

# دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران

سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۴

صص ۷۰ - ۵۱

## کاربرد مدل ترکیبی OWA-AHP به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: شهرستان خرم‌آباد)

امیر کرم<sup>۱</sup>، دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران  
امیر صفاری، دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران  
رامین حاتمی فرد، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران  
عباسعلی نوری، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران

### چکیده

یکی از انواع بلایای طبیعی که هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌نماید پدیده زمین لغزش است. در واقع دفع و یا کاستن از خسارات این پدیده، مستلزم وقت و هزینه فراوان می‌باشد. از آن جایی که پیش‌بینی زمان دقیق وقوع زمین لغزش از توان علمی انسان خارج می‌باشد؛ لذا، با شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و رتبه‌بندی آنها می‌توان تا حدودی از خطرات ناشی از رخداد این پدیده جلوگیری نمود. هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در زمین لغزش و پهنه‌بندی شهرستان خرم‌آباد به لحاظ وقوع این رخداد، با استفاده از مدل OWA-AHP و تکنیک GIS می‌باشد. به این منظور، ابتدا با توجه به موقعیت زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته، نتایج سایر محققین و نظرات کارشناسانه، ۵ معیار و ۱۳ زیرمعیار جهت این مهم شناسایی شد. سپس با استفاده از مدل OWA-AHP عوامل مربوط مورد ارزیابی قرار گرفته و تعیین وزن گردید. پس از تعیین وزن اهمیت معیارها، وزن رتبه‌ها به وسیله کمیت سنج‌های زبانی فازی به دست آمد. در پایان لایه‌های رستری عوامل، در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و تلفیق گردید. جهت تایید نتایج، مدل پیش‌بین ارایه شده با رخدادهای مشاهده شده، مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در بین عوامل مؤثر، معیارهای هیدرولوژی و زمین‌شناسی به عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین لغزش در منطقه مطالعاتی می‌باشند. نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها موجود در شهرستان خرم‌آباد نشان می‌دهد که پهنه‌های خطر زیاد ۲۴/۴۲ درصد و خطر خیلی زیاد ۱۶/۵۲ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده، با این وجود بیش از ۶۵ درصد از سطح لغزش‌های منطقه در این پهنه‌ها رخ داده است. بنابراین، مدل OWA-AHP توانایی بالایی در تعیین پهنه‌های با ریسک زمین لغزش را دارد.

### واژگان کلیدی

مدل OWA-AHP، زمین لغزش، پهنه‌بندی، مخاطرات، خرم‌آباد.

## مقدمه

زمین‌لغزه‌ها و حرکات توده‌ای خاک و مواد سنگی، فرمی از فرآیندهای دامن‌های و نوع خاصی از بلایای طبیعی هستند؛ که هر ساله در برخی از نقاط جهان و ایران رخ داده و خسارات جانی، مالی و زیست محیطی قابل توجهی به بار می‌آورند. حرکات توده‌ای شامل کلیه جابه‌جایی‌ها و جدا شدگی‌های خاک و مواد سنگی به سمت پایین دامن‌هاست. این نوع حرکات به طور عمده در اثر نیروی گرانشی (ثقل)، عوامل طبیعی مثل بارش‌های شدید، زلزله، اشباع خاک از آب و نیز عوامل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات ناصحیح مهندسی به وقوع می‌پیوندد (کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۲). در این میان زمین‌لغزش‌ها در زمره پرخسارت‌ترین نوع حرکات توده‌ای محسوب می‌شوند؛ که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲: ۱۱۵). به گونه‌ای که از آن به عنوان یکی از فرآیندهای ژئومرفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود (هاتانجی و موریساوا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۴۴۷). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد اتفاق می‌افتد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی و حتی تلفات انسانی می‌گردد (قنبرزاده و بهنیاfer، ۱۳۸۸: ۱۰۴). یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست حوضه‌های آبخیز می‌باشد (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۰).

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، واجد شرایط طبیعی جهت وقوع بلایای طبیعی از این نوع می‌باشد. از جمله خسارات انسانی این پدیده در ایران می‌توان به مدفون شدن روستای آبیکار چهارمحال و بختیاری در بهار سال ۱۹۹۷ در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ نام برد (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۰). در این میان استان لرستان یکی از مستعدترین استان‌های کشور از حیث پدیده زمین‌لغزش به شمار می‌رود. وقوع حدود ۲۷۴ پهنه لغزشی به وسعت ۱۴۰۰ کیلومترمربع (معادل ۴/۸٪ مساحت استان)، مؤید این موضوع می‌باشد (مقتدر و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). از آن جایی که پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زمین‌لغزش‌ها مشکل است، شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و پهنه‌بندی این مناطق براساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، دارای اهمیت است و تا حد امکان باید از مناطق با احتمال خطر زمین‌لغزش بالا دوری جست (مصفاei و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۴). هدف از پهنه‌بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آنها برحسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر زمین‌لغزش می‌باشد (جوکار سرهنگی و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۰). 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، ۱۳۹۰: ۵۱). نتایج این گونه مطالعات می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد (پرادهان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۷۷). در نهایت با شناسایی مکان‌های با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آنها می‌توان از خطرات احتمالی جلوگیری نمود.

در این زمینه محققان داخلی و خارجی متعددی نسبت به ارزیابی خطرات زمین‌لغزش و تهیه نقشه‌های توزیع فضایی این پدیده اقدام نموده‌اند از جمله: احمدی و همکاران (۱۳۸۲: ۲)، آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۹: ۲۰۰۹).

<sup>۱</sup> - Moriwaki & Hattanji<sup>۲</sup> - Pradhan

(۱۷۶)، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۲: ۳)، شادفر و همکاران (۱۳۸۴: ۱۱۹)، جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۸۶: ۸۰)، علیجانی و همکاران (۱۳۸۶: ۱۱۶)، عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸: ۷۲)، رهنما و همکاران (۱۳۹۱: ۸۷)، یوشیماتسو (۲۰۰۶: ۱۴۹)، یالسین (۲۰۰۷: ۲).

سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS قابلیت‌های مناسبی در ذخیره‌سازی، بهنگام‌رسانی، بازیابی، پردازش، تجزیه و تحلیل، یکپارچه‌سازی و نمایش انواع مختلفی از داده‌های مکانی زمین مرجع را دارند (آل شیخ و همکاران، ۲۰۰۸). استفاده از روشی توانمند GIS را قادر می‌سازد که تخمین بهتری از میزان ریسک وقوع زمین‌لغزش بدست آورد<sup>۱</sup> OWA به عنوان روش پردازش مسایل چند متغیره شناخته شده است. این روش با مفاهیم تئوری فازی توسعه یافته است (یاگر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸). روش OWA شامل دو گروه وزنی است: یکی وزن اهمیت فاکتورها در حل مسأله و دیگری برتری وزنی هر یک از متغیرها یا فاکتورها. با تغییر در وزن برتری هر یک از فاکتورها، می‌توان دامنه وسیعی از نقشه‌های خروجی تولید نمود (بوراشکی<sup>۳</sup> و مالچفسکی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷). یاگر و کلمن الگوریتم AHP را با استفاده از اپراتورها و عملگر OWA بسط و توسعه دادند و قابلیت الگوریتم AHP را با ترکیب مفاهیم زبانی فازی و OWA بهبود بخشیدند. ترکیب AHP و OWA می‌تواند به عنوان یک ابزار بسیار قدرتمند در تصمیم‌گیری و حل مسایل محیطی مؤثر باشد (یاگر و کلمن<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹).

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی شهرستان خرم‌آباد در ارتباط با رخداد این پدیده با استفاده از مدل AHP-OWA و استفاده از کمیت سنج‌های زبانی فازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی از جمله اهداف پژوهش حاضر می‌باشد. تا مناطق حساسی که بیشترین احتمال خطر وقوع لغزش در آنها وجود دارد مشخص شوند.

