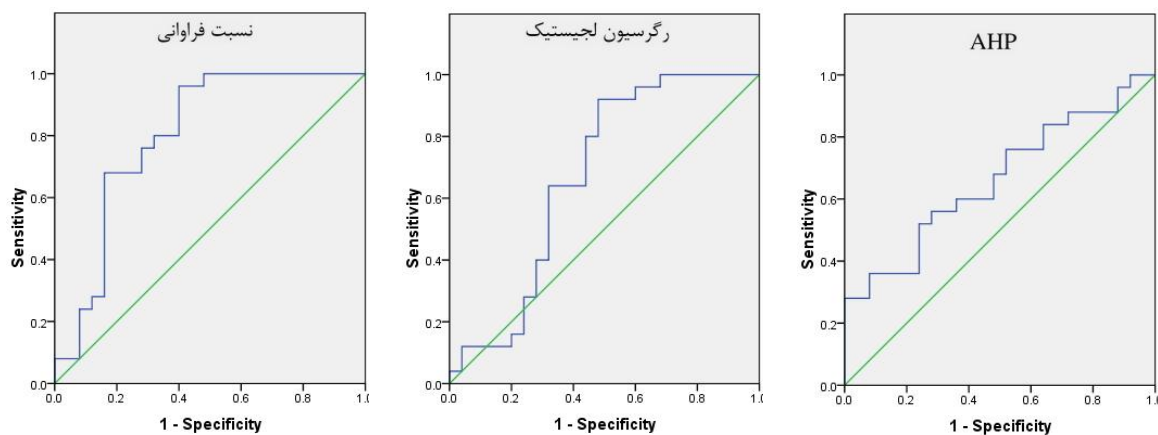
نقشه‌های وزنی تهیه شده با استفاده از روش نسبت فراوانی با هم جمع شده و نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه گردید (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش نسبت فراوانی

Figure 6. Landslide susceptibility map using frequency ratio method

برای ارزیابی مدل منحنی ROC رسم شده (شکل ۷) و سطح AHP، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی به ترتیب برابر با ۰/۶۶، ۰/۶۷ و ۰/۱۸ به دست آمد. زیر منحنی محاسبه شد. میزان سطح زیر منحنی برای روش



شکل ۷- منحنی ROC مدل‌های تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش

Figure 7. ROC curves for landslide susceptibility maps

### بحث و نتیجه‌گیری

نمی‌گردد، لذا در این شیب‌ها زمین لغزش کم است. محققان دیگری نیز به نتایج مشابه مبنی بر وقوع زمین لغزش در شیب‌های متوسط دست یافتند (۲۰، ۲۲، ۲۳ و ۲۴).

نتایج نشان داد بیشتر زمین لغزش‌ها در شیب‌های متوسط رخ داده است. در شیب‌های کم نیروی موثر ثقل برای حرکت کم بوده و در شیب‌های زیاد نیز خاک به اندازه کافی تولید

هوازنگی سنگ در نتیجه پدیده ذوب-انجماد غالب است اما در عوض عمق خاک نسبت به مناطق کم ارتفاع کمتر است. فاصله کمتر از ۱۰۰ متری آبراهه نیز بیشترین میزان حساسیت را نشان داده است. آبراهه‌ها بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردند. محققان دیگری از جمله Yalcin (۵) در ترکیه، Mohammady و همکاران (۱۳) در بخشی از استان گلستان، فاطمی‌عقدا و همکاران (۲۷) در منطقه رودبار نیز به نتایج مشابهی مبنی بر نقش آبراهه بر افزایش زمین‌لغزش اشاره نموده‌اند.

افزایش بارش موجب تولید خاک بیشتر و ضخیم‌تر شده، همچنین زمینه را برای اشباع خاک‌ها فراهم می‌کند. به همین دلیل در منطقه مورد مطالعه طبقه با بیشترین میزان بارش حساسیت بیشتری نسبت به وقوع زمین‌لغزش از خود نشان داده است. مطالعه جهت شیب نشان می‌دهد جهت شمالی بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را از خود نشان داده است. دلیل اصلی آن وجود بادهای باران‌آور شمالی و شمال غربی بوده که موجب دریافت بیشتر رطوبت در این دامنه می‌گردد. بررسی ارتباط شکل شیب و وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد شیب‌های محدب بیشترین حساسیت را دارند. شکل شیب تاثیر به سزایی روی همگرایی و واگرایی جریان انتقالی از بالادست منطقه به پایین‌دست آن را دارد (۲۸). هم‌چنین Pradhan و Lee (۱۷) معتقدند که تکرار اتساع و انقباض دامنه‌های محدب دلیل حساسیت بیش‌تر این نوع دامنه‌ها می‌باشد. در مناطق مختلف دنیا مدل‌های زیادی به منظور بررسی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته که با توجه به شرایط مدل‌های مناسب برای هر منطقه ارائه شده است.

