

بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در پادنا‌ی علیای سمیرم

کوروش شیرانی*، ستار چاوشی*، جعفر غیومیان**

* مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
** پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

ابتدا بوسیله عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزشها در حوضه رودخانه ماربر به وسعت ۸۰۰ کیلومتر مربع واقع در جنوبی‌ترین قسمت استان اصفهان تهیه گردید. سپس با استفاده از سایر منابع اطلاعاتی نظیر نقشه‌های موضوعی موجود، اقدام به بررسی و تعیین عوامل موثر در لغزش (۸ عامل) و نقشه‌های لازم در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ گردید. به منظور بالابردن دقت، سرعت و سهولت آنالیز، تمامی اطلاعات مکانی و توصیفی وارد سیستم GIS، نرم افزار Ilwis گردید. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، با استفاده از پارامترهای موثر در لغزش، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش در چهار روش آماری نموده و سپس مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به شاخص به دست آمده و مقایسه نقشه پراکندگی لغزش با نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حاصل هر یک از روش‌ها در محیط GIS، مشخص گردید که به ترتیب ابتدا روش دو متغیره آنالیز ارزش اطلاعاتی^۱ و روش دو متغیره تراکم سطح^۲ سپس روش چند متغیره با آنالیز رگرسیون خطی^۳ و روش چند متغیره به وسیله آنالیز ممیزی^۴، در مراحل بعدی اولویت قرار می‌گیرند. در نهایت بر اساس این تحقیق، روش‌های آماری دو متغیره نسبت به روش‌های آماری چند متغیره در عین سادگی دارای دقت قابل قبولی بوده و از این نظر انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه خیزی منطقه خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره، تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی، رگرسیون خطی، تحلیل ممیزی

1. Information Value.

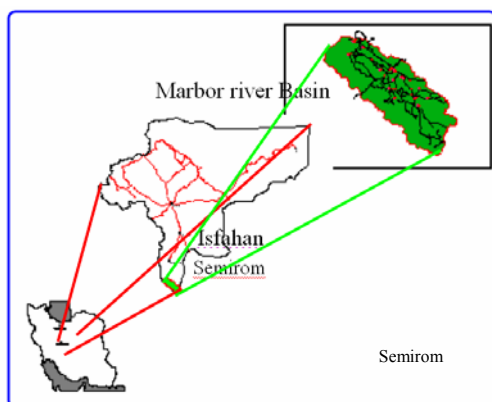
2. Density.

3. Area. Linear Regression Analysis.

4. Discriminant Analysis.

Archive of SID

مقدمه



شکل ۱- موقعیت عمومی حوضه رودخانه ماربر نسبت به مرزسیاسی استان و کشور

روش‌های آماری، متناسب با شرایط مناطق مختلف دارای انعطاف بیشتری می‌باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر در ۵۰ کیلومتری جنوب شهر سمیرم و در حد فاصل $30^{\circ} 41' 48''$ تا $31^{\circ} 30' 50''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 23' 18''$ تا $51^{\circ} 45' 45''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد و یکی از حوضه‌های اصلی بالادست حوضه آبریزکارون است که در جنوبی‌ترین بخش استان اصفهان قرار می‌گیرد. رودخانه ماربر مهم‌ترین آبراهه موجود در این حوضه می‌باشد. از مهم‌ترین مراکز جمعیتی در این محدوده، روستای بیده می‌باشد که در قسمت مرکزی حوضه در مسیر رودخانه ماربر قرار دارد. از روستاهای مهم دیگر این محدوده می‌توان به روستاهای خفر، دشت بال، سرباز، کیفته و شهید اشاره نمود. این حوضه طبق نام گذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲-۱-۳-۴ بنام کهردان واقع شده است [۲۰].

حرکات توده‌ای نقش موثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع و مناطق مسکونی، فرسایش و ایجاد رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. حوزه رودخانه ماربر از سرشاخه‌های کارون نمونه‌ای بارز از وقوع خسارات نامبرده می‌باشد. تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام گرفته است که عمدتاً شامل استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره (کپی میانجی، ۱۳۷۷، پژم، ۱۳۷۵، سارولی، ۲۰۰۱، ون وستن و همکاران، ۱۹۹۸) و یا ترکیبی از روش‌های آماری فوق با روش‌های موراو وارسون، نیلسن، نیلسن اصلاح شده (جلالی، ۱۳۸۱)، وزن متغیره‌ها، ارزش اطلاعاتی تراکم سطح و نیلسن (فتاحی اردکانی، ۱۳۷۹، فتاحی اردکانی و همکاران، ۱۳۸۲)، رگرسیون چند متغیره و ارزش اطلاعاتی (سعدالدین، ۱۳۷۶)، حائری، اصلاح شده حائری، ارزش اطلاعاتی (سیار پور، ۱۳۷۸)، تحلیل ممیزی (حق شناس، ۱۳۷۵)، ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، حداقل مربعات وزن دار، لجستیک با داده‌های گسسته و پیوسته و منطق فازی (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰)، ارزش اطلاعاتی، کاناگوا، حائری، حائری اصلاح شده و تحلیل پراکنش زمین لغزش‌ها با استفاده از فیلترهای خطی، میانگین و واریانس (سفیدگری، ۱۳۸۱، حائری و سمیعی، ۱۹۹۵)، هندسی، ژئومورفولوژیک، منطق فازی (مورات، ۲۰۰۲)، ژئومورفولوژی (نیک‌اندیش، ۱۳۷۸، گوزتی و همکاران، ۲۰۰۰) می‌باشد. بطور کلی از سابقه تحقیق می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد، در صورتی که عوامل موثر در هر منطقه با دقت تعیین گردند، از بین روش‌های تجربی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مدل‌های مشخصی مناسب می‌باشند، اما در عین حال

روش تحقیق

به منظور آماده سازی اطلاعات در محیط GIS، از نقشه‌های زمین شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و اطلاعات مربوط به شتاب ثقل افقی زلزله و بارش استفاده گردید. بر اساس سابقه تحقیق، موقعیت منطقه، مقیاس و روش‌های پهنه‌بندی مورد استفاده، مجموعاً ۸ عامل لیتولوژی، شیب، بارندگی سالانه، پوشش گیاهی، جهت شیب، فاصله از آبراهه، شتاب ثقل افقی و فاصله از گسل مورد استفاده و مطالعه قرار گرفته است [۱۹].

