

صحت‌سنجی روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کمک تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)

کوروش شیرانی^{۱*}، عبدالله سیف^۲، مسعود علیمرادی^۳

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان

۲- استادیار دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان

۳- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۲/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۲۹

چکیده

مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی به وقوع خسارت‌های زیاد ناشی از زمین‌لغزش‌ها دامن زده است. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها، دوری جستن از این مناطق است. بدین منظور لازم است تا نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نسبتاً دقیقی از بین روش‌های موجود برای این مناطق تهیه گردد. هدف این تحقیق آن است تا در مرحله نخست به کمک رابطه رگرسیونی چندمتغیره (MR)، اولویت نسبی (ارجحیت) عوامل مؤثر تعیین گردد و از آنها به‌جای اولویت‌بندی عوامل در روش سلسله‌مراتبی (AHP) - که به صورت کارشناسی مشخص می‌شوند - استفاده گردد. در مرحله بعد، ضمن تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، صحت دو روش نیز ارزیابی و مقایسه می‌شود. برای انجام این تحقیق، به‌وسیله عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و بررسی‌های میدانی به کمک سامانه موقعیت‌یاب (GPS)، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه رودخانه ماربر از زیرحوضه‌های بالادست حوضه کارون شمالی به وسعت ۸۰۰ کیلومترمربع واقع در جنوبی‌ترین قسمت استان، تهیه شده است. سپس ۹ عامل لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، بارش، پوشش گیاهی، جهت شیب، و عناصر خطی جاده، گسل و آبراهه (۵۴ پارامتر در قالب ۹ عامل) مورد بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر در لغزش نیز تعیین شده‌اند. به‌منظور بالا بردن دقت، سرعت و سهولت آنالیز تمامی اطلاعات مکانی و توصیفی وارد سیستم GIS گردیدند و به‌وسیله نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۹/۳ به‌صورت برداری هم‌پوشانی داده شدند. از هم‌پوشانی نقشه‌های عوامل مذکور، ۲۷۴۶۶ واحد همگن حاصل شد که مبنای اعمال روابط حاصل از دو روش تحلیل رگرسیونی چند متغیره (MR) و سلسله‌مراتبی (AHP) قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان داد که هر دو روش، دارای دقت تقریباً یکسان در تفکیک پهنه‌های خطر با شاخص زمین‌لغزش کاملاً مشخصی هستند؛ اما روش سلسله‌مراتبی براساس شاخص مجموع کیفیت (Qs) - که شاخص صحت نیز نامیده می‌شود - دارای مطلوبیت بیشتری است.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر، حوضه آبخیز رودخانه ماربر، رگرسیون چندمتغیره، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، سامانه اطلاعات مکانی (GIS).

* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، شهرک امیرحمزه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. تلفن ۰۹۱۳۳۱۳۷۳۵۶

۱- مقدمه

حرکت‌های دامنه‌ای - و به طور اخص زمین‌لغزش‌ها - در زمره پرخسارت‌ترین مخاطرات طبیعی‌اند که با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته‌اند [۱]. از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین‌لغزش‌ها خارج از توان شناخت و دانش بشری است، تنها با شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی کردن آنها تا حدودی می‌توان از خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش جلوگیری کرد [۲]. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر - از هیچ تا بسیار زیاد - تقسیم می‌کند [۳]. این فرایند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه‌ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای و ناحیه‌ای و محلی محسوب گردد [۴]. در مورد پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای تا کنون بررسی‌های زیادی صورت گرفته است و محققان مختلف با استفاده از روش‌های گوناگون، طبقه‌بندی‌های متنوع و متعددی را ارائه کرده‌اند [۵]. اما بسته به وضعیت موجود منطقه مورد مطالعه، دقت و انعطاف هر یک از این روش‌ها متفاوت با دیگری است. بنابراین برای شناخت مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر باید بهترین و دقیق‌ترین روش را با توجه به عوامل مؤثر در رخداد وضعیت منطقه برگزید [۲].

تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفته است که عمدتاً شامل استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره [۲۰ و ۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۲]، و یا مقایسه روش‌های آماری مذکور با روش تحلیل سلسله‌مراتبی [۲۶ و ۲۵، ۲۴، ۲۳، ۲۲، ۲۱، ۶]، رگرسیون چندمتغیره و ارزش اطلاعاتی است [۲۸ و ۲۷، ۹]. از آنجا که پدیده‌های طبیعی مختلف همچون زمین‌لغزش تحت تأثیر و تعامل

پارامترهای طبیعی متعدد که به صورت همزمان و با هم تأثیرگذارند، وقوع می‌یابند. لذا پژوهشگران مختلف که پیش‌تر به برخی از آنها اشاره شد، کوشیده‌اند تا مدل‌هایی را که با شرایط ذاتی پدیده‌های طبیعی هم‌خوانی و قرابت بیشتری دارند، به کار بگیرند.

به همین خاطر نیز از روش آماری چندمتغیره، که در آن عوامل طبیعی مؤثر به عنوان متغیرهای مستقل، به صورت یک جا و با هم نسبت به عامل زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود، برای وزن‌دهی به عوامل استفاده شده است. همچنین در روش سلسله‌مراتبی به کمک مقایسه دو به دو پارامترها براساس نظر کارشناسی به بررسی تأثیر آنها در رخداد زمین‌لغزش در قالب ایجاد ماتریس پرداخته می‌شود. به نظر می‌رسد که اگر بتوان به کمک روش آماری رگرسیون چندمتغیره به استخراج اوزان نسبی پارامترهای مؤثر پرداخت و سپس از آنها در روش سلسله‌مراتبی استفاده کرد، می‌توان با حذف نظر کارشناسی در اولویت‌بندی عوامل روش سلسله‌مراتبی و جایگزینی اوزان نسبی استخراجی حاصل از روش آماری رگرسیونی به جای آن، دقت روش سلسله‌مراتبی را بالاتر برد. لازم به ذکر است که پژوهشگران تاکنون از روش‌های یاد شده به صورت مجزا استفاده کرده‌اند و هیچ‌گاه نکوشیده‌اند که دیدگاه‌های کارشناسی را در اولویت‌بندی و ارجحیت دادن نسبی عوامل حذف کنند. این در حالی است که یکی از اهداف اصلی کاربرد مدل‌های آماری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کاهش یا حذف دیدگاه‌ها و قضاوت‌های کارشناسی از پیش تعیین شده است.

پژوهش حاضر بر آن است تا ضمن پهنه‌بندی حوضه رودخانه ماربر از نظر خطر رخداد زمین‌لغزش با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره (MR)^۱ و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۲، به استخراج ضرایب

1. Multivariate Regression

2. Analytical Hierarchy Process

حوضه ماربر طبق نام گذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲-۱-۴-۳ به نام کهردان واقع شده است [۳۰ و ۲۹]. با توجه به تقسیم بندی نواحی اقلیمی ایران به وسیله مسعودیان (۱۳۸۷) حوضه ماربر از نظر موقعیت جغرافیایی جزء اقلیم بلندی ها و بر حسب ویژگی های اقلیمی جزء اقلیم «سرد، بارش مند، خشک» است [۳۱]. متوسط بارش سالانه در منطقه ۵۶۶/۸ میلیمتر است [۳۰].

۲-۲- تهیه نقشه های عوامل مؤثر

پس از زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره ای و نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی به وسیله نرم افزار ENVI 4.7 و ArcGIS 9.3 اقدام به تهیه لایه های مورد نیاز بدین شرح گردید:

- تهیه لایه اطلاعاتی شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و جاده با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و نقشه توپوگرافی حوضه در محیط ArcGIS9.3. لازم به ذکر است که مبنای نقشه توپوگرافی مورد استفاده، نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور است.

- تهیه لایه اطلاعاتی لیتولوژی و فاصله از گسل از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور.

- تهیه لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی، کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای ETM+۲۰۰۲ در نرم افزار ENVI۴/۷ و نقشه های کاربری اراضی و پوشش گیاهی سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور در مقیاس ۱/۲۵۰,۰۰۰.

- تهیه لایه اطلاعاتی خطوط هم باران سالانه به کمک درونیابی آمار ۳۱ ایستگاه هواشناسی در محیط Surfer 9.

