

## مدل‌سازی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه‌آهن جنوب غرب کشور)

عبدالخالق آروین پیلی\*، دانشجوی دکتری عمران، گرایش حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد  
تهران مرکزی

حمید بهبهانی، استاد، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران،  
تهران

سعید منجم، دانشیار، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه  
نصیرالدین طوسی، تهران

Email: arvin772@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶ - پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۳

### چکیده

زمین‌لغزش یکی از بلاای طبیعی است که هر ساله با تغییراتی که بشر در عرصه‌های طبیعی ایجاد می‌کند اتفاق می‌افتد. ارزیابی زمین‌لغزش نیازمند اطلاعات مکانی دقیق و قابل اعتماد است. امروزه، با وجود پیشرفت علم، می‌توان با فنون مختلف، از قبیل سنجش از دور، وقوع زمین‌لغزش را ارزیابی کرد. لذا، این تحقیق با هدف مدل‌سازی وقوع زمین‌لغزش در منطقه جنوب غرب کشور، با استفاده از علم سنجش از دور و روش AHP صورت گرفته است. برای این منظور، ابتدا نقاط زمینی برای کنترل و افزایش دقت اطلاعات سنجش از دور با استفاده از GPS مشخص شدند. سپس، فیلترهای مختلف روی تصاویر سنجنده لندست صورت گرفت. در ادامه، پارامترهای مختلف از جمله شیب، سازند زمین‌شناسی و فاصله از رودخانه بررسی شدند. نتایج نشان داد که فیلتر  $9 \times 9$  Kernel Size یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای بارزسازی عواض ساختاری و ژئومورفولوژی است. در ادامه، با استفاده از مقایسه زوجی و روش AHP، وزن هر یک از پارامترها تعیین شد. براساس نتایج مقایسه زوجی، پارامتر فاصله از گسل با ۰/۰۵ بیشترین وزن را دارد و فاصله از رودخانه وزن ۰/۰۷، شبکه ارتباطی ۰/۰۹، بارش ۰/۱۲، کاربری اراضی ۰/۱۵، پوشش گیاهی ۰/۲، سازند زمین‌شناسی ۰/۳ و شیب ۰/۵۹ دارند. نتایج وزندهی نشان داد که با ادغام لایه‌های مختلف، کلاس‌های خطر زیاد و بسیار خطرناک به ترتیب ۳۲/۸۷ و ۶/۶۸ کیلومتر از طول خطوط راه‌آهن را در خود جای داده‌اند که جمعاً ۳۹/۵۵ کیلومتر، یا ۸/۹۲ درصد، از کل طول خط راه‌آهن اندیمشک- دورود است.

واژه‌های کلیدی: راه‌آهن، زمین‌لغزش، تصمیم‌گیری چندمتغیره فضایی، مدل‌سازی

## ۱. مقدمه

زمین لغزش‌ها جلوگیری و یا از خسارات ناشی از وقوع آنها کاست (مصطفی و اونق، ۱۳۹۰). مراجع هایلایت شده در لیست نبودند

بررسی و ارزیابی لغزش‌ها به دلیل افزایش آگاهی از اثرات اجتماعی و اقتصادی آنها و گسترش شهرنشینی در مناطق کوهستانی بسیار حائز اهمیت است. بر اساس آمار مرکز تحقیقات اپیدمولوژی بلاایای طبیعی، لغزش‌ها مسبب دست‌کم ۱۷ درصد مرگ و میر ناشی از بلاایای طبیعی در سراسر جهان هستند و پیش‌بینی می‌شود که این روند با توجه به افزایش روزافزون شهرنشینی، جنگل-زدایی و تغییرات در بارش در نواحی مستعد زمین لغزش ادامه پیدا کند (گوتز و همکاران، ۲۰۱۹).

امروزه، یکی از ارکان مهم توسعه اقتصادی، جاده‌ها یا سازه‌های خطی با بازده مناسب هستند که به دلیل طولانی بودن و عبور از مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت، بیشتر از سازه‌های متمرکز، تحت تأثیر مخاطرات محیطی قرار می‌گیرند و موجب خسارات جانی و مالی زیادی می‌شوند. این خسارت‌ها به دلیل حذف یا بی-توجهی به متغیرهای زمین‌شناختی و زمین‌ریخت‌شناختی مؤثر بر این سازه‌ها هنگام انتخاب مسیر یا رعایت نکردن حریم آنهاست. در سال‌های گذشته، مدیریت و نگهداری راه‌ها به حرفه‌های تخصصی تبدیل شده و در این راستا پهنه‌بندی مخاطرات احتمالی و شناسایی مناطق پرخطر ضرورت یافته است (روستایی و احمدزاده، ۱۳۹۱). شبکه ارتباطی و جاده‌ها بخش مهمی از سرمایه‌های هر کشوری محسوب می‌شود. در کنار این موضوع، نگهداری از این شبکه‌های عظیم ارتباطی و روند توسعه فرآیند جاده‌سازی به عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های طبیعی اهمیت زیادی دارد (طالبی و متولی، ۱۳۹۵). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش جهت شناسایی و تفکیک مناطق مستعد زمین لغزش و مکان‌های امن برای توسعه اقتصادی آینده یک ناحیه در کشور لرزه‌خیز و با تنوع زمین‌شناسی و توپوگرافی زیادی مانند ایران از حساسیت زیادی برخوردار است (آدینه‌وند و همکاران، ۱۳۹۶).

رشد مداوم جمعیت، همراه با پیشرفت تدریجی و تغییر محیطی (آب و هوایی) باعث افزایش فشار بر عرصه‌های طبیعی و ناپایدار شدن آنها می‌شود. زمین لغزش‌ها یکی از پدیده‌های طبیعی هستند که در مناطق مختلف جهان تأثیرات جدی بر جا می‌گذارند. به طوری که سالانه باعث خسارت مالی ده‌ها میلیارد دلاری و بیشتر از ۴۳۰۰ نفر خسارت جانی می‌شوند (فرود و پتلی، ۲۰۱۸؛ اینتریری و همکاران، ۲۰۱۹). موقعیت توپوگرافی ایران طوری است که با وجود فعالیت‌های زمین‌شناختی و لرزه‌خیزی، شرایط را برای بروز این چنین بلای طبیعی هموار می‌کند (رحیمی شهید و رحیمی، ۱۳۹۴). از حدود ۴۳ خطر طبیعی با دخالت نقش انسانی، حدوداً ۳۸ خطر طبیعی در ایران شناسایی و ثبت شده است. به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت وقوع زمینی لغزش‌ها، کشور ایران در ردیف دهم کشورهای بلاخیز جهان قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

