

## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی اسکل‌آباد فاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی

جعفر رهنما<sup>راد\*</sup>، ممدمسن یادگار<sup>رائی<sup>۱</sup></sup> و عباس کنگی<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان jrahnama@appliedgeology.ir, mhy.1969@yahoo.com

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود kangiabas@hotmail.com

\* عهده‌دار مکاتبات

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱۰؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۸۹/۶/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۵؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۴/۳۰

### مکیده

در این تحقیق با استفاده از تکنیک تفسیر عکس‌های هوایی و براساس مشاهدات میدانی و تکمیل فرم مشخصات، تعداد ۷۶۱ مورد انواع ناپایداری دامنه‌ای، در منطقه‌ی اسکل‌آباد شهرستان خاش شناسایی و بعد از اصلاح و تأیید نهایی، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقوم شدند. در ادامه، براساس دوازده معیار مؤثر بر زمین‌لغزش شامل: ۱- مقدار شیب، ۲- جهت شیب، ۳- شکل طولی شیب، ۴- نقشه هیپسومتریک یا طبقات ارتفاعی (elevation class)، ۵- فاصله از رودخانه، ۶- تراکم رودخانه، ۷- فاصله از راه، ۸- متوسط بارندگی سالیانه، ۹- حداکثر بارش ۲۴ ساعته، ۱۰- سنگ‌شناسی، ۱۱- کاربری اراضی و ۱۲- پوشش گیاهی و با تهیه نقشه‌ی هر یک از عوامل و تلفیق آن‌ها با نقشه‌ی زمین‌لغزش‌ها و با استفاده از امکانات نرم‌افزار آرک جی آی اس (ARC GIS) و روش آماری دو متغیره (ارزش اطلاعاتی)، نقشه‌ی پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش تهیه گردید. براساس نقشه‌ی پهنه‌بندی به دست آمده، حدود ۱۷/۳۷ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر بسیار کم، ۲۷/۹۸ درصد در پهنه‌ی خطر کم، ۲۸/۹۶ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط، ۱۴/۹۹ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد و ۱۰/۶۹ درصد در پهنه‌ی خطر بسیار زیاد، قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از تلفیق (integration) نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش با نقشه‌ی پهنه‌بندی، نشان می‌دهد که تنها ۲/۱۳ درصد از موارد مشاهده شده‌ی زمین‌لغزش‌ها، براساس مشاهدات میدانی در پهنه‌بندی، به غلط در پهنه‌ی با خطر بسیار کم قرار گرفته‌اند، ۱۱/۲۵ درصد در طبقه خطر کم، ۲۵/۶۲ درصد در طبقه خطر متوسط و ۶۱ درصد موارد مشاهده شده به درستی در پهنه‌ی خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند؛ که خود نشان دهنده‌ی دقت بالای این روش است. علاوه بر این برای ارزیابی و صحت‌یابی نتایج، از شاخص نسبت دانسیته (Density ratio) استفاده گردید که مقادیر آن برای طبقه‌های خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۳، ۰/۸۷ و ۲/۳۱ به دست آمد. نتایج در مجموع بیانگر موفقیت روش آماری دو متغیره (ارزش اطلاعاتی) در پیش‌بینی خطر رانش زمین در این منطقه است.

**واژه‌های کلیدی:** حرکت‌های توده‌ای، پراکنش زمین‌لغزش، ارزش اطلاعاتی، آماری دو متغیره، شاخص نسبت دانسیته.

### ۱- مقدمه

به کوهستانی جوان با شیب تند تبدیل کرده است (Tirrul et al. 1983, Berberian et al. 2000). رخدادهای طبیعی به‌ویژه ریزش‌های دامنه‌ای، فعالیت‌هایی برای رسیدن به تعادل ایزوستازی در این آتشفشان نیمه‌فعال می‌باشند (Farhoudi & Poll 1992, Farhoudi & Karig 1977).

منطقه‌ی مورد مطالعه به عنوان بخشی از این کوهستان باتوجه به خصوصیات چون شیب زیاد، لیتولوژی و شرایط اقلیمی، جزء نواحی

شناخت نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش‌ها و حرکت‌های توده‌ای، یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای است (Anbalagan 1992). حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها، تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند (Sarkar et al. 1995). فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران از دوره‌ی تریشاری تاکنون، به همراه خروج مواد مذاب، تفتان را

جزئی از زون فلیش شرق ایران (نهبندان - خاش) می‌باشد (افتخارنژاد ۱۳۵۹، Camp et al. 1982). زون فلیش، طی فازهای مهم تغییر شکل و ماگماتیسم از کرتاسه تا هولوسن و تحت تأثیر رخداد‌های کوه‌زایی آلپی به شکل امروزی درآمده است (درویش‌زاده ۱۳۸۰، Berberian et al. 2000). این زون به وسیله‌ی توده‌های نفوذی قطع شده و آتش‌فشانی‌های کواترنر و آذرآواری‌های مربوطه بر روی آن قرار گرفته‌اند (اشتوکلین و همکاران ۱۳۵۲).

### ۳- مواد و روش‌ها

در انجام این تحقیق از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، تصویر ماهواره‌ای ای‌تی‌ام پلاس (ETM+) (Enhanced Thematic Mapper) سال ۲۰۰۲ مرکز سنجش از دور کشور و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، استفاده شده است. همچنین در این پژوهش، از استریوسکوپ آئینه‌دار جیبی و رومیزی، سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS, Global Position System)، نوع گارمین سی‌اس‌ایکس ۷۶ (Csx 76)، نرم‌افزار آرک جی آی اس (ARC GIS) و مجموعه‌ی منابع اطلاعات علمی در زمینه‌های آب و هوا، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و یافته‌های مطالعاتی و پژوهشی در رابطه با موضوع تحقیق استفاده گردید.

علی‌رغم تحقیقات و مطالعات بسیار زیاد انجام گرفته در کشور، تاکنون مطالعه‌ی جامع و یا حتی مختصری از نظر عوامل ایجاد زمین‌لغزش‌ها و یا پهنه‌بندی در استان و منطقه‌ی مورد مطالعه صورت نگرفته است. در این پژوهش، از روش آماری دو متغیره (ارزش اطلاعاتی، information value) استفاده شده است، (Van Westen & Soeters 1998). در این روش، رخداد رانش زمین به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل ذاتی و محیطی به عنوان متغیرهای مستقل تلقی می‌شوند و میزان اثر هر یک از عوامل مؤثر در وقوع رانش زمین، مستقل از دیگر عوامل ارزیابی می‌گردد. تحلیل نهایی پتانسیل ناپایداری برای هر واحد از منطقه، براساس مجموع اثر کلیه‌ی عوامل در آن واحد انجام می‌شود (میرصانعی و مهدوی‌فر ۱۳۸۵). سپس وزن‌های واقعی هر رده از لایه‌های اطلاعاتی و ارزش اطلاعاتی هر واحد، به واسطه‌ی جمع مقادیر ارزش برای عوامل مختلف آن لایه‌ی اطلاعاتی محاسبه می‌گردد. ارزش اطلاعاتی عوامل مختلف، از تقسیم درصد سطحی لغزشی پارامتر به درصد سطحی لغزشی متوسط منطقه و محاسبه لگاریتم طبیعی (Ln) آن نسبت به دست می‌آید. عدد حاصله را ارزش اطلاعاتی تراکم لغزش‌ها می‌نامند (Yan & Yin 1988).

سابقه‌ی استفاده از روش‌های آماری جهت پیش‌بینی خطر ناپایداری

برخطر تلقی می‌شود. ظرفیت‌های بالقوه و استعداد‌های طبیعی موجود در منطقه به لحاظ نیاز ساکنان به فعالیت‌های توسعه‌ای مانند؛ جاده‌سازی، بهره‌برداری از معادن، کشاورزی و سایر فعالیت‌های عمرانی به‌ویژه در مناطق مستعد به زمین‌لغزش، اثرات زیانباری چون وقوع انواع حرکات توده‌ای را موجب گردیده است.

از آنجایی که زمین‌لغزش‌ها، به نسبت سایر بلایای طبیعی، پدیده‌هایی مدیریت‌پذیر به حساب می‌آیند لذا، شناخت مکانیسم وقوع و ارائه‌ی هشدار و ساز و کارهای احتراز از حادث شدن این بلایا، بخشی از برنامه‌های توسعه قلمداد می‌گردد (Crozier 1999).

با یادآوری این اصل که "گذشته کلیدی برای آینده است"، بررسی زمین‌لغزش‌های موجود و شرایط رخداد آن‌ها، خصوصیات منطقه و میزان تأثیر عوامل مختلف در وقوع زمین‌لغزش، می‌تواند به عنوان کلیدی برای مقایسه و بررسی احتمال وقوع آن‌ها در شرایط مشابه به حساب آید (میرصانعی و مهدوی‌فر ۱۳۸۵). از سوی دیگر احتراز و دوری جستن از تبعات بلایای طبیعی زمانی میسر خواهد بود که درک صحیحی از این بلایا صورت پذیرد.

تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به منظور شناسایی دامنه‌های ناپایدار و پایدار انجام می‌پذیرد. شناسایی مناطق امن برای توسعه‌ی سکونتگاه‌های جدید، راه‌سازی، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها و نظایر آن در مقیاس‌های منطقه‌ای و یا تفصیلی بسیار با اهمیت می‌باشد. در این پژوهش برای اولین بار به شناسایی، ترسیم و ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای نواحی مستعد اسکل‌آباد پرداخته شده است.

### ۷- ویژگی‌های اجمالی منطقه‌ی مطالعاتی

محدوده‌ی مورد مطالعه، برگ اسکل‌آباد از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، به وسعت تقریبی ۶۷۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۳۲۲ متر از سطح دریا، در غرب قلّه‌ی تفتان قرار دارد. از نظر تقسیمات سیاسی جزو استان سیستان و بلوچستان و بخشی از شهرستان خاش می‌باشد. این منطقه در حد فاصل طول‌های ۶۰°۴۵' تا ۶۱°۰۰' شرقی و ۲۸°۳۰' تا ۲۸°۴۵' شمالی، با حداکثر ارتفاع ۳۰۶۷ متر از سطح دریا در کوه ریزوک و حداقل ارتفاع ۱۵۷۷ متر در محل خروجی حوزه‌ی رودخانه گزانتیر، واقع گردیده است (تصویر ۱). منطقه تفتان، تحت تأثیر سیستم‌های باران‌زای کم‌فشار مدیترانه‌ای و همچنین رژیم تابستانی جنوب‌شرق کشور قرار دارد. شدت این جریانات از شرق به غرب کاهش می‌یابد و عموماً از نوع ناپایدار همراه با رعد و برق می‌باشد (سلیقه و همکاران ۱۳۸۷).

