

بررسی پتانسیل زمین لغزش با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (TOPSIS و AHP) در استان چهارمحال و بختیاری

عبدالله سیف: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

محمد راهدان مفرد: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران*

وصول: ۱۳۹۱/۶/۱ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۱، صص ۴۸-۳۱

چکیده

شناخت نواحی مستعد پدیده زمین لغزش و رتبه بندی آن‌ها به عنوان یک مخاطره عمده در مناطق کوهستانی ایران را می‌توان یکی از گام‌های اولیه در برنامه ریزی‌های توسعه ای و عمرانی دانست. در مقاله حاضر وضعیت زمین لغزش‌های استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل‌های AHP و TOPSIS مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش‌ها گزینه‌های مورد نظر را شهرستان‌های استان (شهرکرد، کوهرنگ، فارسان، بروجن، اردل و لردگان) و معیارهای مؤثر را نیز شیب، کاربری اراضی، سازندهای زمین شناسی، ارتفاع، تراکم آبراهه‌ها، بارش سالانه و فاصله از جاده تشکیل می‌دهند. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محیط GIS و امتیازدهی به هر کدام از معیارهای مؤثر، در نهایت نتایج بکارگیری مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که عامل زمین شناسی با وزن تقریبی ۰/۲۶۶۹ مهم‌ترین و شاخص تراکم آبراهه‌ها با وزن تقریبی ۰/۰۱۹۲ کم اهمیت‌ترین معیارها می‌باشند. همچنین بررسی وضعیت پتانسیل رخداد زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه، حاکی از وجود تفاوت در نتایج به دست آمده از بکارگیری مدل‌های AHP و TOPSIS است. تفاوت مذکور شرایط را برای استفاده از استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند)، با ترکیب نتایج حاصل از مدل‌های AHP و TOPSIS فراهم کرد. نتایج به دست آمده از این امر نشان دهنده وجود بیشترین پتانسیل رخداد این پدیده طبیعی در شهرستان‌های اردل، کوهرنگ و فارسان و کمترین پتانسیل در شهرستان بروجن است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش؛ AHP؛ TOPSIS؛ استراتژی‌های اولویت بندی؛ چهارمحال و بختیاری.

۱- مقدمه

می‌رود (مددی، ۱۳۸۹: ۷۷). در همین راستا داشتن اطلاعات کافی در خصوص مناطقی که مستعد حرکات دامنه ای است جهت کاهش خسارات جانی و مالی الزامی است (یمانی و دیگران، ۱۳۸۹: ۹۶). زمین لغزش‌ها خطرات بسیار مهم طبیعی و فرایندهای فعالی هستند که موجب فرسایش و تکامل چشم

زمین لغزش از جمله مهم‌ترین محدودیت‌هایی است که مورد توجه پژوهشگران، برنامه ریزان و سیاست‌گذاران بهره برداری از زمین و منابع آن قرار گرفته است. این پدیده اکثراً به عنوان یکی از بزرگترین عوامل مزاحم برنامه‌های عمرانی به شمار

می‌دهند (Corominas & Moya, 2008: 193). اما در کشور ما مطالعات انجام گرفته در این زمینه جوان بوده و شروع جدی آنها به اوایل دهه ۸۰_۱۳۷۰ باز می‌گردد (کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۲).

محققینی از جمله امامی و الهامی (۱۳۸۵)، اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش موروارسون با دقتی حدود ۵۷ درصد در حوضه دوآب صمصامی در غرب استان کرده اند و یا کرم و محمودی (۱۳۸۴) با پژوهش در زمینه مدل‌های کمی، دقت بیشتری را به روش رگرسیون لاجستیک در پهنه بندی این مخاطره در محدوده حوضه آبریز سرخون در شهرستان اردل نسبت داده اند. اما کمبود داده‌ها، بویژه در رابطه با اطلاعات ژئواکولوژیک، محققین را همواره در تنگنا قرار داده است و این محدودیتها بویژه زمانی که زمین لغزه‌های مورد مطالعه سطحی باشند به دلیل قدرت تفکیک پایین آنها در نقشه‌های پایه، دو چندان می‌شود (جباری، ۱۳۸۴: ۸۶).

روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS)، اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط یون و هوانگ ارائه شد (Hwang & Yoon, 1981). این روش، ماتریس تصمیمی را ارزیابی می‌کند که شامل m گزینه و n شاخص است و اساس آن انتخاب گزینه ایست که کمترین فاصله را از جواب ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارد (احمدپور و دیگران، ۱۳۸۸: ۱۶). استفاده از این روش در هنگامی که تعداد شاخص‌ها و اطلاعات در دسترس محدود است پیشنهاد می‌شود (طاهرخوانی، ۱۳۸۶: ۶۵). روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نیز در سال ۱۹۸۰ توسط Saaty ارائه شد. او کاربرد این روش را که منعکس کننده تفکر انسانی است برای مسائل پیچیده پیشنهاد

اندازهای طبیعی می‌شوند (Guzzetti et al, 2005: 272) و حضور انسان در پیرامون این رخداد آن را بصورت بلا نشان می‌دهد (انتظاری و دیگران، ۱۳۹۰: ۱۵۵). در پاره ای از مواقع این پدیده دارای جنبه‌های مثبت نیز بوده است. مانند زمین لغزش تورتوم در ترکیه که موجب ایجاد یک سد بزرگ طبیعی گردید (Duman, 2009: 72). با این حال این پدیده از عوامل فرسایش و تخریب زمینهای کشاورزی نیز به شمار می‌رود (Yalcin, 2007: 77).

با توجه به شرایط توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، کشور ایران به طور گسترده در معرض پدیده زمین لغزش قرار دارد (مرادی و دیگران، ۱۳۹۰: ۱). استان چهارمحال و بختیاری از جمله استان‌هایی است که لغزش‌های مخربی را تجربه کرده است. از جمله ی این زمین لغزش‌ها، تخریب کامل روستای آبیکار در منطقه بازفت از شهرستان فارس است که در سال ۱۳۷۷، پنجاه و پنج نفر را به کام مرگ فرستاد.

از آنجا که پیش بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها خارج از توان دانش بشری است، تنها با شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش تا حدودی می‌توان از خطر ناشی از بروز این پدیده جلوگیری کرد. پهنه بندی خطر زمین لغزش، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه ریزی‌های آتی توسعه و عمران محسوب گردد (شیرانی و دیگران، ۱۳۸۹: ۹۲).

سابقه پژوهش در مورد پهنه بندی خطر وقوع حرکت‌های توده ای در کشورهای توسعه یافته به دهه ۶۰ میلادی باز می‌گردد. به طوری که تهیه اولین نقشه‌های زمین لغزش را به دهه ۷۰ میلادی ارتباط

می‌دهد (Saaty, 1980). اساس این روش بر این موضوع استوار است که با تجزیه مسائل پیچیده تصمیم‌گیرنده را قادر سازد تا به اولویت بندی گزینه‌های مورد نظر خود بپردازد. از آنجا که در وقوع لغزش عوامل متعددی ممکن است دخالت داشته باشند، به کمک این مدل می‌توان متغیرهای مختلفی را در معادله وارد کرد و تجزیه و تحلیل را تا رسیدن به نتایج نهایی ادامه داد (علایی طالقانی و رحیم زاده، ۱۳۹۰: ۵۴). کاربرد این مدل در ارزیابی خطر زمین لغزش توسط محققین زیادی تأیید شده است به طوری که یالسین (2008) از این مدل به عنوان مدلی یاد می‌کند که می‌تواند تصویری بسیار واقعی از پراکنش زمین لغزش‌های موجود در هر منطقه ارائه دهد.