لغزش به ناپایداری‌هایی با ابعاد مشخص اطلاق می‌گردد که توده‌ای از خاک یا سنگ روی سطح گسیختگی به سمت پایین جابجا می‌گردد (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸). امروزه، با پیشرفت علم و فناوری، زمینه‌های مناسبی برای شناخت و کاهش این بلای طبیعی فراهم شده است. در این راستا، می‌توان سامانه اطلاعات جغرافیایی را همراه با ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری جهت ارزیابی خطر زمین لغزش استفاده کرد (رحیمی شهید و رحیمی، ۱۳۹۴). زمین لغزش را می‌توان حرکت توده‌ای مواد دامنه‌ای تحت تأثیر نیروی ثقل و عوامل محرکی مانند زمین لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا تعریف کرد. این پدیده یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر زیاد لغزش را شناسایی نمود و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع

و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی یک روش جدید، که ترکیبی از مدل‌سازی تجربی با سری داده‌های رادار دیافراگم مصنوعی است، برای ارائه یک ارزیابی از حجم و مساحت زمین‌لغزش بالقوه در تراس رودخانه زرد در استان مرکزی گانسو پرداختند.

زاگرس شمال‌غربی به دلیل شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی، از جمله مناطق مستعد برای رخداد زمین‌لغزش در ایران است. با توجه به تراکم زیاد جمعیت و پتانسیل محیط طبیعی در این نواحی، پهنه‌بندی رخداد خطر زمین‌لغزش با هدف مدیریت خطر این نواحی، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (مقیم و همکاران، ۱۳۹۱). این پژوهش با هدف بررسی اثر زمین‌لغزش بر سیستم حمل‌ونقل ریلی جنوب‌غربی کشور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و متغیر فضایی که از هم-پوشانی لایه راه‌آهن و نقشه پهنه‌بندی خطر خط راه‌آهن اندیمشک درود تشکیل می‌شود انجام شده است. برای این منظور، از تصاویر سنجنده لندست و نقاط نمونه-برداري زميني برای افزایش دقت و ترسیم پهنه زمین‌لغزش در منطقه استفاده شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

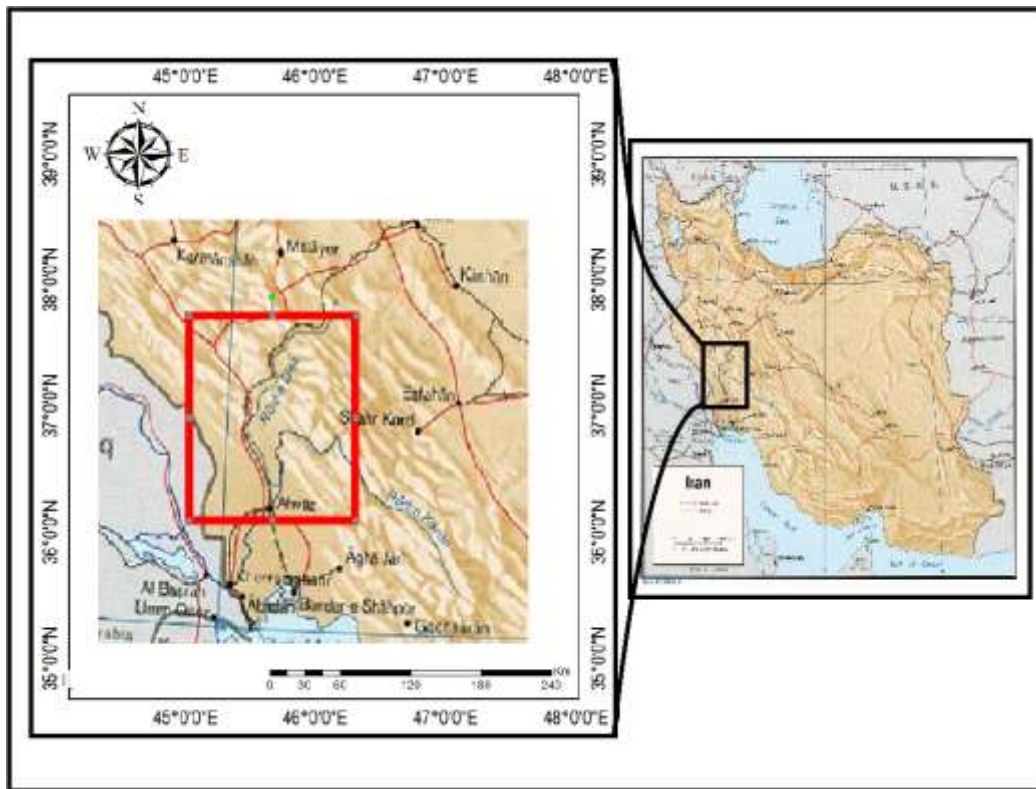
### ۲-۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از اندیمشک در شمال استان خوزستان تا خرم‌آباد، دورود و ازنا در شمال استان لرستان امتداد دارد. از نظر اداری، منطقه مورد مطالعه در بخش‌هایی از استان‌های خوزستان و لرستان جمهوری اسلامی ایران قرار دارد. این منطقه کوهستانی است و معمولاً در طول زمستان پوشیده از برف است. این دو استان از نظر حمل‌ونقل ریلی بسیار مهم هستند. منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی  $58^{\circ} 1.42'$  E  $49^{\circ} 18' 50.63''$  - و عرض جغرافیایی  $21' 40.94''$  N  $34^{\circ} 29.10''$  - از تصویر- Landsat-9-Nov-2002 شماره ۱۶۶/۰۳۷ تهیه شده است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تکنیک‌های سنجش از دور ابزارهای قدرتمندی برای شناسایی، توصیف و ردیابی زمین‌لغزش‌ها، به‌ویژه در مناطق کوهستانی، هستند (واسوسکی و بوونگا، ۲۰۱۴؛ گارسیا-داوالیو و همکاران، ۲۰۱۴). تکنیک‌های رادار دیافراگم مصنوعی<sup>۱</sup>، که ابعاد و حرکت در امتداد زمین و رانش را اندازه‌گیری می‌کنند، اندازه‌گیری رانش‌های کند تنها از طریق ثبت رانش‌های پی‌درپی امکان‌پذیر است (هررا و همکاران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، تصاویر سنجش از راه دور نوری می‌توانند برای نقشه‌برداری از زمین‌لغزش‌ها از طریق تفسیر اکتشافی بر اساس ویژگی‌های خاص عکاسی و مورفولوژیک استفاده شوند. دقت این تکنیک به ویژگی‌های زمین‌لغزش (به عنوان مثال، اندازه و نوع) و محیط ژئومورفیک بستگی دارد (فیروچی و همکاران، ۲۰۱۱؛ سانتانجلو و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات متفاوتی در این زمینه صورت گرفته است. از جمله، آدینه‌وند و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش از مدل‌های آماری برای تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش در محدوده باغملک-ایذه با روش رگرسیون لجستیک نادر وقوع (رلر<sup>۲</sup>) پرداختند. ارزیابی کیفیت نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش نشان داد که می‌توان از آن در برنامه‌های مدیریتی بحران و کاهش هزینه در بررسی‌های دقیق‌تر زمین‌لغزش در منطقه استفاده کرد. آرمین و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل تجربی حائری - سمیعی (حائری و سمیعی، ۱۳۷۶) و تلفیق نقشه‌های موضوعی سنگ‌شناسی، زاویه شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین‌لرزه در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰۰ پرداختند. نتایج نشان داد که پس از تلفیق امتیاز عددی نقشه‌های موضوعی مدل حائری - سمیعی، نقشه خطر زمین‌لغزش در چهار کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط به ترتیب با توزیع مساحت ۲۶/۳، ۳۳/۸، ۳۶/۹ و ۲ درصد تهیه شد. ژانگ