در مرحله اول با جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت نفت مربوط به برگه‌های بروجن و بهبهان [۱۷ و ۱۸] و سپس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور مربوط به برگه‌های خنا، یاسوج، سی سخت و دنا، وضعیت زمین شناسی منطقه به خوبی بررسی [۱۱]، سپس با مطالعه و تفسیر فتوژئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور [۱۲] و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین شناسی گردید. در ادامه نقشه واحدهای سنگ شناسی و خطواره‌ها جهت اقدامات بعدی رقومی شد. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگ شناسی و خطواره‌ها، اقدام به رقوم نمودن آنها گردید. لازم به ذکر است نقشه‌های ورودی دارای مقیاس مختلف بودند که در نهایت تمام نقشه‌های خروجی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ تهیه گردیدند.

به منظور تعیین شتاب ثقل افقی زلزله از آمار زلزله‌های تاریخی و همچنین لرزه‌ای - دستگاهی در طول دوره آماری ۱۹۹۶-۱۹۰۰ استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار Earthquake وقایع با بزرگی حداکثر در هر دوره پنج ساله استخراج و سپس مختصات کانون سطحی زلزله‌های واقع در شعاع ۱۵۰ کیلومتری از مرکز منطقه مورد مطالعه تعیین گردید و سپس با استفاده از

فرمول‌های تجربی آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) که در نرم افزار Earthquake پیش بینی شده است بزرگی امواج سطحی و حجمی و شدت زلزله به همراه مختصات ۱۳۱ نقطه استخراج شد [۳، ۹، ۲۴]. برای تعیین حداکثر شتاب افقی زمین در کانون با استفاده از فرمولهای تجربی دونوان و دمزومر اقدام به تعیین شتاب ثقل افقی نموده [۲ و ۲۴] و جهت اطمینان، متوسط شتاب ثقل افقی حاصل از دو روش بعنوان معیاری برای شتاب ثقل افقی استفاده می‌گردد. پس از انجام محاسبات لازم، نقشه هم شتاب حوضه رودخانه ماربر توسط نرم افزار Ilwis و Winsurf ترسیم گردید.

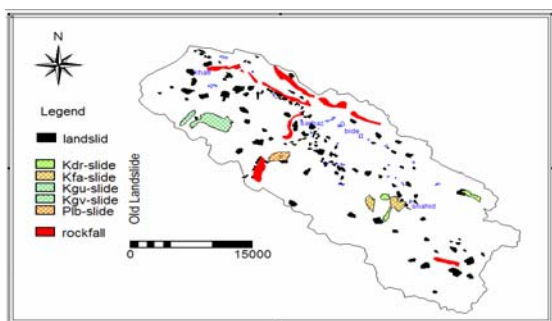
به منظور تهیه نقشه مدل ارتفاعی رقومی^۱ DEM نقشه شیب، وجه دامنه، فاصله از آبراهه و طبقات مربوط به آنها از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شده است [۱۰]. تمامی نقاط ارتفاعی و منحنی‌های میزان ۱۰۰ متری و آبراهه‌های حوضه رودخانه ماربر رقومی و تمامی عملیات لازم جهت استفاده از این اطلاعات در محیط نرم افزار Ilwis انجام گرفت. با استفاده از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی رقومی شده و روش درون یابی، اقدام به تهیه مدل ارتفاعی رقومی گردید. اندازه سلولهای^۲ که به صورت رستری می‌باشد، ۲۵×۲۵ متر مربع در نظر گرفته شد. پس از ایجاد نقشه مدل ارتفاعی رقومی، نقشه شیب و وجه دامنه با دقت ۲۵×۲۵ مترمربع تهیه گردید.

با استفاده از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد بررسی و روش میان یابی Krigging در محیط Surfer اقدام به تهیه منحنی‌های هم باران سالیانه در حوضه رودخانه ماربر گردید.

1. Digital Elevation Model.

2. Pixel size.

می‌شود، ثبت گردیده‌اند و عمل پهنه بندی بر اساس آنها انجام گرفته است (اشکال ۳ و ۴). از انواع دیگر حرکات توده‌ای فقط گسترش سنگ افت‌ها^۳ در حوضه مورد بررسی و به نقشه درآمده‌اند و از آنها در پهنه بندی استفاده نگردیده است (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه پراکنش انواع حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه ماربر



شکل ۳- سازند گورپی به‌مراه زمین لغزش شمال روستای دشتیال



شکل ۴- سازند گورپی به‌مراه زمین لغزش شرق روستای خفر

نقشه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی توسط کارشناسان پوشش گیاهی و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و بازدیدهای صحرایی تهیه شده است. از آنجایی که نوع کاربری اراضی به همراه تراکم و فرم گیاه در پدیده وقوع زمین لغزش موثر می‌باشد، لذا با این دیدگاه نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوضه رودخانه ماربر تهیه گردید. با توجه به موارد فوق هفت نوع فرم پوشش گیاهی و کاربری اراضی در حوضه مورد بررسی شناسایی و بر اساس تراکم، فرم گیاه و نوع کاربری اراضی، طبقه بندی گردیدند.