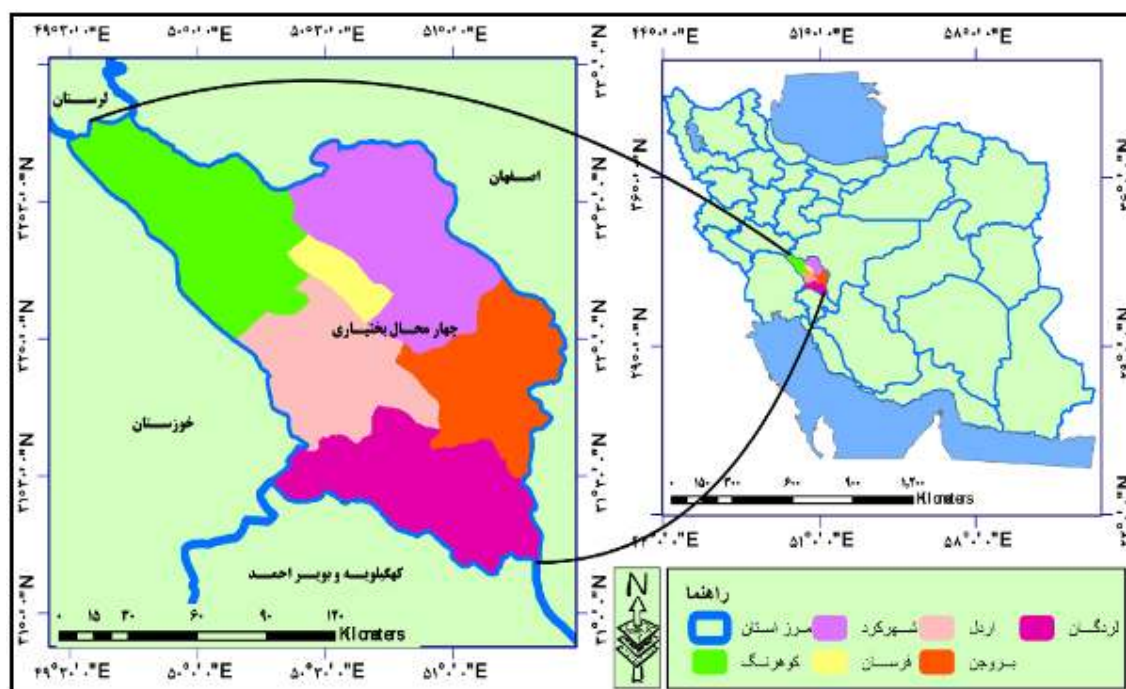
پژوهش حاضر بر آنست تا علاوه بر یافتن ضریب اهمیت هر کدام از معیارهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش از طریق مدل TOPSIS، وزن هر کدام از گزینه‌های مربوطه را نیز در قالب مدل AHP به دست آورد. سپس از طریق استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) علاوه بر مقایسه دو مدل بکار رفته در این پژوهش، پتانسیل استان چهارمحال و بختیاری را از نظر ایجاد پدیده زمین لغزش محاسبه نماید. همچنین این مسئله را مورد بررسی قرار دهد که آیا مدل TOPSIS نیز مانند مدل AHP می‌تواند روشی مناسب برای بررسی پتانسیل

لغزش در مناطق کوهستانی مانند محدوده مورد مطالعه باشد یا خیر؟

- موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین پیش کوه‌های داخل و استان اصفهان واقع شده است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویر احمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است (شکل ۱).

این منطقه دارای یک درصد از کل وسعت ایران می‌باشد که در بستر سلسله جبال زاگرس واقع شده است که با وجود مساحت کم ده درصد از منابع آب کشور را در اختیار دارد. به علت ماهیت کوهستانی مرتفع، این استان دارای بارش نسبتاً مناسب می‌باشد. وجود ارتفاعات پوشیده از برف یکی از ویژگی‌های اقلیمی این استان است. به علت جوان بودن ناهمواریها در این منطقه، بلایا و مخاطرات طبیعی بسیاری چون سیل و زلزله، رانش زمین در اکثر نقاط آن مشاهده می‌شود. استان چهارمحال و بختیاری بدلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

- روش تحقیق و مراحل آن

در مقاله حاضر وضعیت زمین لغزشهای استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل‌های TOPSIS و AHP مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مدل‌ها گزینه‌های مورد نظر را شهرستان‌های استان (شهرکرد، کوهرنگ، فارسان، بروجن، اردل و لردگان) و معیارهای مؤثر را شاخصهای شیب، کاربری اراضی، سازندهای زمین شناسی، ارتفاع، تراکم آبراهه‌ها، بارش سالانه و فاصله از جاده تشکیل می‌دهند. با هدف دستیابی به اهداف مورد نظر برای هر کدام از معیارهای مذکور لایه و نقشه اطلاعاتی آن در محیط نرم افزاری ARC GIS و SURFER به شرح زیر ترسیم گردید.

- تهیه لایه‌های اطلاعاتی توپولوژی شامل شیب و طبقات ارتفاعی از نقشه رقومی توپوگرافی و مدل

رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه در محیط GIS

(شکل‌های ۲ و ۳).

- تهیه لایه اطلاعاتی سازندهای زمین شناسی منطقه از نقشه رقومی زمین شناسی حوضه در محیط GIS (شکل ۴).

- همواره از بارش به عنوان یک عامل مهم در ایجاد زمین لغزش‌ها نام برده می‌شود به طوری که تسای و یانگ (۲۰۰۶) از طریق مدلسازی از بارش‌ها بویژه بارش‌های آغازین در هر منطقه به عنوان عامل اصلی در بسیاری از زمین لغزش‌های سطحی نام می‌برند. به دلیل همین اهمیت، لایه بارش سالیانه‌ی منطقه مورد مطالعه از طریق روابط خطی بارش و ارتفاع در محیط SURFER با استفاده از آمار ایستگاههای سینوپتیک و باران سنجی لردگان، ایذه، مسجد سلیمان، یاسوج، بروجن، فارسان، سرخون، آلونی، دهنو، منج بر، ارمند

طبقات با فاصله دورتر امتیاز کمتر تعلق گرفت (شکل ۷).