- پراکنش زمین لغزش ها در منطقه مورد بررسی با استفاده از عکس های هوایی منطقه، مربوط به سال ۱۳۷۲ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکپی، تفسیر و مناطق لغزشی تعیین گردیدند. سپس موقعیت

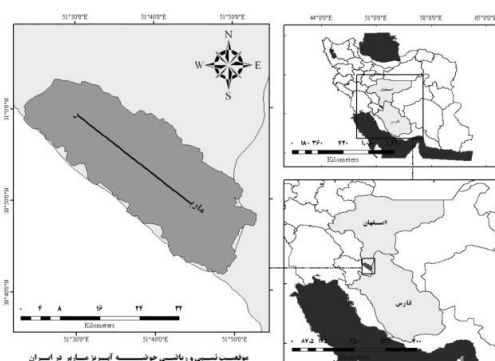
متغیرهای مستقل به کمک روش رگرسیون چندمتغیره (MR) به عنوان وزن کمی عوامل مؤثر، به جای قضاوت کارشناسی اهمیت نسبی عوامل مؤثر در ماتریس تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پردازد و در نهایت ضمن ارزیابی دو روش مذکور، میزان دقت آنها را تعیین کند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

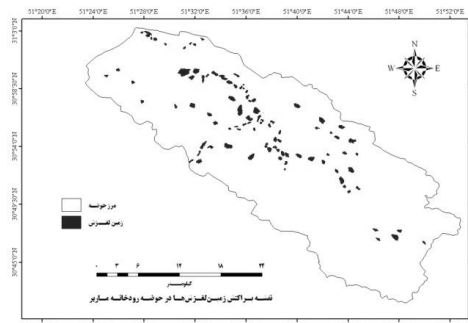
حوضه رودخانه ماربر در حد فاصل ۳۰۴۱'۴۸" تا ۳۱۳'۲۰" عرض شمالی و ۵۱'۲۳'۱۸" تا ۵۱'۵۲'۵۴" طول شرقی واقع شده است. وسعت حوضه ماربر حدود ۸۰۰ کیلومترمربع است و در ۵۵ کیلومتری جنوب شهر سمیرم قرار دارد. این حوضه در جنوبی ترین قسمت استان اصفهان و تقریباً شمال استان فارس قرار می گیرد.

ناحیه مورد نظر در سلسله جبال زاگرس در زون زاگرس مرتفع جای گرفته است و در واقع به دلیل عملکرد راندگی دنا، بیده و کوه سیاه ناگهان به پیکر بلندی در کنار و موازی بخش زاگرس چین خورده قرار دارد [۲]. بالاترین ارتفاع منطقه ۴۳۰۰ متر و پایین ترین ارتفاع آن به ۱۹۷۱ متر می رسد. منطقه مورد مطالعه در حوضه شماره ۲ (خلیج فارس و دریای عمان) و در دامنه شمال شرقی قله دنا واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه ماربر واقع در پادانای علیای سمیرم اصفهان

دقیق تر لغزش‌ها با استفاده از بررسی‌های صحرایی و دستگاه GPS به نقشه درآمدند (شکل ۲).



شکل ۲. پراکنش زمین لغزش‌های حوضه رودخانه ماربر واقع در پادانای علیای سمیرم اصفهان

واحدهای همگن واحدهایی هستند دارای ویژگی‌های مشترکی از نظر عوامل سنگ‌شناختی (LIT)، شیب (SLP)، کاربری اراضی (LUS)، بارش (RAN)، پوشش گیاهی (RNG)، جهت شیب (ASP)، زمین لغزش (SLD) و نیز عناصر خطی مانند جاده (ROD)، گسل (FLT)، آبراهه (DRN)؛ و اینها به واسطه اختلاف در دست کم - یکی از عوامل ذکر شده، از واحدهای مجاورشان تمایز می‌یابند. به این ترتیب در مورد هر عامل می‌توان تعداد واحدهای همگن دارای لغزش را برگزید و مقدار تأثیر آنها را در وقوع زمین لغزش‌ها بررسی کرد و به مقدار کمی بدل ساخت [۲۱].

۲-۳-۲- کمی کردن عوامل مؤثر، و وزن دادن به آنها
متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین لغزش در برخی از موارد کمی‌اند (عناصر خطی، بارش، شیب) و در مواردی هم کیفی هستند (جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، لیتولوژی). بدین ترتیب، چون در روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌شود و روش رگرسیون چندمتغیره خطی نیز روشی آماری است، لازم است که داده‌های کیفی به داده‌های کمی تبدیل گردند. به منظور تبدیل داده‌های کیفی عوامل و وزن دهی کلاس‌های مختلف آنها، مساحت هر کلاس و درصد سطح لغزش‌یافته آن با واحدهای همگن محاسبه شد و به عنوان مبنای وزن دهی و در نهایت نیز کمی کردن پارامترها در رگرسیون چندمتغیره به کار رفت.

پس از تهیه نقشه واحدهای همگن، آن دسته از واحدهای همگنی که در آنها لغزش رخ داده بود، برای به دست آوردن درصد سطح لغزش‌یافته و وزن دهی به کلاس‌های هر یک از عوامل ۹ گانه در محیط ArcGIS با ابزار Clip جدا شدند. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، کلاسه‌بندی عامل شیب و بارش و عناصر خطی با توجه به شکست‌های طبیعی نمودار فراوانی تجمعی به دست آمدند و برای دیگر عوامل از محتویات موجود در هر نقشه استفاده شد. سپس جدول کلاسه‌بندی هر کدام از عوامل تنظیم گردید و براساس درصد سطح

لازم به ذکر است که برای به دست آمدن واحدهای همگن و کمی کردن عوامل، در مورد برخی از عوامل مانند شیب، بارندگی، فاصله از آبراهه، گسل و جاده، نقشه هر عامل (به صورت محدوده‌های بافر از عناصر خطی) با توجه به ویژگی‌های آن عامل و با استفاده از نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در برابر ارزش هر پیکسل استفاده شده است. بر روی این منحنی مناطقی که شیب منحنی تغییر می‌یابد، به عنوان مرز هر کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته شد. افزون بر اینها، رده‌بندی برای نقشه‌های جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، و پوشش گیاهی - با توجه به محتویات هر لایه - انجام گرفت.

۲-۳-۳- انجام روش رگرسیون چندمتغیره (MR)، با استفاده از داده‌های گسسته

۲-۳-۱- تعیین واحدهای همگن

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه ماربر با روش رگرسیون خطی چندمتغیره، لایه‌های رقومی عوامل مؤثر و لایه پراکنش زمین لغزش‌ها برای به دست آمدن نقشه واحدهای همگن در محیط GIS و به وسیله ابزار Union هم‌پوشانی گردید و ۲۷۴۶۶ واحد همگن ایجاد شد. از میان واحدهای همگن به دست آمده، ۲۰۰۱ واحد آنها لغزش داشته‌اند. لازم به ذکر است که

معنی دار، و ضریب همبستگی (R) آنها ۰/۵۷ بوده است. مدلی که سرانجام به دست آمده، بدین صورت است:

رابطه (۱)

$$Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + \dots + B_n * X_n$$

Y = متغیر وابسته (رخداد زمین لغزش واحد همگن)
B₀ = ضریب یا مقدار ثابت در معادله رگرسیون خطی، که در این تحقیق صفر به دست آمد.

B₁ الی B_n = ضریب یکم تا nام متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر طبیعی) معادله رگرسیون خطی.

X₁ الی X_n = متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر طبیعی) معادله رگرسیون خطی.

مقادیر عددی ضرایب (B₁) الی (B_n) (ضرایب رگرسیونی) و همچنین متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر طبیعی) معادله رگرسیون خطی X₁ الی X_n در جدول ۲ برای هر عامل و در جدول ۶ برای رده‌های هر عامل در منطقه مورد مطالعه آمده است. رابطه رگرسیونی مذکور در محیط Excel برای کلیه واحدهای همگن اعمال گردید، و وزن‌های به دست آمده برای واحدهای همگن به جدول اطلاعاتی لایه رقومی آنها در محیط GIS افزوده شد. پس از ترسیم نمودار فراوانی براساس وزن‌های به دست آمده برای واحدهای همگن و همچنین به منظور مقایسه منطقی نتیجه به دست آمده در این روش با روش تحلیل سلسله مراتبی، حوضه رودخانه ماربر از نظر حساسیت نسبت به رخداد زمین لغزش به ۵ کلاس تقسیم گردید (جدول ۱) و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره به دست آمد (شکل ۳).

جدول ۱. گستره‌های لغزشی حوضه رودخانه ماربر در روش

رگرسیون چندمتغیره

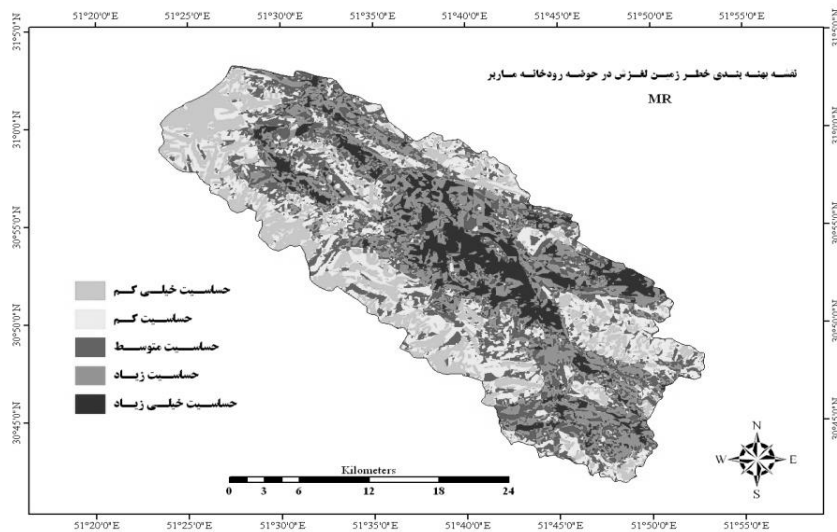
گستره‌های با حساسیت خیلی کم	$Y < 11$
گستره‌های با حساسیت کم	$11 < Y < 20$
گستره‌های با حساسیت متوسط	$20 < Y < 29$
گستره‌های با حساسیت زیاد	$29 < Y < 40$
گستره‌های با حساسیت خیلی زیاد	$40 < Y$