پراکنش زمین لغزش‌ها

حوضه رودخانه ماربر دارای پتانسیل بالای زمین لغزش می‌باشد و زمین لغزش‌های زیادی در آن به وقوع پیوسته است. جهت به نقشه در آوردن انواع زمین لغزش به وقوع پیوسته در حوضه مورد بررسی، عکس‌های هوایی منطقه مربوط به سال ۱۳۷۲ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استرئوسکوپی تفسیر و مناطق مشکوک به لغزش تعیین گردید [۱۲]. با بررسی صحرایی و استفاده از دستگاه GPS^۱ با دقت بسیار بالا موقعیت دقیق لغزش‌ها مکان یابی شد (شکل ۲). مشخصات ۵۱ عدد لغزش ثبت شده، در قالب فرم‌های شناسنامه لغزش معرفی و مورد استفاده قرار گرفت.

علایم Kdr-slide, Kfa-slide, Kgu-slide, Kgv-slide, Plb-slide در راهنمای شکل ۲ بترتیب مربوط به نهشته‌های لغزشی سازندهای بختیاری، گدوان، گورپی، فهلیان و داریان می‌باشند. در این تحقیق بیشتر لغزش‌هایی که تحت عنوان زمین لغزش^۲ از آنها یاد

1. Global Position system.

2. Landslide.

3. Rock Falls.

لغزش‌ها اقدام به محاسبه تراکم سطحی زمین لغزش در هر رده متغیر شد، [۳]. سپس با محاسبه ارزش اطلاعات برای هر رده متغیر اقدام به ثبت مقدار ارزش اطلاعات محاسبه شده برای هر رده و تهیه نقشه ارزش اطلاعات برای هر عامل گردید و در نهایت با جمع جبری نقشه‌های ارزش اطلاعات عوامل و طبقه بندی نقشه بدست آمده از مرحله قبل، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش ایجاد گردید. لازم به ذکر است پس از منحنی فراوانی تجمعی وزن‌ها، آستانه‌های هر طبقه، با توجه به نقاط عطف منحنی به دست آمدند که از این آستانه‌ها برای طبقه بندی نقشه تجمعی وزن‌ها و تولید نقشه پهنه‌های خطر زمین لغزش استفاده گردید. اشکال ۵، ۶ و ۷ بترتیب نمودار گردشی و نقشه‌های پهنه‌های خطر زمین لغزش به دو روش ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح را نشان می‌دهند [۱۹].

مدل آماری چندمتغیره^۳

تاکنون روش‌های آماری چندمتغیره مختلفی توسط محققین برای پهنه بندی زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است [۳۸، ۲۷، ۲۶]. در تمامی این روش‌ها در واقع تحلیل هم زمان تعدادی متغیر با همدیگر انجام می‌گیرد و از آنجایی که پدیده‌های طبیعی نظیر زمین لغزش، ناشی از عملکرد همزمان چند متغیر بوده لذا استفاده از این روش‌ها مناسب می‌باشند [۱]. از طرف دیگر بدلیل تلفیق پدیده‌های اطلاعاتی (نقشه‌های پارامتر) جهت ایجاد واحدهای زمینی (واحدهای همگن) و حجم زیاد اطلاعات، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اجتناب ناپذیر می‌باشد. در واقع هر واحد همگن به

بحث و نتیجه گیری

پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد بررسی

پهنه بندی خطر زمین لغزش^۱ عبارت است از تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه بندی این مناطق براساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش [۱۶].

با توجه به نقشه‌های پارامترهای مؤثر تهیه شده، نیازهای مدل‌های مختلف پهنه بندی به داده‌ها و امکان نظارت و کنترل مراحل اجرا، انعطاف پذیری داده‌ها در روش‌های آماری، در این تحقیق از روش‌های آماری دو متغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی) و چند متغیره (رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی) استفاده شده است.

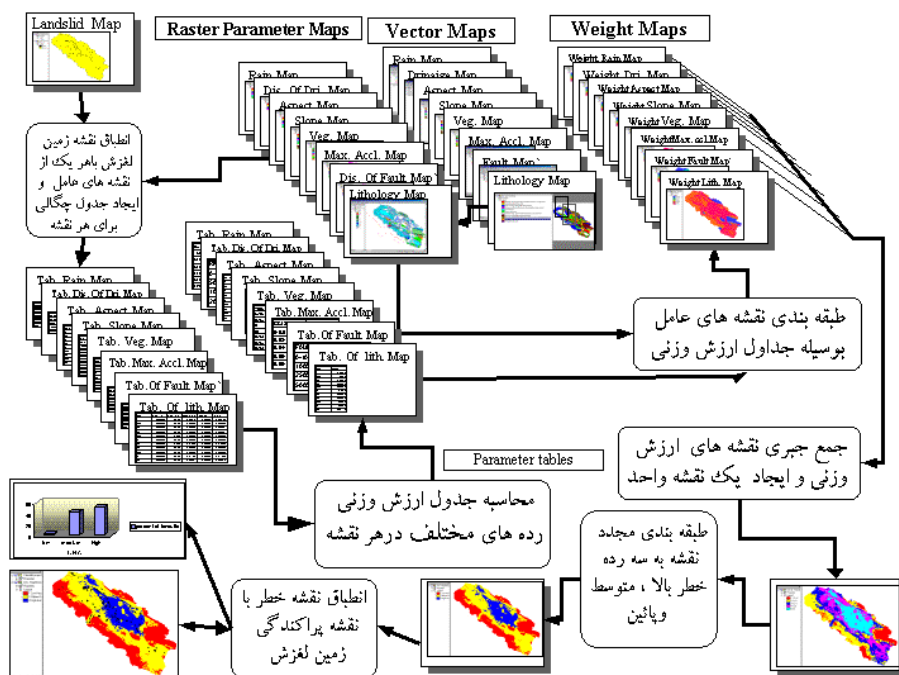
روش آماری دو متغیره^۲

در روش آماری دو متغیره، وقوع زمین لغزش بعنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی مؤثر در این پدیده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند [۳۷، ۳۱، ۳۹]. اهمیت هر عامل در ارتباط با ناپایداری دامنه‌ها مستقل از دیگر عوامل مورد تحلیل قرار می‌گیرد [۶، ۷، ۴۰] و از فراوانی داده‌ها (مثل سطح لغزش یافته و یا تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در یک ناحیه) برای محاسبه احتمال وقوع استفاده می‌شود [۳۵، ۳۶].

