

## ارزیابی و مقایسه دقت و صحت AHP کارشناسی و AHP تلفیقی در پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)

معمود علمیرادی: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

کوروش شمیرانی: دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

محمود سلطانیان: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران\*

وصول: ۱۳۹۱/۵/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۲، صص ۲۰۶-۱۸۵

### چکیده

برای کاهش زیان‌های ناشی از رخداد زمین لغزش و شاید پیشگیری از وقوع آن اولین گام تهیه نقشه‌ای نسبتاً دقیق از مناطق مستعد زمین لغزش است. پارامترهای بسیاری بر دقت مدل‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش موثراند که اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر از جمله این پارامترها می‌باشد. هرچه اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر بر رخداد زمین لغزش‌ها دقیق‌تر باشد، مدل نهایی انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه خیزی منطقه خواهد داشت. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی تأثیر نوع اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر بر دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر تهیه شده به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. برای این منظور ابتدا اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر با استفاده از نظرات کارشناسی محض انجام گرفت، سپس از رابطه رگرسیونی چند متغیره (MR) و نظرات کارشناسی به صورت تلفیقی برای اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر استفاده گردید. نهایتاً نقشه‌های پهنه‌بندی خطر تهیه شده به هر دو روش AHP کارشناسی محض و AHP تلفیقی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی به آزمون گذاشته شدند. برای انجام این تحقیق، حوضه رودخانه ماربر (یادناهی سمیرم) به عنوان منطقه هدف انتخاب و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه تهیه شد. سپس ۹ عامل لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری ارضی و بارش در قالب ۵۴ پارامتر به عنوان عامل‌های موثر در رخداد زمین لغزش‌های منطقه در نظر گرفته شدند و لایه‌های اطلاعاتی آنها جهت انجام آنالیزها تهیه شد. اولویت‌بندی اولیه عوامل و پارامترهای موثر بسته به روش اولویت‌بندی (کارشناسی محض یا تلفیقی) انجام و مراحل تحلیل سلسله مراتبی برای هر کدام انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که شاخص زمین لغزش در نقشه پهنه‌بندی تهیه شده به روش AHP تلفیقی (ضرایب رگرسیونی و قضاوت کارشناسی) کاملاً مشخص و از دقت بیشتری در تفکیک پهنه‌های مستعد خطر نسبت به روش AHP کارشناسی محض برخوردار است. همچنین کلیت مدل نیز بر اساس شاخص کیفیت (Qs) مناسب‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، حوضه رودخانه ماربر، زمین لغزش، AHP تطبیقی، AHP کارشناسی، GIS.

### ۱- مقدمه

مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد (محمودی،

۱۳۸۳). این پدیده، از جمله متداول‌ترین پدیده‌های

تغییر شکل دهنده سطح زمین می‌باشد، که در تمامی

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که از پایین

افتادن و یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از

دوران‌های زمین‌شناسی به رخداد پیوسته است و به عنوان یکی از بلاای طبیعی، امروزه مورد توجه است (ایزدی، ۱۳۸۵). یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست حوضه‌های آبخیز می‌باشد (علی محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها از توان علم و دانش بشر خارج می‌باشد، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و رتبه‌بندی کردن آن می‌توان تا حدودی از خطر ناشی از بروز زمین لغزش جلوگیری نمود (شیرانی، ۱۳۸۳). یکی از اصلی‌ترین اقدامات در این رابطه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش می‌باشد. این فرآیند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل سازی کمی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه‌ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای، ناحیه‌ای و محلی محسوب گردد (رامشت، ۱۳۷۵). در مورد پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای تاکنون بررسی‌های زیادی صورت گرفته است و محققان مختلف با استفاده از روش‌های مختلف آماری، روش‌های تجربی، روش رگرسیون چند متغیره (MR) و مقایسه آنها با یکدیگر (گی، ۱۹۹۲؛ ون وستن و همکاران، ۱۹۹۷؛ گوزتی و همکاران، ۲۰۰۰؛ سارولی، ۲۰۰۱؛ مورات و همکاران، ۲۰۰۲؛ چودھاری و همکاران، ۲۰۰۳؛ پژم، ۱۳۷۵؛ حق‌شناس، ۱۳۷۵؛ بداغی، ۱۳۷۶؛ اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰؛ سفیدگری، ۱۳۸۱؛ شیرانی، ۱۳۸۳؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ ایزدی، ۱۳۸۵؛ شیرانی و همکاران،

۱۳۸۵؛ شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۷؛ صفایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ گرایی و همکاران، ۱۳۸۸)، روش‌های چند معیاره و عمدتاً تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (اونق، ۲۰۰۴؛ نفس‌لیوگلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ یالسنین، ۲۰۰۸؛ آل‌شیخ و همکاران، ۲۰۰۹؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹؛ فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۲؛ بهلول علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶؛ جوکار سرهنگی و همکاران، ۱۳۸۶؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ عظیم پور و همکاران، ۱۳۸۸؛ علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹۰) و مقایسه روش‌های آماری و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (احمدی و همکاران، ۱۳۸۲؛ فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۳؛ بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۸؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹) طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه داده‌اند. اما بسته به وضعیت موجود منطقه مورد مطالعه، دقت و انعطاف هریک از این روش‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین جهت شناخت مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر باید بهترین و دقیق‌ترین روش را با توجه به عوامل موثر در رخداد پدیده و وضعیت منطقه انتخاب نمود (شیرانی، ۱۳۸۳). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است (قدسی پور، ۱۳۸۸). در این فرآیند عملیات وزن دهی به فاکتورها به سه روش صورت می‌گیرد: ۱). استفاده از دانش کارشناسی (کیفی) ۲). استفاده از دانش داده‌ای (کمی) ۳). تلفیق دانش کارشناسی و داده‌ای با هم (بهین گستر گیتی، ۱۳۸۷). روش اول دارای معایبی

مانند، احتمال اشتباه نمودن کارشناس در تعیین وزن و مشکل استاندارد سازی واحدهای اندازه گیری ذهنی آنها، می‌باشد. در روش دوم نیز درستی عملکرد به میزان صحت و دقت جواب‌های اولیه موجود بستگی دارد. در روش سوم با استفاده روش‌های آماری و کمی و قضاوت کارشناسان وزن‌دهی فاکتورها به صورت مجزا انجام می‌شود. سپس وزن مطلوب با مقایسه مقادیر به دست آمده تعیین می‌شود. در نتیجه احتمال وقوع خطا کاهش یافته و وزن‌ها به واقعیت نزدیک‌تر خواهند شد. محققین در بحث پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تا کنون برای وزن‌دهی اولیه فاکتورها در روش AHP از روش اول یعنی کارشناسی محض استفاده نموده و هیچگاه از روش‌های کمی و تلفیقی جهت وزن‌دهی فاکتورها استفاده نکرده‌اند. بنابراین در این پژوهش وزن‌دهی اولیه عوامل به کمک ضرایب رگرسیونی بدست آمده از روش آماری چند متغیره که در آن عوامل موثر به عنوان متغیرهای مستقل، به صورت یکجا و با هم نسبت به عامل زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود، و نظرات کارشناسی به صورت تلفیقی استفاده شده است. تا ضمن تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش حوضه رودخانه ماربر با استفاده از دو روش AHP کارشناسی محض و AHP تلفیقی، صحت و دقت دو روش مذکور مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد. و در نهایت مدل مطلوب انتخاب شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه رودخانه ماربر در حد فاصل  $30^{\circ} 41' 48''$  تا  $31^{\circ} 3' 20''$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 23' 18''$  تا  $54^{\circ}$