## مواد و روش‌ها

### معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش شهرستان خرم‌آباد (مرکز استان لرستان) می‌باشد. این منطقه در مختصات ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مرکز این شهرستان در ارتفاع ۱۱۷۰ متری قرار گرفته است (شکل ۱). شهرستان خرم‌آباد در واقع بخشی از رشته کوه‌های زاگرس چین خورده است؛ که اشکال ساختاری آن به شکل تاقدیس-ناودیس‌هایی با صفحات محوری شمال غرب-جنوب شرق می‌باشند. این اشکال به ترتیب بلندی‌ها و فرونشست‌هایی ایجاد کرده، که با رسوبات جوان و سنگ‌های فرسایشی ارتفاعات انباشته شده‌اند. ناحیه مورد مطالعه با داشتن کوه‌های پیوسته و ممتد (مخمل کوه و سفیدکوه) یکی از بهترین نمونه توده‌های کوهستانی چین خورده و یکپارچه را تشکیل می‌دهد. تاقدیس‌های خرم‌آباد و اطراف آن به طور معمول هسته-ای از سنگ آهک سازند سروک و ایلام را دارند؛ که در دو طرف یال تاقدیس به سازندهای جوان تر مانند گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری، گچساران و بختیاری می‌رسد. از مهم ترین واحدهای ژئومورفیک

<sup>۱</sup> Order Weighted Average

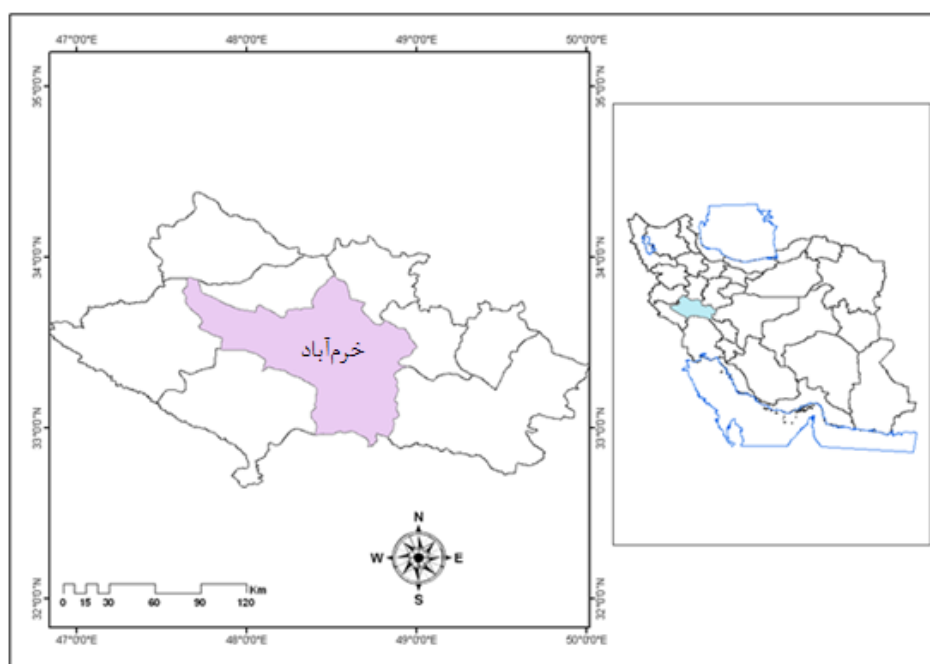
<sup>۲</sup> Yager

<sup>۳</sup> Boroushaki

<sup>۴</sup> Malczewski

<sup>۵</sup> Kelman

این منطقه می‌توان به واحدهای کوهستان، تپه ماهور و دشت اشاره نمود که به شکل متناوبی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در استان لرستان

### روش شناسی

ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی متوسط مقیاس محدوده مطالعاتی، مورد بررسی قرار گرفت و تعیین حدود شد. با توجه به موقعیت منطقه، مورفومتری آن و روش‌های پهنه‌بندی مورد استفاده در کلاس‌های متفاوت (۵ معیار و ۱۳ زیرمعیار) تهیه شد. سپس مدل رقومی ارتفاعی منطقه مطالعاتی تهیه گردید. تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در محیط نرم‌افزار Arc GIS به صورت موارد زیر انجام گرفت: مدل رقومی ارتفاعی منطقه براساس معیارهای مورد نظر طبقه‌بندی شد. لایه‌های شیب و جهت شیب از روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه و از طریق ابزار Surface Analyses در 3D analyses تهیه گردید. لایه‌های فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از گسل و فاصله از مناطق سکونت با استفاده از ابزار Distance در Spatial Analyses تهیه شد. لایه‌های رستری سنگ‌شناسی، کاربری ارضی و واحدهای ارضی به ترتیب از طریق رقومی نمودن جنس مواد در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی و نقشه واحدهای ارضی تهیه گردید. لایه‌های دما و بارش از طریق رابطه دما-ارتفاع و بارش-ارتفاع و میان‌یابی به روش کریجینگ با استفاده از ابزار Interpolate در 3D analyses صورت گرفت. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به تجزیه و تحلیل کمی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها و تعیین وزن معیارها و وزن رتبه در مدل OWA-AHP و تلفیق لایه‌ها در نرم‌افزار Arc GIS، نسبت به ارایه مدل پیش‌بین و پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی به لحاظ وقوع رخداد زمین‌لغزش مبادرت گردید. در پایان جهت تأیید نتیجه نهایی، مدل پیش‌بین و نقشه پهنه‌بندی با موارد مشاهده شده، مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار گرفت و مقادیر شاخص زمین‌لغزش محاسبه گردید.

## مبانی نظری

## فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که اولین بار توسط توماس ال ساعتی<sup>۱</sup> (۱۹۸۰) پیشنهاد گردیده، یکی از روش‌های حلّ مسایل تصمیم‌گیری شناخته شده است؛ که اساس آن بر مبنای مدل وزن‌دهی زوجی هر یک از متغیرها با یکدیگر می‌باشد (ساعتی، ۱۹۸۶). این مدل ابتدا برای به دست آوردن وزن‌های اهمیت هر یک از متغیرها در ارتباط با دیگر فاکتورهاست. سپس وزن‌های به دست آمده، می‌تواند با فاکتورهای دیگر در روش مشابه وزن‌دهی ترکیبی جمع گردد. این روش مناسب است به ویژه برای مسایل تصمیم‌گیری که ما با آلترناتیوهای متفاوت آن روبه‌رو هستیم (استمن و همکاران، ۱۹۹۳؛ مارینونی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). به طور کلی می‌توان گفت که روش AHP شامل سه گام اصلی می‌باشد: ۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی ۲- مقایسه دویه دوی عناصر ساختار سلسله مراتبی ۳- ارزش‌دهی به معیارها. روش مقایسه زوجی یک مقیاس اصولی با مقادیر فرد از ۱ تا ۹ را برای اولویت‌دهی نسبی دو عنصر سلسله مراتبی به کار می‌گیرد. همچنین از مقادیر میانه (۲، ۴، ۶، ۸) بین دو شدت مجاور نیز می‌توان در صورت نیاز استفاده نمود (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۱). در این فرآیند بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد؛ که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی نیز براساس بیشترین نقشی است که آن عامل در داخل لایه ایفا می‌کند (لوپز و زینک<sup>۳</sup>، ۱۹۹۱).

## میانگین‌گیری وزنی رتبه‌ای (OWA)

عملگر OWA روشی برای رتبه‌بندی معیارها و پرداختن به عدم اطمینان اثر متقابل آنهاست (یاگر، ۱۹۹۹). توانایی روش OWA در این است که منجر به درجه‌بندی پیوسته سناریوهایی بین عملگر اشتراک (خطر ناسازگاری- ریسک ناپذیری) و عملگر اجتماع (ریسک‌پذیری) می‌شود (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲). برای ترکیب مجموعه‌های فازی سه نوع عملیات پایه شامل، اشتراک<sup>۴</sup>، اجتماع<sup>۵</sup> و میانگین‌گیری<sup>۶</sup> وجود دارد. یاگر (۱۹۸۸) یک تکنیک ترکیبی بر پایه عملیات OWA که تلفیقی از سه نوع تابع ترکیبی فوق می‌باشد، ارائه داد. در تکنیک او عملیات ترکیب فازی پیوسته‌هایی را بین اشتراک (AND) و اجتماع (OR) فازی، با تلفیق میانگین وزنی که بین آن دو قرار می‌گیرد، فراهم می‌آورد (مالچفسکی، ۱۹۹۹). OWA شامل دو بردار وزن است: یکی وزن اهمیت معیارها ( $w_j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) و دیگری وزن رتبه‌ها ( $v_j$ ). وزن اهمیت ( $w_j$ ) در  $j$  امین نقشه معیار<sup>۷</sup> برای همه مکان‌ها حاصل می‌شود؛ تا اهمیت نسبی فاکتور را بر طبق اولویت تصمیم‌گیرنده گیرنده نشان دهد. میانگین مرتب شده وزنی یک مجموعه وزنی با معیارهای ارزیابی مرتب شده است. بنابراین، علاوه بر وزن‌های معیار، وزن‌های ترتیبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضرایب وزنی در همراهی با معیار خاصی مطرح نمی‌شود؛ بلکه، به موقعیت مرتب شده‌ای از ارزش‌های معیار مرتبط با یک گزینه، تخصیص می‌یابد. بعد از به کارگیری وزن‌های معیار، معیاردارای بیشترین ارزش در اولین وزن ترتیبی به دست می‌آید.

