



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 ششیرانی: 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 زمین‌لغزش و شاید پیشگیری از وقوع آن اولین گام تهیه نقشه‌ای نسبتاً دقیق از مناطق مستعد زمین‌لغزش است. پارامترهای بسیاری بر دقت مدل‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش موثراند که اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر از جمله این پارامترها می‌باشد. هرچه اولویت‌بندی اولیه عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها دقیق‌تر باشد، مدل نهایی انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه خیزی منطقه خواهند 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 (پادانای سمیرم) به عنوان منطقه هدف انتخاب و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های 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 زمین‌لغزش‌های 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 زمین‌لغزش 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، زمین‌لغزش، 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

زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که از پایین

افتادن و یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از

۱۳۸۵؛ شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۷؛ صفایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ گرایسی و همکاران، ۱۳۸۸)، روش‌های چند معیاره و عمدتاً تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (اونسق، ۲۰۰۴؛ نفس‌لیوگلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ یالسین، 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؛ عظیم‌پور 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 هر یک از این روش‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین جهت شناخت مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش 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 (قدسی‌پور، ۱۳۸۸). در این فرآیند عملیات وزن دهی به فاکتورها به سه روش صورت می‌گیرد: (۱). استفاده از دانش کارشناسی (کیفی) (۲). استفاده از دانش داده-ای (کمی) (۳). تلفیق دانش کارشناسی و داده‌ای با هم (بهین گستر گیتی، ۱۳۸۷). روش اول دارای معایبی

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 زمین‌لغزش‌ها از توان علم و دانش بشر خارج می‌باشد، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی کردن آن می‌توان تا حدودی از خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش جلوگیری نمود (شیرانی، ۱۳۸۳). یکی از اصلی‌ترین اقدامات در این رابطه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش می‌باشد. این فرآیند 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، 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؛ ون‌وستن 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،

2- Analytical Hierarchy Process

1- Multivariate Regression

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.

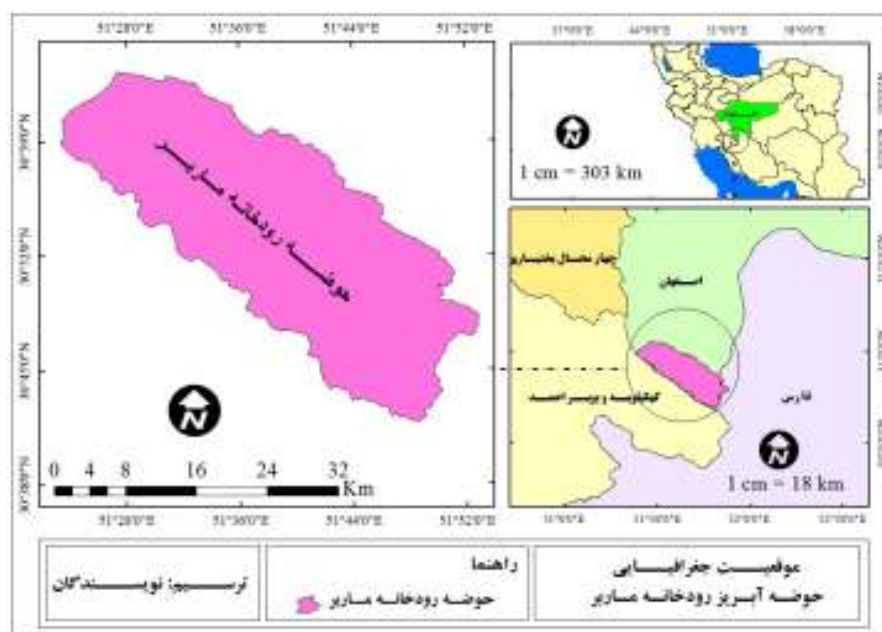
۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- 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°

۵۲' ۵۱° طول شرقی واقع شده است. وسعت حوضه ماربر حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد و در ۵۵ 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 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 ۴۴۹۷ متر و پایین‌ترین ارتفاع آن به ۱۹۷۱ 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 (موحد دانش، 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 ۵۶۶/۸ میلیمتر می‌باشد (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۸).