<sup>2</sup>- RELR

<sup>1</sup>- Interferometric (InSAR)



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در دامنه جنوب غرب کشور

## ۲-۲. روش کار

اطلاعات زیادی جمع آوری شد. شکل ۲، تونل ثبت شده در مسیر راه آهن را نشان می دهد. تعیین مناطق دارای زمین لغزش با استفاده از بازدیدهای میدانی صورت گرفته است. برای برداشت نقاط دارای زمین لغزش، از دستگاه GPS طول و عرض جغرافیایی نقاط ثبت گردید سپس، با استفاده از پرسشنامه و نظرات کارشناسان ویژگی اصلی تعیین گردید. مطالعه و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش (مانند شیب، بارش، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از مسیل و رودخانه ها) انجام شد و نقشه نهایی به دست آمد. نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید. جدول ۱، معرفی باندهای سنجنده لندست ۷ را نشان می دهد.

به منظور تهیه نقشه از مناطق جغرافیایی خطر خیز (ژئوهازارد) داده های مختلف موضوع و مکانی جمع آوری شد. به منظور ایجاد نقشه زمین شناسی سامانه اطلاعات جغرافیایی، از نقشه زمین شناسی منطقه در مقیاس 1:100,000 استفاده شد. همچنین، در این تحقیق از داده های توپوگرافیک دیجیتال مربوط به سازمان نقشه برداری ایران (ISO) در مقیاس 1:25,000 استفاده شد. برای ساخت مدل دیجیتالی ارتفاع منطقه مورد مطالعه از نقشه های دیجیتالی توپوگرافی استفاده شد. لندست دستگاه نقشه بردار ETM+ با دارا بودن مسیریاری ۱۶۶/۰۳۷ و با وضوح فضایی ۲۸/۵ متر توسط مرکز سنجنش از راه دور ایران استفاده شده است. در خصوص رانش زمین در مسیر جاده راه آهن و تونل،

جدول ۱. قدرت تفکیک طیفی و فضایی ETM+

ETM+ (L7)		
قدرت تفکیک فضایی	قدرت تفکیک کیفی	باند
۳۰	۰/۴۵۰-۰/۵۱۵	۱
۳۰	۰/۵۲۵-۰/۶۰۵	۲
۳۰	۰/۶۳۰-۰/۶۹۰	۳
۳۰	۰/۷۷۵-۰/۹۰۰	۴
۳۰	۱/۵۵۰-۱/۷۵۰	۵
۶۰	۱۰/۴۰-۱۲/۵۰	۶
۳۰	۲/۰۹۰-۲/۳۵۰	۷
۱۵	۰/۰۵۲۵/۹۰۰	۸



شکل ۲. نمایش تونل ۱۳۱ در کوه زاگرس (اندیشک - دورود)

در دو فضا استخراج شوند. یکی از روش‌های کنترل و زمین‌مرجع کردن تصاویر تصحیح هندسی تصاویر ماهواره است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۳-۲. ایجاد فیلتر

تضاد بین شش باند موجود افزایش یافته است. تصاویر تمام باندها از نظر تضاد و ویژگی‌های ساختاری و

۲-۳. روش‌های پیش‌پردازش

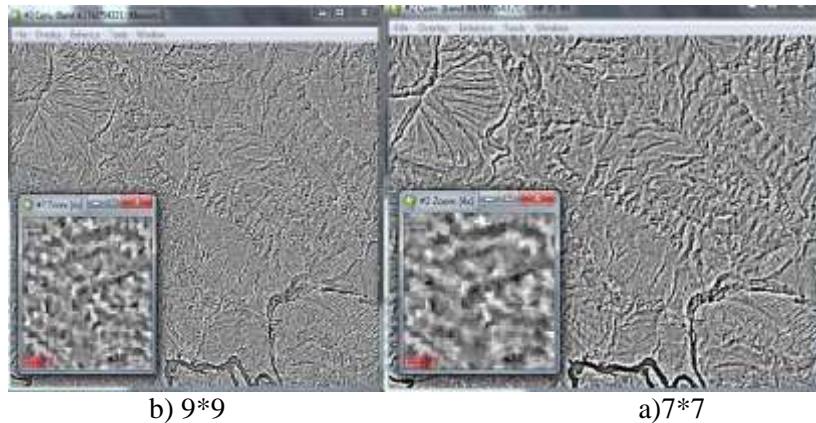
۲-۳-۱. تصحیح هندسی

زمین‌مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا، با استفاده از معادلات ریاضی مناسب، یکی از مهمترین مراحل استخراج اطلاعات مکانی سه‌بعدی دقیق است. به منظور زمین‌مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای باید مجموعه‌ای عوارض کنترلی مانند نقاط، خطوط و سطوح