<sup>۱</sup> - Saaty, T. I.<sup>۲</sup> Marinoni<sup>۳</sup> - Lopez & Zink<sup>۴</sup> Intersection<sup>۵</sup> Union<sup>۶</sup> Averaging<sup>۷</sup> attribute

معیاری که بالاترین ارزش را دارد در دومین وزن ترتیبی قرار می‌گیرد و الی آخر (یاگر، ۱۹۸۸؛ مالچفسکی و همکاران، ۲۰۰۳؛ مالچفسکی، ۲۰۰۶).

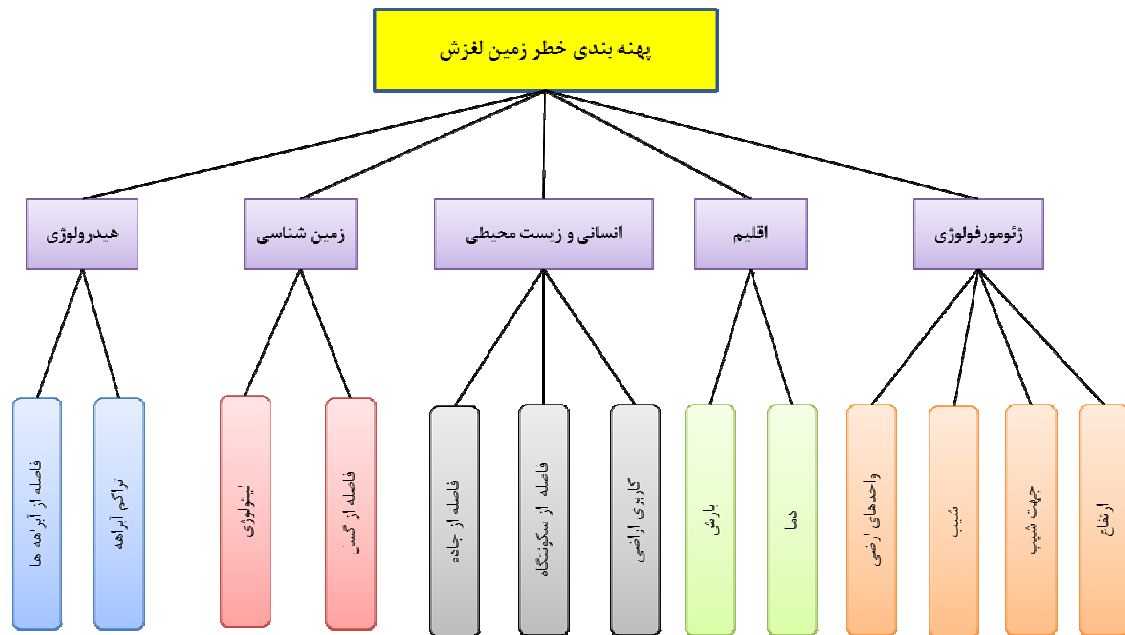
$$OWA = \sum_{j=1}^n \left( \frac{w_j v_j}{\sum_{j=1}^n w_j v_j} \right) z_{ij} \quad \text{معادله (۱)}$$

جایی که  $z_{i1} \geq z_{i2} \geq z_{i3} \dots \geq z_{in}$  به دست آمده از رتبه‌بندی دوباره معیارها  $u_j$  و  $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} \dots, x_{in}$  رتبه‌بندی دوباره لامین وزن معیار  $w_j$  است. وزن درجه‌ای، تصمیم گیرنده را قادر می‌سازد تا معیارهایی را که از نظر او در تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری دارند، با همان اهمیت در حل مسئله تحقیق تأثیر دهد (بوراچسکی و مالچفسکی، ۲۰۰۷). مزیت روش OWA این است که محقق می‌تواند به واسطه دوباره مرتب سازی و تغییر پارامترهای معیار، دامنه وسیعی از نقشه‌ها و راه حل‌های مختلف و سناریوهای پیش بینی را تولید کند (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲). بر خلاف همپوشانی بولین (OR و AND) این روش می‌تواند یک طیف کامل از سناریوهای ریسک، بین دو حد عملگرهای اشتراک (AND) و اجتماع (OR) را به وجود آورد (گورسفسکی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

#### روش OWA-AHP

دو روش OWA و AHP در یک سطح اجرا نمی‌شوند. AHP یک ابزار کلی برای ایجاد مدل سلسله مراتبی مسایل تصمیم‌گیری مکانی، پردازش کلی فرآیند و ارزیابی هر کدام از فرآیندهاست. فرآیند ارزیابی در AHP از یک ترکیب خطی وزن دار ساده برای محاسبه مقادیر هر کدام از سلول‌های رستری استفاده می‌کند. عملگر OWA نیز یک چارچوب کلی برای انجام پردازش‌هایی مانند AHP فراهم می‌آورند. ماهیت و ساختار این دو الگوریتم به گونه‌ای است که از ترکیب آنها می‌توان برای ایجاد یک ابزار تصمیم‌گیری مکانی قدرتمندتر بهره برد (یاگر و کلمن، ۱۹۹۹). برای رسیدن به این چارچوب فرض می‌شود که دو مرحله از AHP یعنی تشکیل ساختار سلسله مراتبی و محاسبه وزن‌های نسبی معیارها با اجرای مقایسه زوجی معیارها، برآورده شده است. از این مرحله به بعد مسئله به وسیله کمیت سنج‌های هدایت شده OWA پردازش می‌شود (مالچفسکی، ۲۰۰۶). در این پژوهش ساختار سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش براساس ۵ معیار اصلی و ۱۳ زیر معیار در طرح زیر آورده شده است (شکل ۲).

<sup>۱</sup> Gorsevski



شکل شماره ۲: ساختار سلسله مراتبی پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در شهرستان خرم آباد

روش کار در این مرحله شامل سه گام اصلی می باشد: الف) معین کردن کمیت سنج زبانی (Q) به دست آوردن وزن های رتبه ای به وسیله کمیت سنج زبانی (Q) ج) محاسبه کلی ارزیابی ها برای هر مکان از هر سطح از ساختار سلسله مراتبی به وسیله تابع ترکیب OWA. نمره کلی آامین گزینه می تواند در دو مرحله محاسبه شود. ابتدا نمره آامین گزینه در ارتباط با هر معیار براساس معادله (۲) محاسبه می شود.

$$s_{iq} = \sum_{k=1}^l v_{k(q)} \cdot z_{ik(q)} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ و } q = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

9

$$v_{k(q)} = \left( \sum_{k=1}^l u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)} - \left( \sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)} \quad (3)$$

جایی که  $z_{ik(q)}$  به وسیله رده بندی دوباره ارزش های صفات مربوط به  $q$  آامین هدف،  $x_{ik(q)}$  و  $u_{k(q)}$  رتبه بندی دوباره  $q$  آامین وزن صفت مربوط به  $k$  آامین معیار است.  $\alpha(q)$  پارامتر مربوط به کمیت سنج های زبانی مربوط به  $q$  آامین هدف است؛ که در اینجا یک کلاس از کمیت سنج های زبانی فازی شناخته شده به عنوان کمیت سنج یکنواخت افزایشی منظم (RIM) می باشد (بورشکی و مالچفسکی، ۲۰۰۷).