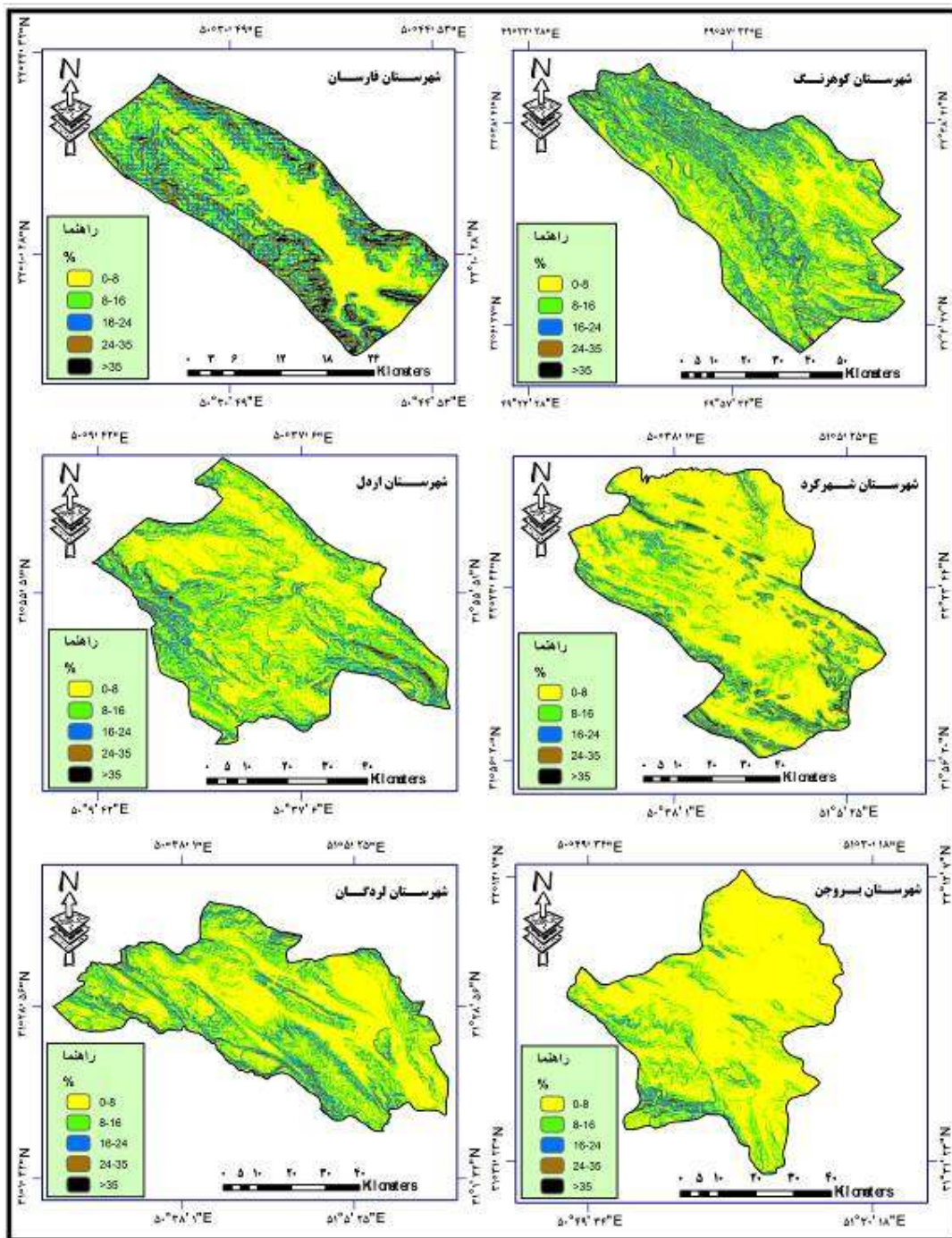
- برای تهیه لایه اطلاعاتی کاربری اراضی، از لایه کاربری اراضی سراسری کشور استفاده گردید (شکل ۸).

در مرحله بعد با توجه به هر کدام از این لایه‌ها، ماتریس تصمیم تشکیل و برای تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها از ماتریس مقایسه زوجی استفاده شد. در ادامه برای ارزیابی وزن معیارهای مؤثر، از میانگین حسابی استفاده گردید و سپس به کمک مدل‌های TOPSIS و AHP به ترتیب عمل بی‌مقیاس کردن و وزن دار کردن شاخص‌ها، حل ایده آل و ضد ایده آل، شاخص شباهت، بناکردن نمودار سلسله مراتبی، تنظیم ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه وزن عناصر و سرانجام انتخاب گزینه‌های دارای رتبه برتر مورد محاسبه و انتخاب قرار گرفت. در مدل TOPSIS، گزینه‌های با بیشترین و کمترین شاخص شباهت به ترتیب در رتبه‌های اول و آخر قرار می‌گیرند. همچنین در مدل AHP، با محاسبه وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی، رتبه‌های برتر مشخص می‌شوند. در نهایت به دلیل تفاوت در پاسخ‌های حاصل از مدل‌های TOPSIS و AHP، با ترکیب نتایج این مدل‌ها بوسیله‌ی استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) نتیجه‌ی نهایی پژوهش به دست آمد. در انتها و بعد از تشریح مسئله مورد نظر در قالب مدل‌های TOPSIS و AHP، نقشه پتانسیل زمین لغزش استان چهارمحال و بختیاری به روش Arithmetic Overlay (هم پوشانی ریاضی) در نرم افزار ARC Gis تهیه گردید.

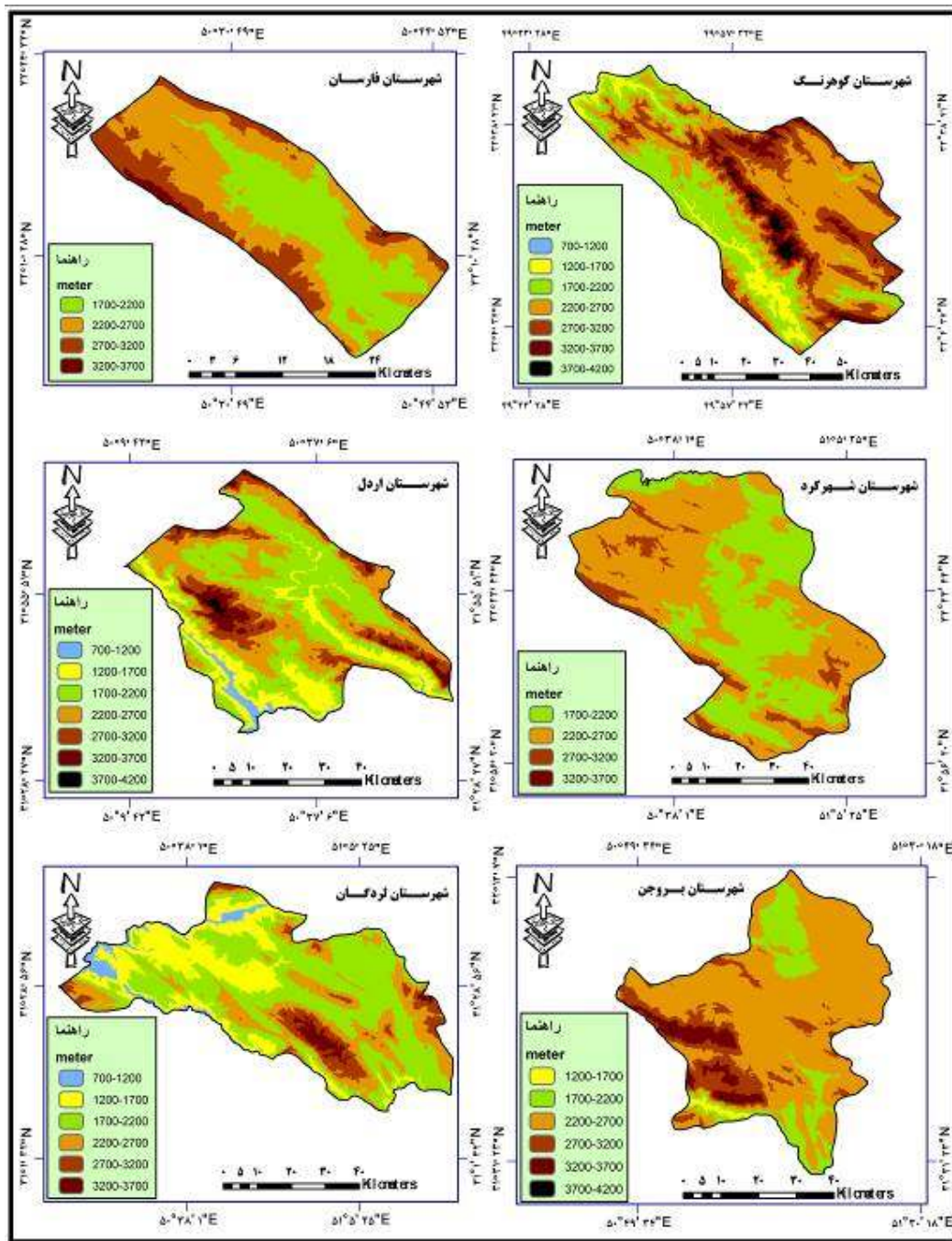
علیا، دو آب صمصانی، رستم آباد، دوپلان و چمن گلی در یک بازه آماری ده ساله تهیه گردید. (شکل ۵).