منطقه‌ی مطالعاتی، بخشی از ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نوک‌آباد و

در گام بعدی، متغیرهای مستقل شامل؛ ۱- مقدار شیب، ۲- جهت شیب، ۳- شکل طولی شیب، ۴- نقشه هیپسومتریک یا طبقات ارتفاعی (elevation class)، ۵- فاصله از رودخانه، ۶- تراکم رودخانه، ۷- فاصله از راه، ۸- متوسط بارندگی سالیانه، ۹- حداکثر بارش ۲۴ ساعته، ۱۰- سنگ‌شناسی، ۱۱- کاربری اراضی و ۱۲- پوشش گیاهی، طبقه‌بندی گردیدند. در ادامه نقشه‌ی هر یک از عوامل تهیه و با نقشه‌ی زمین‌لغزش‌ها تلفیق داده شد. در نهایت با استفاده از امکانات نرم-افزار آرک جی آی اس و روش آماری دو متغیره (ارزش اطلاعاتی)، نقشه‌ی پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش، تهیه گردید.

#### ۴- عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها

##### ۴-۱- شیب

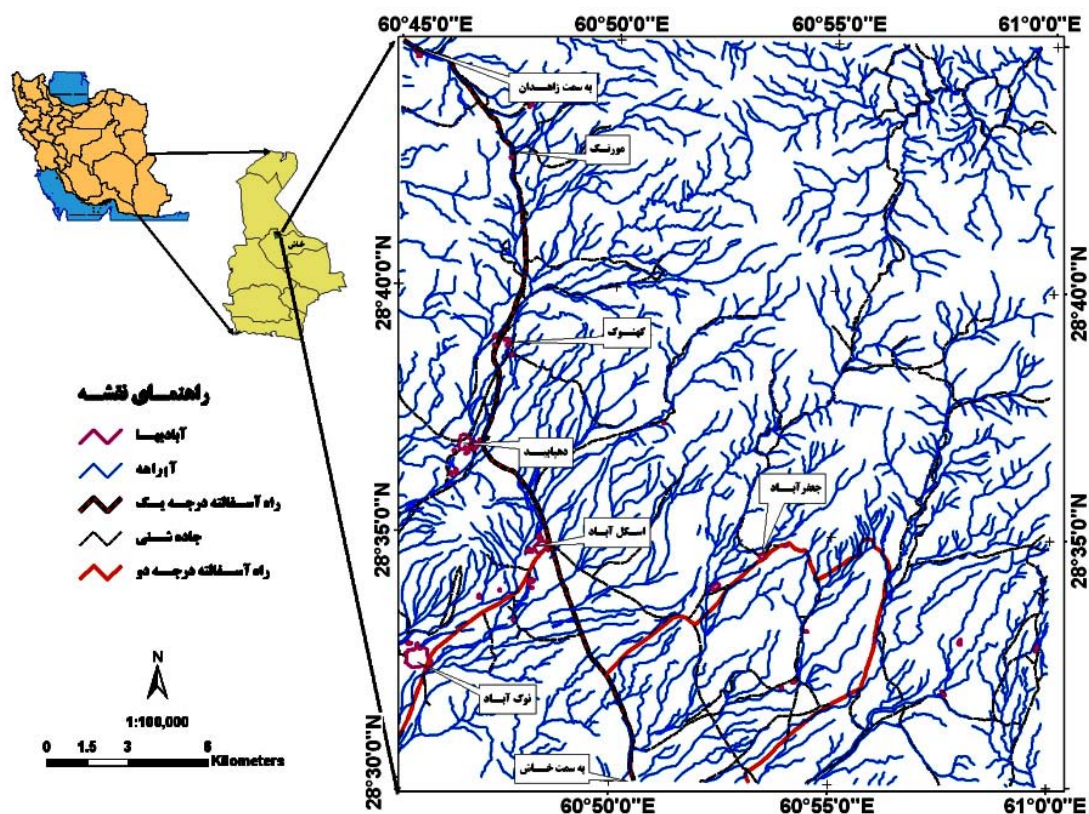
به لحاظ تئوری، همواره با افزایش شیب دامنه، تنش برشی افزایش می‌یابد و به تبع آن انتظار می‌رود پتانسیل ناپایداری شیب نیز افزایش یابد (Dai & Lee 2002).

برای تهیه‌ی نقشه‌ی شیب، از نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model) و از امکانات نرم‌افزار آرک جی آی اس استفاده شده و نهایتاً این نقشه در شش طبقه تهیه گردید (تصویر ۳ و جدول ۱).

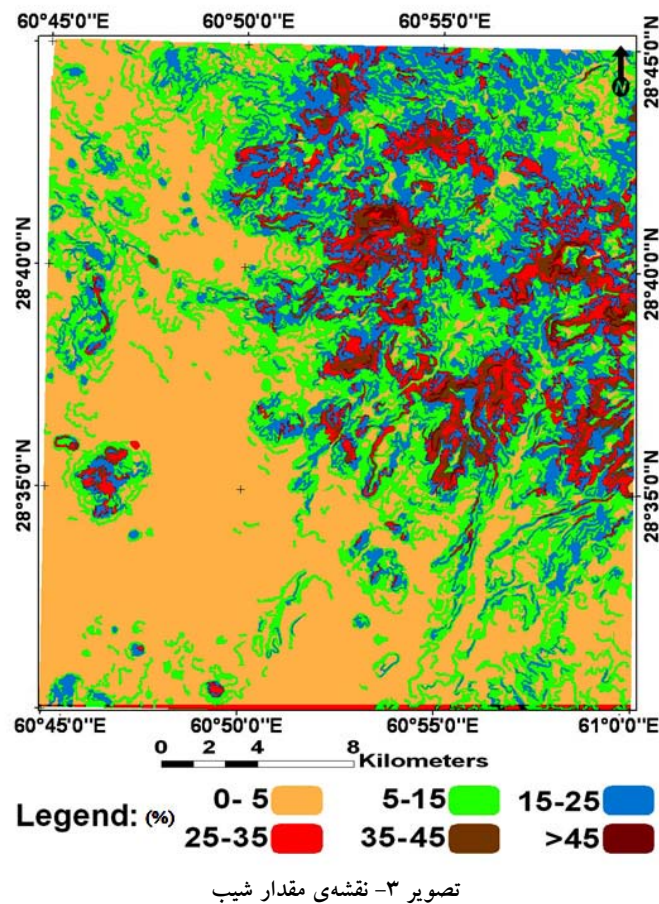
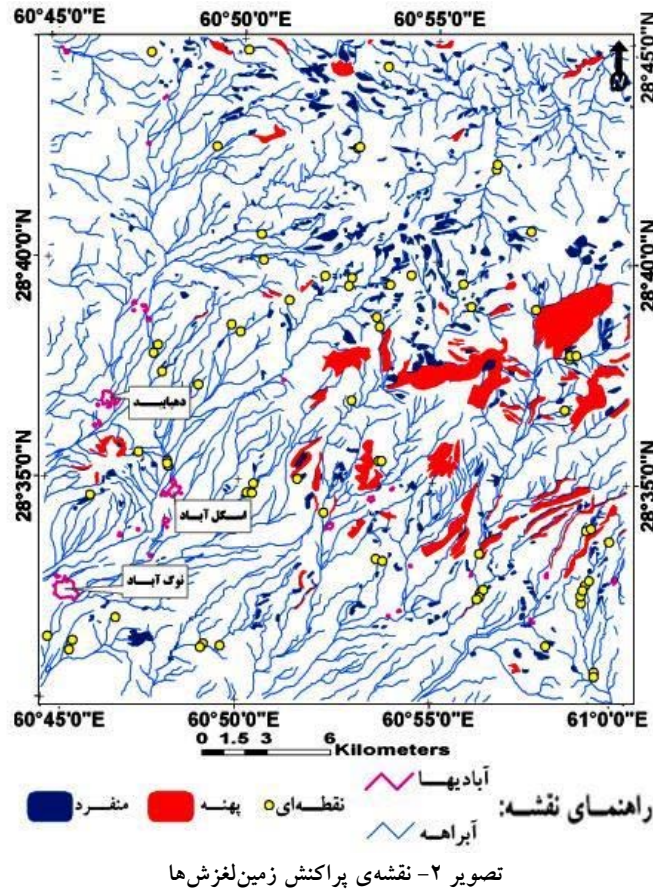
شیب‌ها در دنیا، عموماً از دهه‌ی ۱۹۹۰ به بعد می‌باشد. از نمونه کارهای علمی-تحقیقاتی انجام شده در این رابطه می‌توان به مواردی مانند حق‌شناس (۱۳۷۴)، پژم (۱۳۷۵)، بداغی (۱۳۷۶)، کھی میانجی (۱۳۷۷)، نیک‌اندیش (۱۳۷۸)، سیارپور (۱۳۷۸)، سعدالدین (۱۳۷۳)، اشقلی فراهانی (۱۳۸۰)، جلالی (۱۳۸۱)، سفیدگری (۱۳۸۱)، شیرانی (۱۳۸۲)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۴)، متکان و همکاران (۱۳۸۸)، Van Westen et al. 2000, Guzzeti et al. 1991, Carrara et al. 1997, Sara & Kyungduck 2001, Ercangla & Cokceoglu 2002 اشاره نمود.

در بسیاری از این منابع، کارایی روش‌های آماری دو متغیره را نسبت به دیگر روش‌ها، مطلوب ارزیابی نموده‌اند. از جمله این موارد نیک‌اندیش (۱۳۷۸) در قالب تز دکتری، روش آنالیز آماری دو متغیره را مناسب‌تر از دیگر روش‌ها ارزیابی نمود. شیرانی و همکاران (۱۳۸۴) نیز در آزمون روش‌های آماری در بین روش‌های مورد آزمون، به نتایج مشابهی دست یافتند (شریعت جعفری و غیومیان ۱۳۸۶).

در این تحقیق، پس از این که متغیرهای مستقل تأثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش مورد شناسایی قرار گرفتند؛ با بررسی‌های میدانی و مطالعه‌ی ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی، اقدام به پر کردن فرم مشخصات زمین‌لغزش‌ها و در نهایت تهیه‌ی لایه‌ی اطلاعاتی پراکنش زمین‌لغزش‌ها گردید (تصویر ۲).