لغزش یافته در هر کلاس به آنها وزن داده شد. برای مثال، عامل بارش به سه کلاس تقسیم گردید: (۶۵۰-۴۵۰ میلی‌متر) Ran1، (۸۰۵-۶۵۰ میلی‌متر) Ran2، (۱۰۰۰-۸۵۰ میلی‌متر) Ran3. گفتنی است که به منظور دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا داده‌های پیوسته مؤثر در لغزش (عوامل مؤثر) به داده‌های گسسته (کلاس‌های هر پارامتر) تبدیل گردیدند. سپس از نسبت مساحت سطح لغزش یافته به مساحت کل هر کلاس، به عنوان مبنای وزن دهی و نهایتاً کمتی کردن پارامترها (به کمک رگرسیون چندمتغیره) استفاده شد. عدد به دست آمده برای هر پارامتر به درصد بدل گردید و به عنوان وزن اولیه آن پارامتر برای تشکیل معادله رگرسیونی در نظر گرفته شد. بدیهی است هر چه سطح لغزش یافته یکی از کلاس‌ها بیشتر باشد، اهمیت آن کلاس نسبت به رخداد زمین لغزش، و همچنین وزن آن بیشتر خواهد بود.

۲-۳-۳- تجزیه و تحلیل آماری و انجام رابطه

رگرسیونی بین عوامل

به منظور انجام رگرسیون چندمتغیره بین عوامل مؤثر، پس از به دست آوردن وزن‌های اولیه کلاس‌های مختلف هر یک از عوامل، اطلاعات به محیط SPSS وارد شدند، که در آن ۵۴ کلاس مربوط به ۹ عامل مورد نظر به عنوان متغیرهای مستقل در برابر واحدهای همگن به تعداد ۲۷۴۶۶ تکرار گردیدند و عامل سطح زمین لغزش در هر واحد همگن به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. در انتخاب روش رگرسیون چندمتغیره روش گام به گام (Stepwise) انتخاب شد که نتایج حاصل از اعمال این روش با درصد اطمینان بیش از ۹۵ درصد تعیین گردید. پس از انجام عملیات رگرسیونی از میان ۵۴ پارامتر دخالت داده شده در رگرسیون ۲۴ پارامتر به دلیل داشتن ضریب معنی داری کمتر از ۹۵ درصد و نداشتن رابطه آماری قوی با درصد سطح لغزش‌های رخ داده در واحدهای همگن، حذف شده‌اند. ۳۰ پارامتر باقی‌مانده در سطح اطمینان بین ۹۵ تا ۹۹ درصد



شکل ۳. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر به روش رگرسیون چندمتغیره (MR)

۲-۳-۴- انجام روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از دانش داده ای (ضرایب رگرسیونی)

ساختار سلسله مراتبی به کار رفته در این روش، با آنچه که در تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از دانش کارشناسی به کار می رود یکسان است و از نوع سلسله مراتبی وظیفه ای با ساختار ناقص؛ با این تفاوت که در روش دانش داده ای با استفاده از ضرایب رگرسیونی برای اولویت بندی (ارجحیت) عوامل و محاسبه وزن نسبی پارامترها از ضرایب رگرسیونی آنها (جدول ۲) استفاده نمی شود و نظر کارشناسی به منظور اولویت بندی عوامل یا رده های آنها، اعمال نمی گردد. نکته درخور توجه در این روش آن است که مقادیر ضرایب رگرسیونی به رغم کمک در تعیین عدد اولویت بندی (ارجحیت) نسبی عوامل، می تواند در تعیین فواصل یا نرخ ارجحیت در تحلیل سلسله مراتبی تأثیرگذار باشد.

۲-۳-۴-۱- ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه وزن آیتها (عوامل و کلاسها)

همان طور که اشاره شد، در روش دانش داده ای برای

اولویت بندی و محاسبه وزن نسبی پارامترها از ضریب رگرسیونی آنها (جدول ۲، ۳ و ۶) استفاده می شود و دیگر نظر کارشناسی اعمال نمی گردد. در این روش پارامتری که بیشترین مقدار ضریب رگرسیونی را دارد، بیشترین اهمیت یا ارجحیت را نیز نسبت به هدف دارد؛ و در ماتریس مقایسه زوجی بالاترین اولویت یعنی عدد ۱ و پارامتری که کمترین مقدار ضریب رگرسیونی را دارد، در عین حال دارای کمترین اهمیت یا ارجحیت نسبت به هدف است و در ماتریس مقایسه زوجی، پایین ترین اولویت - یعنی عدد ۹ - را به خود اختصاص می دهد [۳۳]. تمامی پارامترهایی که ضریب رگرسیونی شان صفر است، پارامترهای حذف شده از معادله رگرسیونی اند و برای آنها در ماتریس، اولویت یکسانی در نظر گرفته می شود. زیرا همان طور که در مبحث روش رگرسیون خطی بیان گردید، مقدار ضریب بیشتر نشانگر افزایش ناپایداری و پارامترهای حذف شده که دارای ضریب صفرند، نسبت به هدف (رخداد زمین لغزش) تأثیر خنثی داشته اند. در مرحله بعد، به تشکیل ماتریس مقایسه زوجی عوامل (جدول ۲) و نیز چنین ماتریسی برای کلاس های هر عامل، پرداخته می شود. ماتریس مقایسه زوجی کلاس های فاصله از

دارد، به‌دست آید. در جدول ۴ نتایج حاصل از نرمالیزه کردن ماتریس‌های مقایسه زوجی عوامل مؤثر، و در جدول ۵ نیز زیر عامل‌ها یا کلاس‌های فاصله از جاده (ROD) به عنوان نمونه آمده است. ستون متوسط (میانگین هر سطر) در ماتریس نرمالیزه وزن نسبی هر عنصر را نشان می‌دهد.

پس از محاسبه وزن نسبی عوامل، برای محاسبه وزن نهایی کلاس‌ها یا زیرعامل‌ها، وزن‌های نسبی هر عامل در زیرعامل‌های مربوط ضرب می‌گردد و وزن نهایی زیرعامل‌ها برای تحلیل سلسله‌مراتبی به کمک ضرایب رگرسیونی به دست می‌آید (جدول ۶). به عنوان مثال، کلاس یا زیرعامل فاصله از جاده ۵۰۰-۰ (RODI) با وزن نهایی ۰/۱۶۴ نتیجه حاصل ضرب عدد ۰/۲۹۱ (وزن نسبی عامل ROD) در عدد ۰/۵۶۳ (وزن نسبی کلاس RODI) است، که به ترتیب از جداول ۳ و ۵ به‌دست آمده‌اند. در شکل ۴، نقشه‌های وزنی عوامل مؤثر نشان داده شده است.

جاده (ROD) با ۴ کلاس جدول ۳ به‌عنوان نمونه آمده است. بدیهی است که برای کلاس‌های ۸ عامل مؤثر دیگر نیز به همین صورت اقدام می‌گردد. پس از تشکیل ماتریس‌های مذکور مراحل تحلیل سلسله‌مراتبی برای پهنه‌بندی، به شرحی که در ادامه ذکر می‌گردد، انجام می‌شود:

۲-۳-۴-۲- نرمال کردن داده‌ها و محاسبه وزن عوامل و کلاس‌ها

پس از تشکیل اولویت‌بندی، برای بی‌بُعد کردن داده‌ها و به‌دست آوردن وزن پارامترها از روش میانگین حسابی (یکی از روش‌های تقریبی) استفاده می‌شود. بدین منظور، ابتدا جمع مقادیر هر یک از ستون‌ها به‌دست می‌آید، و سپس نسبت مقادیر هر پارامتر به جمع تمامی ستون‌های مربوط به آن پارامتر محاسبه می‌شود. در مرحله بعد میانگین مقادیر عناصر در هر سطر محاسبه می‌گردد تا وزن پارامتری که در آن سطر قرار

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر

ضریب رگرسیونی	معیارها	ROD	LIT	RNG	DRN	LUS	SLP	ASP	RAN	FLT
۰/۱۳۴۸	ROD	۱	۱	۴	۴	۵	۶	۷	۹	۹
۰/۱۳۳۰	LIT	۱	۱	۳	۳	۴	۵	۶	۹	۹
۰/۰۲۰۸	RNG	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۱	۱	۳	۴	۵	۷	۷
۰/۰۲۰۳	DRN	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۱	۱	۲	۳	۴	۶	۶
۰/۰۱۵۴	LUS	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۲	۳	۵	۵
۰/۰۱۰۷	SLP	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۲	۳	۳
۰/۰۰۲۰	ASP	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۲	۲
-۰/۰۲۵۷	RAN	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۱
-۰/۰۴۷۲	FLT	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۱
	مجموع	۳/۲۳۲	۳/۵۰۶	۱۰/۰۶۹	۱۰/۴۱۷	۱۶/۲۳۳	۲۲/۱۶۷	۲۹	۴۳	۴۳

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی کلاس‌های فاصله از جاده (ROD)