- تراکم آبراهه‌هایکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌های منطقه است که برای تهیه این لایه از نقشه توپوگرافی و (DEM) ارتفاعی حوضه در محیط GIS استفاده شد. در این تحقیق تأثیر جریان‌های سطحی در ایجاد زمین لغزش‌های آبی، بواسطه زمین لغزش‌های ثبت شده تا فاصله ۴۵۰ متری از آن در نظر گرفته شد که این فاصله به ۹ طبقه ۵۰ متری تقسیم گردید و برای وزن دهی به این لایه در ماتریس مدل‌های بکارگرفته شده به هر طبقه از ۱ تا ۹ امتیاز داده شد. به این شکل که به طبقات با فاصله نزدیک تر امتیاز بیشتر و به طبقات با فاصله دورتر امتیاز کمتر تعلق گرفت (شکل ۶).

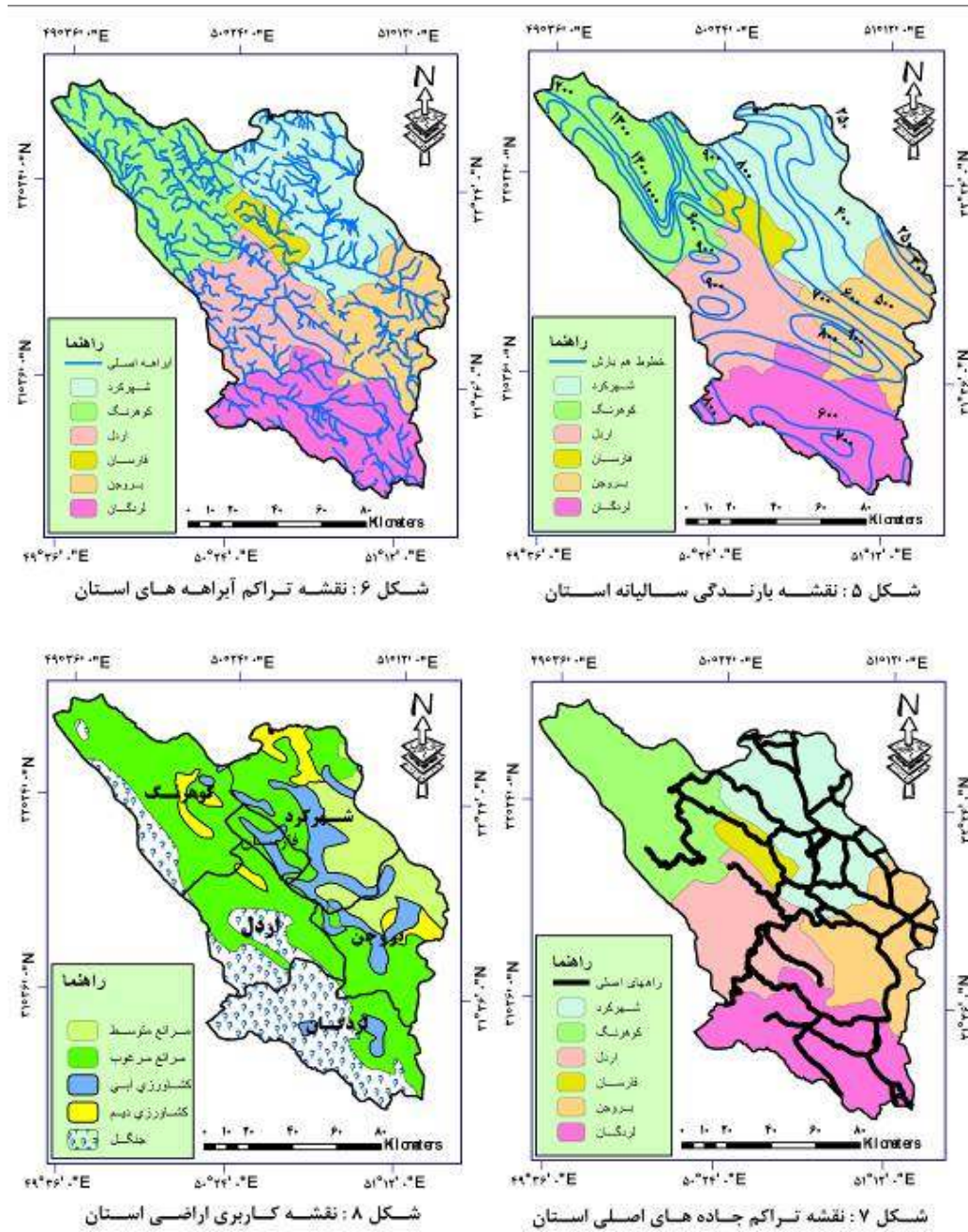
- لایه اطلاعاتی راه‌های ارتباطی (فاصله از جاده) محدوده مورد پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ مربوط به سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد. گرچه راه‌های ارتباطی در ایجاد زمین لغزش‌ها بطور غیر مستقیم تا فاصله‌ی زیادی تأثیرگذار می‌باشند اما شواهد موجود در لایه‌ی اطلاعاتی زمین لغزش‌های ثبت شده حاکی از این نکته است که تأثیر راه‌های ارتباطی در ایجاد این پدیده تا فاصله‌ی تقریبی ۶۰۰ متری است. بنابراین فاصله مذکور به ۹ طبقه ۷۰ متری تقسیم شد و برای وزن دهی به این لایه در ماتریس مدل‌های بکارگرفته شده به هر طبقه از ۱ تا ۹ امتیاز داده شد. به این شکل که به طبقات با فاصله نزدیک تر امتیاز بیشتر و به



شکل ۲: نقشه شیب



شکل ۳: نقشه طبقات ارتفاعی



۲- بحث

و با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود (جدول ۱).