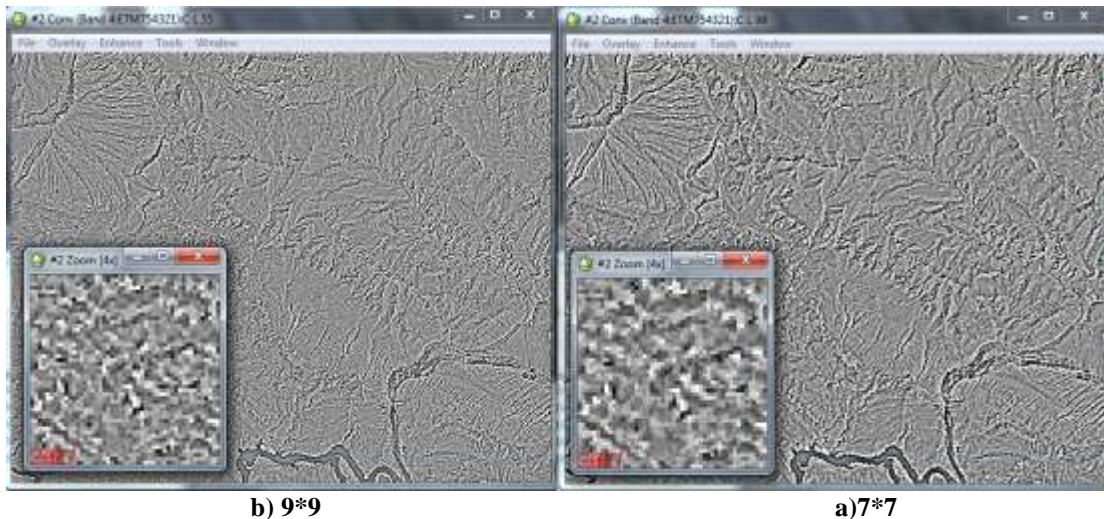
مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)

کانولوشن یا حلقه<sup>۱</sup> با سایز هسته  $3 \times 3 \times 9 \times 9$  و  $5 \times 5 \times 9 \times 9$  و فیلتر لاپلاسیان کانولوشن<sup>۲</sup> با سایز هسته  $9 \times 9 \times 7/5 \times 11/11 \times 9$  و فیلتر لاپلاسیان کانولوشن<sup>۲</sup> با سایز هسته  $9 \times 9 \times 7/5 \times 11/11 \times 9$  و  $3 \times 5/3 \times 11 \times 11$  استفاده شد. شکل های ۳ و ۴ دو نوع فیلتر اعمال شده در تصاویر را نشان می دهند.

ژئومورفولوژیک مورد مقایسه قرار گرفت. با انجام ارزیابی های بصری، باند چهار لندست ۷ که اطلاعاتی با طول موج  $0/75$  تا  $0/9$  میکرومتر را ضبط می کند برای این تحقیق انتخاب شد. بعد از انتخاب باندها برای فیلتر تصویر  $ETM+$ ، به منظور استخراج تأثیرات ساختاری و ژئومورفولوژیک از فیلترهای مختلفی مانند فیلتر بالاگذر



شکل ۳. فیلتر بالاگذر حلقه با اندازه متفاوت هسته



شکل ۴. فیلتر حلقه لاپلاسیان با اندازه متفاوت هسته

ژئومورفولوژیک، داده های پیشرفته سنجش از دور به همراه مدل دیجیتالی ارتفاع که خصوصیات سطح زمین را به صورت سه بعدی نشان می دهد، به کار گرفته شده است (کایا و مفتواوغلو، ۲۰۰۰). الگوریتم تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) اغلب به عنوان روشی برای فشرده سازی داده ها به کار

### ۳-۳-۲. ایجاد الگوریتم تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)

داده های تصویر در ترکیبات مختلف باند تجزیه و تحلیل شده اند و تصاویر با استفاده از الگوریتم تحلیل مؤلفه های اصلی تجزیه و تحلیل می شود. به منظور تحلیل ویژگی های

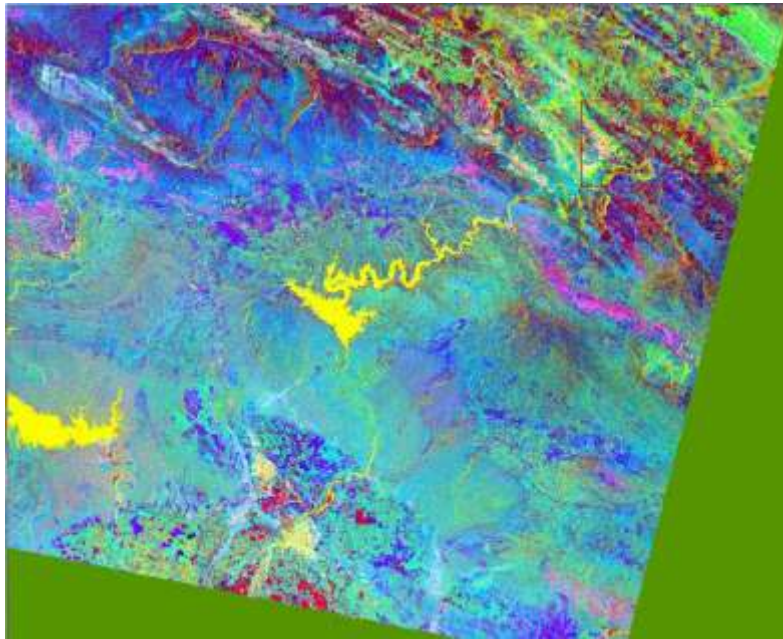
<sup>2</sup>- Filter Convolution Laplacian

<sup>1</sup>- Filtered Convolution High Pass



داشتند انتخاب شدند که عبارتند از باندهای یک و دو و سه. شکل ۵، تصویر رنگی کامپوزیتی از طریق ادغام لایه‌ها با این سه باند انتخاب شده را نشان می‌دهد.

می‌رود. در این تحقیق، تحلیل مؤلفه اصلی برای تمام شش باند لندست به کار گرفته شد و شش تصویر تحلیل مؤلفه اصلی ایجاد شد. سپس، سه تصویری که ارزش بیشتری



شکل ۵. تحلیل مؤلفه اصلی (۲۳۱) روی تصویر لندست

مشخص می‌گردد و به این ترتیب خصوصیات ساختاری و زمین‌شناسی را مشخص می‌کند. مدل دیجیتالی ارتفاع نقش مهمی در تهیه نقشه ژئوهازارد (خطرات جغرافیایی) دارد (شکل ۶) (لی، ۲۰۰۵؛ جیاسین‌توند و همکاران، ۲۰۰۰).