تصویر ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان و کشور



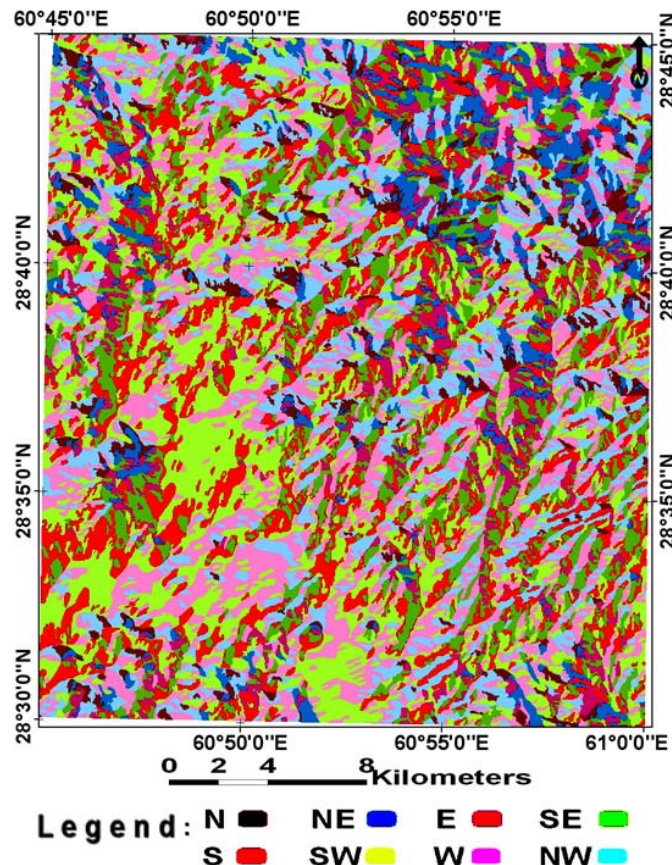
جدول ۱- تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف، متغیّر مقدار شیب

ردیف	کلاس شیب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	0 - 5	28800.93	42.46	506.40	1.76
2	5-15	18540.52	27.33	1366.16	7.37
3	15- 25	13282.38	19.58	1529.79	11.52
4	25- 35	5076.49	7.48	1015.74	20.01
5	35- 45	1829.52	2.70	594.75	32.51
6	>45	302.64	0.45	111.89	36.97
	جمع	67832.48	100	5124.73	110.13

#### ۴-۲- جهت شیب

شرقی، شرق، جنوب‌شرقی، جنوب، جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب استفاده گردید (تصویر ۴).  
جدول درصد سطح ناپایداری در جهات مختلف شیب نیز تهیه شد. این جدول نشان می‌دهد؛ در جهت شمال که صرفاً ۴ درصد از مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد، میزان ۱۶ درصد آن دچار لغزش شده است. سطوح لغزشی، در جهت شمال‌غرب با ۱۴ درصد مساحت منطقه و شمال‌شرق با ۷ درصد به ترتیب ۱۳ و ۹ درصد آن‌ها را تشکیل داده است (جدول ۲).

میان توزیع فراوانی ناپایداری‌های دامنه‌ای و جهت شیب دامنه، ارتباط معنی‌داری برقرار است؛ به نحوی که تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای در دامنه‌های شمالی (پشت به آفتاب) افزایش و در دامنه‌های جنوبی (رو به آفتاب) کاهش می‌یابد (معماریان و سیارپور ۱۳۸۵).  
نقشه‌ی جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی و با استفاده از امکانات نرم‌افزار آرک جی آی اس تهیه شد. همچنین جهت طبقه‌بندی از روش هشت جهتی؛ شمال، شمال-



تصویر ۴- نقشه‌ی جهت شیب منطقه مورد مطالعه (تهیه شده با استفاده از نقشه‌ی رقومی ارتفاعی و امکانات نرم‌افزار آرک جی آی اس).

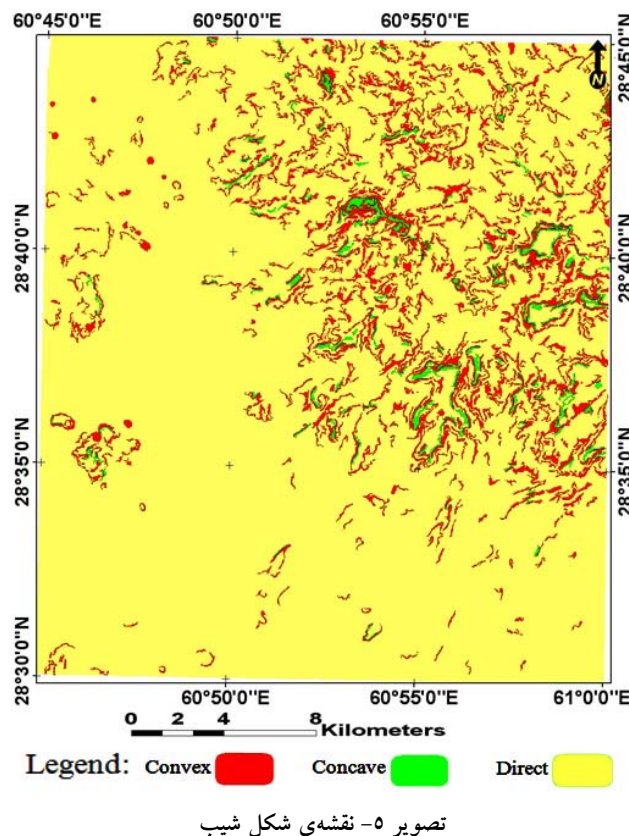
### ۳-۴- شکل طولی شیب

### ۴-۴- نقشه‌ی هیپسومتری

یکی از لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر زمین- لغزش، شکل دامنه از نظر محدب، مقعر، مستقیم و موج بودن می‌باشد. جهت تهیه‌ی این لایه‌ی اطلاعاتی، از نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی منطقه استفاده گردید. سپس با طبقه‌بندی لازم بر روی نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی و با استفاده از امکانات نرم‌افزار آرک جی آی اس، این لایه‌ی اطلاعاتی برای منطقه‌ی مطالعاتی تهیه گردید (تصویر ۵ و جدول ۳).

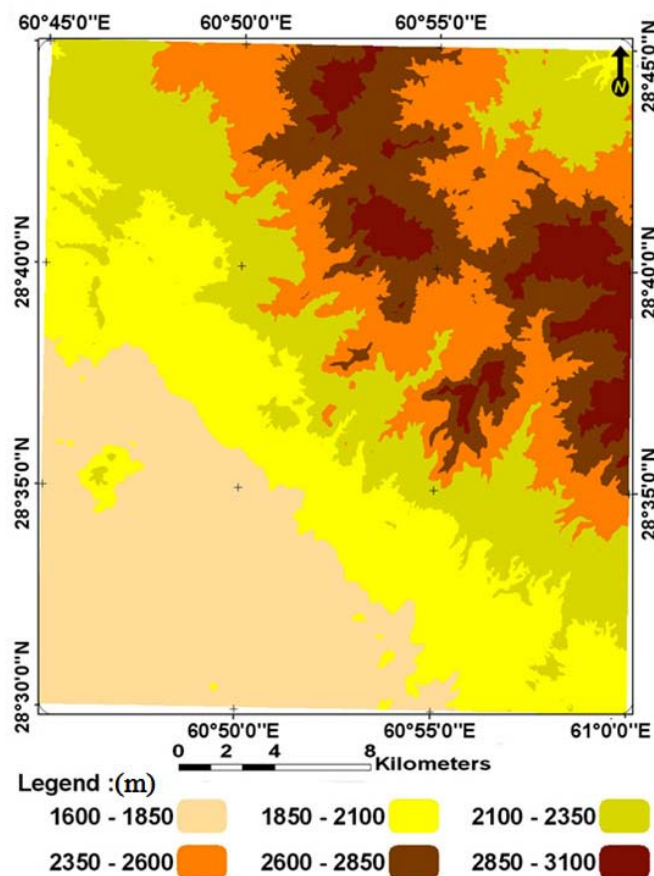
جدول ۲- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر جهات شیب

ردیف	جهت شیب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش یافته
1	N	2644.09	3.90	429.91	16.26
2	NE	4511.51	6.65	406.10	9.00
3	E	4858.41	7.16	353.47	7.28
4	SE	8528.90	12.57	642.25	7.53
5	S	10921.07	16.10	562.74	5.15
6	SW	14372.20	21.19	602.77	4.19
7	W	12367.82	18.23	872.55	7.06
8	NW	9628.99	14.20	1231.79	12.79
	جمع	67833	100	5101.59	69.26



جدول ۳- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر شکل شیب

ردیف	کلاس شکل شیب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	محدب	946.89	1.40	258.30	27.28
2	مستقیم	60602.98	89.34	3697.07	6.10
3	مقعر	6283.13	9.26	1169.34	18.61
	جمع	67833	100	5124.70	51.99



تصویر ۶- نقشه‌ی طبقات ارتفاعی

جدول ۴- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر طبقات ارتفاعی

ردیف	کلاس ارتفاعی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	1600 - 1850	16090.85	23.72	215.39	1.34
2	1850 - 2100	14441.06	21.29	678.64	4.70
3	2100 - 2350	14333.75	21.13	857.98	5.99
4	2350 - 2600	11503.32	16.96	1246.39	10.84
5	2600 - 2850	8145.12	12.01	1306.41	16.04
6	2850 - 3100	3318.80	4.89	819.98	24.71
	جمع	67832.91	100	5124.79	63.61

#### ۴-۵- فاصله از رودخانه

به منظور تعیین اثر فاصله رودخانه در ناپایداری دامنه‌ها، کلیه‌ی آبراهه‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه، از روی نقشه‌ی توپوگرافی رقومی شدند.

در ادامه جدول درصد سطوح ناپایداری در طبقه‌های مختلف فاصله از رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تهیه شد و نشان داد که با افزایش فاصله از رودخانه و آبراهه، درصد سطوح ناپایدار کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد، به طوری که ۸۷ درصد ناپایداری‌ها در فاصله‌ی کمتر از یک‌صد متری رودخانه‌ها و آبراهه‌ها اتفاق افتاده‌اند.