الف: تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها
 بعد از تشکیل تمامی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای هر کدام از شاخص‌ها مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش

جدول ۱: ماتریس تصمیم (خام) شاخصهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش

شیب	کاربری اراضی	سازند زمین شناسی	ارتفاع	تراکم آبراهه‌ها	بارش سالانه	فاصله از جاده
۲	۶	۶	۶	۴	۴	۸
۷	۴	۵	۸	۶	۹	۳
۴	۷	۷	۷	۳	۵	۵
۳	۸	۴	۵	۵	۲	۶
۸	۴	۹	۴	۷	۸	۷
۶	۳	۳	۳	۸	۳	۴

در مرحله بعد برای تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها از ماتریس مقایسه زوجی استفاده می‌کنیم. در این مرحله عناصر هر سطر نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود (جدول ۲). سپس وزن نسبی عناصر محاسبه می‌گردد. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد که مهم‌ترین آنها، روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار

ویژه و روش‌های تقریبی می‌باشند. گرچه از این بین، روش بردار ویژه دقیق‌تر است اما در ماتریس‌های با ابعاد بزرگ بسیار وقت‌گیر است لذا در پژوهش حاضر از روشهای تقریبی (میانگین حسابی) که عمدتاً تقریبی از روش بردار ویژه هستند استفاده شده است. در روش میانگین حسابی، بردار وزن از میانگین سطری عناصر نرمال شده هر ستون به دست می‌آید (عطائی، ۱۳۸۹: ۱۹۵-۱۹۰) (جدول ۳).

جدول ۲: ماتریس مقایسه زوجی شاخصهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش

شیب	کاربری اراضی	سازند زمین شناسی	ارتفاع	تراکم آبراهه‌ها	بارش سالانه	فاصله از جاده
۱/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۴/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰
۰/۳۳۳۳	۱/۰۰۰۰	۰/۲۵۰۰	۴/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰
۲/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۴/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰
۰/۵۰۰۰	۰/۲۵۰۰	۰/۵۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۰/۳۳۳۳
۰/۲۵۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۲۵۰۰	۰/۳۳۳۳	۱/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۰/۵۰۰۰
۰/۵۰۰۰	۰/۳۳۳۳	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰
۰/۳۳۳۳	۰/۵۰۰۰	۰/۳۳۳۳	۳/۰۰۰۰	۲/۰۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول ۳: وزن نسبی معیارهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش

معیار	شیب	کاربری اراضی	سازند زمین شناسی	ارتفاع	تراکم آبراهه‌ها	بارش سالانه	فاصله از جاده
وزن	۰/۲۱۶۴	۰/۱۵۷۳	۰/۲۶۶۹	۰/۱۰۴۱	۰/۰۶۷۶	۰/۰۸۷۰	۰/۱۰۰۸

تا همگی شاخص‌ها دارای واحد مشابهی شوند (جدول ۴). لازم به ذکر است که عمل بی‌مقیاس کردن به دلیل هماهنگ کردن مقیاس ستون‌ها، عمل مقایسه کردن را آسان می‌کند. روشهایی چون نورم، خطی و فازی برای این عمل وجود دارد که در پژوهش حاضر روش نورم مورد استفاده قرار گرفت که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

رابطه (۱)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

در این رابطه x_{ij} عملکرد گزینه i ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,\dots,n$) در ماتریس تصمیم است (عطائی، ۱۳۸۹: ۹۸).

در واقع وزن معیارها، اهمیت آن‌ها را در تعیین هدف که ارزیابی پتانسیل پدیده زمین لغزش در استان چهارمحال و بختیاری است را منعکس می‌کند. بنابراین از جدول شماره ۳ می‌توان نتیجه گرفت که شاخص سازند زمین شناسی با وزن تقریبی ۰/۲۶۶۹ مهم‌ترین و شاخص تراکم آبراهه‌ها با وزن تقریبی ۰/۱۹۲ کم‌اهمیت‌ترین معیارها در ایجاد پدیده زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه می‌باشند.

ب: بررسی پتانسیل زمین لغزش محدوده مورد مطالعه در قالب مدل‌های TOPSIS و AHP - مدل TOPSIS

از آنجا که ماتریس تصمیم اغلب دارای شاخص‌هایی کمی با مقیاس‌های متفاوتی است، بعد از تشکیل این ماتریس و برای مقایسه شاخص‌های آن باید عمل بی‌مقیاس کردن یا بی‌بعد کردن بر روی آن‌ها انجام شود

جدول ۴: ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده

شیب	کاربری اراضی	سازند زمین شناسی	ارتفاع	تراکم آبراهه‌ها	بارش سالانه	فاصله از جاده
۰/۱۴۴۰	۰/۴۲۱۱	۰/۴۰۸۲	۰/۴۲۵۳	۰/۲۸۳۶	۰/۲۸۳۶	۰/۵۸۰۴
۰/۵۰۳۹	۰/۲۸۰۷	۰/۳۴۰۲	۰/۵۶۷۱	۰/۴۲۵۳	۰/۶۳۸۰	۰/۲۱۷۶
۰/۲۸۷۹	۰/۴۹۱۳	۰/۴۷۶۳	۰/۴۹۶۲	۰/۲۱۲۷	۰/۳۵۴۴	۰/۳۶۲۷
۰/۲۱۵۹	۰/۵۶۱۵	۰/۲۷۲۲	۰/۳۵۴۴	۰/۳۵۴۴	۰/۱۴۱۸	۰/۴۳۵۳
۰/۵۷۵۹	۰/۲۸۰۷	۰/۶۱۲۴	۰/۲۸۳۶	۰/۴۹۶۲	۰/۵۶۷۱	۰/۵۰۷۸
۰/۴۳۱۹	۰/۲۱۰۶	۰/۲۰۴۱	۰/۲۱۲۷	۰/۵۶۷۱	۰/۲۱۲۷	۰/۲۹۰۲

مرحله بعد وزن دار کردن ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده است که از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به دست می‌آید (جدول ۵).

جدول ۵: ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار

شیب	کاربری اراضی	سازند زمین شناسی	ارتفاع	تراکم آبراهه‌ها	بارش سالانه	فاصله از جاده
۰/۰۳۱۲	۰/۰۶۶۲	۰/۱۰۸۹	۰/۰۴۴۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۴۷	۰/۰۵۸۵
۰/۱۰۹۰	۰/۰۴۴۲	۰/۰۹۰۸	۰/۰۵۹۰	۰/۰۲۸۷	۰/۰۵۵۵	۰/۰۲۱۹
۰/۰۶۲۳	۰/۰۷۷۳	۰/۱۲۷۱	۰/۰۵۱۷	۰/۰۱۴۴	۰/۰۳۰۸	۰/۰۳۶۶
۰/۰۴۶۷	۰/۰۸۸۳	۰/۰۷۲۶	۰/۰۳۶۹	۰/۰۲۳۹	۰/۰۱۲۳	۰/۰۴۳۹
۰/۱۲۴۶	۰/۰۴۴۲	۰/۱۶۳۴	۰/۰۲۹۵	۰/۰۳۳۵	۰/۰۴۹۳	۰/۰۵۱۲
۰/۰۹۳۵	۰/۰۳۳۱	۰/۰۵۴۵	۰/۰۲۲۱	۰/۰۳۸۳	۰/۰۱۸۵	۰/۰۲۹۲

با ارزیابی مقادیر هر کدام از شاخص‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار و استخراج بیشترین منفی هر شاخص به دست می‌آید (جدول ۶).