#### ۲-۳-۴. مدل دیجیتالی ارتفاع

مدل دیجیتالی ارتفاع، یک نقشه رقومی ارتفاع از توپوگرافی زمین است که توسط یک شبکه سلولی نشان داده می‌شود. هر سلول (پیکسل) از این شبکه با یک کد رقمی که نشان‌دهنده ارتفاع واقعی آن نقطه می‌باشد



شکل ۶. مدل دیجیتالی ارتفاع

مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)

## ۴-۲. تاثیرات رابطه و وزن متغیرها

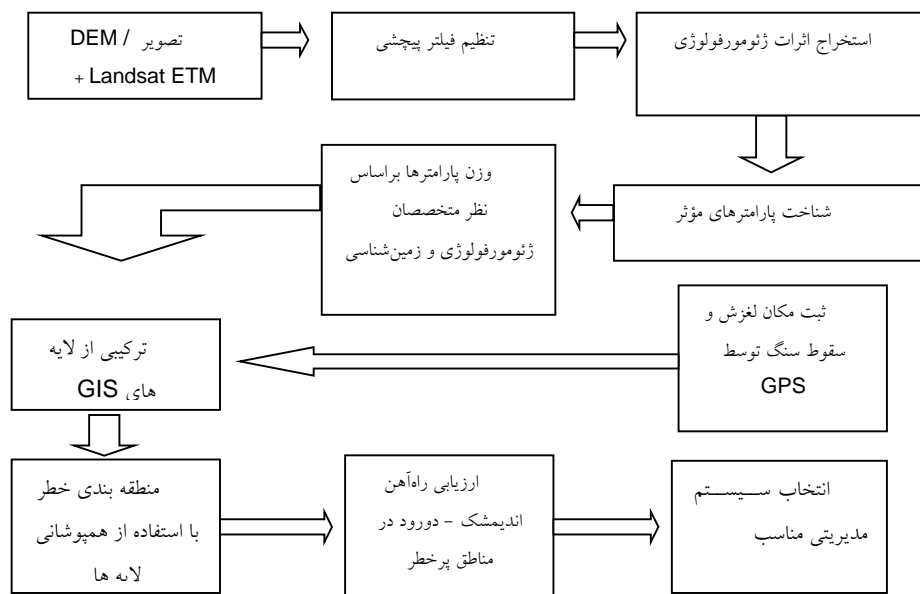
در این مرحله، ارتباط بین متغیرهای مختلف تأثیرگذار بر زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت تا وزن هر یک از این متغیرها تعیین شود. به این منظور، ابتدا متغیرهای مختلف طبقه بندی شدند و شاخص های مختلف هر یک از این متغیرها استخراج شد. سپس کلاس های مختلف شاخص ها با لایه های پراکندگی ثبت شده در زمین لغزش - های منطقه مورد مطالعه روی هم قرار داده شد. قرار دادن سطوح روی هم و تعیین وزن برای هر یک از شاخص ها توسط نرم افزار Arc GIS 10.3 انجام شد.

پهنه بندی زمین لغزش یکی از روش هایی است که به کمک آن می توان مناطق بحرانی را به لحاظ پایداری شیب مشخص نمود (رنجبر، ۱۳۹۱). شیب، تأثیر زیادی بر وقوع پدیده زمین لغزش دارد. همچنین، فراوانی وقوع زمین لغزش تا حد زیادی به محدب بودن، مقعر بودن و مستقیم بودن شیب بستگی دارد (کوماک، ۲۰۰۶). تعیین وزن عامل شیب منطقه تهیه شد و در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل ۴؟ نقشه شیب و توزیع زمین لغزش ها در منطقه مورد مطالعه؟؟

جدول ۲. پراکندگی پدیده زمین لغزش در کلاس های مختلف شیب

تعداد	شیب	وزن	زمین لغزش (%)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۰-۵	۳	۲۰	۵۲۹۱/۰۱
۲	۵-۱۵	۵	۳۵	۶۹۳۱/۳۵
۳	۱۵-۳۰	۶	۴۳/۷۵	۷۵۵۹/۰۹

با بررسی هر یک از پارامترهای مؤثر در زمین لغزش و تعیین وزن با استفاده از وزن دهی و امتیاز کلی، مدل AHP برای تعیین پهنه گسترش زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه اجرا شد. شکل ۷، مراحل انجام پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۷. مراحل انجام پژوهش با استفاده از روش AHP و نقاط نمونه برداری زمینی



مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)

### ۳. نتایج

حاصل از تصحیح هندسی تصویر برابر با ۰/۷۴ است. به عبارتی، مقدار خطا کمتر از یک پیکسل بوده و برای انجام سایر پردازش‌های لازم و ادامه کار روی آن مورد تأیید است. جدول ۳، مقادیر خطای تصاویر را نشان می‌دهد.

تصحیح هندسی تصاویر ETM+ با استفاده از تعداد مشخص نقاط کنترل زمینی قابل تشخیص و با پراکنش مناسب صورت گرفت. نتایج نشان داد که مقدار خطای

جدول ۳. تصحیح هندسی تصویر ETM+ با استفاده از تصویر پانکروماتیک مختصات دار

شماره نقاط	خطای RMS
۱	۰/۰۵
۲	۰/۴۱
۳	۰/۵۴
۴	۰/۱۶
۵	۰/۱۱
۶	۰/۷۳
۷	۰/۵۸
۸	۰/۵۹
۹	۰/۸
۱۰	۰/۴۳
کل مقدار خطا: ۰/۷۴	

### ۳-۱. استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی

در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی سنجنده ETM از همه باندهای سنجنده استفاده شد و ترکیب رنگی کاذب با استفاده از باندهای ۱، ۲ و ۳ به دست آمد. مقدار خطای ویژه<sup>۱</sup> تصاویر در جدول ۴ نشان داده شده است. استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی می‌تواند کمک شایانی در استخراج عوارض با استفاده از تفسیر بصری نماید، زیرا در این روش اختلاف بین عوارض بیشتر شده و شناسایی آن‌ها آسان‌تر صورت می‌گیرد.