جدول شماره ۱: کمیت سنج های زبانی و مقادیر متناظر  $\alpha$  (Borouhaki, Malczewski, 2007)

همه	اکثراً	بسیاری	نصف	بعضی	کمی	حداقل یکی	کمیت سنج زبانی (Q)
۱۰۰	۱۰	۲	۱	۰/۵	۰/۱	۰/۰۰۰۱	$\alpha$

نمره کلی هر گزینه در ارتباط با هدف نهایی بر اساس معادله زیر به دست می آید.

$$OWA - AHP_{(Q)} = \sum_{k=1}^l v_k z_{ik} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$v_q = (\sum_{q=1}^p u_q)^{x_g} - (\sum_{k=1}^{p-1} u_q)^{x_g} \quad \text{معادله (۵)}$$

جایی که  $z_{iq}$  به وسیله رتبه‌بندی دوباره ارزش‌های گزینه‌ها در  $q$ امین سطح هدف  $S_{iq}$  و  $u_q$  رتبه‌بندی وزن  $q$ امین هدف است. پارامتر ارتباط دهنده کمیت سنج‌های زبانی پیوسته با هدف نهایی مسئله تصمیم‌گیری مکانی بر طبق ساختار سلسله مراتبی است.

#### وزن‌دهی به عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد، که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی نیز براساس بیشترین نقشی است؛ که آن عامل در داخل لایه ایفا می‌کند (لوپز و زینک، ۱۹۹۱).

#### شاخص زمین‌لغزش

شاخص زمین‌لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش‌یافته در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها (معادله ۶) (وستن<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷).

$$LI = ((Si/Ai) / (\sum^n (Si/Ai))) * 100 \quad \text{معادله (۶)}$$

در این رابطه  $Li$  = شاخص خطر رخداد زمین‌لغزش در هر پهنه به درصد؛  $Si$  = مساحت سطح لغزش‌یافته در هر پهنه؛  $Ai$  = مساحت هر پهنه؛  $n$  = تعداد پهنه‌ها می‌باشد.

#### یافته‌های تحقیق

#### تعیین بردار وزن اهمیت ( $w_j$ ) و وزن رتبه‌ها ( $v_j$ ) معیارهای اصلی و زیرمعیارها

نتایج حاصل از وزن‌دهی به فاکتورها، ماتریس‌های مقایسه زوجی و نرمالیزه عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، تهیه و تلفیق لایه‌های رستری آن در محیط Arc GIS به شرح جدول‌های (۷-۲) و شکل (۳) می‌باشد. وزن رتبه‌ها به وسیله کمیت سنج‌های زبانی جدول (۱) و با استفاده از معادله (۴) به دست آمد. وزن رتبه‌ها ( $v_j$ ) براساس بردار وزن اهمیت ( $w_j$ ) تعیین می‌شود. برای به دست آوردن وزن رتبه‌ها از معادله (۵) به وسیله راهنمایی کمیت سنج‌های زبانی  $\alpha$  استفاده شد. پس از بهره‌گیری از نظر کارشناسی در این تحقیق برای به دست آوردن وزن رتبه‌های شاخص‌های اصلی،  $\alpha = 2$  قرار داده شده است، که نشان دهنده کمیت سنج زبانی براساس جدول (۱) می‌باشد، با این تفسیر که از نظر کارشناسان برای شناسایی یک منطقه به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خطر زمین‌لغزش، وجود بسیاری از شاخص‌ها لازم است. کمیت سنج زبانی برای مشخص کردن وزن رتبه‌ها در زیر معیارها براساس اهمیت آنها در مسئله تحقیق تعیین شد.

جدول شماره ۲: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها و وزن رتبه‌ها ، معیارهای اصلی،  $\alpha = 2$

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	ژئومورفولوژی	اقلیمی	انسانی و زیست محیطی	زمین شناسی	هیدرولوژی	معیارها
۰/۲۵۲۸	۰/۵۰۲۸	۹	۷	۵	۳	۱	هیدرولوژی
۰/۳۲۹۳	۰/۲۶۰۲	۷	۵	۳	۱	۰/۳۳۳	زمین شناسی

<sup>۱</sup> Westen



وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	ژئومورفولوژی	اقلیمی	انسانی و زیست محیطی	زمین شناسی	هیدرولوژی	معیارها
۰/۲۲۳۱	۰/۱۳۴۴	۵	۳	۱	۰/۳۳۳	۰/۲	انسانی و زیست محیطی
۰/۱۲۶۳	۰/۰۶۷۸	۳	۱	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۱۴۲۹	اقلیمی
۰/۰۶۸۳	۰/۰۳۴۸	۱	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۱۴۲۹	۰/۱۱۱۱	ژئومورفولوژی
ضریب سازگاری: ۰/۰۰۲۴							

جدول شماره ۳: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن زیر معیارها و وزن رتبه‌های  $\alpha = 2$ ، معیار هیدرولوژی

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه‌ها	معیار هیدرولوژی
۰/۴۴۴۸	۰/۶۶۶۷	۲	۱	فاصله از آبراهه‌ها
۰/۵۵۵۲	۰/۳۳۳۳	۱	۰/۵	تراکم آبراهه
ضریب سازگاری: ۰				

جدول شماره ۴: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن زیر معیارها و وزن رتبه‌های، زمین‌شناسی  $\alpha = 2$

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	لیتولوژی	فاصله از گسل	معیار زمین‌شناسی
۰/۵۶۲۵	۰/۷۵	۰/۳۳۳۳	۱	فاصله از گسل
۰/۴۳۷۵	۰/۲۵	۱	۳	لیتولوژی
ضریب سازگاری: ۰				

جدول شماره ۵: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها و وزن رتبه‌ها، معیار انسانی و زیست محیطی  $\alpha = 2$

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	فاصله از سکونتگاه	کاربری اراضی	فاصله از جاده	معیار انسانی و زیست محیطی
۰/۵۳۳	۰/۷۳۰۱	۶	۶	۱	فاصله از جاده
۰/۳۱۹۳	۰/۱۹۳۲	۰/۲۵	۱	۰/۱۶۶۷	کاربری اراضی
۰/۱۴۷۶	۰/۰۷۶۷	۱	۴	۰/۱۶۶۷	فاصله از سکونتگاه
ضریب سازگاری: ۰/۲۰۹۱					

جدول شماره ۶: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها و وزن رتبه‌ها  $\alpha = 1$ ، معیار اقلیم

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	دما	بارش	معیار اقلیم
۰/۱	۰/۱	۹	۱	بارش
۰/۹	۰/۹	۱	۰/۱۱۱۱	دما
ضریب سازگاری: ۰				

جدول شماره ۷: ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها و وزن رتبه‌ها  $\alpha = 1$ ، معیار ژئومورفولوژی

وزن رتبه ( $v_j$ )	بردار وزن اهمیت ( $w_j$ )	ارتفاع	جهت شیب	واحدای ارضی	شیب	معیار ژئومورفولوژی
۰/۵۳۴۶	۰/۵۳۴۶	۹	۷	۲	۱	شیب
۰/۳۱۸۸	۰/۳۱۸۸	۶	۵	۱	۰/۵	واحدای ارضی
۰/۱۰۵۶	۰/۱۰۵۶	۵	۱	۰/۲	۰/۱۴۲۹	جهت شیب
۰/۰۴۰۹	۰/۰۴۰۹	۱	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۰/۱۱۱۱	ارتفاع
ضریب سازگاری: ۰/۰۹۸۲						