$52^{\circ} 51'$  طول شرقی واقع شده است. وسعت حوضه ماربر حدود  $800$  کیلومتر مربع می‌باشد و در  $55$  کیلومتری جنوب شهر سمیرم قرار دارد. این حوضه در جنوبی‌ترین قسمت استان اصفهان و تقریباً شمال استان فارس قرار می‌گیرد (شکل ۱). مهمترین مرکز جمعیتی این محدوده روستای بیده می‌باشد، که در قسمت مرکزی حوضه در مسیر رودخانه ماربر قرار دارد. عمده منطقه‌ی مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف (شمال-شمال غرب و جنوب-جنوب غرب) تشکیل داده است و تنها در قسمت مرکزی حوضه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به همراه دشت نسبتاً وسیعی بین روستاهای دشتبال، بیده و کیفته گسترش دارد (شیرانی، ۱۳۸۳). بالاترین ارتفاع منطقه  $4497$  متر و پایین‌ترین ارتفاع آن به  $1971$  متر می‌رسد. منطقه مورد مطالعه در حوضه شماره ۲ (خلیج فارس و دریای عمان) واقع شده و از زیر حوضه‌های کارون بشمار می‌آید. حوضه ماربر طبق نامگذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲-۱-۴-۳ به نام کهردان واقع شده است (موحددانش، ۱۳۷۳؛ طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۸). با توجه به تقسیم‌بندی نواحی اقلیمی ایران توسط مسعودیان (۱۳۸۷) حوضه ماربر از نظر موقعیت جغرافیایی جزء اقلیم بلندی‌ها و بر حسب ویژگی‌های اقلیمی جزء اقلیم "سرد، بارش‌مند، خشک" می‌باشد. متوسط بارش سالانه در منطقه  $566/8$  میلی‌متر می‌باشد (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۸).



شکل ۱: موقعیت نسبی و ریاضی حوضه رودخانه ماربر

## ۲-۲- روش کار

### ۲-۲-۱- تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

حوضه رودخانه ماربر دارای پتانسیل بالای زمین لغزش می‌باشد و زمین لغزش‌های زیادی در آن رخ داده است. جهت به نقشه در آوردن زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه مورد بررسی، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۲ منطقه تفسیر گردید و مناطق لغزشی مشخص و موقعیت آنها در نرم‌افزار google earth تعیین شد. سپس موقعیت دقیق‌تر زمین لغزش‌ها به کمک اطلاعات و نقشه‌های موجود، بررسی‌های میدانی و با استفاده از موقعیت یاب جهانی (GPS) بدست آمده و در نهایت موقعیت ۱۰۳ زمین لغزش رخ داده در حوضه آبریز ماربر در محیط GIS به نقشه درآمد. مساحت کل زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه ماربر ۱۶/۵۶ کیلومتر مربع می‌باشد. (شکل ۲).

## ۲-۲-۲- تعیین عوامل موثر

عوامل مختلفی در رخداد زمین لغزش دخالت دارند، ارزش و اولویت هر کدام از این عوامل و عناصر آنها بسته به موقعیت منطقه هدف، متفاوت می‌باشند. صرف نظر از روش پهنه‌بندی مورد استفاده هر اندازه انتخاب عوامل موثر و کلاس‌بندی آنها دقیق‌تر باشد نتیجه بدست آمده به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. با توجه به موقعیت منطقه، مورفومتری حوضه، بررسی‌های میدانی، مرور مطالعات انجام شده در مناطق مشابه (حوضه‌های کارون شمالی و دز علیا)، نقشه‌های موضوعی موجود و نیز روش مورد استفاده، ۹ عامل لیتولوژی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بارش، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. که هر کدام از این عوامل به رده‌های مختلفی تقسیم گردید و مجموعاً ۵۴ پارامتر جهت انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بدست آمد.



شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در حوضه رودخانه ماربر

آنها آمده است (جدول ۱). ذیلاً به تشریح مراحل تهیه لایه‌های اطلاعاتی و کلاس‌بندی آنها می‌پردازیم:

– لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش گچساران-بهبهان و چهارگوش بروجن (شرکت ملی نفت ایران)، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور برگ‌های سمیرم، دنا، سی‌سخت، یاسوج و لایه رقومی زمین‌شناسی کل ایران (پایگاه داده‌های علوم زمین) تهیه گردید. سپس نقشه رقومی زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه با توجه به ویژگی‌های سازندها به یازده کلاس تقسیم شد (شکل ۳؛ الف). همچنین با استفاده از لایه رقومی تهیه شده از گسل‌های حوضه ماربر نقشه فاصله از گسل در محیط GIS به صورت رستر تهیه شده و با توجه به نمودار فراوانی جمعیتی پیکسل‌ها به چهار کلاس ۱۵۰۰-۰ متر، ۳۵۰۰-۱۵۰۰ متر، ۵۰۰۰-۳۵۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰۰ متر تقسیم شد (شکل ۳؛ ب).

۲-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر و کلاس‌بندی پارامترها

پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و تعیین عوامل موثر باید لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر تهیه و سپس هر کدام از آنها جهت بدست آوردن واحدهای همگن و کمی کردن عامل‌ها و در نهایت دخالت در معادله رگرسیونی کلاس‌بندی شوند. جهت کلاس‌بندی برخی از عوامل مانند شیب، بارندگی، فاصله از آبراهه، گسل و جاده با توجه به ویژگی‌های خاص آن عامل از نمودار فراوانی جمعیتی پیکسل‌ها در برابر ارزش هر پیکسل استفاده شده است. روی این منحنی مناطقی که شیب منحنی تغییر پیدا می‌کند به‌عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته شد. در مورد نقشه‌های جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی با توجه به محتویات هر لایه، رده‌بندی انجام گرفت (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹). در جدول شماره (۱) لیست عوامل، رده‌ها و کدهای مربوط به

لایه‌های رقومی کل کشور (پایگاه داده‌های علوم زمین) تهیه و جهت آنالیزهای بعدی رقومی گردید. کلاس‌های لایه فاصله از آبراهه و فاصله از جاده نیز مانند لایه‌های فاصله از گسل و رده‌های شیب با استفاده از نمودار تجمعی فراوانی پیکسل‌ها در محیط GIS استخراج و نقشه آنها ترسیم شد. لایه فاصله از آبراهه در چهار رده ۰-۲۵۰، ۲۵۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰ و بیشتر از ۱۰۰۰ متر طبقه‌بندی (شکل ۴؛ ج) و لایه فاصله از جاده نیز به چهار کلاس ۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۵۰۰۰ و بیشتر از ۵۰۰۰ تقسیم گردید (شکل ۴؛ د).

- جهت بررسی پارامترهای مربوط به بارندگی و تهیه لایه هم بارش از دوره آماری سی ساله استفاده گردید، و با توجه به رابطه همبستگی بین ایستگاه‌ها به تکمیل و بازسازی آمار در موارد مربوط به نقصان آمار در ایستگاه‌های مورد نظر اقدام گردید. با استفاده از ارقام میانگین سالانه بارندگی و ارتفاع ایستگاه‌های منطقه متوسط بارندگی را در کل منطقه محاسبه نمود، و نقشه هم بارش حوضه ماربر به کمک میان‌یابی در نرم افزار Surfer تهیه شد. لایه بدست آمده با توجه به نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در محیط GIS به سه کلاس ۰-۲۵۰، ۲۵۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۸۵۰ میلی‌متر تقسیم شد (شکل ۵).

- لایه‌های اطلاعاتی شیب و وجه شیب حوضه؛ نقشه شیب حوضه با استفاده از DEM منطقه در نرم افزار Arc GIS به دست آمد. نقشه شیب بر اساس نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها به پنج رده تقسیم شد و شیب ۱۵-۰ درصد بیشترین مساحت را در منطقه داشت، شیب ۷۰-۴۰، ۴۰-۲۵، ۲۵-۱۵ و بیشتر از ۱۵-۷۰ درصد به ترتیب در رده‌های بعدی از نظر مساحت قرار دارند (شکل ۳؛ ج). نقشه جهت شیب نیز با استفاده از DEM منطقه در نرم افزار Arc GIS بر اساس جهات جغرافیایی به صورت هشت کلاس تهیه شد (شکل ۳؛ د).