Downloaded from ujs.ui.ac.ir at 10:39 IRST on Monday September 29th 2014



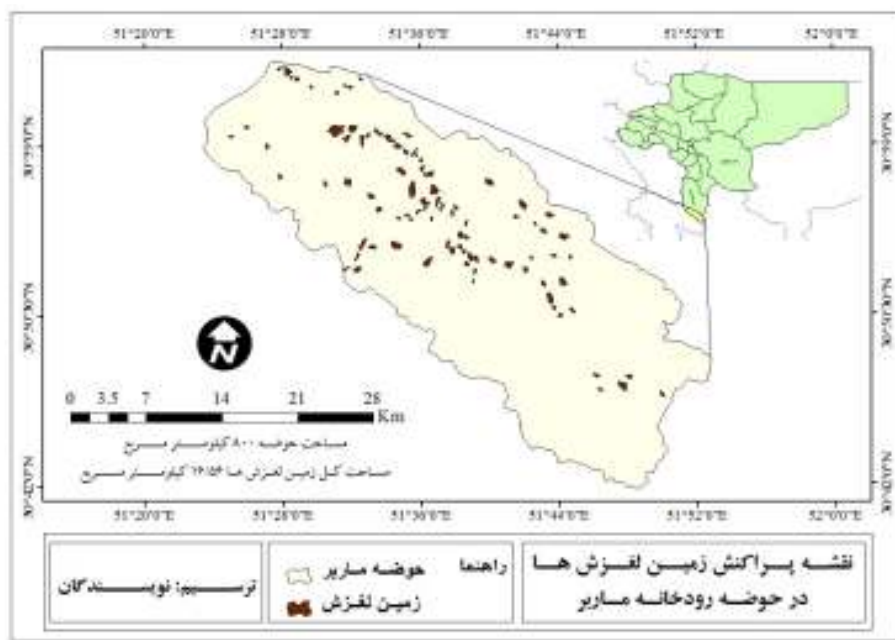
شکل ۱: موقعیت نسبی و ریاضی حوضه رودخانه ماربر

۲-۲-۲- روش کار

۲-۲-۲-۱- 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 تجمعی پیکسل‌ها به چهار کلاس ۱۵۰۰-۰ متر، ۳۵۰۰-۱۵۰۰ متر، ۵۰۰۰-۳۵۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰۰ متر تقسیم شد (شکل ۳؛ ب).

۲-۲-۳- 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 تجمعی پیکسل‌ها در برابر ارزش هر پیکسل استفاده شده است. روی این منحنی مناطقی که شیب منحنی تغییر پیدا می‌کند به عنوان 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 نموده، 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 ۰-۱۵ درصد بیشترین مساحت را در منطقه داشت، شیب ۱۵-۲۵، ۲۵-۴۰، ۴۰-۷۰، ۷۰-۱۰۰ و بیشتر از ۱۰۰ 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).

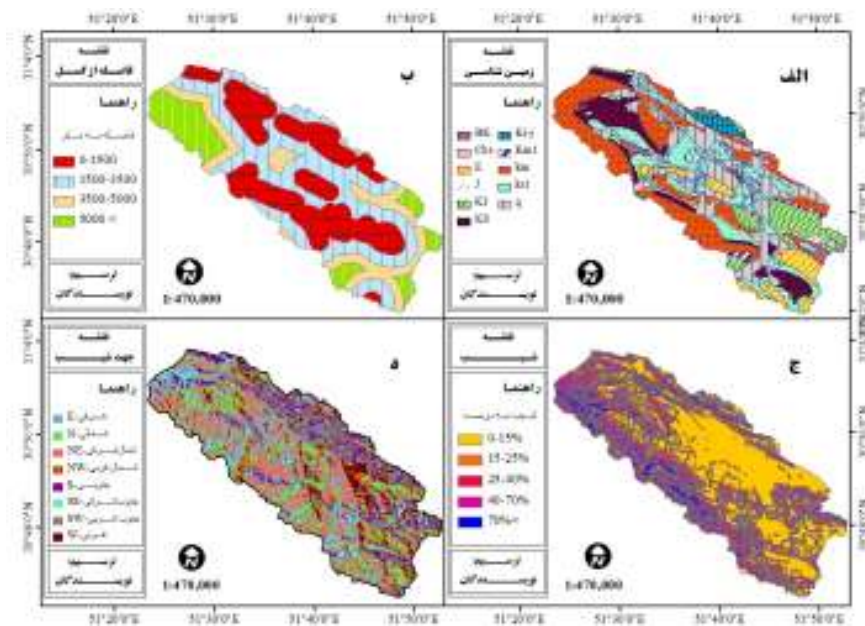
لایه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM+2002 در نرم افزار ENVI4/7 و نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، جهت آنالیزهای بعدی در محیط GIS تهیه گردید. نقشه پوشش گیاهی بر اساس تراکم به چهار کلاس بدون پوشش، 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