جدول شماره ۸: ماتریس داده‌های طبقات زیر معیارها و بردار وزن آنها

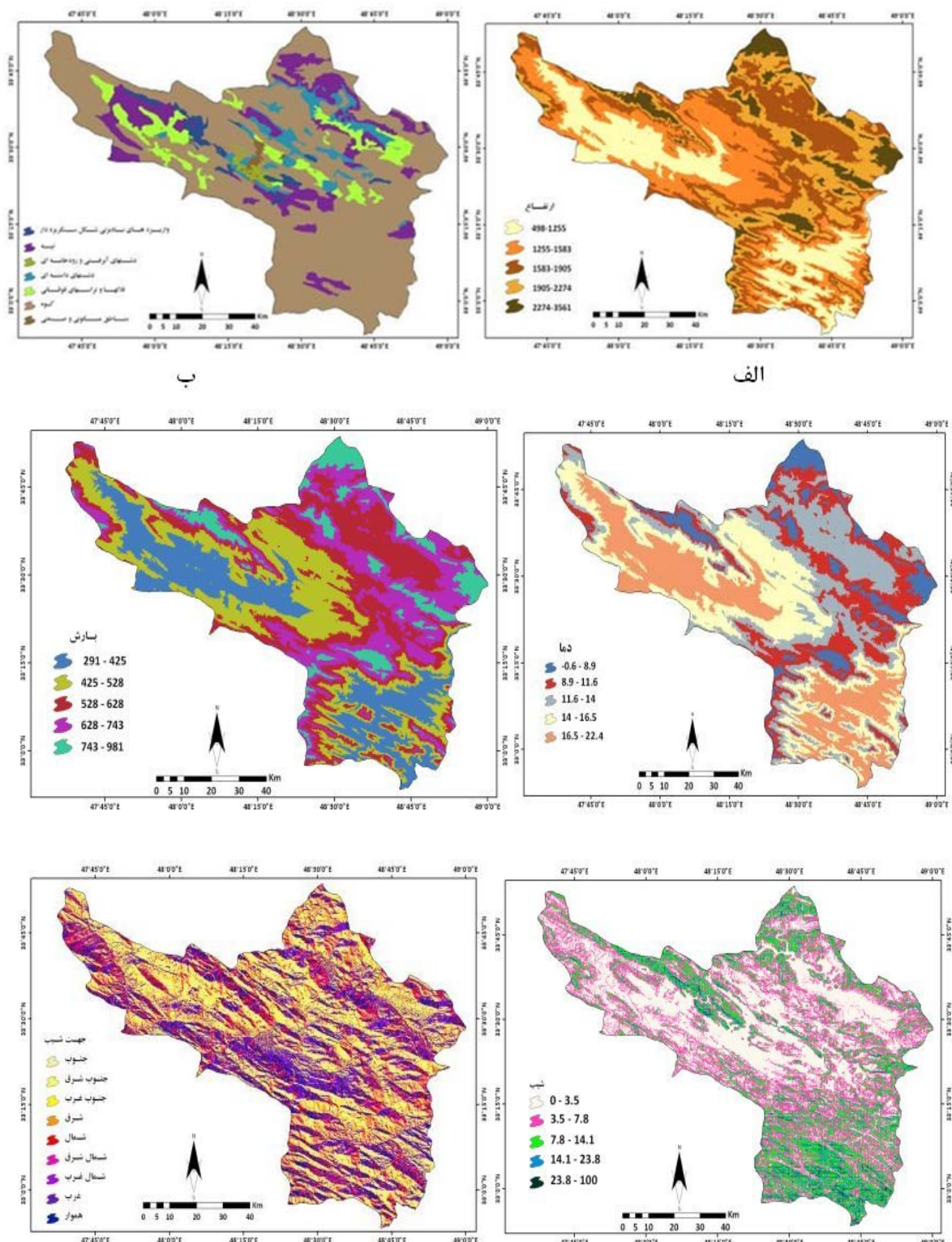
	(Km)	(Km)	(Km)	(Km) (KM <sup>2</sup> )	(KM)	(M)	( )			
۱	۰-۱/۴	۰-۱/۳	۰-۰/۶۲	۱۶۹/۲-۸۶/۶	۰-۳/۰۷	۲۲۷۴-۳۵۶۱	۲۳/۸-۱۰۰	۷۴۳-۹۸۱	۰/۶-۸/۹	۰/۵۰۲۸
۲	۱/۴-۲/۹	۱/۳-۳/۵	۰/۶۲-۱/۴	۸۶/۶-۵۶/۸	۳/۰۷-۷/۲۵	۱۹۰۵-۲۲۷۴	۱۴/۱-۲۳/۸	۶۲۸-۷۴۳	۸/۹-۱۱/۶	۰/۲۶۰۲
۳	۲/۹-۵/۰۹	۳/۵-۶/۴	۱/۴-۲/۴	۵۶/۸-۳۵	۷/۲۵-۱۲/۶	۱۵۸۳-۱۹۰۵	۷/۸-۱۴/۱	۵۲۸-۶۲۸	۱۱/۶-۱۴	۰/۱۳۴۴
۴	۵/۰۹-۸/۲	۶/۴-۱۰/۲	۲/۴-۳/۲	۳۵-۱۳/۲	۱۲/۶-۲۱/۲	۱۲۵۵-۱۵۸۳	۳/۵-۷/۸	۴۲۵-۵۲۸	۱۴-۱۶/۵	۰/۰۶۷۸
۵	۸/۲-۱۵/۱۶	۱۰/۲-۱۸	۳/۲-۵/۷	۱۳/۲-۰	۲۱/۲-۳۶/۷	۴۹۸-۱۲۵۵	۰-۳/۵	۲۹۱-۴۲۵	۱۶/۵-۲۲/۴	۰/۰۳۴۸

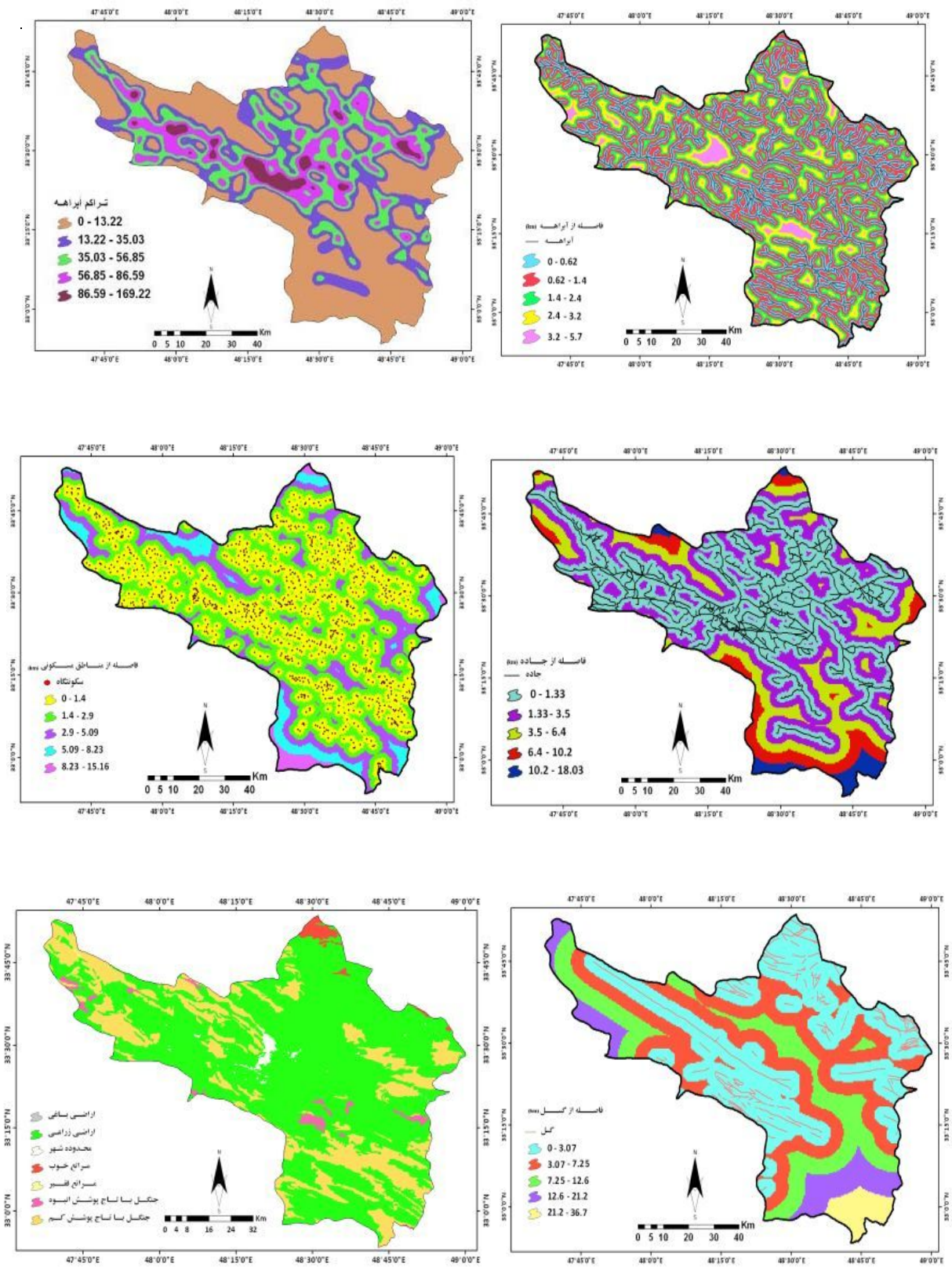
جدول شماره ۹: بردار وزن طبقات زیرمعیار سنگ شناسی