ضریب رگرسیونی	فاصله از جاده (متر)	۵۰۰- (ROD1)	۵۰۰-۱۰۰۰ (ROD2)	۱۰۰۰-۵۰۰۰ (ROD3)	۵۰۰۰< (ROD4)
۰/۲۳۸۰	(ROD1) ۰-۵۰۰	۱	۳	۵	۷
۰/۱۷۵۰	(ROD2) ۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۳۳۳	۱	۳	۵
۰/۰۹۰۹	(ROD3) ۱۰۰۰-۵۰۰۰	۰/۲	۰/۳۳۳	۱	۲
۰/۰۳۵۳	(ROD4) ۵۰۰۰<	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۵	۱
	مجموع	۱/۶۷۶	۴/۵۳۳	۹/۵	۱۵

جدول ۴. ماتریس نرمال داده‌ها و محاسبه وزن عناصر با استفاده از روش میانگین حسابی

میانگین (وزن نسبی عامل)	FLT	RAN	ASP	SLP	LUS	DRN	RNG	LIT	ROD	معیارها
۰/۲۹۱	۰/۲۰۹۳	۰/۲۰۹۳	۰/۲۴۱۴	۰/۲۷۰۷	۰/۳۰۸۰	۰/۳۸۴۰	۰/۳۹۷۳	۰/۲۸۵۳	۰/۳۰۹۴	ROD
۰/۲۵۳	۰/۲۰۹۳	۰/۲۰۹۳	۰/۲۰۶۹	۰/۲۲۵۶	۰/۲۴۶۴	۰/۲۸۸۰	۰/۲۹۷۹	۰/۲۸۵۳	۰/۳۰۹۴	LIT
۰/۱۳۷	۰/۱۶۲۸	۰/۱۶۲۸	۰/۱۷۲۴	۰/۱۸۰۵	۰/۱۸۴۸	۰/۰۹۶۰	۰/۰۹۹۳	۰/۰۹۵۱	۰/۰۷۷۴	RNG
۰/۱۱۶	۰/۱۳۹۵	۰/۱۳۹۵	۰/۱۳۷۹	۰/۱۳۵۳	۰/۱۲۳۲	۰/۰۹۶۰	۰/۰۹۹۳	۰/۰۹۵۱	۰/۰۷۷۴	DRN
۰/۰۷۸	۰/۱۱۶۳	۰/۱۱۶۳	۰/۱۰۳۴	۰/۰۹۰۲	۰/۰۶۱۶	۰/۰۴۸۰	۰/۰۳۳۱	۰/۰۷۱۳	۰/۰۶۱۹	LUS
۰/۰۵۰	۰/۰۶۹۸	۰/۰۶۹۸	۰/۰۶۹۰	۰/۰۴۵۱	۰/۰۳۰۸	۰/۰۳۲۰	۰/۰۲۴۸	۰/۰۵۷۱	۰/۰۵۱۶	SLP
۰/۰۳۴	۰/۰۴۶۵	۰/۰۴۶۵	۰/۰۳۴۵	۰/۰۲۲۶	۰/۰۲۰۵	۰/۰۲۴۰	۰/۰۱۹۹	۰/۰۴۷۶	۰/۰۴۴۲	ASP
۰/۰۲۱	۰/۰۲۳۳	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۶۰	۰/۰۱۴۲	۰/۰۳۱۷	۰/۰۳۴۴	RAN
۰/۰۲۱	۰/۰۲۳۳	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۶۰	۰/۰۱۴۲	۰/۰۳۱۷	۰/۰۳۴۴	FLT
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	مجموع

جدول ۵. ماتریس نرمالیزه کلاس‌های فاصله از جاده (ROD)

میانگین (وزن نسبی کلاس)	۵۰۰۰< (ROD4)	۱۰۰۰-۵۰۰۰ (ROD3)	۵۰۰-۱۰۰۰ (ROD2)	۵۰۰- (ROD1)	فاصله از جاده (متر)
۰/۵۶۳	۰/۴۶۷	۰/۵۲۶	۰/۶۶۲	۰/۵۹۷	(ROD1) ۰-۵۰۰
۰/۲۶۷	۰/۳۳۳	۰/۳۱۶	۰/۲۲۱	۰/۱۹۹	(ROD2) ۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۱۰۸	۰/۱۳۳	۰/۱۰۵	۰/۰۷۴	۰/۱۱۹	(ROD3) ۱۰۰۰-۵۰۰۰
۰/۰۶۲	۰/۰۶۷	۰/۰۵۳	۰/۰۴۴	۰/۰۸۵	(ROD4) ۵۰۰۰<
۱	۱	۱	۱	۱	مجموع

۲-۳-۴-۴- اعمال اولویت‌بندی‌ها و پهنه‌بندی

حوضه

برای به‌دست آمدن مدل نهایی یا نقشه پهنه‌بندی، ابتدا مجموع حاصل ضرب وزن نسبی کلاس در وزن نسبی هر عامل محاسبه می‌شود، تا وزن نهایی عوامل ۹گانه به‌دست آید (رابطه ۴).

رابطه (۴)

$$W = ((C1.X) + (C2.X) + + (Cn.X))$$

W = وزن نهایی عامل،

C = وزن نسبی کلاس،

X = وزن نسبی عامل

از حاصل جمع وزن نهایی عوامل، مدل پهنه‌بندی استخراج می‌گردد (رابطه ۵).

رابطه (۵)

$$M = (W1 + W2 + + Wn)$$

M = مدل نهایی، W = وزن نهایی عوامل

برای انجام محاسبات یاد شده و اعمال صحیح اوزان به‌دست آمده برای تک‌تک پارامترها و به‌دست آوردن خروجی مدل یعنی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، استفاده از نرم‌افزار ArcGIS9.3 اجتناب‌ناپذیر است. در محیط GIS، مدل مورد نظر را می‌توان با روش‌های مختلفی چون Weighted Overlay، Weighted Sum، Extention AHP و Raster Calculator تهیه کرد. در این پژوهش به منظور ارائه مدل نهایی، از روش Weighted Sum - به دلیل در نظر گرفتن وزن نسبی هر عامل و اعمال آن در وزن نسبی کلاس‌های هر عامل به صورت هم‌زمان و یک‌جا - استفاده شد؛ و لایه به‌دست آمده براساس شکست‌های طبیعی نمودار فراوانی پیکسل‌ها و با هدف مقایسه نتایج با روش رگرسیون چندمتغیره به ۵ کلاس لغزشی تقسیم گردید (جدول ۷). شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه ماربر را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با داده‌های کمی، نشان می‌دهد.

۲-۳-۴-۳- محاسبه نرخ ناسازگاری داده‌ها

نرخ ناسازگاری، معیاری است برای سنجش معناداری و دقت داده‌های وارد شده در ماتریس‌ها و مقدار مناسب و پذیرفتنی آن در روش تحلیل سلسله‌مراتبی کمتر از ۰/۱ است [۳۳]. برای محاسبه میزان ناسازگاری ماتریس، پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (A) و به‌دست آوردن بردار وزن (W)، ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب می‌شود تا تخمین مناسبی از $\lambda \max W$ به دست آید. به عبارتی $A \times W = \lambda \max W$ است. با تقسیم $\lambda \max W$ بر W مربوط، مقدار $\lambda \max$ محاسبه می‌شود. پس محاسبه متوسط $\lambda \max$ مقدار شاخص ناسازگاری را می‌توان از طریق رابطه (۲) محاسبه کرد [۳۳].

رابطه (۲)

$$I.I. = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

$I.I.$ = شاخص ناسازگاری، n = بعد ماتریس

نرخ ناسازگاری نیز از رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

رابطه (۳)

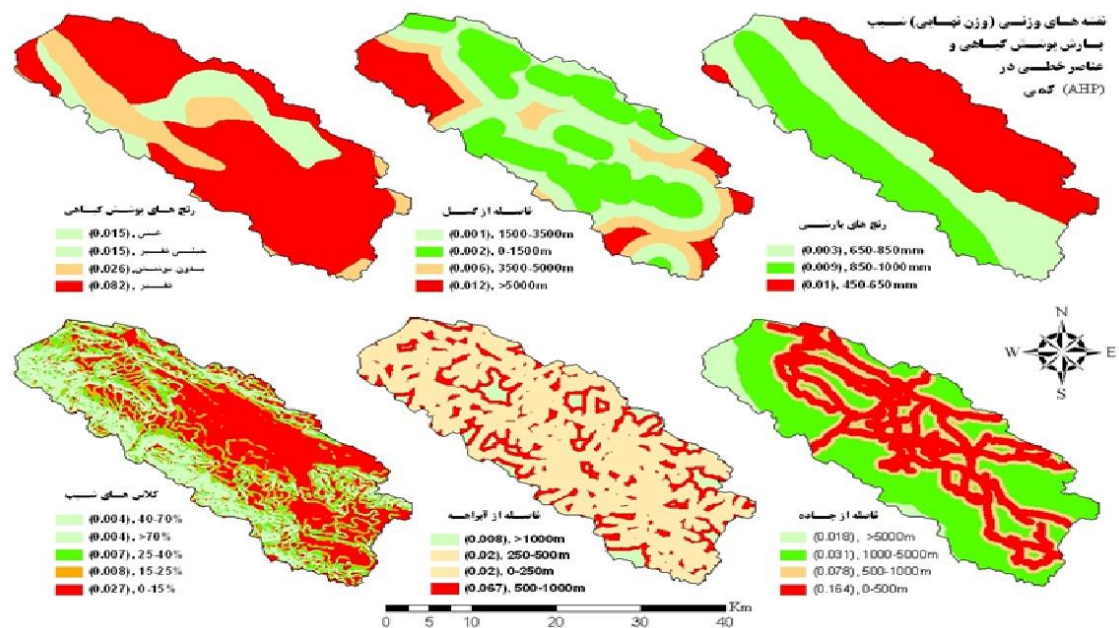
$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.}$$