جدول ۶: حل ایده آل و حل ضد ایده آل

حل ایده آل	۰/۱۲۴۶	۰/۰۸۸۳	۰/۱۶۳۴	۰/۰۵۹۰	۰/۰۳۸۳	۰/۰۵۵۵	۰/۰۵۸۵
حل ضد ایده آل	۰/۰۳۱۲	۰/۰۳۳۱	۰/۰۵۴۵	۰/۰۲۲۱	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۱۹

سپس برای محاسبه فاصله از حل ایده آل و فاصله از حد ضد ایده آل هر گزینه به ترتیب از روابط شماره دو و سه استفاده می‌شود (جدول ۷).

جدول ۷: فاصله از حل ایده آل، ضد ایده آل و شاخص شباهت

رتبه نهایی گزینه‌ها	شاخص شباهت	فاصله از حل ضد ایده آل	فاصله از حل ایده آل	
۴	۰/۳۹۸۹	۰/۰۷۷۷	۰/۱۱۷۱	شهرکرد
۳	۰/۵۲۴۵	۰/۱۰۴۰	۰/۰۹۴۳	کوه‌رنگ
۲	۰/۵۳۹۳	۰/۰۹۸۲	۰/۰۸۳۹	فارسان
۵	۰/۳۳۵۲	۰/۰۶۵۹	۰/۱۳۰۷	بروجن
۱	۰/۷۳۷۶	۰/۱۵۲۳	۰/۰۵۴۲	اردل
۶	۰/۳۲۰۷	۰/۰۶۵۹	۰/۱۳۹۵	لردگان

محدوده استان چهارمحال و بختیاری نتیجه‌گیری کرد. به طوری که گزینه ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، در رتبه اول و گزینه ای که دارای کمترین شاخص شباهت است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد (جدول ۷). همانطور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود شهرستانهای اردل، فارسان و کوه‌رنگ بترتیب در رتبه‌های اول تا سوم از لحاظ دربرداشتن پتانسیل رخدادهای زمین لغزش قرار دارند و شهرستان لردگان دارای کمترین پتانسیل از این نظر است.

– مدل AHP

کاربرد این مدل شامل چهار مرحله اساسی است (شکل ۹). همانگونه که ملاحظه می‌شود، اولین قدم در فرآیند تحلیل

رابطه (۲)

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

رابطه (۳)

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

رابطه (۴)

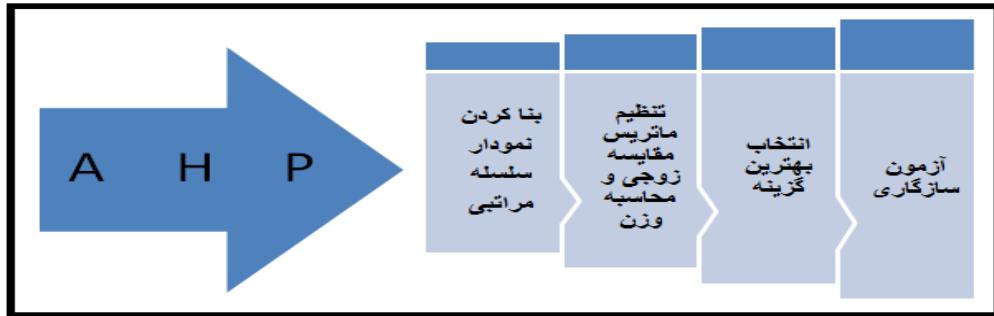
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}$$

که در این روابط اندیس j معرف معیار مورد نظر و اندیس i معرف گزینه مورد نظر است. در آخرین مرحله شاخص شباهت از طریق رابطه شماره چهار محاسبه می‌شود (عطائی، ۱۳۸۹: ۱۰۰) (جدول ۷).

با به دست آمدن شاخص شباهت در مدل TOPSIS می‌توان در مورد پتانسیل رخدادهای زمین لغزش در

شاخص‌ها محاسبه می‌گردد (جدول ۲ و ۳). سپس برای محاسبه امتیاز عناصر مختلف در روش تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به هر یک از عناصر سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و از طریق روش میانگین حسابی، وزن نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود (جدول ۸).

سلسله مراتبی ساختن نمودار سلسله مراتبی مسئله است که در آن هدف پژوهش در بالاترین سطح و در سطوح میانی معیارها و در پایین ترین سطح، گزینه‌های ممکن قرار می‌گیرند. در مرحله بعد ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش، تشکیل و سپس از طریق میانگین حسابی که از روش‌های تقریبی است ضریب اهمیت



شکل ۹: فرایند تحلیل سلسله مراتبی

جدول ۸: وزن نسبی عناصر نسبت به معیارهای مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش

وزن عناصر						عناصر معیارها
لردگان	اردل	بروجن	فارسان	کوهرنگ	شهرکرد	
۰/۳۷۵۳	۰/۲۳۵۲	۰/۰۶۶۱	۰/۰۹۷۳	۰/۱۸۳۲	۰/۰۴۳۱	شیب
۰/۰۴۱۸	۰/۰۶۵۹	۰/۳۷۷۱	۰/۲۳۶۴	۰/۱۰۱۳	۰/۱۷۷۴	کاربری اراضی
۰/۰۴۵۰	۰/۴۲۳۱	۰/۰۶۸۶	۰/۱۹۸۱	۰/۱۰۹۱	۰/۱۵۶۲	سازند زمین شناسی
۰/۰۵۲۴	۰/۰۷۶۰	۰/۱۱۲۹	۰/۲۲۶۴	۰/۳۵۸۲	۰/۱۷۴۱	ارتفاع
۰/۳۷۳۹	۰/۲۱۹۰	۰/۱۱۴۹	۰/۰۵۸۳	۰/۱۵۵۲	۰/۰۷۸۷	تراکم آبراه‌ها
۰/۰۶۱۳	۰/۲۷۵۱	۰/۰۴۶۶	۰/۱۲۱۲	۰/۴۱۲۳	۰/۰۸۳۶	بارش سالانه
۰/۰۸۹۰	۰/۲۲۲۹	۰/۱۶۹۲	۰/۱۱۷۸	۰/۰۵۵۸	۰/۳۴۵۲	فاصله از جاده

که در آن a_{ij} بیانگر میزان اهمیت نسبی گزینه i به ازای معیار C_i و w_j نشانگر اهمیت معیار C_j است.

در گام سوم که مرحله انتخاب بهترین گزینه است، وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی، از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (عطائی، ۱۳۸۹: ۲۰۱) (جدول ۹).

رابطه (۵) $i = 1, 2, 3, \dots, m$

$$A_{AHP\ Score} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j$$

جدول ۹: وزن و رتبه نهایی گزینه‌ها در مدل تحلیل سلسله مراتبی

گزینه‌ها	شهرکرد	کوه‌رنگ	فارسان	بروجن	اردل	لردگان
امتیاز نهایی	۰/۱۴۴۴	۰/۱۷۴۰	۰/۱۶۶۱۰	۰/۱۳۲۶	۰/۲۴۳۲	۰/۱۴۴۸
رتبه نهایی	۵	۲	۳	۶	۱	۴

باید از استراتژی‌های اولویت بندی از جمله روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و کپ لند استفاده کنیم. در واقع استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) با ترکیب نتایج مدل‌های استفاده شده در شرایطی که پاسخ‌های به دست آمده متفاوت باشند، نتیجه و رتبه بندی نهایی را به پژوهشگر ارائه می‌دهند.

- روش میانگین رتبه‌ها

در این روش ملاک برتری هر گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها اینست که از میانگین حسابی بالاتری برخوردار باشد (جدول ۱۰).