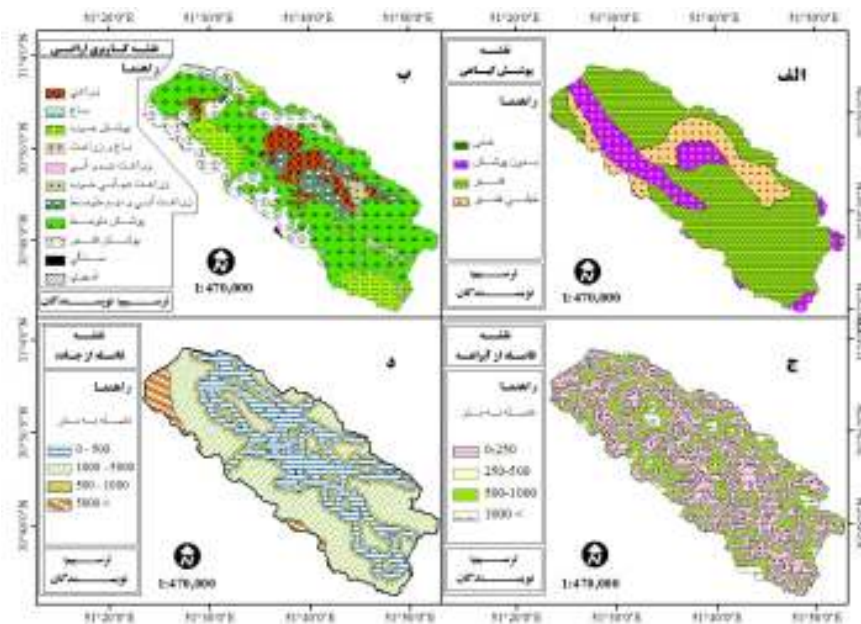
جدول ۱: کلاس‌بندی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و کدهای اعمال شده برای آنها