جهت شیب	هموار	شمال	شرق	شمال شرق	جنوب غرب	جنوب	غرب	جنوب شرق	شمال غرب
جنس مواد	رسوبات	گدازه‌های	سازند	سازند امیران	سازند	سازند	سازند	آهک	سازند
آبرفتی	آبرفتی	آندزیتی	آغاجاری		سورگاه-ایلام	کشکان	بختیاری	توده ای	گورپی
بردار وزن	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۵۹	۰/۰۳۷	۰/۵۳۳	۰/۰۷۶۴	۰/۱۰۸۹	۰/۱۵۴۳	۰/۲۱۸۲	۰/۳۰۷

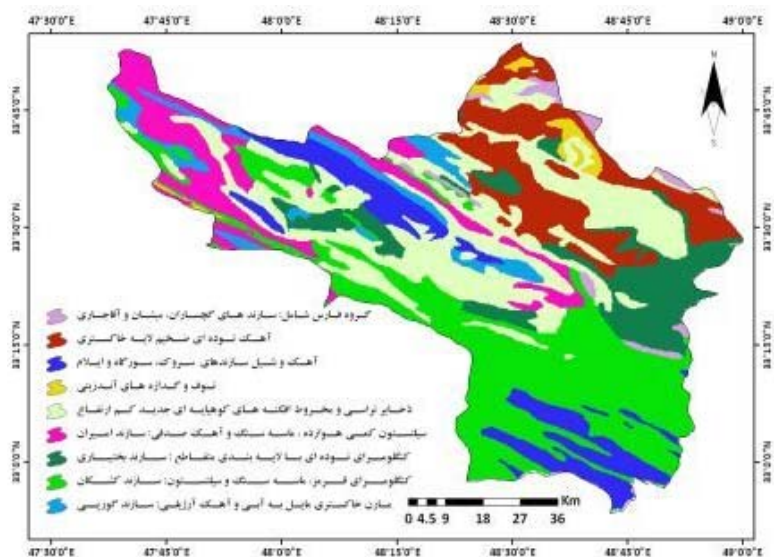
جدول شماره ۸: بردار وزن طبقات زیر معیار واحدهای ارضی

کاربری ارضی	مراعات فقیر	جنگل تنک	مراعات خوب	جنگل انبوه	اراضی باغی	محدوده مسکونی	اراضی زراعی
واحدهای ارضی	مناطق مسکونی و صنعتی	تپه	واریزه‌های بادبزی	فلات‌ها و دشت‌های فوقانی	دشت آبرفتی و رودخانه ای	دشت‌های دامنه‌ای	کوه
بردار وزن	۰/۰۳۱۸	۰/۲۳۷۵	۰/۰۴۶۲	۰/۱۵۹	۰/۰۶۹۶	۰/۱۰۵۶	۰/۳۵۰۴



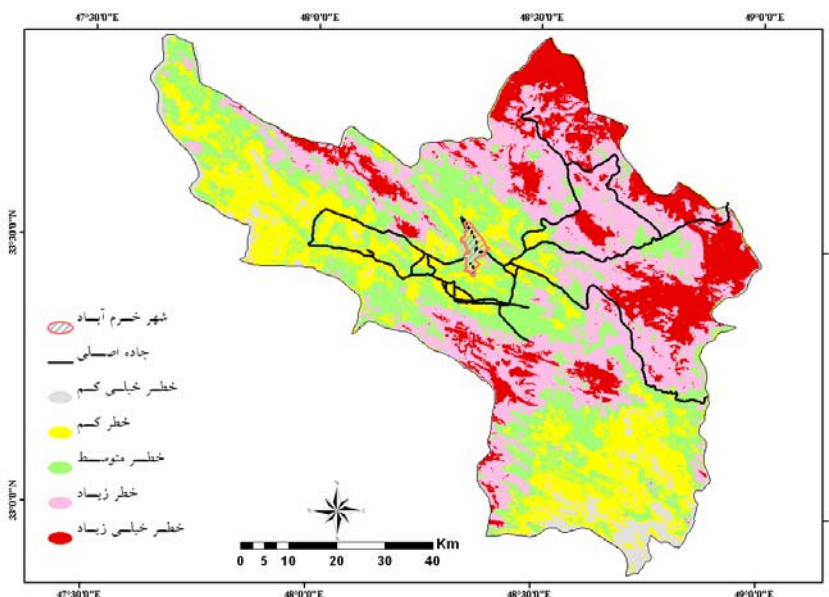






شکل شماره ۳: لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهرستان خرم‌آباد؛ الف) واحدهای ارضی؛ ب) طبقات ارتفاعی؛ پ) هم‌دما؛ ت) هم‌بارش؛ ج) شیب؛ د) جهت شیب؛ س) فاصله از آبراهه؛ ش) تراکم آبراهه؛ م) فاصله از جاده؛ ن) فاصله از سکونتگاه؛ ه) فاصله از گسل؛ و) کاربری اراضی؛ ی) لایه سنگ شناسی.

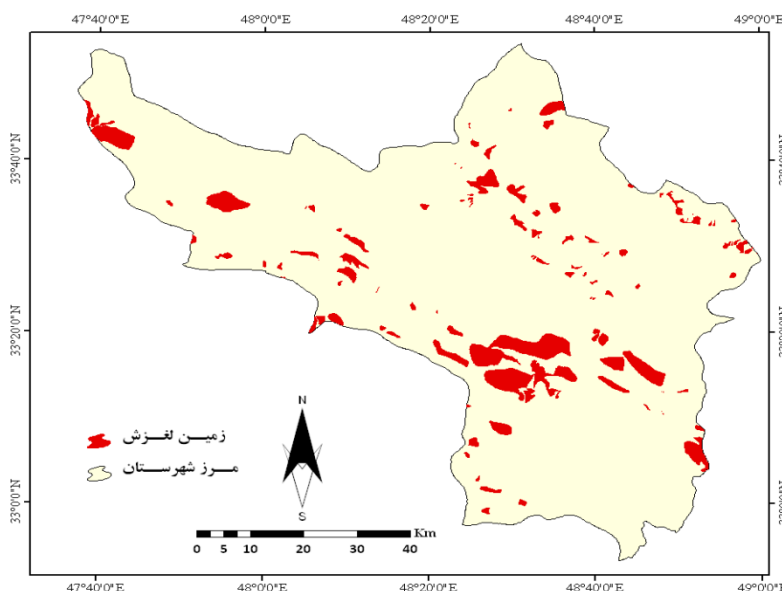
مقدار نهایی پهنه‌های مواجهه با خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی از مجموع حاصل ضرب لایه معیار در وزن معیار و وزن رتبه به دست می‌آید. همچنین وزن لایه معیارها از مجموع حاصل ضرب لایه زیرمعیارها در وزن زیر معیار و وزن رتبه آنها حاصل می‌شود.



شکل شماره ۴: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس مدل AHP-OWA

نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (شکل ۴) با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (شکل ۵) نشان می‌دهد که پهنه‌های مواجهه با خطر زیاد با ۲۴/۴۲ درصد و پهنه‌های با خطر خیلی زیاد ۱۶/۵۲ درصد از

مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده است. با این وجود بیش از ۶۵ درصد از سطح لغزش‌های منطقه در این پهنه‌ها رخ داده است. از طرفی پهنه‌های خطر خیلی کم و کم با دارا بودن ۲۳/۷ درصد از مساحت کل منطقه ۱۱ درصد از سطوح لغزشی اتفاق افتاده را در بر گرفته است. سایر نتایج به دست آمده از مقایسه مدل پیش‌بین خطر زمین‌لغزش منطقه با رخدادهای مشاهده شده به شرح جدول (۱۱) می‌باشد.