همان گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود نتایج به دست آمده از مدل AHP نشان دهنده وجود بیشترین پتانسیل زمین لغزش در شهرستان اردل و بعد از آن به ترتیب در شهرستانهای کوه‌رنگ و فارسان است و کمترین پتانسیل رخداد این پدیده را به شهرستان بروجن ارتباط می‌دهد.

ج: استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند)

هنگامی که در مسائل تصمیم گیری چند معیاره، بدلیل استفاده از روش‌های مختلف با نتایج متفاوتی روبرو شویم،

جدول ۱۰: رتبه نهایی عناصر (روش میانگین رتبه‌ها)

گزینه‌ها	روش AHP	روش TOPSIS	میانگین رتبه‌ها	رتبه نهایی
شهرکرد	۵	۴	۴/۵	۳
کوه‌رنگ	۲	۳	۲/۵	۲
فارسان	۳	۲	۲/۵	۲
بروجن	۶	۵	۵/۵	۵
اردل	۱	۱	۱	۱
لردگان	۴	۶	۵	۴

گزینه‌ها ایجاد می‌شود. در صورتی که بر اساس روش‌های مختلف تصمیم گیری، تعداد ارجعیت گزینه ای بر گزینه دیگر بیش از تعداد مغلوب شدن آن گزینه بر گزینه دیگری باشد، در ماتریس مقایسه زوجی عدد ۱ گذاشته می‌شود و در صورتی که رأی اکثریت وجود نداشت و یا آرا با هم مساوی باشند، در ماتریس مقایسه زوجی عدد صفر گذاشته می‌شود.

بر اساس روش میانگین رتبه‌ها و با توجه به جدول مربوطه، به ترتیب شهرستان‌های اردل، کوه‌رنگ و فارسان دارای بیشترین پتانسیل از لحاظ مخاطره زمین لغزش می‌باشند و شهرستان بروجن دارای کمترین پتانسیل از لحاظ رخداد این پدیده طبیعی هستند.

- روش بردا و روش کپ لند: در روش بردا برای تصمیم گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین

نیز اصلاح شده روش بردا است با این تفاوت که گزینه‌ها بر اساس تفاضل مقادیر تعداد مسلط شدن و تعداد مغلوب شدن اولویت بندی می‌شوند (جدول ۱۱).

عدد ۱ به منزله آن است که سطر بر ستون ارجعیت دارد و عدد صفر به منزله آن است که ستون بر سطر ارجعیت دارد (عطائی، ۱۳۸۹: ۲۶۶). با جمع عناصر هر کدام از سطرها می‌توان به تعداد مسلط شدن هر گزینه دست یافت و سپس بر اساس تعداد مسلط شدن گزینه‌ها آن‌ها را اولویت بندی کرد. روش کپ لند

جدول ۱۱: رتبه نهایی عناصر (روش بردا و کپ لند)

رتبه نهایی	تفاضل مجموع سطری و ستونی	مجموع سطری	لردگان	اردل	بروجن	فارسان	کوهرنگ	شهرکرد	
۳	-۲	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	شهرکرد
۲	۲	۳	۱	۰	۱	۰	۰	۱	کوهرنگ
۲	۲	۳	۱	۰	۱	۰	۰	۱	فارسان
۵	-۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	بروجن
۱	۵	۵	۱	۰	۱	۱	۱	۱	اردل
۴	-۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	لردگان
-	-	-	۳	۰	۴	۱	۱	۳	مجموع ستونی

AHP و استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) با هم مقایسه گردید (جدول ۱۲). نتایج حاصل از این مقایسه حاکی از شباهت کامل نتایج حاصل از بکارگیری استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) با نتایج به دست آمده از مدل AHP و تفاوت اندک با مدل TOPSIS است.

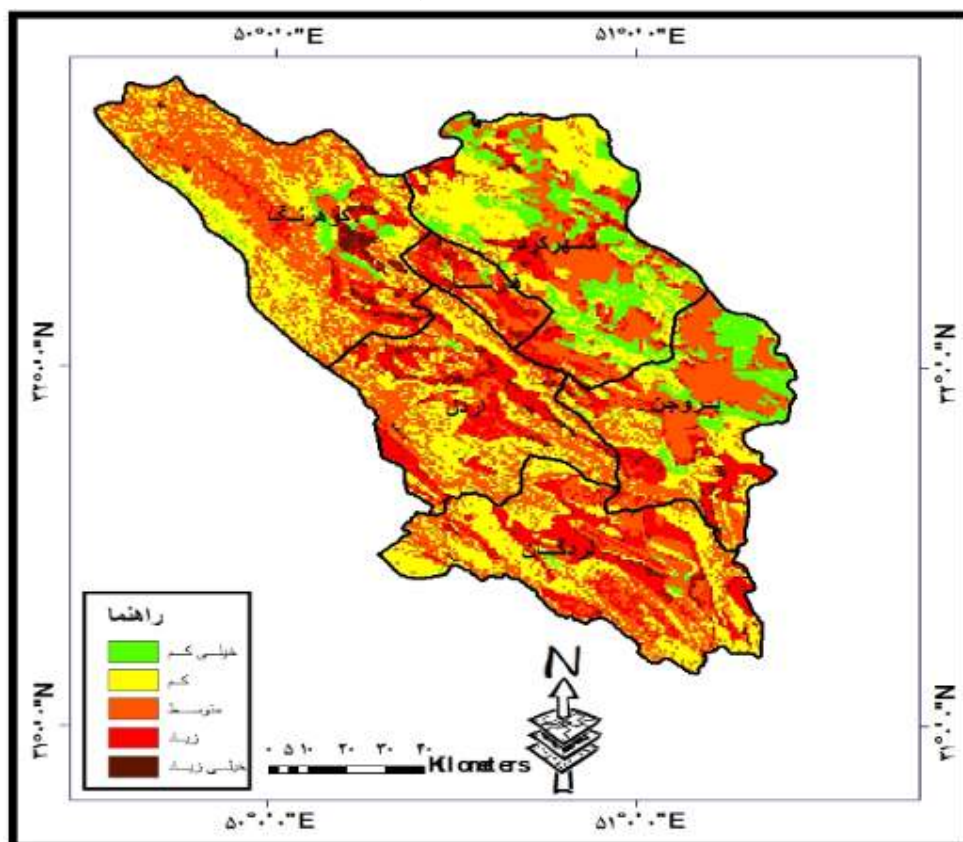
با توجه به جدول بالا می‌توان مشاهده کرد که نتایج به دست آمده از روش‌های بردا و کپ لند نیز نتایج روش میانگین رتبه‌ها را تأیید می‌کند. به این صورت که شهرستان‌های اردل، کوهرنگ و فارسان دارای بیشترین پتانسیل و شهرستان بروجن دارای کمترین پتانسیل از لحاظ رخداد پدیده زمین لغزش است. در مرحله بعد نتایج به دست آمده از مدل‌های TOPSIS،

جدول ۱۲: مقایسه نتایج مدل‌های AHP و TOPSIS و استراتژی‌های اولویت بندی

ردیف	میانگین رتبه‌ها	بردا و کپ لند	AHP	TOPSIS
۱	اردل	اردل	اردل	اردل
۲	کوهرنگ	کوهرنگ	کوهرنگ	فارسان
۳	فارسان	فارسان	فارسان	کوهرنگ
۴	شهرکرد	شهرکرد	شهرکرد	شهرکرد
۵	لردگان	لردگان	لردگان	بروجن
۶	بروجن	بروجن	بروجن	لردگان

روش Arithmetic Overlay (هم پوشانی ریاضی) در نرم افزار ARC Gis تهیه گردید. (شکل ۱۳).