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

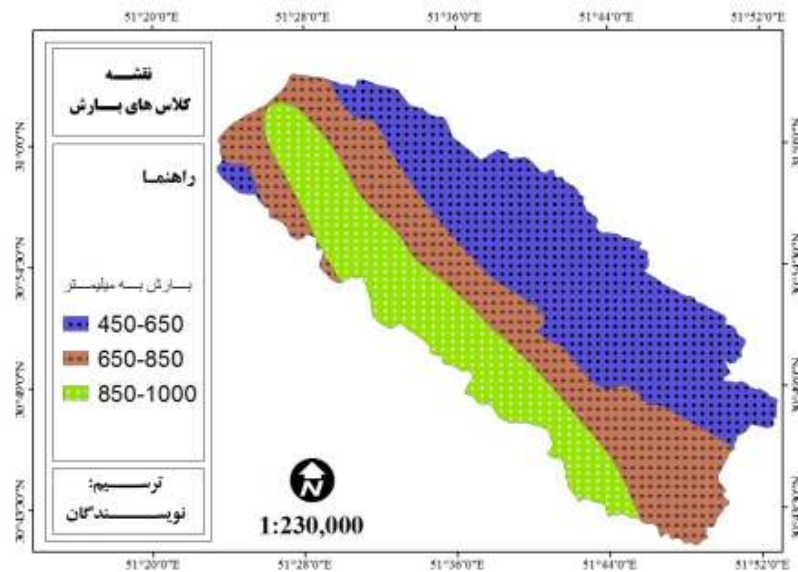
| | | | | | | | |
|---------------------|-----|----------------|-------|--|--|----------------------------------|-------|
| | | 250-500 | DRN2 | | | فقیر | RNG2 |
| | | 500-1000 | DRN3 | | | خیلی فقیر | RNG3 |
| | | >1000 | DRN4 | | | غنی | RNG4 |
| بارش (کمیت) | RAN | 450-650 | RAN1 | | | E | ASP1 |
| | | 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 | | | 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 |
| | | کواترنر | LIT9 | | | مختلط (کشت دیم و آبی) | LUS9 |
| | | داریان | LIT10 | | | سنگ | LUS10 |
| | | داریان-فهلپیان | LIT11 | | | مختلط (زراعت و باغ) | LUS11 |



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



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



شکل ۵: نقشه کلاس‌های بارشی حوضه رودخانه ماربر

۳-۲- انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک تکنیک GIS

۳-۲-۱- انجام AHP کارشناسی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه

۳-۲-۱-۱- ساختن سلسله مراتبی

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

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

۳-۲-۱-۲- محاسبه وزن آیت‌ها

۳-۲-۱-۳-۱- مقایسه زوجی و اولویت‌بندی اولیه

پس از تشخیص عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش در حوضه ماربر، پرسش‌نامه‌هایی برای اولویت‌بندی عوامل نسبت به هم با در نظر گرفتن رخداد زمین‌لغزش 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 | ۵۰۰/۰ | ۱ | ۲ | ۳ | ۵ | ۵ | ۷ | ۷ | ۷ |
| LUS | ۳۳۳/۰ | ۵۰۰/۰ | ۱ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۷ |
| ASP | ۲۵۰/۰ | ۳۳۳/۰ | ۳۳۳/۰ | ۱ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۷ |
| DRN | ۱۴۳/۰ | ۲۰۰/۰ | ۲۵۰/۰ | ۲۵۰/۰ | ۱ | ۲ | ۴ | ۶ | ۶ |
| ROD | ۱۴۳/۰ | ۲۰۰/۰ | ۲۰۰/۰ | ۲۰۰/۰ | ۵۰۰/۰ | ۱ | ۴ | ۵ | ۵ |
| RAN | ۱۱۱/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۶۷/۰ | ۱۶۷/۰ | ۲۵۰/۰ | ۲۵۰/۰ | ۱ | ۳ | ۴ |
| FLT | ۱۱۱/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۶۷/۰ | ۲۰۰/۰ | ۳۳۳/۰ | ۱ | ۱ |
| RNG | ۱۱۱/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۴۳/۰ | ۱۶۷/۰ | ۲۰۰/۰ | ۲۵۰/۰ | ۱ | ۱ |
| مجموع | ۷۰۲/۲ | ۶۶۲/۴ | ۲۳۶/۷ | ۹۰۳/۱۱ | ۰۸۳/۲۲ | ۶۵۰/۲۵ | ۵۸۳/۳۷ | ۴۶ | ۴۷ |

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 عوامل‌ها وزن‌های نسبی هر عامل در زیرعوامل‌های مربوطه ضرب و وزن نهایی زیر عامل‌ها به دست آمد (جدول ۳). کلاس شیب ۲۵-۱۵٪ 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 عوامل‌های موثر در رخدادهای زمین‌لغزش به روش AHP کارشناسی