شکل شماره ۵: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در شهرستان خرم‌آباد

### بحث و نتیجه‌گیری

تکنیک ارایه شده یاگر (۱۹۸۸) ترکیبی بر پایه عملیات OWA که تلفیقی از سه نوع تابع ترکیبی شامل اجتماع، اشتراک و میانگین فازی می‌باشد. این عملیات ترکیب فازی پیوسته‌هایی را بین اشتراک (AND) و اجتماع (OR) فازی، با تلفیق میانگین وزنی که بین آن دو قرار می‌گیرد، فراهم می‌آورد (مالچفسکی، ۱۹۹۹). این عملگر در مقوله عملگرهای فازی توازنی بوده و شرایط مناسبی از درجه AND بودن و OR بودن را ایجاد می‌کند (خان و آئوویری، ۲۰۰۴). این روش به تصمیم‌گیرنده، اجازه می‌دهد که بر موقعیت تصمیم‌گیری خود در طول هر دو محور ریسک و توازن، کنترل داشته باشد. یعنی این اجازه را به او می‌دهد که سطح ریسک مورد نظر و درجه‌ای که وزن‌های معیاری که نقشه نهایی را متأثر می‌سازد را در تصمیم‌گیری کنترل نماید. وزن درجه‌ای، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد؛ تا معیارهایی را که از نظر او در تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری دارند، با همان اهمیت در مسأله تحقیق تأثیر دهد. با استفاده از این وزن ها می‌توان بر روی سطح کلی توازن معیارها و همچنین سطوح ریسک، اعمال مدیریت نمود. توازن بین معیارها در واقع اعمال تأثیر وزن‌های حاصله از روش مقایسه زوجی در روش AHP به صورت مستقیم می‌باشد، به نحوی که در وزن‌های حاصل شده مدیریت دیگری اعمال نشود. سطح ریسک نیز براساس عملگر ترکیب لایه‌ها می‌باشد. بدین صورت که اگر در تصمیم‌گیری‌ها، مستعدترین مکان مورد نظر باشد، در واقع سطح ریسک پایین است. در این مواقع باید از روش بولین و یا مشابه آن AND استفاده کرد. اگر هدف تصمیم‌گیری تعیین مناطقی با حداقل شرایط است، از عملگر OR استفاده می‌شود؛ که بیانگر ریسک زیاد تصمیم‌گیری می‌باشد.

در روش OWA می‌توان سطوح ریسک و توازن بین معیارها را همزمان تغییر داد، به صورتی که سطح ریسک می‌تواند از حداقل تا حداکثر باشد و توازن نیز از حالت بدون توازن تا حداکثر توازن و سپس مجدداً بدون توازن تغییر کند (بوراشکی و مالچفسکی، ۲۰۰۷). روش AHP-OWA ترکیبی از دو روش است. در این روش وزن معیارها به وسیله روش AHP و مقایسه زوجی به دست می‌آید. همچنین وزن رتبه‌های تعیین کننده نقش در تلفیق معیارها برای کنترل ریسک به وسیله کمیت سنج‌های زبانی فازی تعیین می‌شود. ویژگی‌های منحصر به فرد این مدل سبب شده که در موارد گوناگونی نظیر مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی کارایی به سزایی داشته باشد. در نتیجه بهره‌گیری از آن می‌تواند به عنوان یک روش کاربردی و مناسب جهت نیل به اهداف در این پژوهش مد نظر قرار گیرد. به طوری که از مزایای کاربرد این مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌توان با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، وزن‌دهی به عوامل، کنترل تأثیر معیارها و در نهایت اولویت‌بندی آنها به ترتیب تأثیرات آنها اشاره نمود. از طرفی امتیازدهی به کلاس‌های مختلف هر عامل نیز ساده می‌باشد و مراحل کار را می‌توان به تعداد لازم و کافی تکرار نمود؛ تا به نتیجه‌ای مناسب دست یافت.

وقوع رخداد زمین‌لغزش در مناطق مستعد یکی از معضلات عمده‌ای است که شهرستان خرم‌آباد در اکثر مواقع با آن روبه‌رو است. بنابراین، ایجاد یک استراتژی منطقه‌ای برای حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از آن جهت نیل به اهداف توسعه پایدار بسیار مهم و ضروری است. همچنین ارایه یک مدل پیش‌بین و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در برنامه‌ریزی و مدیریت آن در منطقه مطالعاتی می‌تواند مؤثر باشد. در نتیجه، تکنیک GIS به علت توانایی آن در مدیریت حجم زیادی از اطلاعات فضایی، ابزاری نیرومند برای این نوع مطالعات اولیه به شمار می‌رود. علاوه بر این، مدل AHP-OWA برای برنامه‌ریزان در حل معضلات پیچیده مدیریتی قابل استفاده است. بنابراین، تلفیق تکنیک GIS و مدل AHP-OWA می‌تواند به عنوان روشی قدرتمند جهت ارایه مدل پیش‌بینی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع تلفیق تکنیک GIS و مدل AHP-OWA برای برنامه‌ریزان این امکان را فراهم می‌آورد که با استفاده از توابع تجزیه و تحلیل معیارها و رتبه‌بندی آلترناتیوها، مناسب‌ترین گزینه را که در پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، انتخاب نمایند.

براساس عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در قالب لایه‌های اطلاعاتی، منطقه مورد مطالعه به لحاظ پتانسیل وقوع زمین‌لغزش به پنج طبقه (از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم) تقسیم گردید (شکل ۴). معیارهای اصلی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، از نظر بردار وزن مورد بررسی قرار گرفتند. مشخص گردید که معیار هیدرولوژی با بردار وزن ۵۰۲۸/۰ و معیار زمین‌شناسی با بردار وزن ۲۶۰۲/۰ دارای بیشترین تأثیر بوده‌اند. نقش دیگر عوامل به نسبت تأثیر آنها در رخداد زمین‌لغزش (به شرح جدول ۲) کاهش یافته است. همچنین زیرمعیارها نیز به لحاظ بردار وزن مورد بررسی واقع شدند، که در این میان فاصله از گسل (۰/۷۵)، فاصله از جاده (۰/۷۳۰۱) و فاصله از آبراهه (۰/۶۶۶۷) به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. سایر نتایج تجزیه و تحلیل زیرمعیارها به شرح جداول (۷-۳) می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد در اکثر موارد با نواحی دارای گسل (شکل ۳-و)، مناطق نزدیک آبراهه‌ها (شکل ۳-س) و مناطق مسکونی (شکل ۳-م)، انطباق دارند. این نمایانگر وجود عوامل اولیه مؤثری نظیر تأثیر فاصله از گسل و

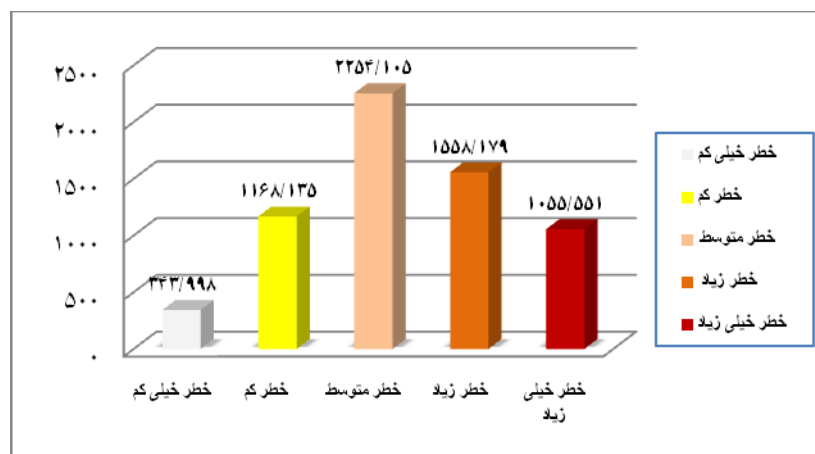
آبراهه، مکان‌گزینی نامناسب راه‌های ارتباطی، مناطق سکونت و نیز تغییر کاربری اراضی (به عنوان عوامل محرک در زمین لغزش) در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

باتوجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌لغزش برای مدل تهیه شده، روند کلی صعودی شاخص از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خطر خیلی زیاد برقرار می‌باشد. بنابراین، روند صعودی شاخص زمین‌لغزش مدل پیش‌بین تهیه شده در این پژوهش، دقت لازم مدل مذکور را تأیید می‌نماید (جدول ۱۱). در این شاخص نیز حداکثر مقدار در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد است.