در انتها نیز با توجه به نتایج به دست آمده، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش چهارمحال و بختیاری به



شکل ۱۳: نقشه پهنه بندی خطر پدیده زمین لغزش استان چهارمحال و بختیاری به روش Arithmetic Overlay (هم پوشانی ریاضی)

۳- نتیجه گیری

شناخت نواحی مستعد پدیده زمین لغزش و رتبه بندی آنها به عنوان یک مخاطره عمده در مناطق کوهستانی ایران را می‌توان یکی از گام‌های اولیه در برنامه ریزی‌های توسعه ای و عمرانی دانست. بکارگیری روش‌های تصمیم گیری چند معیاره مانند AHP و TOPSIS می‌تواند علاوه بر رتبه بندی مناطق مختلف در یک محدوده مشخص، وزن تقریبی هر کدام از معیارهای مؤثر و نیز گزینه‌های مورد نظر در این

پدیده را محاسبه نماید. در همین راستا در پژوهش حاضر مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت که نتایج به دست آمده از بکارگیری این روشها نشان می‌دهد که شاخص زمین شناسی با وزن تقریبی ۰/۲۶۹۹ مهم ترین و شاخص تراکم آبراهه‌ها با وزن تقریبی ۰/۰۱۹۲ کم اهمیت ترین معیارها در ایجاد پدیده زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه هستند. همچنین این نتایج نشان دهنده وجود بیشترین پتانسیل رخداد زمین لغزش در شهرستان‌های اردل، فارسان و

منابع

احمدپور، احمد؛ اکبرپور شیرازی، محسن و رضوی امیری، زهرا، (۱۳۸۸)، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ای در انتخاب سهام (شرکت‌های دارویی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران)، فصلنامه بورس اوراق بهادار، سال دوم، شماره ۵، صص ۳۸-۵.

امامی، سید نعیم؛ الهامی، رحمت الله، (۱۳۸۵)، ارزیابی تناسب روش مورا وارسون جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در زاگرس مرکزی (استان چهارمحال و بختیاری)، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۲۳۰۸-۲۲۹۶.

انتظاری، مژگان؛ رامشت، محمد حسین؛ سیف، عبدالله و دیگران، (۱۳۹۰)، تأثیرات سیستم‌های شکل زای اقلیمی بر زمین لغزش‌های ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص ۱۷۲-۱۵۵.

جباری، ایرج، (۱۳۸۴)، تحلیلی بر محدودیت‌های پهنه بندی مناطق حساس به حرکات توده ای (مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب شهرستان ارومیه)، جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص ۹۲-۷۱.

شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله و علیمرادی، مسعود، (۱۳۸۹)، صحت سنجی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه بندی خطر زمین لغزش به کمک تکنیک (GIS) (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، صص ۹۱-۱۰۸.

طاهر خانی، مهدی، (۱۳۸۶)، کاربرد تکنیک TOPSIS در اولویت بندی مکانی استقرار صنایع تبدیل

کوه‌رنگ و کمترین پتانسیل در شهرستان لردگان در بکارگیری مدل TOPSIS و وجود بیشترین پتانسیل رخداد این پدیده در شهرستان‌های اردل، کوه‌رنگ و فارسان و کمترین پتانسیل در شهرستان بروجن در بکارگیری مدل AHP است.

تفاوت در پاسخ‌های به دست آمده از مدل‌های مذکور شرایط را برای استفاده از استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) فراهم کرد. نتایج حاصل از روش‌های مورد استفاده در این استراتژی حاکی از وجود بیشترین پتانسیل رخداد زمین لغزش در شهرستان‌های اردل، کوه‌رنگ و فارسان و کمترین پتانسیل در شهرستان بروجن است.

در مرحله آخر نتایج به دست آمده از مدل‌های TOPSIS، AHP و استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) با هم مقایسه گردید (جدول ۱۲) که این امر حاکی از شباهت کامل نتایج حاصل از بکارگیری استراتژی‌های اولویت بندی (میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند) با نتایج به دست آمده از مدل AHP است و تنها تفاوت اندکی با مدل TOPSIS را نشان می‌دهد (جدول ۱۲). در انتها نیز می‌توان با توجه به شباهت تقریبی نتایج به دست آمده بواسطه ادغام این دو مدل توسط روش‌های میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند (جدول ۱۰ و ۱۱) و همچنین تأیید مدل AHP توسط محققین پیشین به عنوان یک مدل مورد اطمینان در مناطق کوهستانی، اینگونه نتیجه گیری کرد که مدل TOPSIS نیز می‌تواند روشی مورد اطمینان برای پهنه بندی و ارزیابی پتانسیل مخاطره زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه و موارد مشابه باشد.

- کشاورزی در مناطق روستایی، پژوهش‌های اقتصادی، سال ششم، شماره ۳، صص ۷۳-۵۹.
- عطائی، محمد، (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول، شاهرود، ۳۳۳ص.
- علایی طالقانی، محمود؛ رحیم زاده، زهرا، (۱۳۹۰)، شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۴۴، صص ۷۲-۵۳.
- کرم، عبدالامیر؛ محمودی، فرج‌الله، (۱۳۸۴)، مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی: حوضه آبریز سرخون در استان چهارمحال بختیاری)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۱۴-۱.
- مددی، عقیل، (۱۳۸۹)، بررسی ناپایداری ژئومورفیک گردنه صائین (بین شهر نیر و سراب، منطقه آذربایجان) با استفاده از روش آنالاکان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۳۷، صص ۹۴-۷۷.
- مرادی، مهدی؛ بازیار، محمد حسین و محمدی؛ ضرغام، (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان دنا بر اساس سیستم GIS با استفاده از روش AHP، چاپ در ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، صص ۸-۱.
- یمانی، مجتبی؛ محمدی، ابوطالب؛ نگهبان، سعید، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه آبخیز توتکابن با استفاده از مدل‌های کمی، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، صص ۹۸-۸۳.
- Corominas, J. & Moya, J., (2008), A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes, *Engineering geology*, 102, pp 193-213.
- 16- Duman, T. Y., (2009), The largest landslide dam in Turkey Tortum landslide, *Engineer geology*, 104, pp 66-79.
- Guzetti, F. & Reichenbach, P. & Cardinali, M. & Galli, M. & Ardizzone, F., (2005), Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale, *Geomorphology*, 72, pp272-299.
- Hwang, C. L. & Yoon, K., (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications; A State-of-the-Art Survey (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems)*, Springer, New York, 259 P.
- Saaty, T., (1980), *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource, Allocation*, McGraw-Hill, New York, 287 P.
- Tsai, T. L. & Yang, J. C., (2006), Modeling of rainfall-triggered shallow landslide, *Environ Geol*, 50, 525-534.
- Yalcin, A., (2007), The effect of clay on landslide: a case study, *Applied clay science*, 38, pp 77-85.
- Yalcin, A., (2008), GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72, pp1-12.
- WWW.Irimo.Ir.
WWW.NGDIR.Ir.