| عامل | وزن نسبی | کلاس | وزن نسبی | وزن نهایی | عامل | وزن نسبی | کلاس | وزن نسبی | وزن نهایی |
|------------------|----------|-----------|----------|-----------|--------------|----------|--------------|----------|-----------|
| (کنه) سبزه زار | ۰۵۸/۰ | ۰-۵۰۰ | ۶۵۴/۰ | ۰۳۸/۰ | (کنه) کوهسار | ۰۱۹/۰ | ۰-۱۵۰۰ | ۴۷۴/۰ | ۰۰۹/۰ |
| | | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۲۲۱/۰ | ۰۱۳/۰ | | | ۱۵۰۰-۳۵۰۰ | ۲۸۹/۰ | ۰۰۵/۰ |
| | | ۱۰۰۰-۵۰۰۰ | ۰۷۷/۰ | ۰۰۴/۰ | | | ۳۵۰۰-۵۰۰۰ | ۱۳۲/۰ | ۰۰۳/۰ |
| | | <۵۰۰۰ | ۰۴۹/۰ | ۰۰۳/۰ | | | ۵۰۰۰ < | ۱۰۵/۰ | ۰۰۲/۰ |
| (کنه) چهاربازو | ۰۷۱/۰ | ۰-۲۵۰ | ۵۱۷/۰ | ۰۳۷/۰ | کم‌درخت | ۰۱۹/۰ | بدون پوشش | ۴۷۴/۰ | ۰۰۹/۰ |
| | | ۲۵۰-۵۰۰ | ۲۹۸/۰ | ۰۲۱/۰ | | | خیلی فقیر | ۲۸۸/۰ | ۰۰۵/۰ |
| | | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۱۳۷/۰ | ۰۱۰/۰ | | | فقیر | ۱۷۸/۰ | ۰۰۳/۰ |
| | | <۱۰۰۰ | ۰۴۸/۰ | ۰۰۳/۰ | | | غنی | ۰۶۰/۰ | ۰۰۱/۰ |
| (کم‌درخت) شیب | ۰۳۴/۰ | ۸۵۰-۱۰۰۰ | ۷۰۲/۰ | ۰۲۴/۰ | شیب | ۱۲۶/۰ | N | ۲۱۵/۰ | ۰۲۷/۰ |
| | | ۶۵۰-۸۵۰ | ۲۲۷/۰ | ۰۰۸/۰ | | | NW | ۲۱۵/۰ | ۰۲۷/۰ |
| | | ۴۵۰-۶۵۰ | ۰۷۲/۰ | ۰۰۲/۰ | | | NE | ۲۱۵/۰ | ۰۲۷/۰ |
| (صخره) شیب | ۳۰۷/۰ | ٪۱۵-۲۵ | ۵۰۱/۰ | ۱۵۴/۰ | | | W | ۱۲۱/۰ | ۰۱۵/۰ |
| | | ٪۰-۱۵ | ۲۶۶/۰ | ۰۸۲/۰ | | | E | ۰۹۹/۰ | ۰۱۲/۰ |
| | | ٪۲۵-۴۰ | ۱۱۴/۰ | ۰۳۵/۰ | | | SW | ۰۵۴/۰ | ۰۰۷/۰ |
| | | ٪۴۰-۷۰ | ۰۶۱/۰ | ۰۱۹/۰ | | | SE | ۰۵۴/۰ | ۰۰۷/۰ |
| | | ٪۷۰ < | ۰۵۸/۰ | ۰۱۸/۰ | | | S | ۰۲۸/۰ | ۰۰۳/۰ |
| حساسیت زمین‌لغزش | ۲۰۴/۰ | q | ۳۲۰/۰ | ۰۶۵/۰ | | | کاربری اراضی | ۱۶۲/۰ | LUS7 |
| | | Ks1 | ۱۸۶/۰ | ۰۳۸/۰ | LUS6 | ۲۰۱/۰ | | | ۰۳۳/۰ |
| | | KS | ۱۳۴/۰ | ۰۲۷/۰ | LUS3 | ۱۳۲/۰ | | | ۰۲۱/۰ |
| | | E | ۰۹۲/۰ | ۰۱۹/۰ | LUS9 | ۱۰۳/۰ | | | ۰۱۷/۰ |
| | | J | ۰۷۱/۰ | ۰۱۴/۰ | LUS5 | ۰۸۳/۰ | | | ۰۱۴/۰ |
| | | Ki-j | ۰۵۳/۰ | ۰۱۱/۰ | LUS4 | ۰۷۶/۰ | | | ۰۱۲/۰ |
| | | KI | ۰۴۷/۰ | ۰۱۰/۰ | LUS11 | ۰۵۲/۰ | | | 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 زمین‌لغزش