$I.I.R.$ = نرخ ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی،

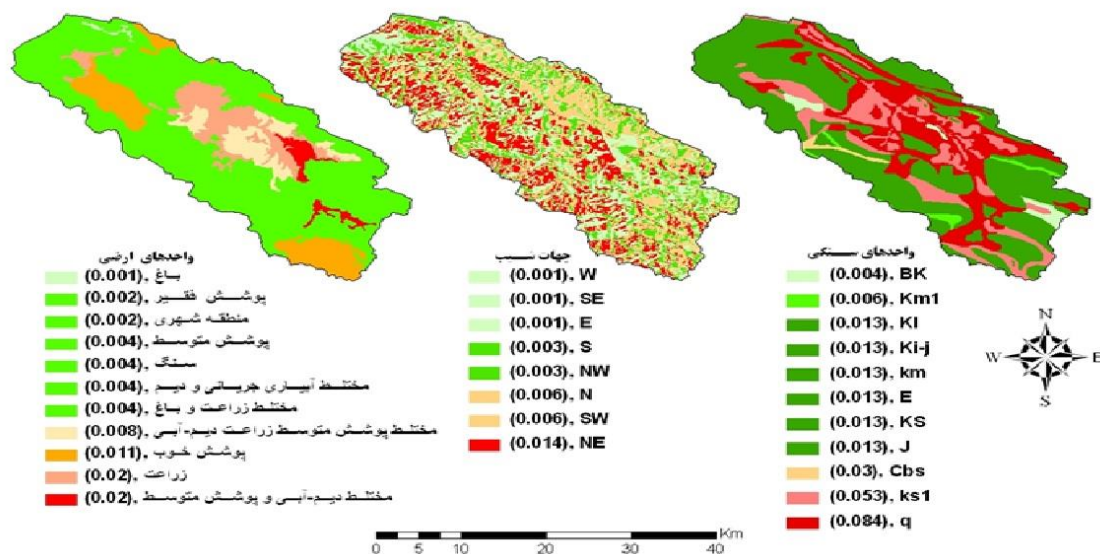
$I.R.$ = نرخ ناسازگاری.

بدین ترتیب، برای محاسبه نرخ ناسازگاری داده‌ها از روش میانگین حسابی استفاده شد، و مقدار آن برای ماتریس عوامل مؤثر (جدول ۲) ۰/۰۰۴۶ به‌دست آمد، که پذیرفتنی است.

مراحل مذکور برای تمامی کلاس‌های هر عامل به صورت جداگانه و براساس ضرایب رگرسیونی اختصاص یافته، مطابق آنچه که پیش‌تر تشریح گردید، انجام گرفت تا وزن هر کلاس نسبت به کلاس‌های دیگر با توجه به هدف (رخداد زمین‌لغزش) به‌دست آید. سپس سازگاری تمامی داده‌ها کنترل گردید. نتایج به دست آمده، در جدول ۶ نشان داده شده است.



نقشه های وزنی (وزن نهایی) جهت انتخاب کاربری ارضی و سازندهای زمین شناسی (AHP) کمی



شکل ۴. نقشه وزنی عوامل مؤثر به روش AHP با استفاده از ضرایب رگرسیونی

جدول ۶. نتایج به دست آمده برای هر کلاس پس از طی مراحل سلسله مراتبی

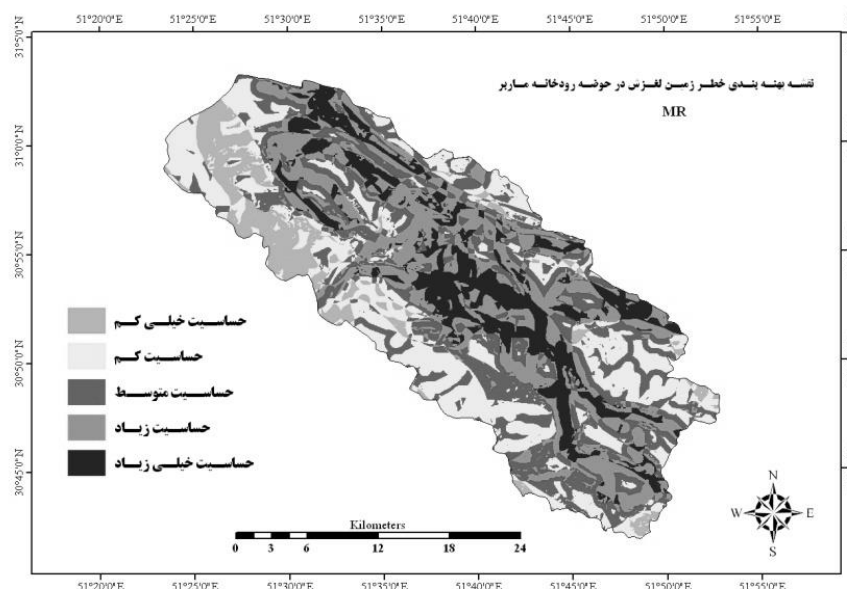
وزن نهایی	وزن نسبی کلاس	ضریب رگرسیون	نام کلاس	کد کلاس	وزن نسبی عامل	کد عامل	وزن نهایی	وزن نسبی کلاس	ضریب رگرسیون	نام کلاس	کد کلاس	وزن نسبی عامل	کد عامل
۰/۰۰۲	۰/۱۰۸	-۰/۰۷۲۴	0-1500m	FLT1	۰/۱۶۴	۰/۵۶۳	۰/۲۳۸۰	0-500m	ROD1	۲۹۱/۰	ROD	۰/۰۰۲	۰/۱۰۸
۰/۰۰۱	۰/۰۶۲	-۰/۰۷۷۵	1500-3500m	FLT2	۰/۰۷۸	۰/۲۶۷	۰/۱۷۵۰	500-1000m	ROD2	۲۹۱/۰	ROD	۰/۰۰۱	۰/۰۶۲
۰/۰۰۶	۰/۲۶۷	-۰/۰۳۸۹	3500-5000m	FLT3	۰/۰۳۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹۰۹	1000-5000m	ROD3	۲۹۱/۰	ROD	۰/۰۰۶	۰/۲۶۷
۰/۰۱۲	۰/۵۶۳	۰	>5000m	FLT4	۰/۰۱۸	۰/۰۶۲	۰/۰۳۵۳	>5000m	ROD4	۲۹۱/۰	ROD	۰/۰۱۲	۰/۵۶۳
۰/۰۲۶	۰/۱۹۱	۰	بدون پوشش	RNG1	۰/۰۲۰	۰/۱۷۴	۰	0-250m	DRN1	۱۱۶/۰	DRN	۰/۰۲۶	۰/۱۹۱
۰/۰۸۲	۰/۵۹۶	۰/۰۸۳۳	فقیر	RNG2	۰/۰۲۰	۰/۱۷۴	۰	250-500m	DRN2	۱۱۶/۰	DRN	۰/۰۸۲	۰/۵۹۶
۰/۰۱۵	۰/۱۰۷	۰	خیلی فقیر	RNG3	۰/۰۶۷	۰/۵۸۱	۰/۱۰۵۹	500-1000m	DRN3	۱۱۶/۰	DRN	۰/۰۱۵	۰/۱۰۷
۰/۰۱۵	۰/۱۰۷	۰	غنی	RNG4	۰/۰۰۸	۰/۰۷۱	-۰/۰۲۴۸	>1000m	DRN4	۱۱۶/۰	DRN	۰/۰۱۵	۰/۱۰۷
۰/۰۰۱	۰/۰۳۹	-۰/۰۱۹۲	E	ASP1	۰/۰۱۰	۰/۴۵۸	۰	450-650mm	RAN1	۰/۲۱/۰	RAN	۰/۰۰۱	۰/۰۳۹
۰/۰۰۶	۰/۱۷۴	۰/۰۲۱۴	N	ASP2	۰/۰۰۳	۰/۱۲۶	-۰/۰۲۵۷	650-850mm	RAN2	۰/۲۱/۰	RAN	۰/۰۰۶	۰/۱۷۴
۰/۰۱۴	۰/۴۰۶	۰/۰۷۸۸	NE	ASP3	۰/۰۰۹	۰/۴۱۶	۰	850-1000mm	RAN3	۰/۲۱/۰	RAN	۰/۰۱۴	۰/۴۰۶
۰/۰۰۳	۰/۰۷۶	۰	NW	ASP4	۰/۰۲۷	۰/۵۳۷	۰/۰۵۳۵	0-15%	SLP1	۰/۵/۰	SLP	۰/۰۰۳	۰/۰۷۶
۰/۰۰۳	۰/۰۷۶	۰	S	ASP5	۰/۰۰۸	۰/۱۶۶	۰/۰۰۸۰	15-25%	SLP2	۰/۵/۰	SLP	۰/۰۰۳	۰/۰۷۶
۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	-۰/۰۲۱۷	SE	ASP6	۰/۰۰۷	۰/۱۳۱	۰/۰۰۳۰	25-40%	SLP3	۰/۵/۰	SLP	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹
۰/۰۰۶	۰/۱۸۰	۰/۰۲۳۶	SW	ASP7	۰/۰۰۴	۰/۰۸۳	۰	40-70%	SLP4	۰/۵/۰	SLP	۰/۰۰۶	۰/۱۸۰
۰/۰۰۱	۰/۰۱۹	-۰/۰۶۶۶	W	ASP8	۰/۰۰۴	۰/۰۸۳	۰	>70%	SLP5	۰/۵/۰	SLP	۰/۰۰۱	۰/۰۱۹
۰/۰۲۰	۰/۲۵۱	۰/۰۸۳۰	کشاورزی	LUS1	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۶۸	بختیاری	LIT1	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۲۰	۰/۲۵۱
۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	-۰/۰۴۴۶	باغ	LUS2	۰/۰۳۰	۰/۱۱۹	۰/۰۴۳۳	میلا	LIT2	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶
۰/۰۱۱	۰/۱۴۰	۰/۰۴۸۹	مرتفع خوب	LUS3	۰/۰۱۳	۰/۰۵۱	۰	کشکان	LIT3	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۱۱	۰/۱۴۰
۰/۰۲۰	۰/۲۵۱	۰/۰۸۳۱	مختلط (کشت دیم، آبی و مرتفع متوسط)	LUS4	۰/۰۱۳	۰/۰۵۱	۰	سورمه	LIT4	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۲۰	۰/۲۵۱
۰/۰۰۸	۰/۱۰۲	۰/۰۳۴۸	مختلط (مرتفع متوسط، کشت دیم و آبی)	LUS5	۰/۰۱۳	۰/۰۵۱	۰	گورپی	LIT5	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۸	۰/۱۰۲
۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰	مرتفع متوسط	LUS6	۰/۰۰۶	۰/۰۲۳۰	-۰/۰۱۱۱	ایلام	LIT6	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷
۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	-۰/۰۲۰۵	مرتفع فقیر	LUS7	۰/۰۱۳	۰/۰۵۰۵	۰	ایلام-سروک	LIT7	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱
۰/۰۰۲	۰/۰۳۱	-۰/۰۱۵۷	شهر	LUS8	۰/۰۵۲	۰/۲۰۴۶	۰/۰۶۰۳	گورپی ۲	LIT8	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۲	۰/۰۳۱
۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰	مختلط (کشت دیم و آبی)	LUS9	۰/۰۸۴	۰/۳۳۳۸	۰/۰۹۰۸	کواترنر	LIT9	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷
۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰	سنگ	LUS10	۰/۰۱۳	۰/۰۵۰۵	۰	داریان	LIT10	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷
۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰	مختلط (زراعت و باغ)	LUS11	۰/۰۱۳	۰/۰۵۰۵	۰	داریان-فهلپان	LIT11	۲۵۳/۰	LIT	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷