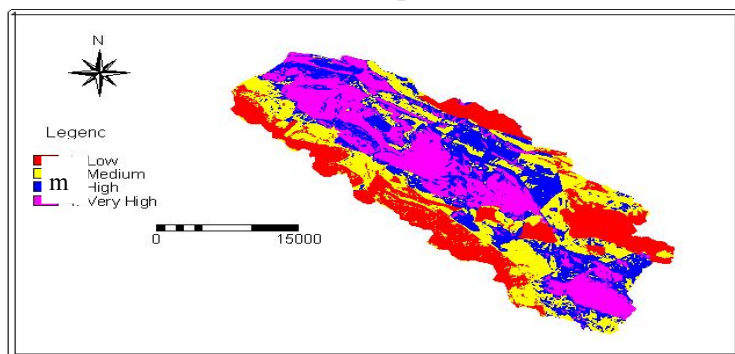
برای دسترسی به نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش از ۸ عامل، لیتولوژی، فاصله از گسل، حداکثر شتاب افقی زلزله، فاصله از آبراهه، جهت شیب، مقدار شیب، پوشش گیاهی و میزان بارندگی استفاده گردید. برای این کار در محیط IILW ابتدا با قطع هر نقشه عامل با نقشه زمین

3. Multivariate Statistical Method

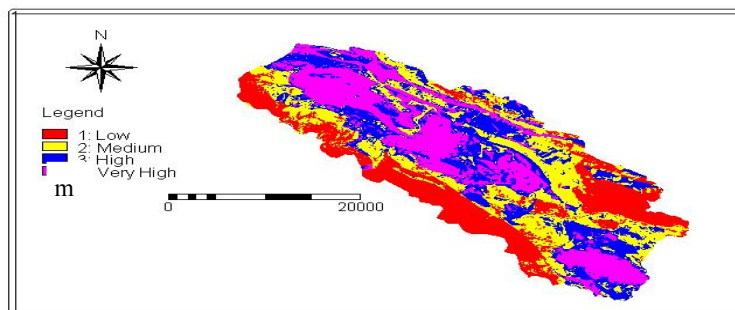
1. Landslide Hazard Zonation.
2. Bivariate statistical Analysis.



شکل ۵- مراحل تهیه نقشه پهنه های خطر زمین لغزش



شکل ۶- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی در حوضه رودخانه ماربر



شکل ۷- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح در حوضه رودخانه ماربر

(واحدهای همگن) در تشکیل ماتریس متغیرها به کار رفته است. این متغیرها از نوع تصنعی بوده و به عنوان متغیرهای مستقل گسسته در دو روش تحلیل آماری که در ادامه آمده استفاده گردیده‌اند. در جداول ۱ و ۲ حروف بکار رفته در ستون متغیرها معرف رده‌های هر متغیر بوده و عبارتند از A وجه شیب، D فاصله از آبراهه برحسب متر، F فاصله از گسل برحسب متر، G شتاب ثقل افقی برحسب متر بر مجذور ثابته، L نوع سازند، R بارندگی سالانه برحسب میلی متر، S مقدار شیب برحسب درصد و ۷ پوشش گیاهی و کاربری اراضی [۱۹].

۱- رگرسیون خطی به روش گام به گام با داده‌های گسسته^۲

در این روش با استفاده از نرم افزار SPSS، روش گام به گام^۳ و استفاده از ۵۸۳۲ واحد همگن (تکرارها) اقدام به تعیین بهترین معادله و رگرسورها (عوامل) می‌گردد. در واقع این ۵۸۳۲ واحد همگن حاصل تلفیق هشت پارامتر می‌باشند. در بهترین مدل مطابق جدول ۱ از بین ۳۶ متغیر، تنها ۱۷ متغیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ضریب همبستگی (R) معادله ۰/۶۹ و سطح اطمینان هر متغیر در حدود ۹۹٪ می‌باشد. ضرایب هر متغیر به همراه سطوح اطمینان آنها در جدول ۱ آمده است. ضرایب مثبت در معادله رگرسیون نشانگر افزایش ناپایداری و ضرایب منفی نشانگر کاهش ناپایداری می‌باشد [۱۹].

پس از تعیین معادله رگرسیونی بر اساس ضرایب موجود مطابق معادله استاندارد رگرسیون چند متغیره

عنوان یک مشاهده در تحلیل آماری می‌تواند استفاده گردد. روش‌های آماری رگرسیون چند متغیره خطی و تحلیل ممیزی، دو روشی است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. اما برای استفاده از این روش‌ها در پهنه بندی زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر، ابتدا لازم است نحوه آماده سازی داده‌ها (متغیرهای ورودی به مدل) مورد بحث قرار گیرد.

آماده سازی داده ها برای تحلیل چندمتغیره

متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین لغزش در برخی مواقع کمی (شیب، بارندگی، حداکثر شتاب ثقل، فاصله از گسل و آبراهه) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، پوشش گیاهی، لیتولوژی) می‌باشند. از آنجایی که روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌کنند، لذا لازم است داده‌ها کیفی به داده‌های کمی تبدیل گردد.