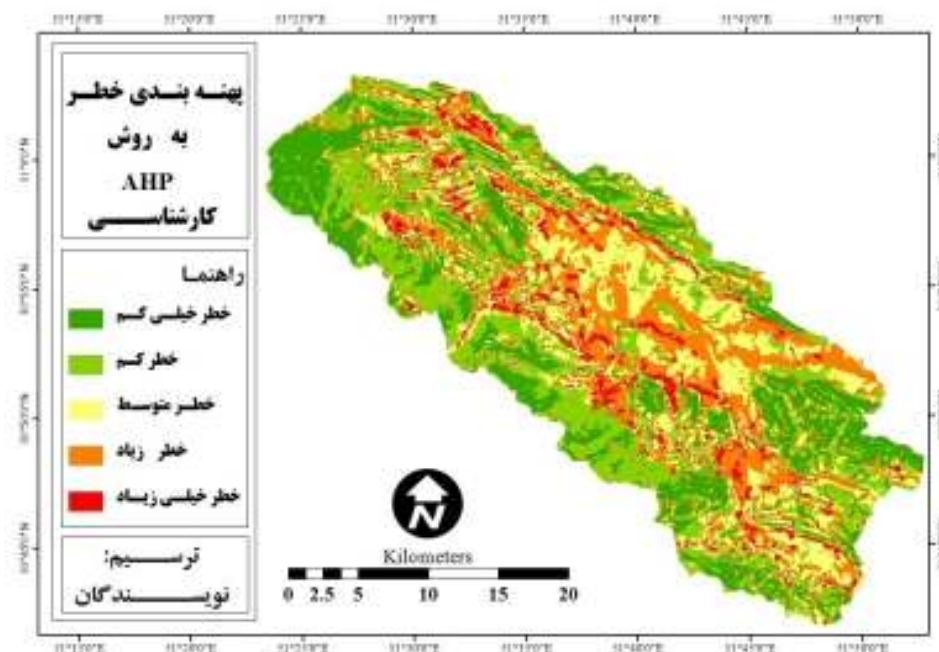
| ماتریس | عوامل | شیب | سازندها | کاربری ارضی | وجه شیب | فاصله از آبراهه | فاصله از جاده | بارش | فاصله از گسل | پوشش گیاهی | نرخ ناسازگاری |
|--------|-------|-------|---------|-------------|---------|-----------------|---------------|-------|--------------|------------|---------------|
| | ۰۰۰/۰ | 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 | حساسیت زیاد | حساسیت خیلی زیاد |
|----------------|----------------|-----------|--------------|-------------|------------------|
| فراوانی | ۰/۱۵ | ۰/۱۹۴ | ۰/۲۳۸ | ۰/۲۳۸ | 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 می‌نمایم.

۲-۳-۲-۲- محاسبه وزن آیت‌ها 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 ۰/۰۰۶۵ به ترتیب موثرترین و کم‌تأثیرترین زیرعامل‌های موثر در رخداد زمین لغزش شناخته شدند.

۲-۲-۲-۳-۲- 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 |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------|--------------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| (کته) - فاصله از جاده | ۲۹۱/۰ | ۰-۵۰۰ | ۵۶۳/۰ | ۱۶۴/۰ | (کته) - فاصله از جاده | 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 |
| (کته) - گاه‌نگار از جاده | ۱۱۶/۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۵۸۱/۰ | ۰۶۷/۰ | (کته) - گاه‌نگار از جاده | ۱۳۷/۰ | فقیر | ۵۹۶/۰ | ۰۸۲/۰ |
| | | ۰-۲۵۰ | ۱۷۴/۰ | ۰۲۰/۰ | | | بدون پوشش | ۱۹۱/۰ | ۰۲۶/۰ |
| | | ۲۵۰-۵۰۰ | ۱۷۴/۰ | ۰۲۰/۰ | | | خیلی فقیر | ۱۰۷/۰ | ۰۱۵/۰ |
| | | ۱۰۰۰< | ۰۷۱/۰ | ۰۰۸/۰ | | | غنی | ۱۰۷/۰ | ۰۱۵/۰ |