در این تحقیق از سه مدل با مبنای متفاوت برای بررسی حساسیت‌پذیری استفاده شد. مدل AHP از مدل‌های مبتنی بر نظر کارشناسی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل نسبت فراوانی به عنوان مدل دو متغیره ساده و رگرسیون لجستیک از

بررسی ارتباط کاربری اراضی و زمین‌لغزش بیانگر وقوع بیشتر زمین‌لغزش‌ها در اراضی مرتعی و کشاورزی بوده است. مراتع عمدتاً در بخش‌هایی از منطقه قرار گرفته‌اند که دارای خاک ضخیم بوده و شیب نسبتاً زیادی داشته و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم است. قسمت‌هایی از این مراتع نیز تخریب و به کشاورزی تبدیل شده‌اند که با توجه به شرایط خاکی و همچنین دست‌کاری شیب حساسیت به زمین‌لغزش را افزایش داده است.

با افزایش طول شیب از ۲۰-۰ متر میزان زمین‌لغزش افزایش یافته است. به‌طور کلی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که هر چه طول شیب بیش‌تر باشد تجمع آب در بخش‌های پایین شیب بیش‌تر و نهایتاً حساسیت خاک به فرسایش نیز بیش‌تر خواهد بود (۲۱). البته با توجه به شرایط توپوگرافی پیچیده منطقه معمولاً طول شیب‌های خیلی بلند در مناطق با شیب کمتر بوده و به همین دلیل این ارتباط در طول‌های بیش‌تر از ۲۰ متر مشاهده نشده است.

بررسی جاده‌ها نشان داد طبقات ۱۰۰-۰ و ۴۰۰-۱۰۰ به ترتیب بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را از خود نشان داده‌اند. معمولاً احداث جاده‌ها به‌ویژه در صورتی که اصول جاده‌سازی رعایت نشود وضعیت طبیعی دامنه را به هم می‌زند. این موضوع باعث افزایش فشار بر بخش پایین جاده شده و منجر به افزایش زمین‌لغزش در اطراف جاده‌ها می‌گردد. محققان دیگری نیز به نتایج مشابه مبنی بر نقش جاده‌ها بر وقوع زمین‌لغزش اشاره نموده‌اند (۷، ۱۱ و ۲۵).

معمولاً در اطراف مناطق مسکونی دست‌کاری در حالت طبیعی زمین بیش‌تر بوده و وقوع زمین‌لغزش نیز افزایش می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه نیز وزن فاصله کمتر از ۲۰۰ متری مناطق مسکونی بسیار بیش‌تر از بقیه طبقات به‌دست آمد. بررسی ارتباط ارتفاع و زمین‌لغزش نشان داد حساسترین مناطق ارتفاع ۱۵۰۰-۵۰۰ است.

به‌طور کلی با افزایش ارتفاع میزان زمین‌لغزش بیش‌تر می‌شود، اما این روند تا جایی ادامه داشته و سپس عکس می‌شود. Dai و Lee (۲۶) معتقدند علی‌رغم آن‌که در ارتفاعات بالا فرآیند

- comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, Vol. 81, pp. 432–445.
5. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations, *Catena*, Vol. 72, pp. 1–12.
  6. Hasekiogullari, G.D., Ercanoglu, M., 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*, Vol. 63(2), pp. 1157–1179.
  7. Demir, G., Aytekin, M., Akgun, A., Ikizler, S.B., Tatar, O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, *Natural Hazards*, Vol. 65(3), pp. 1481–1506.
  8. Ohlmacher, G.C. Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA, *Engineering Geology*, Vol. 69, pp. 331–343.
  9. Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS – based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, central Japan, *Geomorphology*, Vol. 65, pp. 15–31.
  10. Hosseinzadeh M.M., Sarvati M.R., Mansori A., Mirbaghari B., Khazri S. 2009. Zoning the risk of mass movement occurrences using logistic regression model, case study in vicinity of Sanandaj-Dehgolan road.
- انواع مدل‌های چندمتغیره مورد استفاده قرار گرفت. مدل نسبت فراوانی با وجود سادگی فرآیند دقت بسیار بیشتری از مدل‌های دیگر داشته و در مناطق مشابه با منطقه مورد مطالعه قابل استفاده خواهد بود. محققان دیگری از جمله Demir و همکاران (۷)، Mohammady و همکاران (۱۳) و Pourtaghi و Pourghasemi (۲۹) نیز به دقت مدل نسبت فراوانی اشاره نموده‌اند.
- به طور کلی منطقه مورد مطالعه پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش داشته و در صورت عدم مدیریت، شاهد افزایش زمین‌لغزش‌ها نیز خواهیم بود. یکی از مهمترین اقدامات در مدیریت زمین‌لغزش تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش بوده که باعث شناخت مناطق حساس می‌شود. شناسایی مناطق حساس کمک می‌کند تا حد امکان از تغییرات حالت طبیعی این مناطق جلوگیری نموده و باعث تحریک این مناطق نشویم.