جدول ۴. مقدار خطای ویژه باندهای تصویر ETM+

شماره باند	خطای ویژه
۱	۱۲۴۰۷/۸۷
۲	۷۳/۳۵
۳	۳۲/۳۶
۴	۲۳/۰۶
۵	۶/۳۶
۶	۱/۴۰

نتایج فیلتر همگرایی بالاگذر<sup>۲</sup> با اندازه‌های مختلف روی مدل رقومی ارتفاع نشان داد که بهترین اندازه پیکسل برای آشکارسازی عوارض مورد نظر Kernel Size 9\*9 است. Kernel Size کمتر از آن عوارض را آن‌چنان که باید و شاید آشکار نمی‌سازد و در Kernel

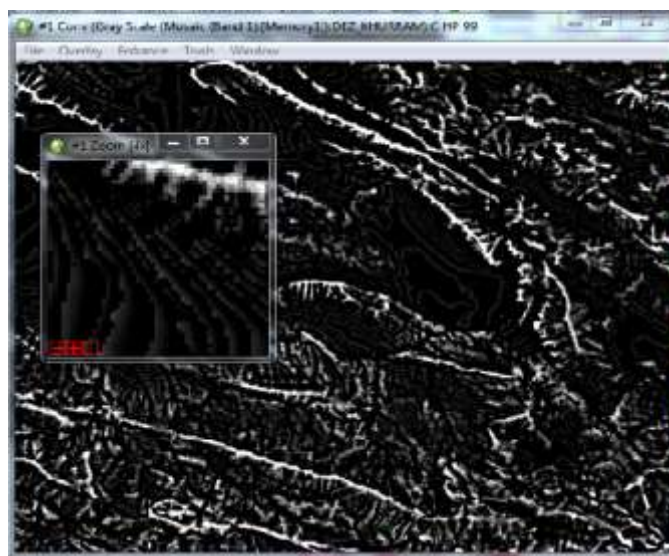
<sup>2</sup>- Convolution High Pass

<sup>1</sup>- Eigenvalue

مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)

همگرایی بالاگذر برای بارزسازی عواض ساختاری و ژئومورفولوژی انتخاب گردید (شکل ۸).

Size بزرگتر از آن نیز عوارض را بیشتر از آنچه که در Kernel Size 9\*9 دیده می شود نشان نمی دهد. از این رو، Kernel Size 9\*9 به عنوان بهترین Kernel Size در فیلتر



شکل ۸. فیلتر همگرایی بالاگذر با Kernel Size 9\*9

درجه به این دلیل اتفاق افتاده است که این کلاس روی واحدهای سنگ شناسی KLSOL و Emas-sb واقع شده-اند. واحدهای سنگ شناسی فوق، حساسیت زیادی به زمین لغزش داشته و حجم زیادی از زمین لغزش های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده اند. همچنین، بررسی متغیر کاربری اراضی نشان داد که در این پارامترها حجم زیادی از زمین لغزش به کلاس های زمین های زراعی و جنگل اختصاص دارد. جدول ۵، پراکندگی زمین لغزش را در کلاس های مختلف شیب نشان می دهد. بر اساس نتایج این جدول، بیشترین پراکنش زمین لغزش در سطح ۱۵-۳۰ با مساحت ۷۵۵۹/۰۹ قرار گرفته است.

استفاده از مدل رقومی ارتفاع به تنهایی برای آشکار ساختن عوارض ژئومورفولوژی و ساختاری نمی تواند کافی باشد. از این رو، فیلترهای مختلف همگرایی بالاگذر، همگرایی لاپلاسی و فیلتر جهت دار با Kernel Size مختلف روی تصویر ETM+ اعمال و بهترین بارزسازی در Kernel Size 9\*9 رخ داده است.

### ۲-۳. نتایج بررسی رابطه نقشه پراکندگی زمین لغزش و متغیرهای تأثیرگذار

در بررسی های انجام شده روی رابطه بین متغیر شیب و دیگر متغیرهای تأثیرگذار بر زمین لغزش، مشخص گردید که افزایش زمین لغزش های اتفاق افتاده در کلاس ۵-۰

جدول ۵. پراکندگی پدیده زمین لغزش در کلاس های مختلف شیب

تعداد	شیب	وزن	زمین لغزش (%) مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۰-۵	۳	۵۲۹۱/۰۱
۲	۵-۱۵	۵	۶۹۳۱/۳۵
۳	۱۵-۳۰	۶	۷۵۵۹/۰۹
۴	۳۰-۴۵	۲	۳۲۰۰/۵
۵	۴۵<	۱	۵۶۲/۱۳

مساحت واحدهای فوق روی کلاس‌های ۵-۱۵ و ۱۵-۳۰ درجه واقع گردیده است که به ترتیب رتبه‌های اول و دوم وقوع زمین لغزش را شامل می‌شوند. جدول ۶، نتایج پراکنش واحدهای زمین‌شناسی مؤثر در زمین لغزش را نشان می‌دهد.

حساس‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه واحدهای KLSOL و Emas-sb می‌باشند، که به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم وقوع زمین لغزش را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از دلایل، هم‌پوشانی آن با متغیر-های شیب و پوشش گیاهی است. درصد زیادی از

جدول ۶. توزیع پدیده زمین لغزش در لایه‌های زمین‌شناسی

تعداد	وزن	زمین لغزش (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	زمین‌شناسی
۱	۲	۱۳/۷۵	۱۶۴۵/۷۹	Emas-sb
۲	۴	۳۱/۲۵	۱۰۰۳/۲۱	KLSOL
۴	۱	۳/۷۵	۳۷۰/۲۲	kpeam

نسبت به وقوع پدیده زمین لغزش هستند. همچنین، کلاس‌های بارشی فوق روی زمین‌هایی با شیب ۱۵-۳۰ درجه واقع شده است که این کلاس نیز بالاترین رتبه در وقوع پدیده زمین لغزش را در بین طبقات مختلف متغیر شیب‌دار است. جدول ۷، وقوع زمین لغزش را در طبقات مختلف بارشی در منطقه نشان می‌دهد.