| | | | | | | | | | |
|---------------|-------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| کشتی‌ها (متر) | ۰۲۱/۰ | ۶۵۰-۸۵۰ | ۴۵۸/۰ | ۰۱۰/۰ | کشتی‌ها | 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 |
| کشتی‌ها (متر) | ۰۰۵/۰ | ٪۰-۱۵ | ۵۳۷/۰ | ۰۲۷/۰ | کشتی‌ها | ۰۳۴/۰ | 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 |
| | | ٪۷۰< | ۰۸۳/۰ | ۰۰۴/۰ | | | W | ۰۱۹/۰ | ۰۰۱/۰ |
| کشتی‌ها (متر) | ۲۵۳/۰ | q | ۳۳۴/۰ | ۰۸۴/۰ | کشتی‌ها | ۰۷۸/۰ | 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 |
| | | km1 | ۰۲۳/۰ | ۰۰۶/۰ | | | LUS7 | ۰۲۱/۰ | ۰۰۲/۰ |
| | | BK | ۰۱۷/۰ | ۰۰۴/۰ | | | LUS2 | ۰۱۶/۰ | ۰۰۱/۰ |

۳-۲-۳-۲- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها
 همانند روش AHP کارشناسی در این روش نیز با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی نرخ می‌باشند.

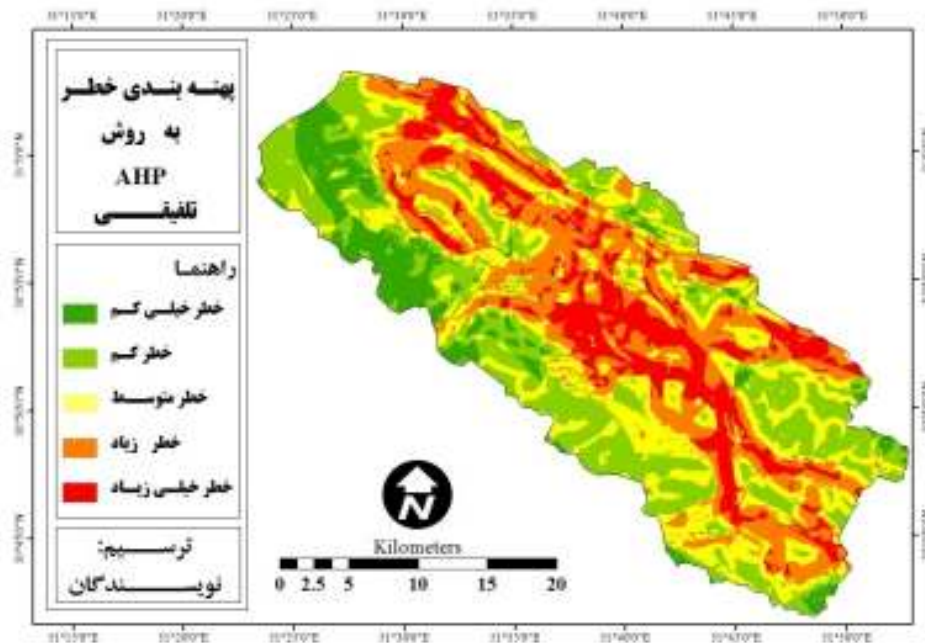
جدول ۸: نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل و عناصر موثر در رخدادهای زمین‌لغزش

| | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|-------|---------------|-----------------|---------|-------------|---------|-------|-------|---------------|
| پوشش گیاهی | فاصله از گسل | بارش | فاصله از جاده | فاصله از آبراهه | وجه شیب | کاربری ارضی | سازندها | شیب | عوامل | ماتریس |
| ۰۰۱/۰ | ۰۰۵/۰ | ۰۰۱/۰ | ۰۰۵/۰ | ۰۰۶/۰ | ۰۵۵/۰ | ۰۰۲/۰ | ۰۰۷/۰ | ۰۰۳/۰ | ۰۰۵/۰ | نرخ ناسازگاری |