برای تبدیل داده‌های کیفی از روش متغیرهای مجازی یا تصنعی^۱ استفاده گردیده است [۲۷ و ۳۸]. هشت نقشه پارامتر به وسیله نرم افزار Ilwis با یکدیگر قطع داده شده و ۵۸۳۲ واحد زمینی همگن تهیه گردید. سپس نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین لغزشها، قطع داده شده، و برای تمام واحدهایی که دارای لغزش می‌باشند کد یک و واحدهایی که بدون لغزشند کد صفر در نظر گرفته شده است، همچنین وجود هر طبقه از هر کدام از پارامترها در یک واحد همگن با کد یک و نبود آن با کد صفر مشخص گردید. به طور کلی ۳۷ ستون (۳۶ طبقه از مجموع هشت پارامتر بعنوان متغیر مستقل و ستون لغزش بعنوان متغیر وابسته) و ۵۸۳۲ ردیف

2. Linear Regression

3. Stepwise

1. Dummy Variable

جدول ۱: مدل رگرسیون خطی به روش گام به گام با داده‌های گسسته

متغیر	ضرایب رگرسیون	ضرایب رگرسیون استاندارد شده	سطح اطمینان
(Constant)	-0.169		0.00
A03(S)	-0.024	-0.026	0.05
A04(W)	-0.039	-0.042	0.00
D01(0-500) m	0.199	0.250	0.00
D02(500-1000) m	0.091	0.108	0.00
F01(0-1000) m	0.117	0.149	0.00
F02(1000-2000) m	0.046	0.054	0.00
G01(0.16-0.20) m/s ²	-0.082	-0.044	0.00
G02(0.20-0.22) m/s ²	-0.0812	-0.099	0.00
L02(Kgu+peEKn+Emas-ja+Kgu-slide)	0.141	0.170	0.00
L03(Qtl +Qt3+Qd+Qal+Plb+Plb-slide)	0.101	0.104	0.00
L05(Kdr+Ksr+Kil-sr+Kdr-slide+jn)	0.037	0.039	0.01
R02(600-800) mm	0.063	0.077	0.00
S02(5-12%)	0.041	0.045	0.00
S03(12-40%)	0.065	0.074	0.00
S05(>70%)	-0.055	-0.049	0.00
V01(Bu-He)	0.061	0.0658	0.00
V07(Sh-Bu)	0.106	0.135	0.00

با استفاده از معادله خطی که بهترین تفکیک را بین دو گروه واحد زمینی ناپایدار (کدیک) و واحد زمینی پایدار (کد صفر) ایجاد می‌نماید، اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌گردد [۳۸ و ۴۰]. بدین منظور با استفاده از ماتریس (۳۷*۵۸۳۲) که شامل ۳۷ متغیر تصنعی بوده، با استفاده از نرم افزار Spss و روش گام به گام اقدام به محاسبه معادله یا تابع تشخیص می‌گردد (جدول ۲). میانگین مقدار تابع تشخیص برای گروه ناپایدار (یک) برابر ۰/۶۶۱ و برای گروه پایدار (صفر) برابر ۰/۱۵۱- می‌باشد. همچنین آزمون کای اسکویر تابع تشخیص (chi square=۵۵۶) در سطح اطمینان ۹۹٪ کاملاً معنی دار است. با استفاده از ۵۸۳۲ واحد همگن و ۳۷ متغیر تصنعی و با اعمال معادله تابع تشخیص حاصل از داده‌های گسسته، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به

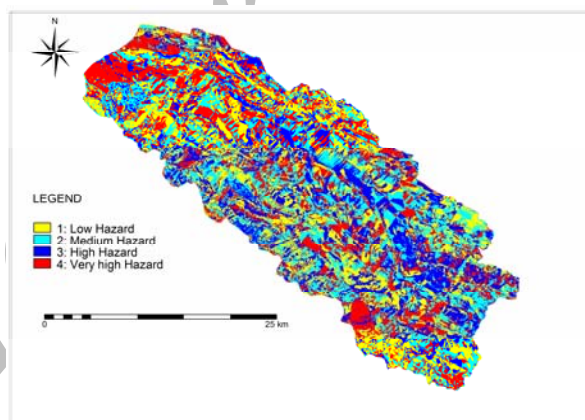
y لغزش بعنوان متغیر وابسته و ضرایب B_0 تا B_n همان ضرایب موجود در جدول ۱ و X_1 تا X_n هفده متغیر مستقل بعنوان رده‌های هر پارامتر)، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی اولیه برای کل منطقه نموده، سپس بر اساس سطوح فراوانی ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ چهار رده خطر پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا برای پهنه‌های زمین لغزش تهیه می‌گردد. (شکل ۸)

۲- تحلیل ممیزی با داده‌های گسسته^۱

این روش چند متغیره آماری با استفاده از توابعی بر حسب مقادیر متغیرهای مستقل، امتیازی را برای عضویت در هر گروه محاسبه می‌نماید. به عبارت دیگر

جدول ۲- مدل تابع تشخیص با تحلیل ممیزی حاصل از داده‌های گسسته

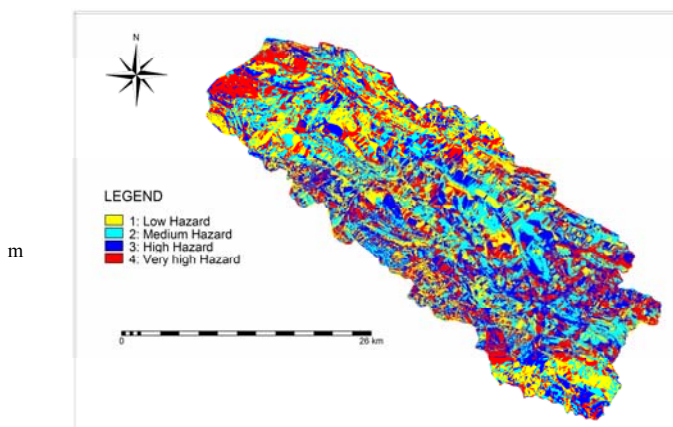
متغیر	تابع تشخیص	تابع تشخیص استاندارد شده
G01(0.16-0.20) m/s ²	0,300	-0.154
G02(0.20-0.22) m/s ²	-0.181	-0.343
A03(S)	1.545	-0.091
A04(W)	1.259	-0.146
D01(0-500) m	13.303	0.862
D02(500-1000) m	11.658	0.373
F01(0-1000) m	8.664	0.519
F02(1000-2000) m	7.154	0.189
L03(Qtl +Qt3+Qd+Qal+Plb+Plb-slide)	5.913	0.36
L05(Kdr+Ksr+Kil-sr+Kdr-slide+jn)	5.074	0.138
R02(600-800) mm	1.507	0.267
S02(5-12%)	3.272	0.158
S03(12-40%)	3.778	0.258
S05(>70%)	2.98	-0.169
V01(Bu-He)	5.554	0.229
V07(Sh-Bu)	7.565	0.471
(Constant)	-17.354	
L02(Kgu+peEKn+Emas-ja+Kgu-slide)	6.697	0.588