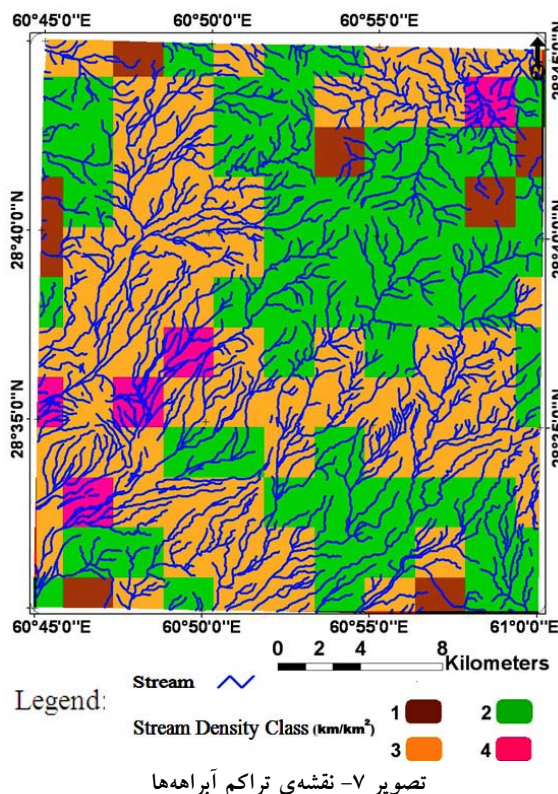
وجود ۴۴۶۷ هکتار سطوح ناپایدار (از مجموع ۵۱۲۵ هکتار) در طبقه ۰-۱۰۰ متر، مؤید ارتباط مؤثر متغیر فاصله از رودخانه با پدیده‌ی زمین‌لغزش‌ها می‌باشد (جدول ۵).

#### ۴-۶- تراکم رودخانه

به طور کلی رودخانه‌ها به دلیل شرایط مورفولوژیکی و شکل طبیعی، کانال‌های طبیعی هدایت آب می‌باشند. هرچه میزان نفوذپذیری بالا باشد تراکم رودخانه کمتر و برعکس، بالا بودن میزان تراکم رودخانه نشان‌دهنده‌ی میزان نفوذپذیری پایین است (حائری و سمیعی ۱۳۷۶). برای تعیین اثر تراکم رودخانه در ناپایداری دامنه‌ها، کلیه‌ی آبراهه‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه از روی نقشه‌های توپوگرافی رقومی شدند (تصویر ۶). همچنین جدول درصد سطوح ناپایدار در طبقه‌های مختلف تراکم رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تهیه شد. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش تراکم رودخانه تا میزان سه کیلومتر بر کیلومتر مربع ( $3 \text{ km/km}^2$ )، درصد ناپایداری افزایش می‌یابد (تصویر ۷ و جدول ۶).

جدول ۵- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر فاصله از رودخانه

ردیف	کلاس فاصله از رودخانه (متر)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش یافته
1	0-100	25783.1	38.01	4466.7	17.32
2	100-200	19409	28.61	387.2	1.99
3	200-300	11718.4	17.28	126.83	1.08
4	300-400	6071.5	8.95	89.8	1.48
5	>400	4851	7.15	54.13	1.12
	جمع	67833	100	5124.66	23





جدول ۶- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر تراکم رودخانه

ردیف	کلاس تراکم رودخانه (km/km <sup>2</sup> )	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	< 1	3295.6	4.86	116.80	3.54
2	1 - 2	29440	43.40	2929.70	9.95
3	2 - 3	32393	47.75	2054.60	6.34
4	> 3	2704.4	3.99	23.60	0.87
	جمع	67833	100	5124.70	20.71

#### ۴-۷- فاصله از راه

اثر عامل فاصله از راه، از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه‌ی مطالعاتی و با رقومی نمودن تمامی راه‌ها به‌دست آمد (تصویر ۸ و جدول ۷). نتایج این پژوهش نشان داد که وجود راه در فاصله‌ی ۲۰۰-۰ متر، نقش به‌سزایی در وقوع زمین‌لغزش‌ها دارد. وقوع ۱۹۱۱/۵ هکتار زمین‌لغزش، معادل ۳۷ درصد کل ناپایداری‌ها در طبقه‌ای که تنها ۱۸ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود، مبین این موضوع می‌باشد. همچنین با توجه به جدول ۳، با فاصله گرفتن از مرکز جاده، تراکم زمین‌لغزش‌ها کاهش می‌یابد که این موضوع نیز بیانگر آن است که وجود راه با پدیده زمین‌لغزش‌ها ارتباط مستقیم دارد. سرکار و کانونگو (Sarkar & Kanungo 2003)، با بررسی منطقه‌ای در دارجیلینگ هیمالیا (منطقه‌ای که پتانسیل وقوع زمین‌لغزش بسیار بالایی داشته و در دنیا شناخته شده می‌باشد) نیز به نتایج مشابه این تحقیق دست یافتند. همچنین سا و مازاری (Sah & Mazari 1996) نیز به توسعه‌ی شبکه‌ی جاده‌ای، به عنوان عاملی در جهت افزایش وقوع زمین‌لغزش‌ها اشاره داشتند.

#### ۴-۸- متوسط بارندگی سالیانه

برای تهیه‌ی نقشه‌ی هم‌باران سالیانه، از معادله رگرسیون خطی (رابطه ۱) رابطه بین ارتفاع و میزان بارندگی استفاده گردید (مه‌دوی ۱۳۸۵، Chow 2009).

$$P = 0.287 Z - 86.88 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، P ارتفاع به متر و Z مقدار بارش متوسط سالیانه به میلی‌متر می‌باشد. سپس رابطه‌ی (۱) در نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی اعمال گردید و بارندگی متوسط سالیانه‌ی حوزه در هر نقطه ارتفاعی به‌دست آمد. تصویر ۹ و همچنین جدول ۸ نشان‌دهنده آن است که با افزایش مقدار بارندگی، میزان درصد سطحی ناپایداری افزایش می‌یابد.

#### ۴-۹- حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته

میزان و مدت زمان بارش و پارامتر حداکثر بارش ۲۴ ساعته،

برآوردی از شدت بارندگی را نشان می‌دهد. نامنظم بودن توزیع مکانی بارش در ایران سبب گردیده است که متوسط بارش سالیانه به تنهایی، تأثیر پارامتر بارش در وقوع پدیده زمین‌لغزش را نشان ندهد. به همین دلیل به همراه این پارامتر، از حداکثر بارش ۲۴ ساعته (بالاترین بارش روزانه) استفاده می‌گردد. طبق مطالعات لامب (Lumb 1975) در هنگ‌کنگ، حوادث بسیار مخرب زمین‌لغزش در بارش تجمعی ۴۸ ساعته با میزان ۱۴۰ میلی‌متر؛ حوادث مخرب با میزان ۸۰ میلی‌متر و حوادث کوچک با میزان ۴۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتند. همین‌طور باک‌هاس و رهنماریاد (Backhaus & Rahnama-Rad 1991) در مطالعات خود نشان دادند که ریزش‌های مداوم در یک محدوده‌ی زمانی ۲۴ یا ۴۸ ساعته می‌تواند در صورت فراهم بودن سایر شرایط، یک عامل مهم و تعیین‌کننده در زمین لغزش محسوب گردد. اویش‌اچر و کلاگو (Eishacher & Clague 1984) عامل اصلی لغزش‌های خاکی، بهمین واریزه‌ای و لغزش‌های چرخشی را، بارش‌های منطقه در حدود ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و باران‌های محلی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر در ساعت دانستند. زهانگ نیانکسو و شنگ‌زیاونینگ (Zhang Nianxue & Sheng Zhuping 1991) شدت بارش ۱۲۵ میلی‌متر در روز را به عنوان عامل ایجادکننده‌ی زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته‌اند. برای تهیه‌ی این نقشه از معادله‌ی رگرسیون خطی (رابطه ۲)، رابطه بین ارتفاع و میزان بارندگی (مه‌دوی ۱۳۸۵) با توجه به حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله ایستگاه‌های موجود در منطقه استفاده گردید.

$$P_{day} = 0.063 Z - 37.99 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، P<sub>day</sub> میزان حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله به میلی‌متر برای هر نقطه ارتفاعی و Z ارتفاع به متر می‌باشد. سپس رابطه‌ی به‌دست آمده در نقشه‌ی روش رقومی ارتفاعی اعمال گردید. بدین ترتیب، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله برای هر نقطه ارتفاعی به‌دست آمد (تصویر ۱۰). همچنین جدول درصد سطحی ناپایداری در طبقه‌های مختلف حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله، نشان می‌دهد

که با افزایش مقدار بارندگی، میزان درصد سطحی ناپایداری افزایش می‌یابد (جدول ۹).

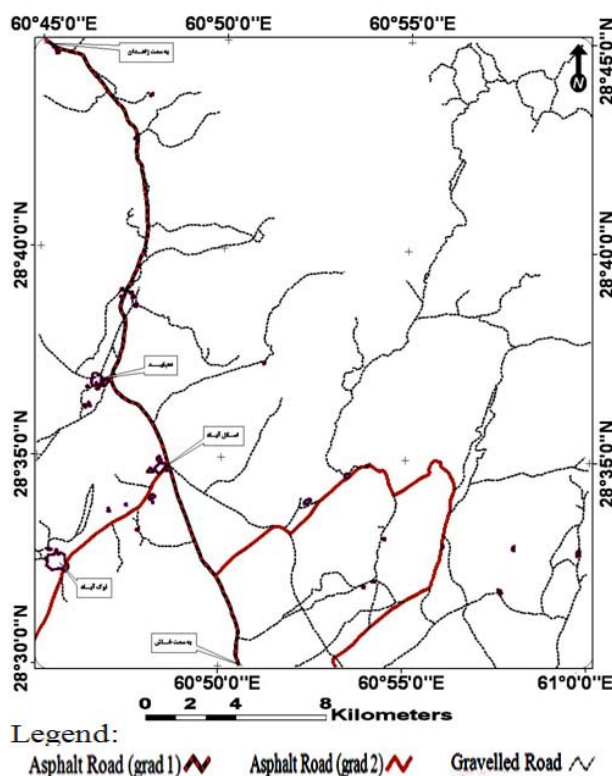
سنگ‌شناسی با لایه‌ی پراکنش زمین‌لغزش، میزان لغزش‌های صورت گرفته در هر واحد لیتولوژیکی مشخص گردید. نتایج در جدول ۱۰ آورده شده است. براساس جدول ۱۰، حداکثر تراکم لغزش در واحدهای زمین‌شناسی جریان‌های آندزیتی و داسیتی جدید (Qv2)، آهک (Pex1)، گدازه‌های قدیمی آندزیتی و داسیتی (Qv1)، گرانودیوریت و کوآرتزدیوریت (Tg) و کمترین تراکم لغزش در واحدهای تراس آبرفتی قدیمی (Qt1) و تراس آبرفتی جدید (Qt2) می‌باشد.