جدول شماره ۱۱: نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر با نقشه پراکنش زمین‌لغزش

پهنه	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (درصد)	سطح لغزش یافته پهنه (km <sup>2</sup> )	سطح لغزش (درصد)	شاخص زمین لغزش
خطر خیلی کم	۳۴۳/۹۹۸	۵/۳۹	۱۰/۸۸	۲/۵۶	۱۰
کم خطر	۱۱۶۸/۱۳۵	۱۸/۳۱	۴۰/۰۹۷۹	۹/۴	۱۰/۹
خطر متوسط	۲۲۵۴/۱۰۵	۳۵/۳۳	۹۴/۹۴۱۸	۲۲/۳۰	۱۳/۴
خطر زیاد	۱۵۵۸/۱۷۹	۲۴/۴۲	۱۹۵/۹۳۰۹	۴۶/۰۲	۴۰/۴
خطر خیلی زیاد	۱۰۵۵/۵۵۱	۱۶/۵۴	۸۳/۹۲۱۷	۱۹/۷۱	۲۵/۳
جمع	۶۳۷۹/۹۶۳	۱۰۰	۴۲۵/۸	۱۰۰	۱۰۰

براساس مدل پیش‌بین، نقشه نهایی پهنه‌بندی (شکل ۴) و جدول (۱۱) مشخص گردید؛ که پهنه‌های مواجه با خطر خیلی زیاد، ۱۶/۵۴ درصد (۱۰۵۵/۵ کیلومتر مربع) و پهنه‌های با خطر وقوع زیاد، ۲۴/۴۲ درصد (۱۵۵۸/۱ کیلومتر مربع) از مجموع مساحت نواحی دارای پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش را به خود اختصاص داده‌اند. این وسعت بسیار زیاد با مساحت ۲۲۵۴ کیلومتر مربعی مربوط به پهنه خطر متوسط می‌باشد؛ که در آن نیز مدیریت مناطق با خطر زمین‌لغزش قابل توجه است و اهمیت مخاطره ناشی از وقوع زمین‌لغزش در منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۶).



شکل شماره ۶: نمودار مساحت گستره‌های لغزشی (km<sup>2</sup>)



نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین لغزش برای مدل تهیه شده، روند کلی صعودی این شاخص از پهنه خیلی کم به سمت پهنه خطر خیلی زیاد را نشان می دهد و بیانگر دقت لازم مدل مزبور می باشد. در خاتمه پیشنهاد می گردد که مطالعات دقیق تر و در مقیاس های بزرگ تری در سطح شهرستان به منظور پهنه بندی مخاطره زمین لغزش انجام گیرد و برنامه ریزان محلی توجه ویژه ای به مسأله زمین لغزش و پیامدهای آن داشته باشند و در برنامه ریزی کاربری زمین و مکانیابی ها، نتایج نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش را مد نظر قرار دهند. همچنین از سایر روش های موجود از جمله فازی و شبکه های عصبی به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده شود.

## منابع

- ۱- احمدی، حسن، اسمعلی، اباذر، فیض‌نیا، سادات و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۲)، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی حوضه آبخیز گرمی‌چای)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، ش ۴، صص ۳۲۳-۳۳۶.
- ۲- امامی، سید نعیم، غیومیان، جعفر، (۱۳۸۲)، پژوهشی بر ساز و کار زمین لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه ای (مطالعه موردی: لغزش افسر آباد استان چهارمحال و بختیاری، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، صص ۱۱۳-۱۲۶).
- ۳- 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، ش ۹، صص ۷۹-۹۳.
- ۴- رامشت، محمد حسین، سمیه سادات شاهزیدی (۱۳۹۰)، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی و توریسم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- ۵- رهنما، محمد رحیم، آقاجانی، حسین و مهدی فتاحی، (۱۳۹۱)، مکانیابی محل دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد، مجله علمی پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۳، صص ۸۷-۱۰۵.
- ۶- 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 ۱۱۷-۱۲۶.
- ۷- عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوقی، حسن؛ دلال اوغلی، علی و محمد رضا ثروتی، (۱۳۸۸)، ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزه (مطالعه موردی حوضه آبریز اهر چای) مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۶، صص ۷۱-۷۸.
- ۸- علیجانی، بهلول؛ قهرودی، منیژه و ابوالقاسم امیراحمدی، (۱۳۸۶)، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در دامنه های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۸۴، صص ۱۱۶ - ۱۳۱.
- ۹- علی‌محمدی، صفیه؛ پاشایی اول، عباس؛ شتایی جویباری، شعبان و لطف اله پارسایی، (۱۳۸۸)، ارزیابی کارایی مدل های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سید کلاته رامیان، مجله حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش اول، صص ۵۹-۷۸.
- ۱۰- فیض نیا، سادات؛ کلارستاقی، عطاله؛ احمدی، حسن و مهرداد صفایی، (۱۳۸۳)، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش ( مطالعه موردی : حوضه آبخیز شیرین رود سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، ش ۱، صص ۳-۲۲.
- قدسی‌پور، حسن، (۱۳۸۸)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
- ۱۱- قنبرزاده، هادی و ابوالفضل بهنیا، (۱۳۸۸)، پهنه بندی خطر زمین لغزش ها در ارتفاعات حوضه آبریز کال‌شور (شهرستان نیشابور)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۸، صص ۱۰۳-۱۲۳.

۱۲- کرم، عبدالامیر؛ فرج اله محمودی، (۱۳۸۴)، مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی: حوضه آبریز سرخون در استان چهارمحال و بختیاری)، مؤسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۱، صص ۱۴-۱.

۱۳- مصفایی، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۸)، مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش ۴، صص ۴۳-۶۱.

۱۴- مقتدر، عطیه؛ بحرودی، عباس؛ شریفی، محمدعلی و محمدرضا مهدویفر، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان با استفاده از منطق فازی، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه، ۲۵ الی ۲۷ شهریورماه.

15- Alesheikh, A., Vahidnia, M. H., 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.

16- Alesheikh, A.A., Soltani, M.J., Nouri, N., and Khalizadeh, M., 2008, Land Assessment For Flood Spreading Site Selection Using Geospatial Information System, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 5, No. 4, pp. 455-462.

17- Boroushaki, s., Malczewski, J., 2007. "Implementing An Extension of The Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators With Fuzzy Quantifiers in ArcGIS". *Computers & Geosciences* 34, 399-410.

18- Eastman, J.R., Kyem, A.K., Toledano, J. (1993). A Procedure for Multi-Objective Decision Making in GIS Under Conditions of Conflicting Objectives. In: *Proceedings of the Fourth European Conference on Geographic Information Systems*, 29 March-1 April 1993, and Genoa, Italy.

19- Gorsevski, p.v., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D and Frizado, J.P., (2012). Integrating Multi-criteria Evaluation Techniques with Geographic Information System for Landfill Site Selection.

20- Hattanji, T., & Moriwaki, H., (2009), Morphometric Analysis of Relic Landslides Using Detailed Landslide Distribution Maps: Implications for Forecasting Travel Distance of Future Landslides. *Journal of Geomorphology*, No, 103, Pp. 447-454.

21- Khan, J.A., Alnuweiri, H.A., (2004), A fuzzy Constraint-Based Routing Algorithm for Traffic Engineering. *IEEE Communications Society Globecom*.

22- Lopez, H., J & Zink, J, A., (1991), GIS-Assisted Modeling of Mass Movements, *ITC Journal NO, 4*.

23- Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., Healy, M.A., (2003), GIS Multicriteria Evaluation With Ordered Weighted Averaging (OWA): Case Study of Developing Watershed Management Strategies". *Environment and Planning*, 35 (10), 1769-1784

24- Malczewski, J., (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, New York.

25- Malczewski, J., (2006). "Ordered Weighted Averaging With Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for Land-Use Suitability Analysis". *International Journal of Applied Earth Observations and Geo information*, 8 (4), 270-277.

26- Pradhan, B., (2011). An Assessment of the Use of An Advanced Neural Network Model With Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, *Journal of Data Science*, No. 9, Pp. 65-81.

27- Saaty, T.L., (1986), *Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process*, Management Science, Vol. 31, No. 7, July.

- 28- 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.
- 29- Yalcin., A., (2008). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Arsedn (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations. *Journal of Catena*, No. 72; Pp. 1 – 12.
- 30- Yoshimatsu, H., Abe, S., (2006). A Review of Landslide Hazards in Japan and Assessment of Their Susceptibility Using an Analytical Hierarchic Process (AHP) Method. *Journal of Landslides*, No. 3, Pp. 149-158.
- 31- Yager, R.R., (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-criteria Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, NO. 18 (1), Pp.183–190.
- 32- Yager, R.R., Kelman, A., (1999). An extension of The Analytical Hierarchy Process Using OWA Operators". *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, NO. 7 (4), Pp 401–417.