## References

1. Glade, T., 1997. Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand, *Environmental Geology*, Vol. 35, pp. 160–174.
2. S. Shadfar, M., Yamani, M., Namaki, M., 2011. Zoning land slide hazard by Information Value Method (IVM), Density Area (DA) and Landslide Numerical Risk Factor (LNRF) model in Chalkrood. *J. Watershed Manage. Eng*: 3(1): 40–47. (In Persian)
3. Barredo, J.I., Benavides, A., Herh, J., Van Westen, C.J., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain, *International Journal Applied Earth Observation*, Vol. 2, pp. 9–23.
4. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with

- Method, Environmental Earth Science, Vol. 59, pp. 745–756
17. Pradhan, B., Lee, S., 2010. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. Environmental Earth Sciences, Vol. 60, pp. 1037–1054.
  18. O'Brien, R.M., 2007. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors, Quality and Quantity, Vol. 41(5), pp. 673–690
  19. Pradhan, B., Buchroithner, M.F., 2010. Comparison and validation of landslide susceptibility maps using an artificial neural network model for three test areas in Malaysia. Environment Engineering and Geoscience, Vol. 16(2), pp. 107–126
  20. Pourghasemi, H.R., Gokceoglu, C., Pradhan, B., Deylami Moezzi, K., 2012. Landslide susceptibility mapping using a spatial multi criteria evaluation model at Haraz Watershed, Iran. B. Pradhan and M. Buchroithner (eds.), Terrigenous Mass Movements, 23-49. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
  21. Yesilnacar, E.K., 2005. The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne, pp. 423
  22. Feyznia, S., Ahmadi, H., Hassanzadeh Nafuti, M. 2001. Landslide hazard zonation in Shalmanrood basin in Gilan Province. Iranian Journal of natural resources, 54(3): 207-219. (In Persian)
  23. Fatemi Aghda, S.M., Ghayoumian, J., Ashghali Faraahani, A. 2003. Iranian Journal of geology, 3(11): 27-37. (In Persian)
  11. Bai, S.B., Wang, J., Lü, G., Zhou, P., Hou, S.S., Xu, S.N., 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, Geomorphology, Vol. 115, pp. 23–31.
  12. Kavzoglu, T., Sahin, E.K., Colkesen, I., 2013. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. Landslides. doi:10.1007/s10346-013-0391-7.
  13. Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights of evidence models. Journal Asian Earth Science, Vol. 61, pp. 221–236.
  14. Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., Sattarian, A., 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran, International Journal of Environmental Science and Technology, DOI: 10.1007/s13762-013-0464-0
  15. Ghodsipour, SH., 2005. Analytical Hierarchy process (AHP), Amirkabir University of technology publication. 222 p. (In Persian)
  16. Kincal, C., Akgun, A., Yalcin Koca, M., 2009. Landslide susceptibility assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression

- Hong Kong, *Geomorphology*, Vol. 42 (3/4): 213-228
27. Fatemi Aghda, S.M., Ghayoumian, J., Teshnehlab, M., Ashghali Faraahani, A. 2005. Landslide hazard zonation using fuzzy logic, case study Rudbar area, *Journal of sciences*. 31(1): 43-64. (In Persian)
28. Oh, H.J., Pradhan, B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computer and Geoscience*, Vol. 37(9), pp. 1264–1276
29. Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran, *Hydrogeology*, DOI: 10.1007/s10040-013-1089-6.
- Evaluation of statistical methods in landslide hazard analysis. 11(47-48): 28- 47. (In Persian)
24. Chau, K.T., Chan, J.E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island, *Landslides*, Vol. 2, pp. 280-290
25. Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R., Althuwaynee, O.F., 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya, *Natural Hazards*, Vol. 65, pp. 135–165
26. Dai, F.C., Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island,