#### ۴-۱- سنگ شناسی

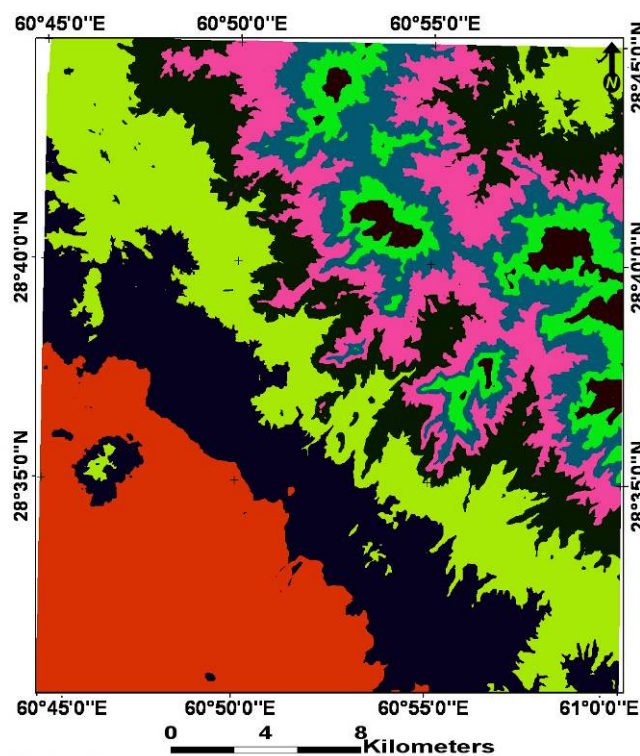
منطقه‌ی مطالعاتی بخشی از ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نوک‌آباد می‌باشد (تصویر ۱۱). با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین‌لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه دارد. جهت بررسی نقش لیتولوژی در وقوع لغزش‌ها در منطقه، از تلفیق لایه‌ی

جدول ۷- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر فاصله از راه

ردیف	کلاس فاصله از راه	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	0- 200	12213.7	18.01	1911.5	15.65
2	200- 400	9734.5	14.35	499.87	5.14
3	400- 600	8025.4	11.83	476.3	5.93
4	600- 800	6740.6	9.94	520.56	7.72
5	>800	31118.8	45.88	1716.5	5.52
	جمع	67833	100	5124.73	39.96



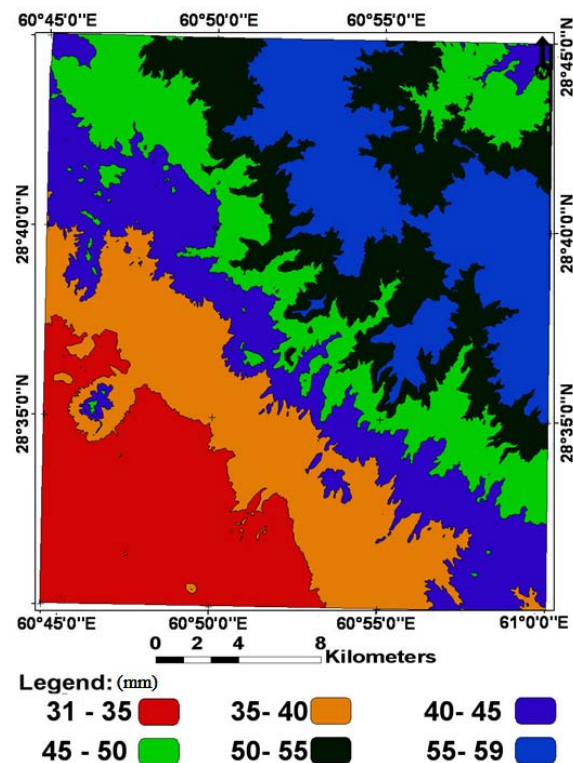
تصویر ۸- نقشه‌ی شبکه‌ی راه‌ها



تصویر ۹- نقشه‌ی متوسط بارندگی سالیانه

جدول ۸- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر بارندگی سالیانه

ردیف	کلاس‌های بارندگی متوسط سالیانه (mm)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	156-160	13664.90	20.14	179.63	1.31
2	160-180	12733.65	18.77	493.71	3.88
3	180-200	13730.86	20.24	687.22	5.00
4	200-220	8952.73	13.20	844.48	9.43
5	220-240	7845.85	11.57	862.75	11.00
6	240-260	5859.42	8.64	864.71	14.76
7	260-280	3691.62	5.44	843.13	22.84
8	280-299	1354.24	2.00	349.07	25.78
	جمع	67833.27	100	5124.70	94



تصویر ۱۰- نقشه‌ی بارش ۲۴ ساعته

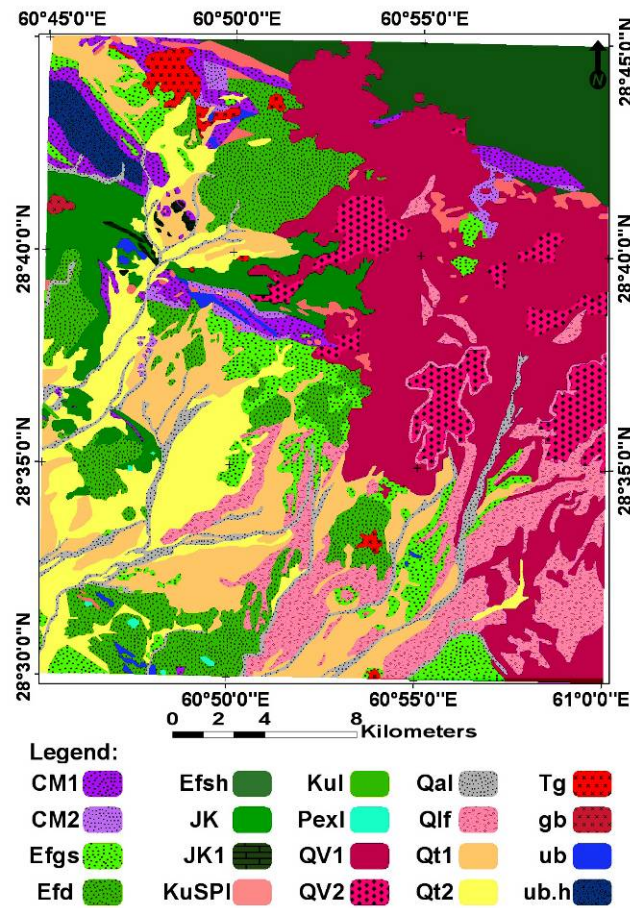
جدول ۹- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر بارش ۲۴ ساعته

ردیف	کلاس‌های بارش ۲۴ ساعته (mm)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش یافته
1	31.2- 35	11102.18	16.37	162.11	1.46
2	35- 40	11730.78	17.29	300.28	2.56
3	40- 45	11332.12	16.71	611.96	5.40
4	45- 50	11310.42	16.67	742.27	6.56
5	50- 55	11216.50	16.54	1219.18	10.87
6	55- 59.7	11140.67	16.42	2088.90	18.75
	جمع	67832.67	100	5124.70	45.60

#### ۱۱-۴- کاربری اراضی و پوشش گیاهی

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌گردد، نقشه‌ی کاربری اراضی می‌باشد. انواع کاربری اراضی شامل: اراضی مرتعی، جنگلی، زراعی، باغ و دیگر کاربری‌ها نظیر مناطق مسکونی، تالاب‌ها و دریاچه‌ها و غیره می‌باشند و در رابطه با محافظت از شیب‌ها و پایداری و عدم پایداری عملکرد متفاوتی دارند. مطالعات مختلف در بسیاری از نقاط دنیا نشان می‌دهد، جنگل‌زدایی و تبدیل این مناطق به مراتع، باغات و مزارع، سبب وقوع زمین‌لغزش‌های بسیاری گردیده است. به عنوان مثال راپ (Rupke 1988) نشان داد که در ارتفاعات غرب اولوکورو واقع در تانزانیا، کمتر از شش درصد زمین‌لغزش‌ها در

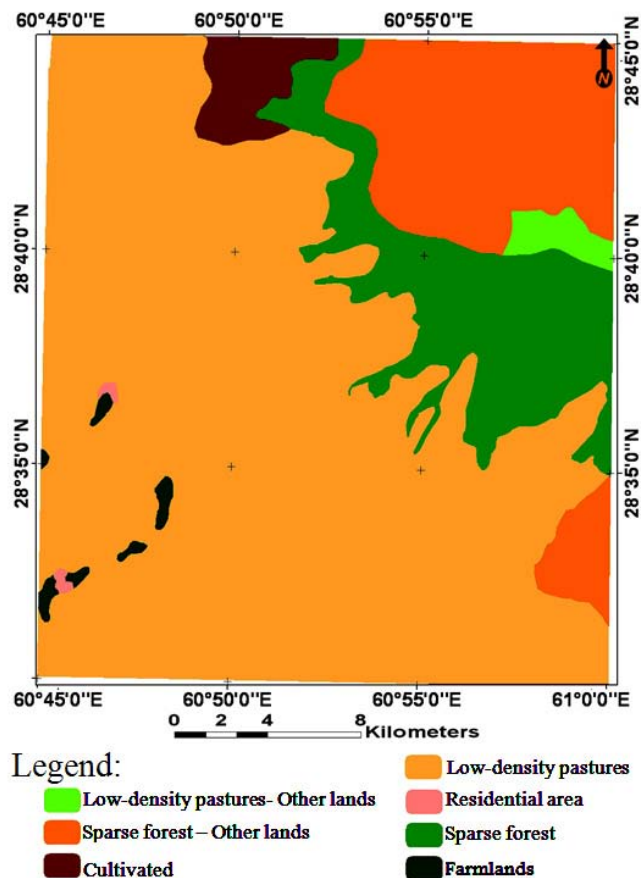
زمین‌های جنگلی، ۴۷ درصد در زمین‌های زراعی و ۴۷ درصد در زمین‌های آیش رخ داده است (تصویر ۱۲). تأثیر عامل پوشش گیاهی در پایداری دامنه‌ها به دو صورت است. گاهی به عنوان یک عامل مثبت عمل کرده و سبب تثبیت دامنه‌ها می‌شود و گاهی به عنوان یک عامل منفی بروز کرده و باعث ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد (تصویر ۱۳). نتایج حاصل از انقطاع نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، حاکی از آن است که بخش اعظم زمین‌لغزش در مراتع فقر و کم‌تراکم واقع شده‌اند و در سایر کاربری‌ها این روند کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که افزایش بوته‌کنی و چرای مفرط دام، سبب فقر پوشش گیاهی و تشدید زمین‌لغزش گردیده است (جدول ۱۱ و ۱۲).