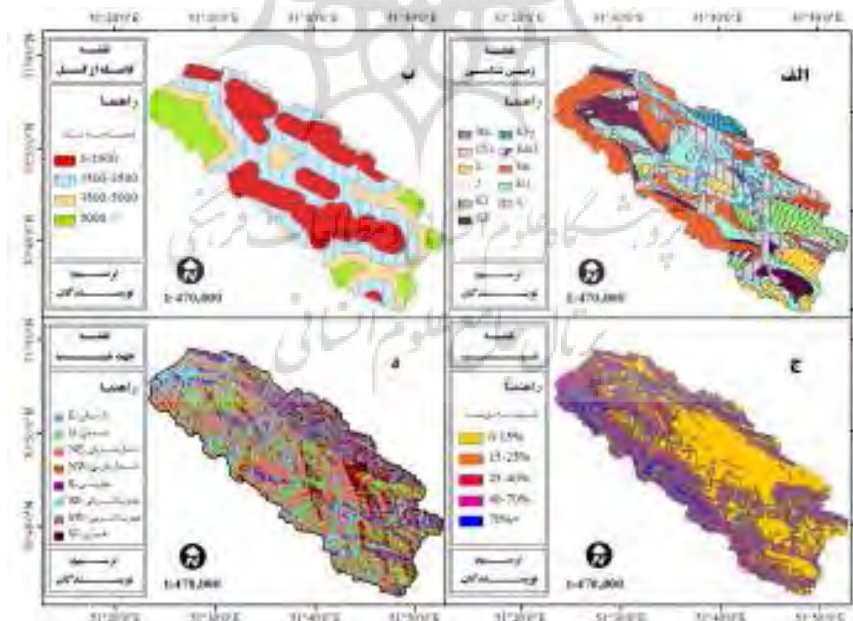
- لایه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM+2002 در نرم افزار ENVI4/7 و نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ جهت آنالیزهای بعدی در محیط GIS تهیه گردید. نقشه پوشش گیاهی بر اساس تراکم به چهار کلاس بدون پوشش، خیلی فقیر، فقیر و غنی تقسیم بندی شد (شکل ۴؛ الف)، همچنین نقشه کاربری اراضی بر اساس نوع کاربری و پوشش موجود در یازده رده طبقه‌بندی گردید (شکل ۴؛ ب).

- لایه‌های اطلاعاتی فاصله از آبراهه و فاصله از جاده؛ نقشه آبراهه‌ها و جاده‌های حوضه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ منطقه و

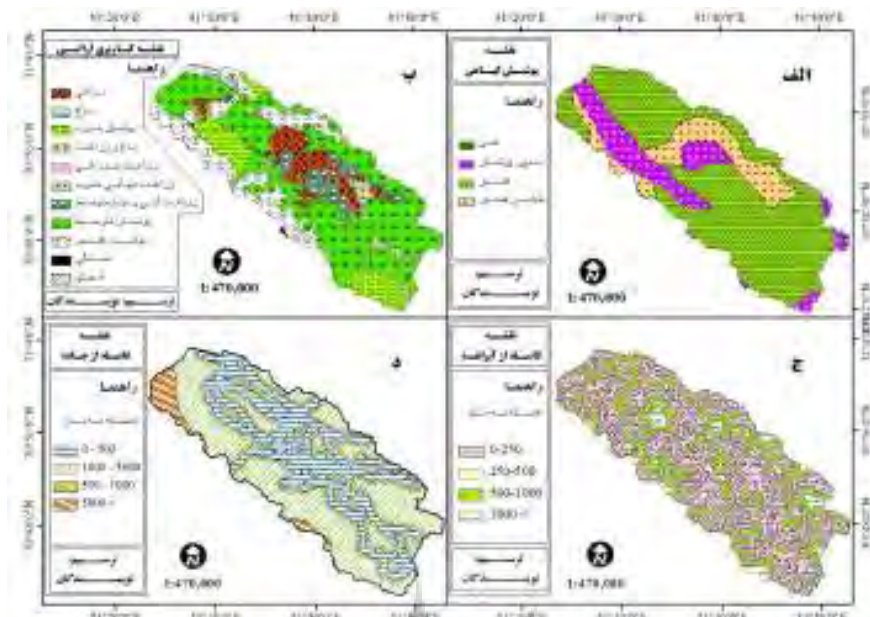
جدول ۱: کلاس‌بندی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و کدهای اعمال شده برای آنها

کد	کلاس	کد	کلاس	کد	عامل
FLT1	0-1500	ROD1	0-500	فاصله از گسل (متر)	گسل
FLT2	1500-3500	ROD2	500-1000		
FLT3	3500-5000	ROD3	1000-5000		
FLT4	>5000	ROD4	>5000		
RNG1	بدون پوشش	DRN1	0-250	آبراهه	DRN

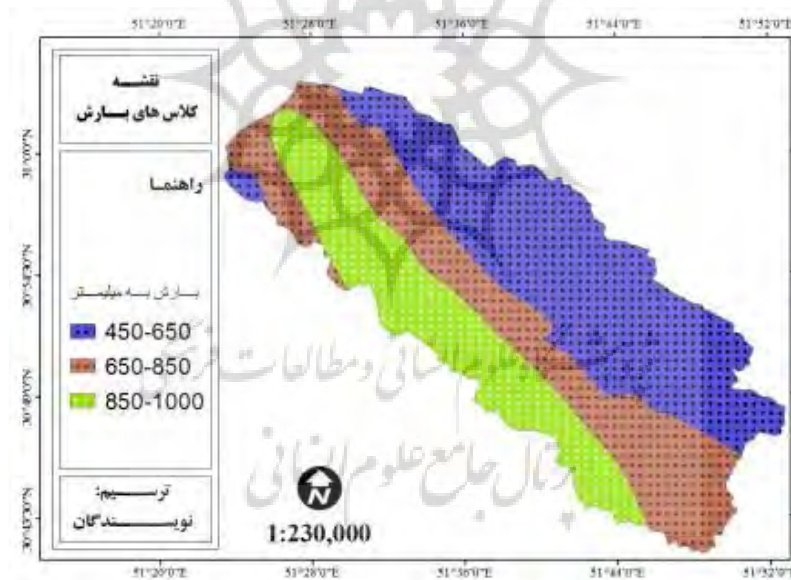
		250-500	DRN2			فقر	RNG2		
		500-1000	DRN3			خیلی فقر	RNG3		
		>1000	DRN4			غنی	RNG4		
بارش (میلیمتر)	RAN	450-650	RAN1	جهت شیب	ASP	E	ASP1		
		650-850	RAN2			N	ASP2		
		850-1000	RAN3			NE	ASP3		
شیب (درصد)	SLP	0-15	SLP1			NW	ASP4		
		15-25	SLP2			S	ASP5		
		25-40	SLP3			SE	ASP6		
		40-70	SLP4			SW	ASP7		
		>70	SLP5			W	ASP8		
سازندهای زمین شناسی	LIT	بختیاری	LIT1			کاربری اراضی	LUS	کشاورزی	LUS1
		میلا	LIT2					باغ	LUS2
		کشکان	LIT3					رنج خوب	LUS3
		سورمه	LIT4	مختلط (کشت دیم، آبی و رنج متوسط)	LUS4				
		گورپی	LIT5	مختلط (رنج متوسط، کشت دیم و آبی)	LUS5				
		ایلام	LIT6	رنج متوسط	LUS6				
		ایلام - سروک	LIT7	رنج فقیر	LUS7				
		گورپی ۲	LIT8	شهر	LUS8				
		کواترن	LIT9	مختلط (کشت دیم و آبی)	LUS9				
		داریان	LIT10	سنگ	LUS10				
		داریان-فهلپان	LIT11	مختلط (زراعت و باغ)	LUS11				



شکل ۳: الف- واحدهای زمین‌شناسی؛ ب- فاصله از گسل؛ ج- شیب و د- وجه شیب در حوضه رودخانه ماربر



شکل ۴: الف- پوشش گیاهی؛ ب- کاربری اراضی؛ ج- فاصله از آبراهه و د- فاصله از جاده در حوضه رودخانه ماربر



شکل ۵: نقشه کلاس‌های بارشی حوضه رودخانه ماربر



مابین خود آنها مقدور می‌باشد. با توجه به مطالب فوق ساختار سلسله مراتبی که جهت پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش در این پژوهش در نظر گرفته شد دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

۱- هدف: تهیه مدل وزنی پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش. ۲- عوامل: عوامل موثر در رخداد زمین لغزش. ۳- زیر عامل‌ها: کلاس‌های عوامل موثر در رخداد زمین لغزش. ۴- گزینه‌ها: تمامی پهنه مورد بررسی (به عبارتی تک تک واحدهای همگن یا زمینی حوضه رودخانه ماربر).