۳-۲-۳-۲- 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

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

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



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

صحت مدل (Qs) انتخاب گردید. جهت آزمون دقت بین گستره‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی، از شاخص زمین‌لغزش (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 زمین‌لغزش (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).

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

۲-۴- شاخص‌های ارزیابی و مقایسه مدل‌های پهنه‌بندی خطر

در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های 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 زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش (Li^۱)، دقت مدل (P^۲) و

3Quality Sum

1Landslide Index
2 results Precision of the Predicted

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 دست‌آمده 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 زمین لغزش 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 زمین لغزش‌ها

$$Dr =$$

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

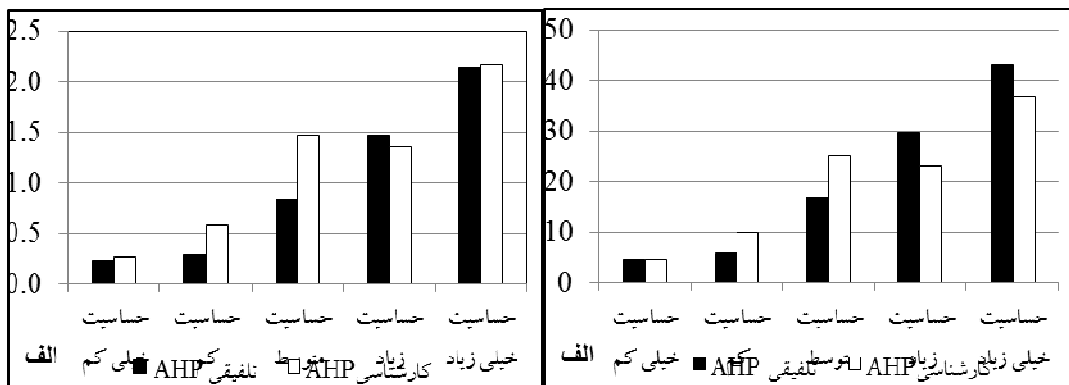
$$\text{رابطه ۴: } Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 \times S)$$

$Qs =$ 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 زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر

| مدل | گستره لغزشی | (Ai) مساحت پهنه (Km ²) | (Si) مساحت لغزش پهنه (Km ²) | (Li) شاخص لغزش (درصد) | (Dr) نسبت تراکمی | (S) درصد مساحت | (Qs) دره 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 زمین لغزش (Li) (درصد) ب). نمودار نسبت تراکمی (DR)

۴- جمع‌بندی و پیشنهادها

مناسب‌ترین روش وزندهی و به دنبال آن مطلوب-ترین 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 زمین-لغزش در حوضه رودخانه ماربر با استفاده از دو روش AHP کارشناسی و AHP تلفیقی و ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌های به دست آمده از این روش‌ها با توجه به نوع و روش وزندهی اولیه پارامترها، جهت انتخاب

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 اولویت بندی 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 سلسله مراتبی به صورت تلفیقی از دانش کارشناسی و داده‌ای انجام شود تا مدلی نهایی 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.

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

- 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 زمین-لغزش 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 چالکروند تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۵، صص ۱۱۷-۱۲۶.
- 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 زمین-شناسی 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.
- بداغی، 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 مدل‌های 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 زمین‌لغزه (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 زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش، نشریه آب و آبخیز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۴۸-۳۶.

شیرانی، کورش، (۱۳۸۳)، ارزیابی مهمترین روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش 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)، صحت‌سنجی روش تحلیل سلسله‌مراتبی (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 ۹۱-۱۰۸.

- 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 Susceptibility 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؛ کلارستاقی، 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.
- گرایبی، 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