بررسی رابطه بین پارامتر بارش و زمین‌شناسی نشان می‌دهد که حجم زیاد وقوع زمین لغزش در کلاس‌های ۴۰۰-۶۰۰ و ۶۰۰-۸۰۰ به این دلیل اتفاق افتاده است که درصد زیادی از زمین لغزش‌های رخ داده به کلاس‌های KLSOL و Emas-sb زمین‌شناسی اختصاص دارد که به ترتیب بیشترین و حساس‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی

جدول ۷. توزیع زمین لغزش در سطوح بارش

تعداد	وزن	زمین لغزش	مساحت (km <sup>2</sup> )	بارش
۱	۱	۱/۲۵	۱۴۶۰/۹۳	۳۰۰-۴۰۰
۲	۶	۴۲/۵	۷۷۷۲/۵۸	۴۰۰-۶۰۰
۳	۶	۴۲/۵	۶۲۹۵/۶۴	۶۰۰-۸۰۰
۴	۲	۱۶/۲۵	۴۵۰۳/۸۸	۸۰۰-۱۰۰۰
۵	۱	۱/۲۵	۲۸۹۰/۸۱	۱۰۰۰-۱۲۰۰

بیشترین مقدار زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. بعد از آن، رتبه سوم وقوع زمین لغزش به کلاس پوشش-گیاهی نیمه‌متراکم اختصاص دارد. در این میان، کلاس پوشش گیاهی بسیار متراکم درصد بسیار کمی از زمین لغزش‌های رخ داده را به خود اختصاص داده است. پوشش گیاهی ارتباط بسیار نزدیکی با خاک دارد. از طرف دیگر، زمین‌های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی با تراکم کم روی واحد سنگ‌شناسی Klsol واقع گردیده‌اند که جزو حساس‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی به

نتایج کاربری اراضی نشان داد که اراضی جنگلی بیشترین تراکم حرکات دامنه‌ای را شامل می‌شوند. این کلاس روی واحدهای سنگ‌شناسی حساس به وقوع زمین لغزش و کلاس ۱۵-۳۰ درجه واقع شده است، که این کلاس جزو حساس‌ترین کلاس‌ها نسبت به وقوع زمین لغزش بوده و بالاترین رتبه در وقوع زمین لغزش را به خود اختصاص داده است. نتایج تراکم پوشش گیاهی منطقه نشان داد که کلاس-های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی کم تراکم

مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمتغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)

زمین شناسی روی کلاس فاصله بیشتر از ۸۰۰ متر از رودخانه است.

با بررسی نقشه فواصل از گسل، مشاهده گردید که حداکثر زمین لغزش در کلاس بالاتر از ۲۰۰۰ متر اتفاق افتاده است. درصد زیادی از این حرکات به سنگ های حساس به زمین لغزش و کلاس ۱۵-۳۰ درجه از پارامتر شیب اختصاص دارد. دیگر کلاس های موجود در پارامتر گسل از رابطه افزایش فاصله، کاهش زمین لغزش تبعیت می کنند.

نتایج پهنه بندی با استفاده از مدل AHP و پارامترهای ذکر شده به دست آمد. نتایج ماتریس وزن نسبی در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به نتایج ماتریس، به طور میانگین، شیب یکی از مهمترین عوامل با درصد وزنی بیشتر است که عاملی برای وقوع زمین لغزش در منطقه است.

زمین لغزش است. تأثیر هم زمان متغیرهای تراکم پوشش گیاهی و زمین شناسی سبب گردیده است تا بیش از ۷۰ درصد از زمین لغزش های رخ داده در این کلاس ها (بدون پوشش گیاهی - پوشش گیاهی کم تراکم) اتفاق افتد.

فاصله از شبکه ارتباطی نشان می دهد که رتبه اول تا سوم وقوع حرکات توده ای مربوط به فاصله های ۰-۲۰۰، ۴۰۰-۶۰۰ متر از شبکه ارتباطی اختصاص دارد که از رابطه بین متغیر فاصله از شبکه ارتباطی و زمین لغزش تبعیت می کند.

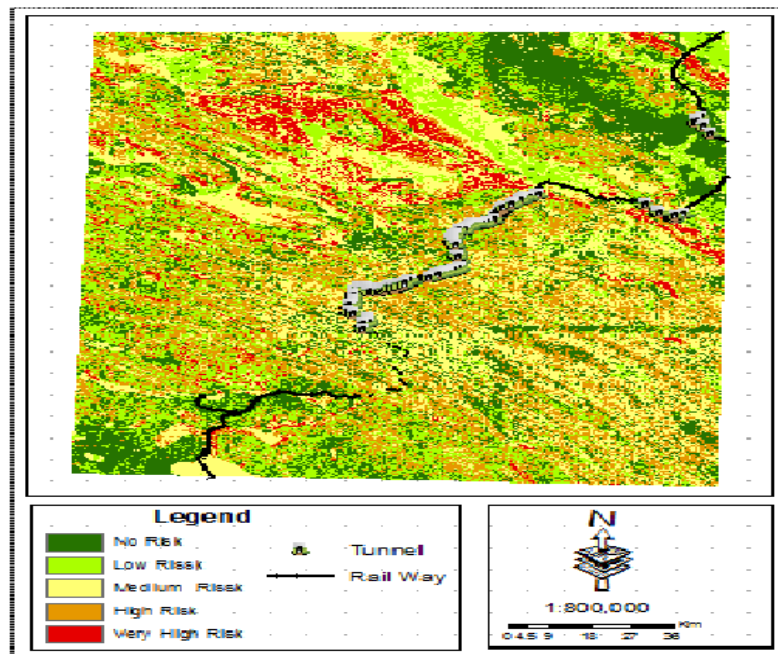
بررسی زمین لغزش های رخ داده در کلاس های فاصله از رودخانه بیانگر این مطلب است که با افزایش فاصله از شبکه ارتباطی درصد وقوع زمین لغزش کاهش یافته و تنها کلاس بالاتر از ۸۰۰ متر از این قاعده تبعیت نمی کند. بررسی ها حاکی از تأثیر بسیار زیاد پارامترهای شیب و

جدول ۸. مقایسه زوجی عوامل مؤثر بر زمین لغزش در حد فاصل شهرهای اندیمشک و دورود

شیب	سازندهای زمین شناسی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	بارش	شبکه ارتباطی	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل	پارامترهای تأثیرگذار بر زمین لغزش
۱/۹	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	فاصله از گسل
۱/۹	۱/۸	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳	فاصله از رودخانه
۱/۹	۱/۸	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۴	شبکه ارتباطی
۱/۸	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۴	۵	بارش
۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۵	۶	کاربری اراضی
۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۶	۷	پوشش گیاهی
۱/۳	۱	۳	۵	۷	۸	۸	۸	سازندهای زمین شناسی
۱	۳	۵	۷	۸	۹	۹	۹	شیب

رودخانه) + (نقشه وزنی فاصله از گسل  $\times 0/019$ ). در نهایت، نقشه نهایی پهنه بندی خطر زمین-لغزش (شکل ۹) برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. این نقشه به پنج کلاس بی خطر، کم خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و بسیار خطرناک تقسیم گردید.