۲-۳-۱-۲- محاسبه وزن آیت‌ها

۲-۳-۱-۲-۱- مقایسه زوجی و اولویت‌بندی اولیه پس از تشخیص عوامل موثر در رخداد زمین لغزش در حوضه ماربر، پرسش‌نامه‌هایی برای اولویت‌بندی عوامل نسبت به هم با در نظر گرفتن رخداد زمین لغزش تهیه شد. نتایج حاصل را با هم تلفیق نموده و ماتریس‌های مقایسه زوجی را بر اساس قضاوت‌های کارشناسی برای عوامل و زیرعامل‌ها تشکیل دادیم. در اینجا به عنوان نمونه ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر آمده است (جدول ۲).

جدول ۲: ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر به روش AHP کارشناسی

معیارها	SLP	LIT	LUS	ASP	DRN	ROD	RAN	FLT	RNG
SLP	۱	۲	۳	۴	۷	۷	۹	۹	۹
LIT	۰/۰۵	۱	۲	۳	۵	۵	۷	۷	۷
LUS	۰/۳۳۳	۰/۰۵	۱	۳	۴	۵	۶	۷	۷
ASP	۰/۲۵۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۱	۴	۵	۶	۷	۷
DRN	۰/۱۴۳	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۱	۲	۴	۶	۶
ROD	۰/۱۴۳	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۰۵۰	۱	۴	۵	۵
RAN	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۱	۳	۴
FLT	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۳۳۳	۱	۱
RNG	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۱	۱
مجموع	۰/۷۰۲	۰/۶۶۲	۰/۲۳۷	۰/۹۰۳	۰/۸۳۲	۰/۶۵۰	۰/۵۸۳	۰/۴۶	۰/۴۷

۲-۳- انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک تکنیک GIS ۲-۳-۱- انجام AHP کارشناسی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه ۲-۳-۱-۱- ساختن سلسله مراتبی در بحث پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای ساختن نمودار سلسله مراتبی به ناچار باید از گروه ساختارهای سلسله مراتبی وظیفه‌ای از نوع ناقص کمک بگیریم. زیرا متغیرهایی که برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، به کار می‌بریم می‌توانند حذف یا اضافه شوند و یا ارزش آنها کم و زیاد شود. به طور مثال عامل ارتفاع بسته به منطقه مورد بررسی و نظر کارشناسان می‌تواند حذف گردد و یا در نظر گرفته شود، اگر در نظر گرفته شود می‌تواند در مقایسه با دیگر پارامترها از لحاظ تاثیر در رخداد زمین لغزش دارای ارزش‌های متفاوتی باشد. از سوی دیگر نمی‌توان تمامی عناصر بکار رفته در سلسله مراتبی را باهم مقایسه کرد. یعنی نمی‌توان کلاس‌های شیب را با رنج‌های بارشی از نظر تاثیر در رخداد زمین لغزش مقایسه نمود، ارزش‌دهی به این کلاس‌ها از لحاظ تاثیر در رخداد زمین لغزش تنها

۲-۳-۱-۲- محاسبه وزن نسبی و وزن نهایی پارامترها  
 پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی تمامی پارامترها با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی وزن نسبی پارامترها محاسبه شد. ستون متوسط (میانگین هر سطر) در ماتریس نرمالیزه وزن نسبی هر عنصر را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نرمالیزه نمودن ماتریس‌های مقایسه زوجی (وزن نسبی) در جدول (۳) آمده است.

پس از محاسبه وزن نسبی عوامل و زیرعوامل‌ها، برای محاسبه وزن نهایی زیر عامل‌ها وزن‌های نسبی هر عامل در زیرعوامل‌های مربوطه ضرب و وزن نهایی زیر عامل‌ها به دست آمد (جدول ۳). کلاس شیب ۲۵- با ۱۵٪ با وزن نهایی ۰/۱۵۴ و کلاس پوشش گیاهی غنی با وزن نهایی ۰/۰۱۱ به ترتیب موثرترین و کم‌تأثیرترین زیرعوامل‌های موثر در رخدادهای زمین‌لغزش شناخته شدند.

جدول ۳: وزن نهایی زیر عامل‌های موثر در رخداد زمین‌لغزش به روش AHP کارشناسی

وزن نهایی	وزن نسبی	کلاس	وزن نسبی	وزن نهایی	عامل	وزن نسبی	کلاس	وزن نسبی	وزن نهایی	
۰۰۹/۰	۰۱۹/۰	۰-۱۵۰۰	۶۵۴/۰	۰۳۸/۰	فاصله از گسل (متر)	۰۱۹/۰	۰-۱۵۰۰	۴۷۴/۰	۰۰۹/۰	
۰۰۵/۰	۰۱۹/۰	۱۵۰۰-۳۵۰۰	۲۲۱/۰	۰۱۳/۰			۱۵۰۰-۳۵۰۰	۲۸۹/۰	۰۰۵/۰	
۰۰۳/۰	۰۱۹/۰	۳۵۰۰-۵۰۰۰	۰۷۷/۰	۰۰۴/۰			۳۵۰۰-۵۰۰۰	۱۳۲/۰	۰۰۳/۰	
۰۰۲/۰	۰۱۹/۰	۵۰۰۰ <	۰۴۹/۰	۰۰۳/۰			۵۰۰۰ <	۱۰۵/۰	۰۰۲/۰	
۰۰۹/۰	۰۱۹/۰	بدون پوشش	۵۱۷/۰	۰۳۷/۰	پوشش گیاهی	۰۱۹/۰	بدون پوشش	۴۷۴/۰	۰۰۹/۰	
۰۰۵/۰		۲۵۰-۵۰۰	۲۹۸/۰	۰۲۱/۰			خیلی فقیر	۲۸۸/۰	۰۰۵/۰	
۰۰۳/۰		۵۰۰-۱۰۰۰	۱۳۷/۰	۰۱۰/۰			فقیر	۱۷۸/۰	۰۰۳/۰	
۰۰۱/۰		۱۰۰۰ <	۰۴۸/۰	۰۰۳/۰			غنی	۰۶۰/۰	۰۰۱/۰	
۰۲۷/۰	۰۳۴/۰	N	۸۵۰-۱۰۰۰	۰۲۴/۰	بارش (میلیمتر)	۰۳۴/۰	N	۲۱۵/۰	۰۲۷/۰	
۰۲۷/۰		NW	۶۵۰-۸۵۰	۰۰۸/۰			NW	۲۱۵/۰	۰۲۷/۰	
۰۲۷/۰		NE	۴۵۰-۶۵۰	۰۷۲/۰			۰۰۲/۰	NE	۲۱۵/۰	۰۲۷/۰
۰۱۵/۰	۱۲۶/۰	W	%۱۵-۲۵	۵۰/۰	جهت شیب	۱۲۶/۰	W	۱۲۱/۰	۰۱۵/۰	
۰۱۲/۰		E	%۱۰-۱۵	۲۶۶/۰			۰۸۲/۰	E	۰۹۹/۰	۰۱۲/۰
۰۰۷/۰		SW	%۲۵-۴۰	۱۱۴/۰			۰۳۵/۰	SW	۰۵۴/۰	۰۰۷/۰
۰۰۷/۰		SE	%۴۰-۷۰	۰۶۱/۰			۰۱۹/۰	SE	۰۵۴/۰	۰۰۷/۰
۰۰۳/۰		S	%۷۰ <	۰۵۸/۰			۰۱۸/۰	S	۰۲۸/۰	۰۰۳/۰
۰۴۲/۰	۱۶۲/۰	LUS7	q	۳۲۰/۰	کاربری اراضی	۱۶۲/۰	LUS7	۲۶۲/۰	۰۴۲/۰	
۰۳۳/۰		LUS6	Ks1	۱۸۶/۰			۰۳۸/۰	LUS6	۲۰۱/۰	۰۳۳/۰
۰۲۱/۰		LUS3	KS	۱۳۴/۰			۰۲۷/۰	LUS3	۱۳۲/۰	۰۲۱/۰
۰۱۷/۰		LUS9	E	۰۹۲/۰			۰۱۹/۰	LUS9	۱۰۳/۰	۰۱۷/۰
۰۱۴/۰		LUS5	J	۰۷۱/۰			۰۱۴/۰	LUS5	۰۸۳/۰	۰۱۴/۰
۰۱۲/۰		LUS4	Ki-j	۰۵۳/۰			۰۱۱/۰	LUS4	۰۷۶/۰	۰۱۲/۰
۰۰۸/۰		LUS11	KI	۰۴۷/۰			۰۱۰/۰	LUS11	۰۵۲/۰	۰۰۸/۰
۰۰۸/۰	۰۲۰/۰	۲۰-۳۰	۰۰۸/۰	۰۰۸/۰	سازندهای زمین شناسی	۰۲۰/۰	۲۰-۳۰	۰۰۸/۰		
۰۰۸/۰	۰۲۰/۰	۳۰-۴۰	۰۰۸/۰	۰۰۸/۰			۳۰-۴۰	۰۰۸/۰	۰۰۸/۰	