تصویر ۱۱- نقشه‌ی سنگ شناسی

جدول ۱۰- تراکم زمین‌لغزش‌ها در واحدهای سنگ شناسی

ردیف	واحدهای زمین‌شناسی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	CM1	2319.01	3.42	65.75	2.84
2	CM2	715.76	1.06	22.69	3.17
3	Efgs	4117.43	6.07	292.77	7.11
4	Efd	7685.53	11.33	281.77	3.67
5	Efsh	4966.30	7.32	274.70	5.53
6	JK	3465.25	5.11	123.77	3.57
7	JK1	141.97	0.21	0.69	0.48
8	KuSPI	897.34	1.32	80.39	8.96
9	Kul	14.74	0.02	0.00	0.00
10	Pexl	51.83	0.08	12.60	24.31
11	QV1	15360.63	22.64	2305.50	15.01
12	QV2	2999.86	4.42	787.81	26.26
13	Qal	2691.99	3.97	65.05	2.42
14	Qlf	6970.55	10.28	559.97	8.03
15	Qt1	7434.23	10.96	116.99	1.57
16	Qt2	6189.36	9.12	73.31	1.18
17	Tg	662.61	0.98	59.23	8.94
18	gb	71.42	0.11	0.00	0.00
19	ub	324.08	0.48	1.66	0.51
20	ub.h	753.16	1.11	0.00	0.00
	جمع	67833.03	100	5124.66	123.57



تصویر ۱۲- نقشه‌ی کاربری اراضی

جدول ۱۱- تراکم زمین‌لغزش‌ها در واحدهای مختلف، متغیّر کاربری اراضی

ردیف	کلاس کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش‌یافته
1	کشاورزی	420.14	0.62	0	0.00
2	مراتع فقیر - اراضی متفرقه	747.66	1.10	86.35	11.55
3	جنگل‌های تنک - اراضی متفرقه	10199.05	15.04	646.69	6.34
4	مراتع فقیر	45916.00	67.69	2246.92	4.89
5	مناطق مسکونی	107.87	0.16	0.00	0.00
6	جنگل‌های تنک	8704.63	12.83	1945.55	22.35
7	زمین‌های دست کاشت	1738.13	2.56	199.25	11.46
	جمع	67833.48	100	5124.77	56.60

#### ۵- تهیه‌ی جدول وزن طبقات مختلف متغیّر‌ها

به‌وسیله هم‌پوشانی (Over lay) یا قطع دادن (Crossing) هر نقشه با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها و با استفاده از فرمول‌های مربوطه، وزن هر طبقه از هر لایه‌ی اطلاعاتی تعیین گردید (جداول ۱۲ و ۱۳).

#### ۶- تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط "به نقشه در آوردن لغزش‌های

موجود"، "آنالیز شکل زمین" و "آنالیز مهندسی"، به‌طور ساده و براساس تراکم لغزش‌ها، قضاوت شخصی و ضریب اطمینان تخمینی صورت می‌گیرد. روش "روی هم قرار دادن عوامل" کمی پیچیده‌تر است.

در این روش، محقق با حجم زیادی از اعداد خطر و با تعداد واحدهای منطقه روبرو می‌باشد که بایستی آن‌ها را براساس گروه‌های خطر تقسیم‌بندی نماید. بنابراین قدم اول برای این مرحله تعیین تعداد

### ۷- آزمایش نقشه‌ی پهنه‌بندی

روش آنالیز در این مطالعه، روش آماری دو متغیره است و کلیه‌ی وزن‌ها با استفاده از نقشه‌ی فهرست زمین‌لغزش‌ها به‌دست می‌آیند. بنابراین با روی هم انداختن این نقشه بر روی نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش، مشخص می‌گردد که زمین‌لغزش‌ها بیشتر در مناطقی با خطر بالا واقع شده‌اند.

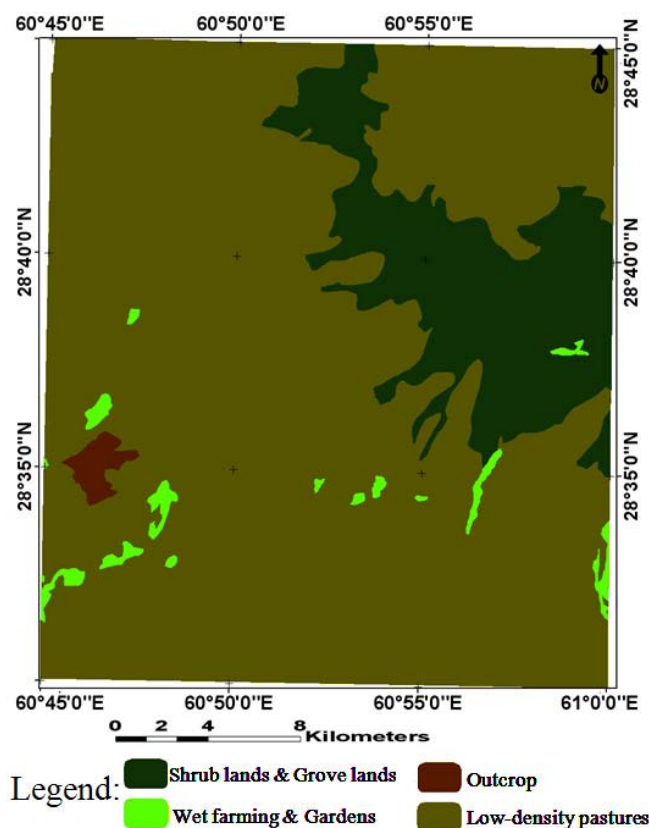
در این پژوهش، جهت ارزیابی نتایج و صحت‌یابی روش آنالیز دو متغیره و سنجش دقت پیش‌بینی احتمال وقوع رانش زمین در پهنه‌های خطر و همچنین آزمایش نقشه‌ی حاصله و اجتناب از خطاهای انسانی (ممکن است در به‌کارگیری فرمول‌ها و وارد نمودن رابطه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی ایجاد شود)، از شاخص نسبت دانسیته (Dr: Density ratio) استفاده گردید. بدین منظور، گئی (Gee 1992) و ون‌ستن و همکارانش (Van Westen et al. 1997) پارامتر نسبت تراکم را، برای گروه‌های مختلف خطر در نقشه‌ی پهنه‌بندی نهایی معرفی نموده که از رابطه‌ی ۳ به‌دست می‌آید:

$$Dr = \text{Landslide (\%)} / \text{Area (\%)} \quad (3)$$

گروه‌های خطر است. معمولاً موارد زیر در تعیین تعداد گروه‌ها بایستی مدنظر قرار گیرد (میرصانعی و مهدوی فر ۱۳۸۵).

در مقیاس‌های کوچک (مقیاس‌های ملی و منطقه‌ای) نیازی نیست که دقت نقشه‌ها در حد تفکیک درجات خطر نزدیک به هم باشند. بنابراین سعی می‌گردد تعداد گروه‌ها فرد باشد و از ۵ فراتر نرود. این عمل باعث می‌گردد همواره یک گروه (گروه خطر متوسط) در میانه‌ی گروه‌های دیگر قرار گرفته و آنالیزهای مربوطه در سیستم اطلاعات جغرافیایی، آسان‌تر انجام گیرد.

در این مطالعه با توجه به مطالب فوق و نمودار فراوانی‌تجمعی که منطبق با نقاط شکست منحنی است، نقشه حاصله به پنج پهنه‌ی خطر؛ بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد (جداول ۱۴ و ۱۵). مرحله‌ی بعد تعیین مرز گروه‌ها با توجه به بازه‌ی اعداد خطر و تعداد گروه‌ها می‌باشد. جهت گروه‌بندی اعداد خطر نیز محققین مختلف به روش‌های گوناگون عمل نموده‌اند. برخی صرفاً با توجه به بازه‌ی اعداد خطر، آن را به تعداد مورد نیاز تقسیم کرده و واحدهای مربوطه را با توجه به عدد خطر نهایی در گروه مربوطه قرار داده‌اند (Anbalagan 1992).

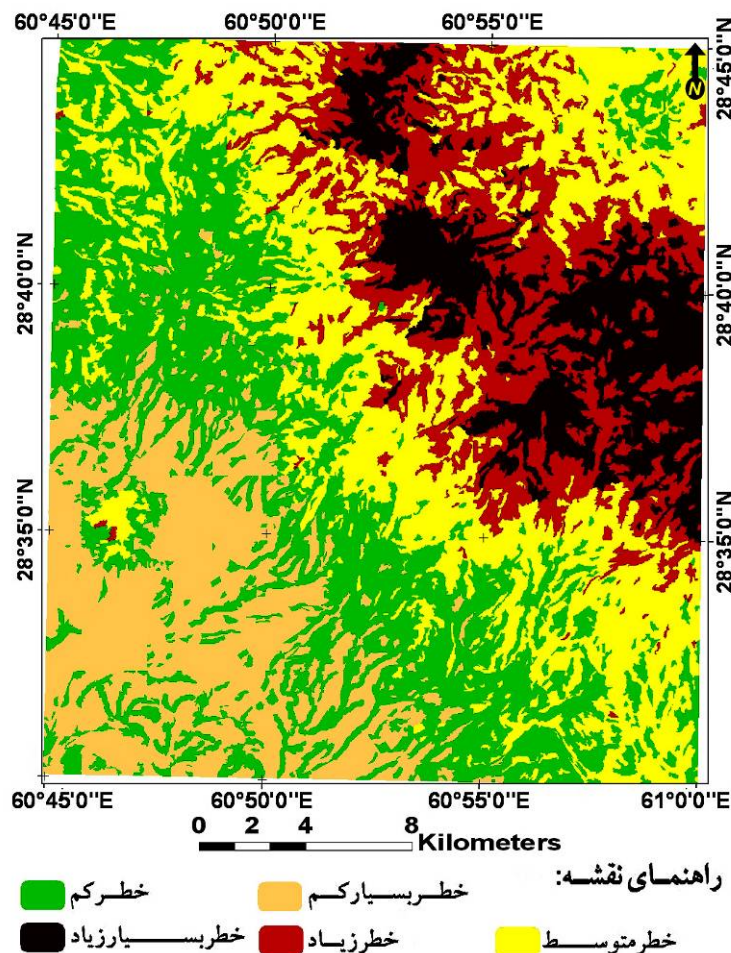


تصویر ۱۳- نقشه‌ی پوشش گیاهی

جدول ۱۲- تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های مختلف، متغیر پوشش گیاهی