شکل ۸- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با رگرسیون خطی به روش گام به گام با داده‌های گسسته

بر اساس جداول ۲ و ۱ برای روش آماری چند متغیره، از مجموع ۳۶ رده متغیر فقط ۱۷ رده متغیر در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ معنی دار بوده و مابقی اختلاف معنی دار نشان نمی‌دهند. همچنین میزان همبستگی پارامترهای مختلف یا به عبارت دیگر نقش هر

دست می‌آید (شکل ۹). لازم به ذکر است نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در سطوح فراوانی ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ (کم، متوسط، بالا و بسیار بالا) طبقه‌بندی گردیده است. همچنین ۶۹ درصد واحدهای همگن بطور صحیح گروه بندی شده‌اند [۱۹].



شکل ۹- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با تحلیل ممیزی به روش گام به گام با داده‌های گسسته

با استفاده از نقشه پراکندگی زمین لغزش‌ها اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش گردید. جهت انجام این امر، نقشه مذکور با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در سیستم اطلاعات جغرافیایی، قطع داده شدند.

به منظور ارزیابی رده‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی از شاخص زمین لغزش^۱ استفاده گردید. شاخص زمین لغزش به صورت زیر تعریف شده است [۳۱،۳۷].

$$Li = \frac{(Si/Ai)}{(\sum_1^n (Si/Ai))} * 100 \quad (1)$$

که در این نسبت، شاخص زمین لغزش عبارتست از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها.

به منظور مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده، پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده^۲ (P) [۲۸ و ۳۲] مورد توجه قرار گرفت. پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده از رابطه^۲ قابل محاسبه می‌باشد.

$$P = Ks / S \quad (2)$$

جدول ۳- ضریب همبستگی عوامل موثر در لغزش براساس روش رگرسیون خطی

ردیف	عامل موثر در لغزش	ضریب همبستگی
۱	لیتولوژی	۰/۲۹
۲	شیب	۰/۲۷
۳	بارندگی	۰/۱۷
۴	پوشش گیاهی و کاربری اراضی	۰/۱۶
۵	جهت شیب	۰/۰۶
۶	فاصله از آبراهه	۰/۰۵
۷	شتاب ثقل افقی	-۰/۰۶
۸	فاصله از گسل	-۰/۱۶

عامل در پهنه بندی خطر زمین لغزش (با توجه به همبستگی عوامل در روش رگرسیون خطی به روش گام به گام)، به ترتیب مطابق جدول ۳ می‌باشد.

ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه بندی خطر زمین

لغزش

1. Landslide Index.
2. Precision of the Predicted results.

جدول ۴ - مقایسه اطلاعات حاصل از تقاطع هر یک از نقشه‌های روش‌های پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

شاخص زمین لغزش (Li) در هر رده برحسب درصد	$\sum_1^n (Si/Ai)$	تراکم لغزش در کل نقشه	تراکم لغزش در هر رده	Ai(Ha)	Si(Ha)	رده‌های خطر	روش پهنه بندی خطر لغزش
3/732	0/160	0/040	0/006	20040/840	119/400	LOW	دو متغیره (ارزش اطلاعات)
14/695			0/023	20021/800	469/680	MEDIUM	
28/545			0/046	19940/520	908/640	HIGH	
53/027			0/085	20011/480	1693/960	VERY HIGH	
4/873	0/160	0/040	0/008	20031/040	155/880	LOW	دو متغیره (تراکم سطح)
13/354			0/021	20045/280	427/520	MEDIUM	
32/190			0/051	19957/000	1026/000	HIGH	
49/583			0/079	19981/320	1582/280	VERY HIGH	
19/576	0/160	0/040	0/031	20005/223	624/858	LOW	چند متغیره (رگرسیون خطی)
23/745			0/038	19989/722	757/373	MEDIUM	
27/958			0/045	20162/724	899/444	HIGH	
28/721			0/046	19856/971	910/005	VERY HIGH	
20/561	0/160	0/040	0/033	20018/973	656/793	LOW	چند متغیره (تحلیل ممیزی)
27/534			0/044	20020/223	879/579	MEDIUM	
25/030			0/040	20039/223	800/372	HIGH	
26/875			0/043	19936/222	854/937	VERY HIGH	

طبقه‌بندی رده‌های خطر نتایج قابل قبولی را به همراه داشته‌اند. هرچند، این طبقه‌بندی برای روش‌های ارزش اطلاعاتی و دو متغیره تراکم سطح مناسب‌تر است (مقادیر Li در این روش‌ها برای رده‌های خطر پایین و متوسط کمتر است). مقدار P در جدول ۵ نشان‌دهنده کارایی بالای روش‌های ارزش اطلاعاتی و دو متغیره تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

در بین روش‌های آماری مورد استفاده، دقت

در رابطه ۱، Li عبارت است از شاخص خطر وقوع لغزش در هر پهنه خطر به درصد، Si مساحت لغزش در هر پهنه خطر، Ai مساحت هر پهنه خطر و n تعداد رده‌های خطر بوده و در رابطه شماره ۲، Ks مساحت سطح لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا و S مساحت زمین لغزش‌ها در منطقه می‌باشند.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود از رده‌های خطر پائین به بالا مقادیر Li نیز در کلیه روش‌های بکار گرفته شده افزایش می‌یابند. لذا، کلیه روش‌ها در

جدول ۵ - دقت حاصل از اجرای روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

P	S(Ha)	KS(Ha)	روش پهنه‌بندی خطر لغزش
0/96	3191/680	3072/28	دو متغیره (ارزش اطلاعات)
0/95		3035/80	دو متغیره (تراکم سطح)
0/80		2566/82	چند متغیره (رگرسیون خطی)
0/79		2534/89	چند متغیره (تحلیل ممیزی)

افقی و فاصله از گسل به ترتیب دارای بیشترین تاثیر در زمین لغزش می‌باشند.