	Cbs	۰۴۰/۰	۰۰۸/۰		LUS1	۰۳۳/۰	۰۰۵/۰
	km	۰۲۳/۰	۰۰۵/۰		LUS2	۰۲۷/۰	۰۰۴/۰
	BK	۰۱۹/۰	۰۰۴/۰		LUS8	۰۱۷/۰	۰۰۳/۰
	km1	۰۱۵/۰	۰۰۳/۰		LUS10	۰۱۳/۰	۰۰۲/۰

کمتر از ۰/۱ باشد (قدسی‌پور، ۱۳۸۸)، برای همین منظور نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل و زیرعامل‌ها با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی محاسبه شد که شرح آن در جدول (۴) آمده است.

۳-۱-۳-۲- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها  
نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معناداری ماتریس‌های مقایسه زوجی و مقدار آن باید

جدول ۴: نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل و عناصر موثر در رخداد زمین لغزش

ماتریس	عوامل	شیب	سازندها	کاربری ارضی	وجه شیب	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	بارش	فاصله از گسل	پوشش گیاهی	نرخ ناسازگاری
	۰۰۰/۰	۰۰۸/۰	۰۱۴/۰	۰۰۴/۰	۰۱۲/۰	۰۰۷/۰	۰۱۳/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰۰۳/۰	

نظر را اعمال نمود. در این پژوهش جهت ارائه مدل نهایی از روش Weighted Sum به دلیل دقت بیشتر استفاده گردیده و لایه بدست آمده بر اساس شکست-های طبیعی نمودار فراوانی پیکسل‌ها و با هدف مقایسه نتایج با AHP تلفیقی به ۵ کلاس لغزشی تقسیم گردید (جدول ۵) (شکل ۶).

۳-۱-۳-۲-۴- اعمال اولویت بندی‌ها و پهنه‌بندی حوضه پس از محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها و تایید قابل قبول بودن داده‌ها، وزن‌های نهایی زیر عامل‌ها جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه رودخانه ماربر اعمال گردید. جهت اعمال صحیح اوزان بدست آمده در محیط GIS با روش‌های مختلفی می‌توان مدل مورد

جدول ۵: گستره‌های لغزشی حوضه رودخانه ماربر به روش AHP کارشناسی

گستره لغزشی با	حساسیت خیلی کم	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حسایت زیاد	حساسیت خیلی زیاد
فراوانی	۰/۱۵	۰/۱۹۴	۰/۲۳۸	۰/۲۹	۰/۳۹۸



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر به روش AHP کارشناسی

به هدف (رخداد زمین‌لغزش) داشته است و در ماتریس مقایسه زوجی بالاترین ارجحیت را می‌گیرد. تمامی پارامترهایی که ضریب رگرسیونی آنها صفر می‌باشد، پارامترهای حذف شده از معادله رگرسیونی بوده و برای آنها در ماتریس ارزش یکسانی در نظر گرفته می‌شود. ارزش این پارامترها نسبت به پارامترهای با ضریب رگرسیونی منفی بیشتر است. زیرا در معادله رگرسیونی ضرایب مثبت نشانگر افزایش ناپایداری، ضرایب منفی نشانگر کاهش ناپایداری و پارامترهای حذف شده که در ماتریس برای آنها ضریب صفر در نظر گرفته شده نسبت به هدف تاثیر خنثی داشته‌اند. میزان ارجحیت نسبی زوجی پارامترها نیز با توجه به نظرات کارشناسی اعمال گردید. در جدول (۶) ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر بر اساس ضرایب رگرسیونی و نظرات

۲-۳-۲- انجام AHP تلفیقی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه  
 ۲-۳-۲-۱- ساختن سلسله مراتبی ساختار سلسله مراتبی بکار رفته در این روش با آنچه در تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از دانش کارشناسی بکار رفته است یکسان بوده و از نوع سلسله مراتبی وظیفه‌ای با ساختار ناقص می‌باشد. لذا از تکرار مباحث مربوط به این عنوان خودداری می‌نماییم.

۲-۲-۳-۲- محاسبه وزن آیم‌ها  
 ۲-۲-۳-۲-۱- مقایسه زوجی و اولویت‌بندی اولیه در روش AHP تلفیقی برای اولویت‌بندی و محاسبه وزن نسبی پارامترها از ضریب رگرسیونی آنها که با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره به دست آمده است، و نظرات کارشناسی به صورت ترکیبی استفاده شد. در این روش پارامتری که بیشترین ضریب رگرسیونی را دارد، بیشترین اهمیت را نسبت

کارشناسی به صورت تلفیقی، به عنوان نمونه آمده است.

جدول ۶: ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر به روش AHP تلفیقی

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

پس از محاسبه وزن نسبی پارامترها، برای محاسبه وزن نهایی زیر عامل‌ها وزن‌های نسبی هر عامل در زیرعامل‌های مربوطه ضرب و وزن نهایی زیر عامل‌ها برای انجام AHP تلفیقی به دست آمد (جدول ۷). در این روش زیرعامل‌های فاصله از جاده ۵۰۰-۰ با وزن نهایی ۰/۱۶۳۵ و وجه شیب غربی با وزن نهایی ۰/۰۰۰۶۵ به ترتیب موثرترین و کم تاثیرترین زیرعامل‌های موثر در رخداد زمین لغزش شناخته شدند.

۲-۳-۲-۲- محاسبه وزن نسبی و وزن نهایی پارامترها پس از تشکیل اولویت‌بندی تمامی پارامترها با استفاده از ضرایب رگرسیونی مربوطه با روش تقریبی میانگین حسابی وزن نسبی پارامترها محاسبه شد. ستون متوسط در ماتریس نرمالیزه وزن نسبی هر عنصر را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نرمالیزه نمودن ماتریس‌های مقایسه زوجی عوامل موثر و زیرعامل‌ها در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷: وزن نهایی زیر عامل‌ها به روش AHP تلفیقی

عامل	وزن نسبی	کلاس	وزن نسبی	وزن نهایی	عامل	وزن نسبی	کلاس	وزن نسبی	وزن نهایی
فاصله از جاده (متر)	۲۹۱/۰	۰-۵۰۰	۵۶۳/۰	۱۶۴/۰	فاصله از گسل (متر)	۰۲۱/۰	۵۰۰<	۵۶۳/۰	۰۱۲/۰
		۵۰۰-۱۰۰۰	۲۶۷/۰	۰۷۸/۰			۳۵۰۰-۵۰۰۰	۲۶۷/۰	۰۰۶/۰
		۱۰۰۰	۱۰۸/۰	۰۳۱/۰			۰-۱۵۰۰	۱۰۸/۰	۰۰۲/۰
		<۵۰۰۰	۰۶۲/۰	۰۱۸/۰			۱۵۰۰-۳۵۰۰	۰۶۲/۰	۰۰۱/۰
فاصله از آب‌راه (متر)	۱۱۶/۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۵۸۱/۰	۰۶۷/۰	پوشش گیاهی	۱۳۷/۰	فقیر	۵۹۶/۰	۰۸۲/۰
		۰-۲۵۰	۱۷۴/۰	۰۲۰/۰			بدون پوشش	۱۹۱/۰	۰۳۶/۰
		۲۵۰-۵۰۰	۱۷۴/۰	۰۲۰/۰			خیلی فقیر	۱۰۷/۰	۰۱۵/۰
		۱۰۰۰<	۰۷۱/۰	۰۰۸/۰			غنی	۱۰۷/۰	۰۱۵/۰