ردیف	کلاس پوشش گیاهی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت زمین‌لغزش‌ها (هکتار)	درصد لغزش یافته
1	رخنمون سنگی	481.36	0.71	67.36	13.99
2	بیشه‌زار و درختچه‌زار	10538.52	15.54	2150.69	20.41
3	زراعت آبی و باغات	904.54	1.33	16.19	1.79
4	مراتع کم تراکم	55908.57	82.42	2890.45	5.17
	جمع	67833	100	65124.69	41.36

در رابطه‌ی ۳، [(Landslide (%)] درصدی از تعداد (یا سطح) بالا، بایستی کمتر باشد. چنانچه روند صعودی تراکم سطحی از گروه- زمین‌لغزش‌ها در رده‌ی خطر مربوطه و [(Area (%)] درصدی از سطح منطقه است که توسط رده‌ی خطر مربوطه اشغال شده است. و تحلیل‌ها بایستی مجدداً کنترل گردند. بدیهی است نسبت تراکم گروه خطر پایین نسبت به گروه‌های خطر



تصویر ۱۴- نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش



جدول ۱۳- ارزش اطلاعاتی کلاس لایه‌های مختلف با توجه به کلیه‌ی ناپایداری‌ها.

وزن ارزش - اطلاعاتی	درصد سطحی لغزش	مساحت لغزشی (هکتار)	درصد سطحی	مساحت (هکتار)	کلاس	لایه
-0.98	2.84	65.75	3.42	2319.08	CM1	سنگ شناسی
-0.87	3.17	22.69	1.06	715.75	CM2	
-0.06	7.11	292.77	6.07	4117.42	Efgs	
-0.72	3.67	281.76	11.33	7685.53	Efd	
-0.31	5.53	274.7	7.32	4966.29	Efsh	
-0.75	3.58	123.76	5.09	3453.25	JK	
-2.75	0.48	0.68	0.21	141.96	JK1	
0.17	8.96	80.39	1.32	897.33	KuSP1	
0.00	0.00	0	0.02	14.73	Kul	
1.18	24.59	12.59	0.08	51.23	Pex1	
0.69	15.03	2305.5	22.62	15340.58	QV1	
1.25	26.31	787.81	4.41	2993.85	QV2	
-1.14	2.43	65.04	3.95	2681.99	Qal	
0.06	8.03	559.96	10.28	6970.55	Qlf	
-1.57	1.57	116.99	10.96	7434.22	Qt1	
-1.85	1.18	73.31	9.12	6189.35	Qt2	
0.17	8.94	59.23	0.98	662.60	Tg	
0.00	0.00	0	0.11	71.41	gb	
-2.69	0.51	1.65	0.48	324.07	ub	
0.00	0.00	0	1.11	753.16	ub.h	
0.83	17.25	4466.7	38.17	25891	0-100	فاصله از رودخانه (m)
-1.35	1.95	387.2	29.26	19845	100-200	
-2.00	1.02	126.83	18.32	12428	200-300	
-1.77	1.29	89.8	10.26	6960	300-400	
-1.33	2.00	54.13	3.99	2709	>400	
-0.76	3.54	116.80	4.86	3295.6	< 1	تراکم رودخانه (km/km2)
0.28	9.95	2929.70	43.40	29440	1 - 2	
-0.17	6.34	2054.60	47.75	32393	2 - 3	
-2.16	0.87	23.60	3.99	2704.4	> 3	
0.72	15.47	1911.5	18.22	12359.8	0- 200	فاصله از راه (m)
-0.43	4.90	499.87	15.05	10209.2	200-400	
-0.34	5.40	476.3	13.00	8818	400-600	
-0.12	6.69	520.56	11.48	7785.56	600-800	
-0.23	5.99	1716.5	42.25	28660.44	>800	
-1.73	1.34	215.3881	23.72	16090.85	1600-1850	طبقات ارتفاعی (m)
-0.47	4.70	678.6445	21.29	14441.05	1850-2100	
-0.23	5.99	857.9784	21.13	14333.75	2100-2350	
0.36	10.84	1246.3893	16.96	11503.32	2350-2600	
0.75	16.04	1306.41	12.01	8145.12	2600-2850	
1.18	24.71	819.9809	4.89	3318.80	2850-3100	
-1.46	1.76	506.3984	42.46	28800.93	0 - 5	شیب (درصد)
-0.02	7.37	1366.1597	27.33	18540.51	5-15.	
0.42	11.52	1529.7868	19.58	13282.38	15- 25	
0.97	20.01	1015.7421	7.48	5076.48	25- 35	
1.46	32.51	594.75	2.70	1829.52	35- 45	
1.59	36.97	111.8941	0.45	302.63	>45	

ادامه ی جدول ۱۳- ارزش اطلاعاتی کلاس لایه های مختلف باتوجه به کلیه ی ناپایداری ها

وزن ارزش اطلاعاتی	درصد سطحی لغزش	مساحت لغزشی (هکتار)	درصد سطحی	مساحت (هکتار)	کلاس	لایه
1.28	27.28	258.3016	1.40	946.89	محدب	شکل شیب
-0.21	6.10	3697.0653	89.34	60602.97	مستقیم	
0.90	18.61	1169.3351	9.26	6283.13	مقعر	
0.77	16.26	429.91	3.90	2644.08	N	جهت شیب
0.18	9.00	406.10	6.65	4511.51	NE	
-0.04	7.28	353.46	7.16	4858.41	E	
0.00	7.53	642.25	12.57	8528.90	SE	
-0.38	5.15	562.74	16.10	10921.06	S	
-0.59	4.19	602.76	21.19	14372.2	SW	
-0.07	7.06	872.55	18.23	12367.8	W	
0.53	12.79	1231.79	14.20	9628.99	NW	
-1.75	1.31	179.63	20.14	13664.89	156-160	
-0.67	3.88	493.71	18.77	12733.65	160-180	
-0.41	5.00	687.21	20.24	13730.85	180-200	
0.22	9.43	844.48	13.20	8952.73	200-220	
0.38	11.00	862.74	11.57	7845.84	220-240	
0.67	14.76	864.71	8.64	5859.42	240-260	
1.11	22.84	843.13	5.44	3691.61	260-280	
1.23	25.78	349.06	2.00	1354.23	280-299	
-1.64	1.46	162.11	16.37	11102.17	31.2- 35	حداکثر بارش ۴۸ ساعته (mm)
-1.08	2.56	300.28	17.29	11730.78	35- 40	
-0.34	5.40	611.95	16.71	11332.11	40- 45	
-0.14	6.56	742.26	16.67	11310.42	45- 50	
0.36	10.87	1219.18	16.54	11216.5	50- 55	
0.91	18.75	2088.9	16.42	11140.66	55- 59.7	
0.62	13.99	67.360	0.71	481.36	رخنمون سنگی	
0.99	20.41	2150.69	15.54	10538.52	بیشه زار و درختچه زار	
-1.44	1.79	16.185	1.33	904.54	زراعت آبی و باغات	
-0.38	5.17	2890.45	82.42	55908.57	مراتع کم تراکم	
0.00	0.00	0	0.62	420.14	کشاورزی	کاربری
0.42	11.55	86.354	1.10	747.65	مراتع فقیر - اراضی متفرقه	
-0.18	6.34	646.69	15.04	10199.04	جنگل های تنک - اراضی متفرقه	
-0.43	4.89	2246.92	67.69	45916	مراتع فقیر	
0.00	0.00	0	0.16	107.87	مناطق مسکونی	
1.08	22.35	1945.55	12.83	8704.62	جنگل های تنک	
0.42	11.46	199.24	2.56	1738.13	زمین های دست کاشت	

جدول ۱۴- مقادیر شاخص نسبت دانسیته در کلاس‌های مختلف، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

ردیف	کلاس خطر زمین لغزش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت لغزشی (هکتار)	درصد سطحی لغزش	شاخص Dr
1	خطر بسیار کم	11783.72	17.37	109.24	0.93	0.05
2	خطر کم	18982.20	27.98	576.56	3.04	0.1
3	خطر متوسط	19644.88	28.96	1312.72	6.68	0.23
4	خطر زیاد	10170.78	14.99	1330.99	13.09	0.87
5	خطر بسیار زیاد	7251.43	10.69	1795.19	24.76	2.31

جدول ۱۵- مقادیر درصد سطوح لغزش یافته، در کلاس‌های خطر زمین‌لغزش

ردیف	کلاس خطر زمین لغزش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت لغزشی (هکتار)	درصد سطحی لغزشی
1	خطر بسیار کم	11783.72	17.37	109.24	2.13
2	خطر کم	18982.20	27.98	576.56	11.25
3	خطر متوسط	19644.88	28.96	1312.72	25.62
4	خطر زیاد	10170.78	14.99	1330.99	25.97
5	خطر بسیار زیاد	7251.43	10.69	1795.19	35.03

## ۸- نتیجه‌گیری

زیاد، ۱۴/۹۹ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۲۸/۹۶ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط، ۲۷/۹۸ درصد در پهنه‌ی خطر کم و ۱۷/۳۷ درصد در پهنه‌ی خطر بسیار کم قرار می‌گیرد. براساس نتایج پهنه‌بندی، ۲/۱۳ درصد از موارد مشاهده شده‌ی زمین‌لغزش‌ها، براساس مشاهدات میدانی در پیش‌بینی و پهنه‌بندی، به غلط در پهنه‌ی با خطر بسیار کم قرار گرفته‌اند. همچنین ۱۱/۲۵ درصد در طبقه خطر کم، ۲۵/۶۲ درصد در طبقه خطر متوسط و ۶۱ درصد موارد مشاهده شده به درستی در پهنه‌ی خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند که خود نشان‌دهنده‌ی بالا بودن دقت این روش ارزیابی می‌باشد.