۳- در روش آماری چندمتغیره رگرسیون خطی، هفده پارامتر در سطح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ در معادله مورد استفاده قرار گرفته و ضریب R برای معادله رگرسیون ۷۰٪ به دست آمد که کاملاً قابل قبول می‌باشد. ۴- در روش آماری چند متغیره تحلیل ممیزی با استفاده از هفده پارامتر، تابع تشخیص تشکیل گردید.

دقت

گروه بندی گروه‌های پایدار و ناپایدار ۶۴٪ می‌باشد. همچنین آزمایش کای اسکوئر (chi-square) برای تابع تشخیص ۵۵۶ بوده که در سطح اطمینان ۹۹٪ قابل قبول می‌باشد.

۵- دقت زمین لغزش در رده‌های متوسط به بالا (P1)، در روش دو متغیره ارزش اطلاعاتی ۰/۹۶ برای مساحت ۵۹۹۷۳ هکتار، در روش دو متغیره تراکم سطح ۰/۹۵ برای مساحت ۵۹۹۸۳ هکتار می‌باشد.

۶- به عنوان نتیجه گیری نهایی با توجه به مطالبی که ذکر شد، به ترتیب روش‌های آماری شامل رگرسیون خطی، آنالیز ممیزی، ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر

روش (P) برای پهنه‌های متوسط تا بسیار زیاد، به ترتیب برای روش‌های ارزش اطلاعاتی ۰/۹۶، تراکم سطح ۰/۹۵، رگرسیون خطی ۰/۸۰ و آنالیز ممیزی ۰/۷۹ می‌باشد که با شرایط وقوع زمین لغزش‌ها انطباق دارد (جدول ۵). همچنین با توجه به جدول ۴ برای تمامی پهنه‌ها، روش‌های دو متغیره (ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح) صرف نظر از استقلال لایه‌های اطلاعاتی، با شرایط وقوع زمین لغزش انطباق بیشتری دارند.

با وجود محدودیت‌های روش‌های دو متغیره بخصوص فرض استقلال لایه‌های اطلاعاتی و از طرف دیگر همبستگی عوامل طبیعی (متغیرها) در پدیده زمین لغزش، روش رگرسیون خطی و آنالیز ممیزی در مقایسه با روش‌های دو متغیره به ترتیب با دقت (P) ۰/۸۰ و ۰/۷۹ در شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش (طبقات خطر زیاد و بسیار زیاد) نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

نتایج

- ۱- براساس روش آماری چند متغیره، فقط ۱۷ رده متغیر از مجموع ۳۶ رده متغیر در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی دار بوده و مابقی اختلاف معنی داری ندارند.
- ۲- رده‌های لیتولوژی، شیب، بارندگی سالانه، پوشش گیاهی، جهت شیب، فاصله از آبراهه، شتاب ثقل

دارای اولویت می‌باشند.

۳- با توجه به تنوع و تعدد فاکتورهایی که در ناپایداری دامنه‌ها مؤثرند، پیشنهاد می‌گردد، فاکتورهایی نظیر فاصله از جاده، جهت لایه‌بندی واحدهای زمین شناسی در روشهای آماری با مقیاس بزرگتر بررسی گردند.

۴- پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقیق‌تر رابطه شتاب ثقل افقی زلزله و فاصله از گسل، با لغزش‌های منطقه، بررسی‌های دقیق ژئوفیزیکی و سائزموکتونیک در منطقه انجام گیرد.

سپاس‌گزاری

در پایان مراتب سپاس و قدردانی از ریاست محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان جناب آقای دکتر سعید اسماعیل خانیان و ریاست محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری جناب آقای دکتر ضیاءالدین شعاعی بخاطر فراهم آوردن امکان این تحقیق اعلام می‌گردد.

پیشنهادات

۱- بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، حوضه‌های آبخیز بالادست به دلیل وجود سازندهای حساس ماری و شیب‌های مؤثر (۴۰٪-۱۲٪) دارای خطر بالای لغزش بوده و باعث ورود رسوب دانه ریز به رودخانه ماربر و افزایش بار رسوبی رودخانه می‌گردد. لذا توجه به کنترل لغزش در این پهنه‌ها، نقش اساسی در کاهش رسوب در سرشاخه‌های کارون خواهد داشت.

۲- از آن جایی که نقشه‌های عوامل مؤثر در منطقه با دقت تهیه شده اند، لذا علاوه بر انجام سریع آزمون روشهای دیگر نظیر روش منطق فازی^۱ و شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲، می‌توان از آنها به عنوان لایه‌های اطلاعاتی مناسبی جهت انجام عملیات حفاظت خاک و کنترل رسوب در حوضه مذکور استفاده گردد.