بارش (میلیمتر)	۰۲۱/۰	۶۵۰-۸۵۰	۴۵۸/۰	۰۱۰/۰	جهت شیب	۰۳۴/۰	NE	۴۰۶/۰	۰۱۴/۰
		۸۵۰-۱۰۰۰	۴۱۶/۰	۰۰۹/۰			SW	۱۸۰/۰	۰۰۶/۰
		۴۵۰-۶۵۰	۱۲۶/۰	۰۰۳/۰			N	۱۷۴/۰	۰۰۶/۰
شیب (درصد)	۰۵/۰	٪۰-۱۵	۵۳۷/۰	۰۲۷/۰	کاربری اراضی	۰۷۸/۰	NW	۰۷۶/۰	۰۰۳/۰
		٪۱۵-۲۵	۱۶۶/۰	۰۰۸/۰			S	۰۷۶/۰	۰۰۳/۰
		٪۲۵-۴۰	۱۳۱/۰	۰۰۷/۰			E	۰۳۹/۰	۰۰۱/۰
		٪۴۰-۷۰	۰۸۳/۰	۰۰۴/۰			SE	۰۲۹/۰	۰۰۱/۰
سازندهای زمین شناسی	۲۵۳/۰	<٪۷۰	۰۸۳/۰	۰۰۴/۰	کاربری اراضی	۰۷۸/۰	W	۰۱۹/۰	۰۰۱/۰
		q	۳۳۴/۰	۰۸۴/۰			LUS4	۲۵۱/۰	۰۲۰/۰
		ksl	۲۰۵/۰	۰۵۲/۰			LUS1	۰۲۵۱	۰۲۰/۰
		Cbs	۱۱۹/۰	۰۳۰/۰			LUS3	۱۴۰/۰	۰۱۱/۰
		E	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS5	۱۰۲/۰	۰۰۸/۰
		J	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS6	۰۴۷/۰	۰۰۴/۰
		KS	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS9	۰۴۷/۰	۰۰۴/۰
		km	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS10	۰۴۷/۰	۰۰۴/۰
		KI	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS11	۰۴۷/۰	۰۰۴/۰
		Ki-j	۰۵۱/۰	۰۱۳/۰			LUS8	۰۳۱/۰	۰۰۲/۰
kml	۰۲۳/۰	۰۰۶/۰	LUS7	۰۲۱/۰	۰۰۲/۰				
BK	۰۱۷/۰	۰۰۴/۰	LUS2	۰۱۶/۰	۰۰۱/۰				

۲-۳-۳- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها همانند روش AHP کارشناسی در این روش نیز با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های تمامی پارامترها محاسبه شد. با توجه به جدول (۸) ماتریس‌ها قابل قبول می‌باشند.

جدول ۸: نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل و عناصر موثر در رخدادهای زمین لغزش

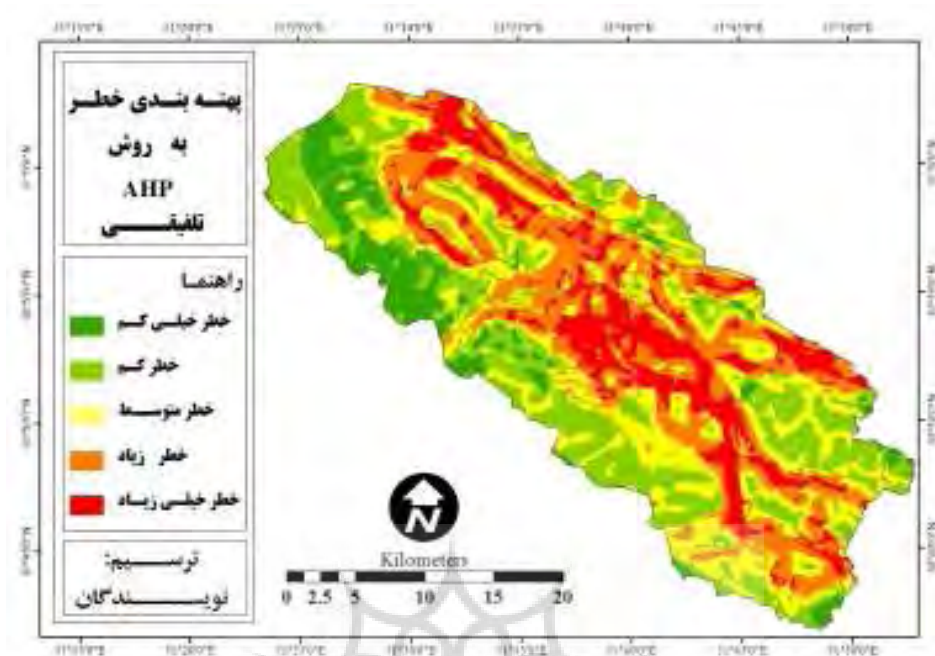
ماتریس	عوامل	شیب	سازندها	کاربری اراضی	وجه شیب	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	بارش	فاصله از پوشش گیاهی
نرخ ناسازگاری	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰	۰۰۷/۰	۰۰۲/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰

۲-۳-۳-۴- اعمال اولویت بندی‌ها و پهنه‌بندی حوضه تمامی مراحل اعمال وزن‌ها و تهیه مدل نهایی پهنه‌بندی مشابه روش AHP کارشناسی بوده و لایه بدست آمده بر اساس شکست‌های طبیعی نمودار فراوانی پیکسل‌ها و با هدف مقایسه نتایج با AHP

کارشناسی به پنج کلاس لغزشی تقسیم گردید (جدول ۹). شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی خطر رخدادهای زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر با استفاده از AHP تلفیقی را نشان می‌دهد.

جدول ۹: گستره‌های لغزشی حوضه رودخانه ماربر به روش AHP تلفیقی

گستره لغزشی با فراوانی	حسایت خیلی کم	حسایت کم	حسایت متوسط	حسایت زیاد	حسایت خیلی زیاد
۰/۱۴۲-۰۷۴ /۰	۰/۲-۱۴۲ /۰	۰/۲۷۱-۲ /۰	۰/۳۴۷-۲۷۱ /۰	۰/۴۶۸-۳۴۷ /۰	



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه ماربر به روش AHP تلفیقی

صحت مدل (Qs) انتخاب گردید. جهت آزمودن دقت بین گستره‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی، از شاخص زمین لغزش (Li) و برای مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر تهیه شده به روش AHP کارشناسی و AHP تلفیقی با یکدیگر از رابطه مجموع کیفیت (Qs) یا همان صحت روش استفاده شد.

۲-۴-۱- شاخص زمین لغزش (Li)

شاخص زمین لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها (رابطه ۱) (ون‌وستن، ۱۹۹۸؛ شیرانی، ۱۳۸۴).

$$Li = \frac{(Si/Ai)}{(\sum_i^n (Si/Ai))} * 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

۲-۴-۲- شاخص‌های ارزیابی و مقایسه مدل‌های پهنه‌بندی خطر

در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه و مدل‌های پهنه‌بندی خطر تهیه شده در محیط GIS، با استفاده از روش‌ها و روابط موجود دقت و صحت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر به آزمون گذاشته می‌شود تا مدلی که از صحت و دقت بالاتری برخوردار بوده و انطباق بیشتری با منطقه مورد مطالعه دارد انتخاب گردد. جهت بررسی و تجزیه و تحلیل میزان دقت و صحت مدل‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش و انتخاب مناسب‌ترین مدل از روابط مختلفی استفاده می‌شود. در این میان برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های پهنه‌بندی تهیه شده در این پژوهش روابط شاخص زمین لغزش (Li)، دقت مدل (P) و

مقدار مجموع کیفیت یا QS نشان دهنده 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 بعد نظری حدی برای آن وجود ندارد در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار QS در روشی بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری خواهد داشت (گی، ۱۹۹۲؛ شیرانی، ۱۳۸۴؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹).