## مراجع

اشتوکلین، افتخارنژاد، ج. و هوشمند زاده، ع. ر.، ۱۳۵۲، "بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی در شرق ایران"، گزارش شماره ۲۲، ۸۶ ص، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 اشقلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۰، "ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۴۲ ص.  
 افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹، "تشکیل حوزه رسوبی فلیش در شرق ایران و

براساس مشاهدات میدانی، ۷۶۱ مورد زمین‌لغزش کوچک تا بزرگ در منطقه‌ی اسکل آباد شناسایی گردید. با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی به‌دست آمده براساس دوازده عامل مؤثر بر زمین‌لغزش از جمله؛ مقدار شیب، جهت شیب، شکل طولی شیب، نقشه هیپسو متریک یا طبقات ارتفاعی (elevation class)، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فاصله از راه، متوسط بارندگی سالیانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی با ریسک وقوع زمین‌لغزش بسیار زیاد تا کم، شناسایی شدند. مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد در قسمت بالادست و مرتفع منطقه، به خصوص در شمال و شمال‌شرق محدوده‌ی مطالعاتی واقع شده‌اند. مناطق با طبقه خطر کم، در قسمت‌های کم ارتفاع و پست منطقه که گویای ارتباط قوی عوامل اولیه مانند؛ سنگ‌شناسی، درصد و جهت شیب، ارتفاع و جهت وقوع حرکت‌های توده‌ای است، قرار دارند. عناصر اقلیمی نیز به عنوان عوامل ثانویه و محرک، نقش اصلی را در وقوع زمین‌لغزش‌ها بر عهده دارند. براساس نقشه‌ی پهنه‌بندی به‌دست آمده، حدود ۱۰/۶۱ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر بسیار

- توجه آن با تئوری تکتونیک صفحه‌ای"، ضمیمه گزارش شماره ۲۲ ف، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بداغی، ب.، ۱۳۷۶، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه شاهرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۱ ص.
- پژم، م.، ۱۳۷۵، "پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه آبخیز الموت رود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۰ ص.
- تصویر ماهواره‌ای لندست ای‌تی‌ام پلاس ۲۰۰۲ (ETM<sup>+</sup>, 2002)، مرکز سنجش از دور کشور.
- جلالی، ن.، ۱۳۸۱، "ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای و معرفی روش سازگار در اقلیم نیمه مرطوب حوضه آبخیز طالقان"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۳۶۰، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- حائری، س. م. و سمیعی، ا. ح.، ۱۳۷۶، "روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیبدار در برابر لغزش زمین با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران"، مجله علوم زمین، سال ۶ (۲۴-۲۳): ۲.
- حق‌شناس، ا.، ۱۳۷۴، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳ ص.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۰، "زمین‌شناسی ایران"، مؤسسه انتشارات امیرکبیر، چاپ سوم، ۹۰۱ ص.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، "نقشه‌ی زمین‌شناسی سری ۱:۱۰۰۰۰۰ بر گره نوک‌آباد".
- سازمان نقشه‌برداری کشور، "عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ محدوده‌ی تفتان شهرستان خاش".
- سعدالدین، ا.، ۱۳۷۳، "بررسی اثرات پارامترهای هیدروژئومورفیک بر حرکات توده‌ای در حوضه آبخیز چاشم- خطیرکوه سمنان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۳ ص.
- سفیدگری، ر.، ۱۳۸۱، "ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱/۵۰۰۰ (مطالعه موردی حوضه دماوند)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.
- سلیقه، م.، بریمانی، ف. و اسمعیل‌نژاد، م.، ۱۳۸۷، "پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان"، مجله جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱۲، ص ۱۱۶-۱۰۱.
- سیارپور، م.، ۱۳۷۸، "پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلیج‌الاستان اردبیل"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۹۳ ص.
- شریعت‌جعفری، م. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۶، "ارزیابی کارایی روش آنالیز آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین"، مجله علوم دانشگاه تهران، ج ۳۴، شماره‌ی ۱، ص ۱۴۳-۱۳۷.
- شیرانی، ک.، ۱۳۸۲، "ارزیابی مهمترین روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور انتخاب روش مناسبی برای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم در مسیر رودخانه ماربر"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۹۶۱، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۴ ص.
- شیرانی، ک.، غیومیان، ج. و مختاری، ا.، ۱۳۸۴، "بررسی و ارزیابی آماری دو متغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش"، نشریه آب و آبخیز، جلد ۲ (۲): ۴۷-۳۶.
- کهی میانجی، ی.، ۱۳۷۷، "تحلیل چند متغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۴ ص.
- متکان، علی ا.، سمیعی، ج.، پورعلی، سید ح. و صفایی، م.، ۱۳۸۸، "مدل‌های منطق‌فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز لاجیم"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵، شماره ۴: ۳۲۵-۳۱۸.
- معماریان، ح. و سیارپور، م.، ۱۳۸۵، "نقش پارامتر شیب دامنه در بروز خطا در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش"، نشریه دانشکده فنی، ج ۴۰، شماره‌ی ۱، ص ۱۱۰-۱۰۵.
- مهدوی، م.، ۱۳۸۵، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی.
- میرصانعی، ر. و مهدوی‌فر، م.، ۱۳۸۵، "روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش"، طرح مطالعاتی کمیته فرعی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین، ۵۱-۲۷.
- نیک‌اندیش، ن.، ۱۳۷۸، "بررسی نقش عوامل هیدرواقلم در وقوع حرکات توده‌ای با توجه به نقش رسوب‌زائی آنها در حوضه کارون"، رساله دکتری هیدرواقلم، دانشگاه اصفهان، ۱۸۱ ص.
- Anbalagan, R., 1992, "Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain", *Engineering Geology*, Vol. 32: 269-278.
- Backhaus, E. & Rahnama-Rad, J., 1991, "Tektonik der Messeler Scholle, Verwittebarkkit des Olschiefers und hydrogische Einflusse auf die Rutschgefahrung ihrer Gesteinsformationen, insbesondere der mitteleozanen", *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, Vol. 139:1-69.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. & Priestley, K., 2000, "The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: Blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone", *Geophys. J. Int.*, Vol. 143 (2): 283-299.
- Camp, V.E. & Griffis, R. J., 1982, "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran", *Lithos*, Vol.15 (3):221-239.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui V. & Reichenbach, p., 1991, "GIS techniques and statistic models in evaluating landslide hazard", *Earth Surface Processes Landforms*, Vol. 16: 427 – 455
- Chow, Ven Te, Maidment, David R. & Mays, Larry W., 2009, "Applied Hydrology", *McGraw-Hill*, NY, 554 p.
- Crozier, M.1999, "Landslide, Applied Geography, Principles and Practice", *Elsevier*: 83-94.
- Dai, F.C. & Lee, C.F., 2002, "Landslide characteristics and slope instability", *Geomorphology*, Vol. 42: 213–228.
- Eisbacher, G. H., & Clague J. J., 1984, "Destructive Mass-movement in Thign Mountains Hazard and Management", *Geological Survey of Canada, Ottawa, Paper 84-106.*, 230 pp., page 62.

- landslides in Yungang-Fengjie srea in east Sichuan", *Landslides*, Vol. 2:1077-1082.
- Ercanogla, M. & Cokceoglu, C., 2002**, "Assessment of landslide susceptibility for a landslide pron area north of yenice, NW turkey by fuzzy Approach", *Environmental geology*, Vol. 41: 720-730.
- Farhoudi , G. & Poll, K., 1992**, "A morphotectonic study of environmental impact on groundwater in southern Iran and under the Persian Gulf" , *Geologische Rundschau* Vol. 81(2): 581-587.
- Farhoudi, G. & Karig, D.E., 1977**, "Makran of Iran and Pakiston as an Active Arcsystem", *Geology*, Vol. 5: 664-668.
- Gee, M. D., 1992**, "Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability", *Proc 6<sup>th</sup> International Symposium on Landslides*, Christchurch, New Zealand, Vol. 2: 947-952.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., Carrara, A., 2000**, "comparing landslide map: A case study in the upper tiber river basin, central Italy", *Environmental management*, Vol. 25: 247-263.
- Lumb, P., 1975**, "Slope failures in Hong Kong", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 8: 31-65.
- Rupke, C., 1988**, "Engineering geomorphology of the Widentobel catchment, Appenzell and Sankt Gallen, Switzerland, A geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability", *Engineering Geology* Vol. 26 (1): 33-68.
- Sah, M. P. & Mazari, R. K., 1998**, "Anthropogenically accelerated mass movement, Kulu Valley, Himachal Pradesh, India", *Geomorphology*, Vol. 26 (1-3): 123-138.
- Sara, L. & kyungduck, M. 2001**, "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Kkorea", *Enviromented geology*, Vol. 40:1095-1113.
- Sarkar, S. Kanungo, D.P, & Mehrotar, S., 1995**, "Landslide Zonation: A case study in Garwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, Vol. 15 (4):301-309.
- Sarkar. S. & Kanungo. D. P., 2003**, "landslides in relation to terrain parameters, A remote Sensing and GIS approach", *proceeding of Map India 2002*, 5pp. .
- Tirrul, R., Bell. I. R., Griffis, R. J. & Camp, V. E., 1983**, "The Sistan suture Zone Eastern Iran", *Geological Society of Am. Bulletin*, Vol. 4: 134-150.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., Terline, M. T. J. & Soeters, R., 1997**, "Predication of the occurrence of slope instability phenomena through GIS – based hazard zonation", *Geologisches Rundschav*, Vol. 86: 404-414.
- Van Westen, C. J., 1998**, "Application of Geographic Information Systems to landslide hazard zonation", *Vol.1: Theory*, *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Publication No. 15*.
- Yan, T. Z. & Yin, K.L., 1988**, "Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks", *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland*, Vol. 2: 1269-1272.
- Yong, , Xiaoyi, & Genwei, , 2006**, "Landslide and rock fall distribution by reservoir of stepped hydropower station in the Jinsha River", *Journal of Natural Sciences, Wuhan University Journals Press*, Vol. 11 (4): 801-805.
- Zhang Nianxue & Sheng Zhuping, 1991**, "Probability analysis of rain related occurrence and revival of