1. Fuzzy Logic.
2. Artificial Neural Network.

منابع

۱. اشقلی فراهانی، ع. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۴۲، ص، ۱۳۸۰.
۲. آمبرسیز، ن، و ملویل، ج، ب. تاریخ زمین لرزه‌های ایران. ترجمه رده موسسات انتشارات آگاه، تهران، ۱۳۷۰.
۳. برزگر، ف، مالکی، ا. و همکاران. پهنه بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران، گروه لرزه زمین ساخت و گروه برآورد نسبی زمین لرزه، مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری ایران، ۱۰۰، ص، ۱۳۷۶.
۴. پژم، م. پهنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز الموت رود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.
۵. جلالی، ن. ارزیابی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز طالقان، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۱.
۶. حائری، س. م و همکاران. طرح بررسی جامع رانش زمین در استان مازندران، جلد سوم، گزارش مرحله نهایی، ۱۳۷۵.
۷. حائری، س. م. زلزله منجیل _ رودبار (ایران) ۳۱ خرداد ۱۳۶۹، فصل دوم، گزارش تحلیلی شماره ۱-۹۰-۷۰، مؤسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۰.
۸. حق شناس، ابراهیم. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳، ص، ۱۳۷۴.
۹. رحمانی، گ. بررسی و تحلیل پایداری شیب‌های طبیعی با نگرش ویژه به ساختار و تکتونیک منطقه در طالقان مرکزی (جنوب غرب شهرک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۹، ص، ۱۳۷۷.
۱۰. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰؛ شیت بیده، برگ 6351IV؛ شیت حنا، برگ 6352III؛ شیت حسن آباد پایین، برگ 6351I؛ شیت دژکرد، برگ 6351III؛ شیت سی سخت، برگ 6251II؛ شیت میمند، برگ 6252II؛ شیت یاسوج، برگ 6351III، ۱۳۷۸.
۱۱. سازمان زمین شناسی کشور. نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰؛ شیت دنا برگ شماره ۶۲۵۲؛ شیت سمیرم برگ شماره ۶۳۵۲؛ شیت یاسوج برگ شماره ۶۳۵۱؛ شیت سی سخت برگ شماره ۶۲۵۱، ۱۳۷۷.
۱۲. سازمان نقشه‌برداری کشور. عکسهای هوایی ۱:۴۰۰۰۰ منطقه پادنا علیا.
۱۳. سعدالدین، ا. ۱۳۷۳. بررسی اثرات پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک بر حرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوزه آبخیز چاشم _ خطیر کوه سمنان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۳، ص، ۱۳۷۲.
۱۴. سفیدگری، ر. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر

بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ...

- احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۴ ص، ۱۳۷۷.
۲۴. مرادی هرسینی، ک. بررسی ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی نهشته‌های کوآترنر جنوب شرق تهران (دشت ورامین)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۴ ص، ۱۳۷۹.
۲۵. نیک اندیش، ن. بررسی نقش عوامل هیدرواقليم در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه کارون میانی، پایان نامه دکترا، دانشگاه اصفهان، ۱۳۷۸.
26. Begueria, S. and A. Lorente.. Landslide Hazard Mapping by Multivariate Statistics: Comparison of Methods and Case Study in the Spanish Pyrenees. (1999)
27. Chung, C. F., A. G. Fabbri and C. J. Van Westen.. Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, Geographic Information System In Assessing Natural Hazards. A., Carrara & F. Guzzeti, eds., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.107–133. (1995)
28. Gee, M. D. Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability. Bell, Davi,H(Ed.), Proceedings 6 th International Symposium on Landslide, 48–56. (1992)
29. Guzzetti,F., M. Cardinali, P. Relchenbach and A. Carrara.. Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. Environmental management, vol. 25, No.

- زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص، ۱۳۸۱.
۱۵. سیارپور، م. پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال، استان اردبیل. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۹۳ ص، ۱۳۷۸.
۱۶. شریعت جعفری، م. مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی. انتشارات سازه، ۱۸ ص، ۱۳۷۵.
۱۷. شرکت ملی نفت ایران. نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شیت بروجن -H39C&D. ۱۹۶۳.
۱۸. شرکت ملی نفت ایران. نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شیت گچساران -H39I&G. ۱۹۶۳.
۱۹. شیرانی، ک. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به منظور انتخاب روش مناسبی برای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم، در مسیر رودخانه ماربر، تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۴ ص، ۱۳۸۲.
۲۰. طرح جامع آب کشور. گزارش حوضه کارون، شرکت مهندسين مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۷۸.
۲۱. فتاحی اردکانی، م. ع.، غیومیان، ج. و جلالی، ن. ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان، مجله زمین شناسی مهندسی، جلد اول، شماره ۱، ص ۴۲-۲۵، ۱۳۸۲.
۲۲. فتاحی اردکانی، م. ع. بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. مرکز آموزش عالی امام خمینی، ۱۳۷۹.
۲۳. کهی میانجی، ی. تحلیل چند متغیره آماری

- Hazard Zonation. Instability Zonation, Part 1: Exercises, ITC, and Publication Number 15. (1996)
36. Van Westen, C. J., N. Rengers, M. T. J. Terlien and R. Soeters.. Predication of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation. Geologisches Rundschau (1997) 86 :pp. 404 – 414 .(1997)
37. Van Westen, C.J. and R. Soeters.. GISSIZ: Workshop on GIS in Landslide Hazard Mapping: the Kakani Area (Nepal) 1: Theory. Version 2, ITC, p. 156.(1998)
38. Van Westen, C. J.. Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ), Volume I, II. (1998)
39. Varnes, D. J.. Landslide Types and Processes. Landslides and Engineering Practice. E. B. Eckel (Ed). Special Report No. 29. Highway Research Board, pp 20 – 47 . (1978)
40. Varnes D. J.. Landslide Hazard Zonation: A Review of principles and practice. United Nation Educational. Scientific and cultural org. (UNESCO) France. (1984)
- 3, pp. 247 – 263 .(2000)
30. Haeri, S. M. and A. H. Smaiee.. Some Methods of Landslide Microzonation. 10th European Conf. on Earthquake Engineering, Duma(ed.), Balkema, Rotterredam. (1995)
31. Ilwis Applications Guide.. Ilwis 2.1 for windows, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science(ITC), Ensched, Netherlands. (1997)
32. Jade, S., Sarkar, S.. Statistical models for Slope Instability classifications Engineering Geology, 36, 91 – 98 .(1993)
33. Murat Ercanogla and Canada Gokceoglu.. Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, Environmental Geology, 41: 720 – 730 .(2002)
34. Saro Lee and M. Kyungduck. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, Environmental Geology, 40: 1095 – 1113 . (2001)
35. Van Westen, C. J., N. Rangers, M. T. J. Terlien and R. Soeters. Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS- Based