### ۳- بحث و نتایج

اطلاعات به دست آمده از تلاقی نقشه پراکنش زمین- لغزش‌ها با مدل‌های پهنه‌بندی خطر تهیه شده و ارزیابی آنها، نشان می‌دهد که در روش AHP کارشناسی پهنه با حساسیت کم بیشترین درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده و پهنه با خطر خیلی زیاد کمترین درصد مساحت منطقه را دارا می‌باشد، و نیز بیشترین درصد سطح لغزش یافتگی در پهنه خطر متوسط قرار گرفته است. میزان QS مدل ۰/۳۵ و P مدل ۱/۵۳ بوده، اما سیر صعودی نسبت تراکمی و شاخص زمین لغزش مدل در پهنه با حساسیت متوسط بهم خورده است (جدول ۱۰) (شکل ۸ الف و ب). و در روش AHP تلفیقی پهنه با حساسیت کم بیشترین درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده و پهنه با خطر خیلی کم کمترین درصد مساحت منطقه و سطح لغزش یافته را دارا می‌باشد، اما بیشترین درصد سطح لغزش یافتگی در پهنه خطر زیاد قرار گرفته است. میزان QS مدل ۰/۴۵ و P مدل ۱/۷۳ می‌باشد. سیر صعودی نسبت تراکمی و شاخص زمین لغزش مدل برقرار است (جدول ۱۰) (شکل ۸ الف و ب).

$Li =$  شاخص خطر رخداد زمین‌لغزش در هر پهنه خطر به درصد.  $Si =$  مساحت لغزش در هر پهنه خطر.  $Ai =$  مساحت هر پهنه خطر.  $n =$  تعداد پهنه‌ها.

$$2-4-2 \text{ دقت مدل (P)}$$

دقت روش P عبارت است از نسبت مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا به مساحت کل آن پهنه‌ها (رابطه ۲) (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\text{رابطه ۲: } P = KS/S$$

$P =$  دقت مدل در پهنه‌های خطر متوسط به بالا.  $KS =$  مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا.  $S =$  مساحت پهنه‌های خطر مربوطه.

$$2-4-3 \text{ صحت مدل (QS)}$$

برای تعیین صحت مدل ابتدا نسبت تراکمی ( $Dr$ ) محاسبه می‌شود (رابطه ۳) و سپس صحت مدل با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد (گی، ۱۹۹۲؛ شیرانی، ۱۳۸۴).

رابطه ۳: درصد مساحت / درصد زمین‌لغزش‌ها

$$Dr =$$

که: درصد زمین لغزش‌ها عبارت است از نسبت مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر رده خطر نسبت به مساحت زمین‌لغزش‌ها در منطقه و درصد مساحت عبارت است از نسبت مساحت رده خطر به مساحت کل منطقه.

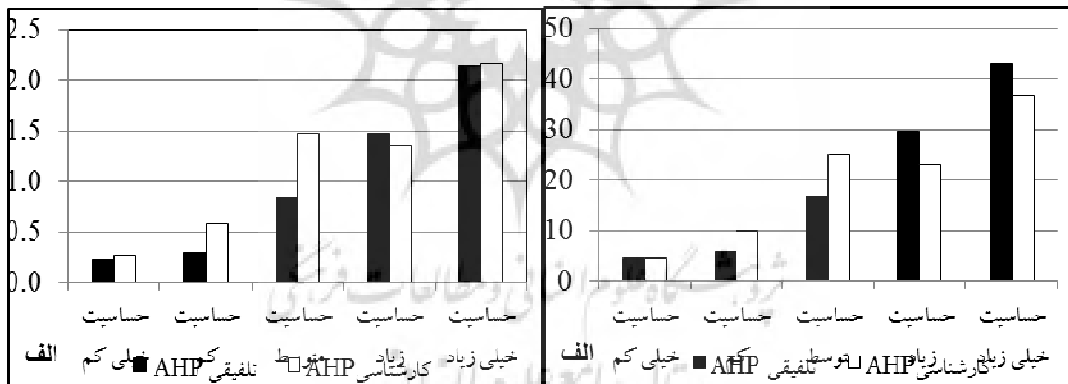
$$\text{رابطه ۴: } Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 \times S)$$

$Qs =$  مجموع کیفیت.  $Dr =$  نسبت تراکم.  $n =$  تعداد رده‌های خطر.  $S =$  نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه.



جدول ۱۰: اطلاعات حاصل از ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر

مدل	گستره لغزشی	(Ai) مساحت پهنه (Km <sup>2</sup> )	(Si) مساحت لغزش پهنه (Km <sup>2</sup> )	(Li) شاخص لغزش (درصد)	(Dr) نسبت تراکمی	(S) درصد مساحت	(Qs) درهر رده	(Qs) مجموع کیفیت	(P) دقت روش
کارشناسی AHP	خطر خیلی	۶۴۷/۱۷۲	۹۵۱/۰	۵۵/۴	۲۷/۰	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۳۵	۵۷/۱
	خطر کم	۶۶۸/۲۱۸	۶۴۰/۲	۹۸/۹	۵۸/۰	۰/۲۷	۰/۰۵		
	خطر	۳۱۱/۱۷۹	۴۹۸/۵	۳۴/۲۵	۴۸/۱	۰/۲۲	۰/۰۵		
	خطر زیاد	۷۴۲/۱۶۶	۶۶۶/۴	۱۳/۲۳	۳۵/۱	۰/۲۱	۰/۰۳		
	خطر خیلی	۷۸۱/۶۲	۸۰۹/۲	۹۹/۳۶	۱۶/۲	۰/۰۸	۰/۱۱		
	جمع	۱۵/۸۰۰	۵۰/۱۶						
تلفیقی AHP	خطر خیلی	۲۹۹/۶۹	۳۲۱/۰	۵۰/۴	۲۲/۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۴۵/۰	۷۳/۱
	خطر کم	۴۷۷/۲۰۷	۲۵۳/۱	۸۷/۵	۲۹/۰	۰/۲۶	۰/۱۳		
	خطر	۵۶۶/۲۰۳	۵۱۴/۳	۷۸/۱۶	۸۳/۰	۰/۲۵	۰/۰۱		
	خطر زیاد	۱۲۰/۱۹۷	۰۳۲/۶	۷۳/۲۹	۴۸/۱	۰/۲۵	۰/۰۶		
	خطر خیلی	۶۸۸/۱۲۲	۴۴۵/۵	۱۲/۴۳	۱۴/۲	۰/۱۵	۰/۲۰		
	جمع	۱۵/۸۰۰	۵۰/۱۶						



شکل ۸: الف). نمودار شاخص زمین‌لغزش (Li) (درصد) ب). نمودار نسبت تراکمی (DR)

#### ۴- جمع‌بندی و پیشنهادها

مناسب‌ترین روش وزن‌دهی و به دنبال آن مطلوب‌ترین مدل پهنه‌بندی تهیه شده، انجام گرفت. به منظور مقایسه منطقی مدل‌ها تمامی عوامل و پارامترها یکسان انتخاب شده و در نهایت ۹ عامل لیتولوژی، گسل، آبراهه، کاربری ارضی، پوشش گیاهی، جاده، شیب و وجه شیب در قالب ۵۴ پارامتر به عنوان عوامل موثر

پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر با استفاده از دو روش AHP کارشناسی و تلفیقی و ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌های به دست آمده از این روش‌ها با توجه به نوع و روش وزن‌دهی اولیه پارامترها، جهت انتخاب