جدول ۷. گستره های لغزشی حوضه رودخانه ماربر در روش تحلیل سلسله مراتبی

گستره های با حساسیت خیلی کم	۰/۰۷۴-۰/۱۴۲
گستره های با حساسیت کم	۰/۱۴۲-۰/۲
گستره های با حساسیت متوسط	۰/۲-۰/۲۷۱
گستره های با حساسیت زیاد	۰/۲۷۱-۰/۳۴۷

گستره‌های با حساسیت خیلی زیاد

۰/۳۴۷-۰/۴۶۸



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی خطر رخدادهای زمین‌لغزش در روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با استفاده از ضرایب رگرسیونی

۲-۴-۱- صحت یا مجموع کیفیت (QS)

برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه گردد، که این محاسبه در قالب رابطه (۶) صورت می‌پذیرد [۹ و ۱۲].

$$Dr = \frac{\sum_i \frac{Si}{Ai}}{\sum_i Si} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن: Si = مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر؛ Ai = مساحت زمین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی؛ و n = تعداد رده‌های خطر.

در یک روش (نقشه) پهنه‌بندی، تراکم لغزش رده با $Dr=1$ معادل با متوسط تراکم لغزش در کل منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هر چه تفکیک بین رده‌های خطر به وسیله شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) دارای

۲-۴-۲- صحت‌سنجی و مقایسه روش‌های مورد استفاده

در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر در محیط GIS، به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، با استفاده از روش مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) پرداخته می‌شود و مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی، انتخاب می‌گردد. برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی، نسبت تراکم (Dr) به کار می‌رود [۳۷ و ۳۶، ۳۵، ۳۴، ۳۲، ۲۵، ۲۳، ۲۰، ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۸، ۲].

پس از برداشت لغزش‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های آماری چندمتغیره (MR) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، برای تطبیق این نقشه‌ها با نقشه واقعیت زمینی و مقایسه آنها با یکدیگر، از رابطه مجموع کیفیت (QS) یا همان صحت روش، استفاده شد [۱۲، ۲۵ و ۳۴].

نتایج حاصل از پردازش به صورت کمی ارائه می‌شود. اما روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها بر مقایسه زوجی معیارها استوار است و ابتدا با وزن‌دهی به تک‌تک عوامل در نظر گرفته شده و سپس امتیازدهی به هر کدام از کلاس‌های مربوط به هر معیار، ضرایبی به دست می‌آیند که مدل نهایی براساس آنها ارائه می‌گردد [۳۳].

برای ارزیابی و طبقه‌بندی نقشه‌های خطر لغزش زمین، از دو شاخص با عناوین نسبت تراکم (DR^1) رابطه (۶) و مجموع کیفیت (QS^2) رابطه (۷) استفاده گردید. لازم به ذکر است که شاخص زمین‌لغزش (LI^3) به کار برده شده به وسیله ون وستن (۱۹۹۷)، شیرانی (۱۳۸۳)، شیرانی (۱۳۸۵) معادل همان نسبت تراکمی (DR) است که شیرانی (۱۳۸۴)، جی (۱۹۹۲)، شریعت جعفری (۱۳۸۷) به کار برده‌اند [۳۵ و ۳۴، ۹، ۸، ۲]. به‌طور کلی شاخص زمین‌لغزش (LI) و نسبت تراکمی (DR) و پیش‌بینی P^4 ، برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی و شاخص مجموع کیفیت (QS) برای ارزیابی و مقایسه بین روش‌های مختلف کاربرد دارد.

از آنجا که روش AHP به منظور تصمیم‌گیری نهایی در مورد هدف (نقشه خطر لغزش) بر قضاوت کارشناسی و مقایسه زوجی صفات (عوامل مؤثر در لغزش) مبتنی است، لذا در این تحقیق از ضرایب متغیرهای مستقل حاصل از روش رگرسیونی به‌منظور حذف نظر کارشناسی در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بهره گرفته شد و اقدام به تنظیم ماتریس داده‌ها گردید. این در حالی است که محققانی چون شادفر، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) براساس قضاوت کارشناسی استفاده کرده‌اند [۲۳].

نتایج حاصل از داده‌های جدول ۸ بیانگر آن است

1. Density Ratio
2. Quality Sum
3. Landslide Index
4. Results Precision of the Predicted

دقت یا مطلوبیت بیشتری است.

مقدار مجموع کیفیت (QS) که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد، نشان‌دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. البته از بُعد نظری (تئوریک) حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (QS) در روشی بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک خواهد داشت. مقدار مجموع کیفیت از رابطه (۷) به دست می‌آید [۳۴ و ۱۵، ۹، ۸، ۲].

رابطه (۷)

$$QS = \sum_{i=1}^n ((DR - 1)^2 \times S)$$

QS = مجموع کیفیت؛ DR = نسبت تراکم؛ S = نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه؛ و n = تعداد کلاس خطر

۲-۴-۲- دقت روش (P)

عبارت است از نسبت مساحت سطح لغزش‌یافته در پهنه‌های خطر بالا و خیلی بالا به مساحت کل آن پهنه‌ها (رابطه ۸) [۱۵].

$$P = KS/S$$

رابطه (۸)

P = دقت روش در پهنه‌های دارای خطر متوسط به

بالا

KS = مساحت سطح لغزش‌یافته در پهنه‌های دارای

خطر متوسط به بالا

S = مساحت پهنه‌های خطر مرتبط

۳- نتایج و بحث

در روش رگرسیون چندمتغیره، رابطه متقابل بین متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) نسبت به یکدیگر و نسبت به متغیر وابسته (رخداد زمین‌لغزش)، یک‌جا در نظر گرفته می‌شود [۳۲]. در این روش داده‌های اولیه و