برای پهنه‌بندی منطقه انتخاب و وارد معادله رگرسیونی شدند. عوامل و پارامترهای تعیین شده با استفاده از نظر کارشناسان و مشاهدات میدانی جهت انجام AHP کارشناسی اولویت‌بندی و وارد پروسه شدند. همچنین از ضرایب رگرسیونی به دست آمده و نظرات کارشناسی به صورت تلفیقی برای انجام AHP تلفیقی استفاده شد. پس از انجام فرآیندها مدل‌های پهنه‌بندی تهیه شده به آزمون گذاشته شدند. در روش AHP تلفیقی عوامل فاصله از جاده، لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، بارش و فاصله از گسل به ترتیب بیشترین تاثیر را در رخداد زمین‌لغزش داشته‌اند. در روش AHP کارشناسی عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارش، فاصله از گسل و پوشش گیاهی به ترتیب از بیشترین تاثیر برخوردار شدند. با توجه به اطلاعات جدول (۲۶) و نمودارهای شاخص زمین‌لغزش و نسبت تراکمی (شکل ۸) مدل تهیه شده به روش AHP تلفیقی برای تمامی پهنه‌ها، با شرایط وقوع زمین‌لغزش‌ها انطباق بیشتری دارد. با توجه به نمودار شاخص زمین‌لغزش‌ها روش AHP تلفیقی در معرفی پهنه‌های با حساسیت خیلی زیاد از بیشترین قابلیت برخوردار می‌باشد. در روش AHP تلفیقی مقادیر P و Qs به ترتیب  $1/73$  و  $0/45$ ، در روش AHP کارشناسی  $1/57$  و  $0/35$  می‌باشد. هرچه مقدار عددی این پارامترها بیشتر باشد دقت مدل‌های تهیه شده بالاتر است. در واقع P دقت نقشه را برای رده‌های

خطر متوسط و زیاد به بالا نشان می‌دهد و هرچه مقدار این پارامترها بالاتر باشد مدل به واقعیت نزدیک‌تر است، و هرچه میزان Qs بیشتر باشد صحت نقشه برای تمامی رده‌ها بیشتر بوده و نهایتاً صحت کل مدل مورد استفاده، بیشتر است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین در این پژوهش روش AHP تلفیقی با توجه به شاخص‌های دقت (P) و مجموع کیفیت (Qs) کارایی بهتری نسبت به روش AHP کارشناسی دارد. و روش وزن‌دهی تلفیقی، نسبت به روش کارشناسی از توان بیشتری برای اولویت‌بندی صحیح پارامترها برخوردار می‌باشد (جدول ۲۶).

پیشنهاد می‌شود:

قبل از بکارگیری هر روش پهنه‌بندی پارامترهای موثر و لایه‌های اطلاعاتی به دقت انتخاب و آنالیز گردد.

اولویت‌بندی عوامل موثر (وزن‌دهی اولیه) در تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت تلفیقی از دانش کارشناسی و داده‌ای انجام شود تا مدل‌نهایی از راستی بیشتری برخوردار باشد.

برای ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی به صورت مقایسه‌ای و برآورد دقت و صحت مدل‌های حاصل از آنها تمامی پارامترها و لایه‌های اطلاعاتی به صورت یکسان و با دقت برابر در نظر گرفته شوند. تا نتایج نهایی از راستی بیشتری برخوردار باشند.

## منابع

- پژم، م، (۱۳۷۵)، پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه آبخیز الموت رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم و حسین سلملیان، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۹، صص ۹۳-۷۹.
- حق شناس، ابراهیم، (۱۳۷۵)، پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- رامشت، محمد حسین، (۱۳۷۵)، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۲۶۸.
- سفیدگری، ر، (۱۳۸۱)، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ قدوسی، جمال و جعفر غیومیان، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکرد تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۵، صص ۱۲۶-۱۱۷.
- احمدی، حسن؛ اسمعیلی، اباذر؛ فیض‌نیا، سادات و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۲)، پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرمی چای)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، ش ۴، صص ۳۳۶-۳۲۳.
- 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.
- ایزدی، زهرا، (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (نمونه موردی: حوضه رودخانه ماربر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا.
- بداعی، ب، (۱۳۷۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی.
- بهنیافر، ابوالفضل؛ هادی قنبرزاده و محمدرضا منصوری دانشور، (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه‌ای به روش‌های AHP و احتمال (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کنگ، دامنه‌های شمالی بینالود)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد واحد اهر، سال نهم، شماره ۳۷، صص ۷۸-۵۵.

صفایی، جمال؛ مجید اونق؛ منصور مصداقی و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۸)، مقایسه کارایی مدل-های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش ۴، صص ۶۱-۴۳.

طرح جامع آب کشور، (۱۳۷۸)، گزارش حوضه کارون، شرکت مهندسی مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو.

عظیم پور، علیرضا؛ صدوقی، حسن؛ دلال اوغلی، علی و محمد رضا ثروتی، (۱۳۸۸)، ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزه (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۶، صص ۷۸-۷۱.

علایی طالقانی، محمود؛ رحیم‌زاده، زهرا، (۱۳۹۰)، شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تاکید بر ویژگی‌های مورفولوژی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و دوم، شماره ۴، صص ۷۲-۵۳.

علیجانی، بهلول؛ قهرودی، منیژه و ابوالقاسم امیراحمدی، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۸۴، صص ۱۳۱-۱۱۶.

شریعت جعفری، محسن؛ غیومیان، جعفر، (۱۳۸۷)، ارزیابی کارایی مدل آنالیز دو متغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۴ (۱)- صص ۱۴۳-۱۳۷.

شیرانی، کورش؛ چاوشی، ستار و جعفر غیومیان، (۱۳۸۵)، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه، دانشگاه اصفهان، صص ۳۵-۲۳.

شیرانی، کورش؛ غیومیان، جعفر و احمد مختاری، (۱۳۸۴)، بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نشریه آب و آبخیز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۴۸-۳۶.

شیرانی، کورش، (۱۳۸۳)، ارزیابی مهمترین روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به منظور انتخاب روشی مناسب برای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم، وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک، ۱۰۴.

شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله و مسعود علیمرادی، (۱۳۸۹)، صحت سنجی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کمک تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)، مجله مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، شماره سوم، صص ۱۰۸-۹۱.

- موسسه تحقیق در عملیات بهین گستر سازه، (۱۳۸۷)،  
تحلیل سلسله مراتبی و AHP Master.
- Gee, M. D., (1992) 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.
- 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 Zonation. Journal of Geologisches Rundschau, No. 86, Pp. 404-414.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., Carrara, A., (2000) Comparing Landslide Maps: A case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Environmental Management, Vol. 25, No. 3, PP. 247-263.
- Saro Lee, Kyungduck M., (2001), Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, Enviromented Geology, 40: 1095-1113.
- Murat Ercanogla. Canada Gokceoglu, (2002), assessment of Landslide Susceptibity for a Landslide pron Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, Environmental Geology, 41: 720-730.
- Chowd Hury, R., Flentije, P (2003), Role of Slope Reliability Analysis in Landslide Risk Management, Bull. Eng. Geol. Env, 62:41-46.
- Ownegh, M., (2004), Assessing the Application of Australian Landslide databases for hazard management, 13th International Soil Conservation Organization Conference - Brisbane, July.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). Journal of Geomorphology, 94 (3-4), Pp. 401-418.
- Yalcin, A., (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results
- علی محمدی، صفیه؛ پاشایی اول، عباس؛ شتایی جویباری، شعبان و لطفاله پارسایی، (۱۳۸۸)،  
ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین - لغزش در حوضه آبخیز سید کلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش اول، صص ۷۸-۵۹.
- فیض‌نیا، سادات؛ کلارستانی، عطاله؛ احمدی، حسن و مهرداد صفایی، (۱۳۸۳)، بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین‌رود سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، ش ۱، صص ۲۲-۳.
- قدسی‌پور، سید حسن، (۱۳۸۸)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
- گرایی، پرویز؛ کریم سلیمانی؛ سید رمضان موسوی و عطاء الله کاویان، (۱۳۸۸)، مدل سازی منطقه‌ای خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره در حوضه آبخیز لاجیم رود ساری، مجله علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۳، صص ۳۶-۲۹.
- محمودی، فرج الله، (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی دینامیک، دانشگاه پیام نور، چاپ ششم، ۳۶۴.
- مسعودیان، ابوالفضل؛ کاویانی، محمد رضا، (۱۳۸۶)، اقلیم شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- موحد دانش، علی اصغر، (۱۳۷۳)، هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران، تهران انتشارات سمت.

- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F., (2009). Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS. International Journal of Civil Engineering, Vol. 7, No. 3, Pp. 176-189.
- Van Westen, C.J. (1998), Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ), Volume I, II, and confirmations. Journal of Catena, No: 72; Pp. 1 – 12.
- Alesheikh, A. Vahidnia, M. H., A. Alimohammadi, A. & Hosseinali, F., (2009). Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS, International Journal of Civil Engineering. Vol. 7, No. 3, Pp: 176-189