که در هر دو روش، نسبت تراکمی (Dr) - که همان مقادیر شاخص زمین لغزش (LI) مربوط به پهنه‌های خطری است که ون وستن (۱۹۹۸، ۱۹۹۷) اشاره کرده است [۳۶ و ۳۵، ۱۴] - ضمن تفکیک‌پذیری جدی، متناسب با افزایش خطر پهنه‌ها، رو به فزونی نهاده است. به علاوه، دقت هر روش نیز در این جدول ارائه شده است که نشانگر دقت خوب تفکیک‌پذیری هر دو روش است که در مورد روش رگرسیونی مؤید تحقیق شیرانی (۱۳۸۶) و پژم (۱۳۷۵) نیز هست. [۷ و ۹]. به علاوه، همان‌طور که در جدول ۶ آمده است، مقدار شاخص مجموع کیفیت (Qs) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشان می‌دهد، در روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مقدار بیشتری (۰/۴۵) از روش رگرسیونی (۰/۴۲) به دست آورده است، و به عبارت دیگر مطلوبیت بهتری دارد. این در حالی است که دقت پیش‌بینی خطر (P) در هر دو روش برابر ۰/۰۳ است، و این موضوع تفکیک‌پذیری یکسان و مناسب پهنه‌های خطر را نیز تأیید می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به سوابق تحقیق، نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از این دو روش، دقت‌های متفاوتی را نشان می‌دهد. در صورتی که براساس این پژوهش دقت (P) که نشان از تفکیک‌پذیری پهنه‌های خطر در هر روش دارد، در هر دو روش تقریباً یکسان است و محدودیتی برای دخالت دادن پارامترها (۳۰ پارامتر در روش رگرسیون چندمتغیره یا ۵۴ پارامتر در روش سلسله‌مراتبی) به چشم نمی‌خورد. اختلاف در صحت یا مطلوبیت (QS) که بیان‌کننده ارجحیت روش‌هاست، می‌تواند ناشی از مواردی از این دست باشد: یکسان نبودن پارامترها و عوامل شرکت‌دهنده در فرایندها، هنگامی که هدف همانا مقایسه باشد. به عبارت دیگر، ماهیت ذاتی پارامترها یا عوامل مؤثر متفاوت‌اند و روشی که بتواند اولویت عوامل مؤثر و مقدار وزن آن را با همدیگر محاسبه کند، دارای صحت بیشتری است، و

به عبارت دیگر انطباق بهتری با پتانسیل لغزش‌خیزی منطقه خواهد داشت. در این مورد روش سلسله‌مراتبی مبتنی بر به کارگیری ضرایب حاصل از روش رگرسیونی (روش تلفیقی)، به رغم موارد پیش گفته، به دلیل مقایسه زوجی بین عوامل و کلاس‌های مورد نظر ارجحیت بیشتری را نشان می‌دهد (جدول ۸).

از آنجا که اولویت‌بندی داده‌ها یا عوامل مؤثر در مدل AHP به صورت قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد، لذا کاربرد آن بدون کاهش یا حذف قضاوت کارشناسی، موجب به دست آمدن برآوردهای نادرستی از رخداد خطر زمین لغزش خواهد شد.

محدودیت تکنیکی و پردازشی در به کارگیری صرف مدل رگرسیونی با استفاده از داده‌های پیوسته و رویکرد اجتناب‌ناپذیر تبدیل داده‌ها به داده‌های گسسته به منظور پردازش، تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر را با مشکل و محدودیت رو به‌رو می‌سازد و موجب کاهش انطباق مدل (نقشه) با پتانسیل لغزش‌خیزی منطقه می‌شود.

رده‌بندی متفاوت مدل نهایی از نظر حساسیت لغزشی، در صورتی که از روال مشخصی در تعیین حدود رده‌های خطر لغزش استفاده نگردد، موجب ارزیابی نادرست از مدل مورد استفاده خواهد گردید. به عنوان مثال عدم توجه به نقاط عطف منحنی تجمعی فراوانی مساحت لغزش‌ها نسبت به مساحت کل هر رده خطر.

در پاسخ به مسئله اساسی این تحقیق، می‌توان اشاره کرد که با استفاده از ضرایب رگرسیونی برای انجام فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، علاوه بر اینکه می‌توان نقش هر عامل را بر لغزش بررسی کرد بلکه تأثیر همزمان پدیده‌های مستقل در طبیعت نیز مد نظر قرار خواهند گرفت. از این نظر، ضرایب معادله خط رگرسیونی برازش داده شده، به عنوان وزن کمی عوامل مؤثر در ماتریس اولیه تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (روش تلفیقی) محاسبه می‌شوند و بدین ترتیب، نقشه نهایی خطر زمین لغزش، انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه‌خیزی منطقه خواهد داشت. این در حالی است که

رخداد زمین‌لغزش مؤثر بوده است. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، به‌طور کلی شاخص نسبت تراکمی (Dr) و پیش‌بینی (P)، برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی کاربرد دارد و براساس جدول ۵ تفکیک‌پذیری پهنه‌های خطر در هر دو روش یکسان (۰/۰۳) هستند. اما با توجه به اینکه شاخص مجموع کیفیت (Qs) برای ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف کاربرد دارد، لذا روش تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر اوزان عوامل مؤثر حاصل از رگرسیون چندمتغیره، مطلوبیت (Qs) و کارایی بهتری در قیاس با روش رگرسیونی در منطقه مورد مطالعه دارد.

محققان پیشین، صرفاً از دو روش مذکور به صورت مجزا در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌کردند و به مقایسه آنها با همدیگر می‌پرداختند.

در روش رگرسیون خطی و تحلیل سلسله‌مراتبی داده‌ای عوامل فاصله از جاده، لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، بارش و فاصله از گسل به ترتیب بیشترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش داشته‌اند.

از میان کلاس‌های تعیین شده، با توجه به وزن نهایی آنها در روش رگرسیون خطی و سلسله‌مراتبی داده‌ای کلاس وجه شیب غربی کمترین تأثیر را داشته، و کلاس ۵۰۰- متر فاصله از جاده، بیش از همه در

جدول ۸. صحت و دقت روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد بررسی

مدل پهنه‌بندی	رده حساسیت نسبت به خطر لغزش	(Ai) مساحت پهنه (Km ^۲)	(Si) مساحت لغزش پهنه (Km ^۲)	(Dr) نسبت تراکمی	(S) درصد مساحت	(Qs) درهر رده	(Qs) مجموع کیفیت	(P) دقت روش
AHP	خیلی کم	۶۹/۳۰	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۰۳
	کم	۲۰۷/۴۸	۱/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۱۳		
	متوسط	۲۰۳/۵۷	۳/۵۱	۰/۸۴	۰/۲۵	۰/۰۱		
	زیاد	۱۲۲/۶۸	۵/۴۴	۱/۴۸	۰/۱۵	۰/۰۶		
	خیلی زیاد	۱۹۷/۱۲	۶/۰۳	۲/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۰		
	جمع	۸۰۰/۱۵	۱۶/۵۰					
MR	خیلی کم	۱۳۳/۴۸	۰/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۱۹	۰/۴۲	۰/۰۳
	کم	۱۸۹/۳۷	۲/۲۳	۰/۵۷	۰/۲۴	۰/۰۴۳		
	متوسط	۱۹۰/۴۸	۳/۴۰	۰/۸۷	۰/۲۴	۰/۰۰۴		
	زیاد	۱۰۲/۲۳	۴/۷۱	۱/۵۱	۰/۲۳	۰/۰۵۹		
	خیلی زیاد	۱۸۴/۵۹	۵/۷۳	۲/۲۳	۰/۱۳	۰/۱۹۴		
	جمع	۸۰۰/۱۵	۱۶/۵۰					

دارد. براساس روش آماری چندمتغیره، فقط ۳۰ رده متغیر از مجموع ۵۴ رده متغیر در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار هستند و بقیه اختلاف معنی‌داری ندارند. ضریب R برای معادله رگرسیون ۵۷ درصد به

این نتایج با نتایج احمدی (۱۳۸۶) و شادفر (۱۳۸۷)، که AHP را روش مناسب و کارآمدی در اکثر شرایط آب و هوایی برمی‌شمارند، هم‌خوانی دارد [۲۱] و [۲۳]. براساس نتایج به دست آمده، روش رگرسیونی کارایی کمتری از روش دیگر در منطقه مورد مطالعه

- [4] Ramesht, M.H., 1996. *Application of Geomorphology In Regional National and Economic Planning*. first printed, University of Esfahan, 268.
- [5] Alesheikh, A., Vahidnia, M.H., Alimohammadi, A. and Hosseinali, F., 2009. Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS. *International Journal of Civil Engineering*, 7(3), 176-189.
- [6] Behnyafar, A., Ghanbarzadeh, H. and Mansouri, M.R., 2009. *Landslide Hazard Zonation and Unstable Slope by AHP Methods and Probability (case study: basin Kong River, northern slopes Binalud)*. Journal of geographical space, Azad University, Ahar, 37, 55-78.
- [7] Pezham, M., 1996. *Mass Movements Hazard Zonation in Alamoutrood Watershed*. M.Sc. of Abkhizdari, Natural Resources Faculty, University of Tehran.
- [8] Shariat Jafari, M., Ghayomian, J., 2008. Evaluation of Bivariate Statistical Analysis Models in Sandslide Hazard Zonation. *Tehran University Journal*, 34 (1), 137-143.
- [9] Shirani, K., Ghayomian, J., and Mokhtari, A., 2005. Evaluation of Bivariate and Multivariate Statistical Methods in Landslide Hazard Zonation. *Journal of Water and Watershed, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 2(2), 36-48.
- [10] Safai, J., Onagh, M., Mesdaghi, M. and Shariat Jafari, M., 2009. Empirical and Statistical Models to Compare Performance Landslide Hazard Zonation (case study: watershed Alamut River). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 16(4), 35-45.
- [11] Geraei, P., Soleimani, K., Mousavi S.R. and Kaviyan, A., 2009. Landslide Hazard Regional Modelling by Using Multivaration Regression Statistical Method in Lajimrood Watershed of Sari. *Journal of Earth Sciences*, 73, 29-36.
- [12] Gee, M.D., 1992. Classification of

دست آمد که کاملاً پذیرفتنی است. فاصله از جاده، لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، مقدار و جهت شیب، بارندگی سالانه، و فاصله از گسل به ترتیب بیشترین تأثیر را در زمین لغزش دارند. دیگر اینکه ۲۴ پارامتر حذف شده در رگرسیون چندمتغیره، در روش تحلیل سلسله مراتبی دخالت داده شدند و مشخص شد که وزن آنها در هر عامل برابر است. در پایان، به نظر می رسد که در روش تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر وزن داده های رگرسیونی (روش تلفیقی)، علاوه بر اینکه نقش هر عامل با لغزش بررسی می گردد، بلکه تأثیر همزمان پدیده های وابسته نیز در نظر گرفته می شود و از این لحاظ نقشه نهایی خطر زمین لغزش انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه خیزی منطقه خواهد داشت. البته شکی نیست که دقت در تهیه نقشه پارامترهای مؤثر، مستقیماً در دقت نقشه های خروجی مؤثر خواهد بود.

۵- منابع

- [1] Emami, S. and Ghayomian, J., 2003. Investigation on the Mechanism on the Landslide Rock Fall, Case Study: Afsrabad Landslide in Chaharmahal and Bakhtiari. In: *The Third Conference on Engineering Geology and Environment of Iran*, University in Bu Ali Sina Hamedan.
- [2] Shirani, K., 2004. *Evaluate the Most Important Landslide Hazard Zonation Methods to Select an Appropriate Method for the South of Isfahan Province, Semirom Region*. Ministry of Agriculture, Soil Conservation Research Institute, 104.
- [3] Cornforth, D.H., 2005. *Landslides in Practice*. USA: john wiley & sons Inc, 591.
- Landslides Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. In: Bell, Davi, H. (eds.), *Proceedings 6th International Symposium on Landslide*, 48-56.
- [13] Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P. and Carrara, A., 2000. Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber

- River Basin. *Central Italy, Environmental management*, 25, 247-263.
- [14] Ilwis Applications Guide, 1997. Ilwis 2.1 for Windows. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC)*, Ensched, Netherlands.
- [15] Jade, S. and Sarkar, S., 1993. *Statistical Models for Slope Instability Classifications Engineering Geology*. 36, 91-98.
- [16] Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. and Durmaz, S., 2008. Landslide Susceptibility Mapping for a Part of Tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94 (3-4), 401-418.
- [17] Saro, Lee and Kyungduck, M., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging. Korea, *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
- [18] Varnes, D.J., 1978. *Landslide Type and Processes*. In: E. B Eckel, eds. *Landslide and Engineering Practice*, Special Report NO. 29., Highway Research Board, 20-47.
- [19] Varnes, D.J., 1984. *Landslide Hazard Zonation a Review of Principle and Practice*. *Irancel United Nation Educational Scientific and Cultural (UNSSCO) France*.
- [20] Yin, K.J. and Yan, T.Z., 1988. Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks. *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, Switzerland, 2, 1269-1272.
- [21] Ahmadi, H., Asmaly, A., Feiznia, S. and Shariat Jafari, M., 2003. Hazard Zonation Mass Movements Using Two Methods of Multiple Regression (MR) and AHP (case study: Garmi chaye watershed). *Journal of Natural Resources*, Jad 56, 326-323.
- [22] Feiznia, S., Klarstaghly, A., Ahmadi, H. and Safaei, M., 2004. Factors Affecting the Occurrence of Landslides and Landslide Hazard Zonation (Case Study: Shirin River Watershed Dam Tajan). *Journal of Natural Resources*, 57 (1), 3-22.
- [23] Shadfar, S., Yamani, M., Ghodousi, J. and Ghayomian, J., 2007. Landslide Hazard Zonation by Using AHP (case study: watershed Chalkrod Tonekabon). *Journal of Research and the Construction of Natural Resources*, 75. 118-126.
- [24] Alijani, B., Ghohrodi, M. and AmirAhmadi, A., 2007. Landslide Hazard Zonation in the northern Shah Jahan Slopes by Using GIS (Case study: basin Astrkhy Shirvan). *Geographical Research Quarterly*, 116-131. 84.
- [25] AliMohammadi, S., Pashaii aval, A., Shtay Jooybari, Sh. and Parsaei, L., 2009. Iran Efficiency Assessment of Landslide Hazard Zonation in the Watershed Sydklath Rummy. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 16 (1), p 59-78.
- [26] Ownegh, M., 2004. Assessing the Applicabilty of Austalian Landslide Databases for Hazard Management. In: *13th International Soil Conservation Organization Conference*, Brisbane, July.
- [27] Haghshenas, E., 1996. *Landslide Hazard Zonation and Relationship Its to Sediment Yield in Taleghan*. M.Sc. Thesis, Tarbiyat Modares university.
- [28] Sadoaldin, A., 1993. *Investigation of Hydrogeomorphologic Parameters Effects on Mass Movements Slope Matter in Chasham-khatirkouh watershed of Semnan*. M.Sc. Thesis, Tarbiyat Modares university.
- [29] Movahed Danesh, A.A., 1994. *Hydrology of Surface waters of Iran*. Tehran: Samt Publication.
- [30] Water project of Iran, 1999. *Karoon Basin Report*. Consulting engineers company of Jamab related to Niro ministry.
- [31] Masodian, A. and Kaviani, M., 2007. *Climatology Iran*, Isfahan: University of Isfahan press.
- [32] Nagarajan, R., Roy, A., Vinodkumar, R., Mukherjee, A. and Khire, M.V., 2000. *Landslide Hazard Susceptibility Mapping based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions*. Bull. Eng. Geol. Env. 58.

- [33] Ghodsipour, S.H., 2009. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Tehran: Amirkabir university Publication.
- [34] Shirani, K., Chavoshi, S. and Ghayomian, J., 2006. Evaluation of Methods for Landslide Hazard Zonation in the Uptown Padana Semirom. *Research Journal of Sciences, Isfahan University*, 23(1), 23-38.
- [35] Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J. and Soeters, R., 1997. Predication of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation. *Geologisches Rundschau*, 86, 404-414.
- [36] Van Westen, C.J. 1998. *Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ)*, Volume I, II.
- [37] Yalcin., A., 2008. *GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey)*, Comparisons of results and confirmations Catena, 72, 1 – 12.



Accuracy Investigation of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression (MR) Methods in Landslide Hazard Zonation, Using GIS (Case Study: Marbor River Basin)

Shirani K.^{1*}, Saif A.², Alimoradi M.³

1. Ph.D. Candidate, Geomorphology Dep., Geographic Sciences Faculty, University of Isfahan
2. Assistant Prof. Geomorphology Dep., Geographic Sciences Faculty, University of Isfahan
3. M.Sc. of Geomorphology Dep., Geographic Sciences Faculty, University of Isfahan

Abstract

A combination of natural and human factors have caused numerous landslide related damaged. One of the main strategies for reducing the damages of landslides is to avoid these regions. For this purpose it is necessary to be prepared landslide hazard zonation map precisely among available methods for these areas. At first, the object of this research is the relative weight determination of effective parameters, using Multivariate Regression (MR) in substitute of parameters priority in Analytical Hierarchy Process (AHP). For implementing this research, first of all, by aerial photos and satellite images, geological maps and studies of the field by using GPS, landslide inventory map in Marbor River Basin (sub-basin of the upper part of North Karoon Basin), an 800 square kilometers area located on the lower part of Southern Isfahan province, were prepared. By Using field studies and reviewing the related studies about similar areas with basins of Karoon and Dez Upper North and the existing thematic maps, 9 factors including lithology, slope, land use, rainfall, vegetation, aspect, and lineaments elements, containing fault and drainages, the action of factors in determining landslide (54 parameters in the consist of eight main factors) were measured. For the purpose of enhancing accuracy, accelerating and easing the analysis, all spatial and descriptive data entered into GIS system and were overlayed ArcGIS version9.3 software as vector. By overlaying these maps, 27466 homogeneous units were resulted, that were based upon calculating two methods including MR an AHP related to Multivariate decision analysis the results of analysis showed that both methods have almost had the same accuracy in separation landslide hazard zones, and the landslide hazard index was obvious too. Of course, it should be noticed that hierarchical approach based on regression data, on the basis the sum of quality index as an indicator of the accuracy, is more desirable.

Keywords: Landslide, Hazard zonation, Marbor watershed, Multivariate regression, Analytical Hierarchy Process, GIS.

* Correspondence Address: Isfahan Center for Rescearch of Agricultural science and Natural Resources, Amirhamzeh, Isfahan
Tel: 09133137356
Email: k-sh424@yahoo.com