نقشه وزنی هر یک از پارامترها در وزن نسبی همان متغیر ضرب گردید و حاصل آن ها با هم جمع شد، که در نهایت نقشه نهایی به دست آمد. نقشه وزنی (سازندهای زمین شناسی  $\times 0/235$ ) + (نقشه وزنی بارش  $\times 0/147$ ) + (نقشه وزنی کاربری اراضی  $\times 0/093$ ) + (نقشه وزنی پوشش گیاهی  $\times 0/06$ ) + (نقشه وزنی فاصله از شبکه ارتباطی  $\times 0/46$ ) + (نقشه وزنی فاصله از



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

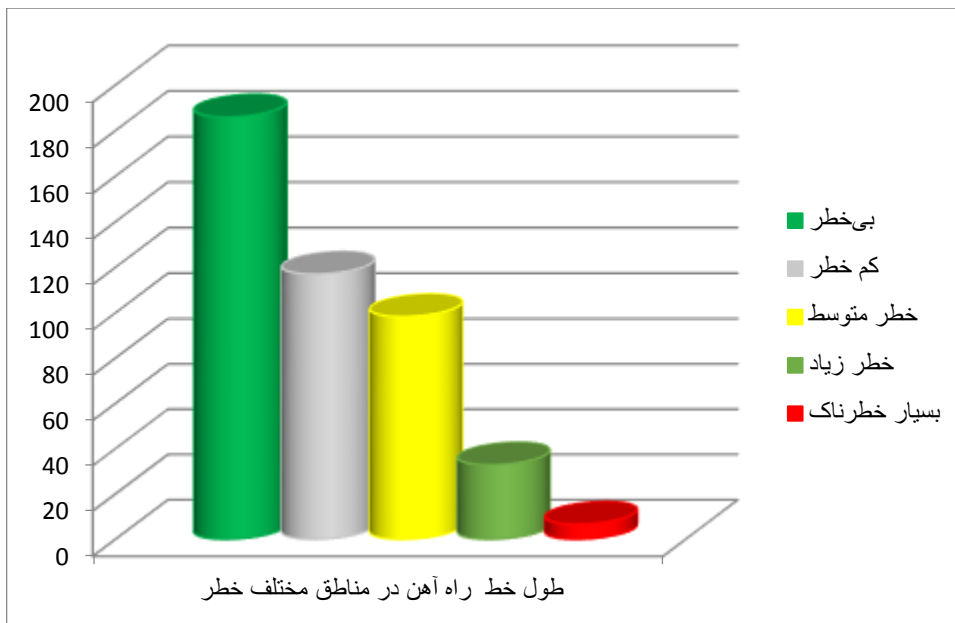
به‌طور کلی، دو منطقه با طبقه بی‌خطر و بسیار خطرناک پهنه کمی از مساحت منطقه را شامل می‌شوند. در حالی که منطقه با خطر متوسط بیشترین درصد مساحت را دربر می‌گیرد. با توجه به نتایج جدول ۹ می‌توان گفت که طول راه آهن و خطر زمین لغزش متوسط در منطقه نسبت به طبقه‌های دیگر اولویت دارد. بنابراین، برای این پهنه‌های تعیین شده باید مدیریت و برنامه‌ریزی جهت کاهش خسارات اندیشیده شود. نتایج در جدول ۹ و شکل ۱۰ نشان داده شده است.

طول خطوط راه آهن در منطقه پهنه‌بندی شد و نتایج آن در پنج کلاس (بی‌خطر، کم‌خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و بسیار خطرناک) طبقه‌بندی شد. اگر طول خطوط راه آهن در مناطق بی‌خطر و کم‌خطر را با هم در نظر بگیریم کلاً ۶۸/۳۳ درصد را در خود جای داده‌اند که این مقدار بیش از نصف طول راه آهن را شامل می‌شود. به عبارتی، بیشتر طول خطوط راه آهن (۱۸۶/۰۳ کیلومتر) و دومین درصد مساحت کم منطقه (۲۱/۳۲ درصد) مربوط به واقعه زمین لغزش در منطقه بی‌خطر واقع شده است.

جدول ۹. طول خطوط راه آهن در بخش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

منطقه	مساحت پهنه (%)	مساحت پهنه (km <sup>2</sup> )	طول راه آهن (%)	طول راه آهن (km)
بی‌خطر	۲۱,۳۲	۴۸۸۴,۸	۴۱,۹۴	۱۸۶,۰۳
کم‌خطر	۲۲,۳۹	۵۱۲۸,۷	۲۶,۳۹	۱۱۷,۰۷
خطر متوسط	۲۶,۰۵	۵۹۶۶,۶۶	۲۲,۱۸	۹۸,۳۸
خطر زیاد	۲۴,۹۹	۵۷۲۳,۳۶	۷,۴۱	۳۲,۸۷
بسیار خطرناک	۵,۲۵	۱۲۰۳,۶۱	۱,۵۱	۶,۶۸
کل	۱۰۰	۲۲۹۰۷,۱۳	۱۰۰	۴۴۳,۵۸

ممیزها در جدول ۹ به صورت / باشند نه نقطه



شکل ۱۰. نمودار تأثیر راه آهن در زمین لغزش در مناطق مختلف

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

هدف از این مطالعه، بررسی خطرات زمین لغزش برای راه آهن اندیمشک- دورود بوده است که جنوب کشور ایران را به پایتخت ایران (تهران) متصل می کند. به همین دلیل، پس از تهیه نقشه نهایی خطر زمین لغزش با استفاده از هم پوشانی لایه راه آهن و نقشه پهنه بندی خطر به بررسی خط راه آهن اندیمشک- دورود پرداخته شد. این کار تحقیقاتی به استراتژی اصلی معرفی مکان های جدید برای بروز پتانسیل در مقابل بلایا منجر شده است. پارامترهای مختلف درگیر برای افزایش بلایا با روش های مختلف سنجش از دور و تکنیک های GIS برای ترسیم نقشه ها استفاده شده است. این کار با توسعه یک روش حلقوی تقویت فیلتر و یک مدل ماتریس به منظور ارتقاء ویژگی های ساختاری که عامل مهمی برای لغزش و سقوط سنگ در منطقه است نتیجه گرفت. بررسی نقاط زمین و عکس های هوایی با استفاده از فیلترهای مختلف نشان داد که فیلترهای تعیین خطر ایجاد راه آهن بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه فیلتر Kernel Size 9\*9 به عنوان بهترین Kernel Size در فیلتر همگرایی بالاگذر برای بارزسازی عواض ساختاری و ژئومورفولوژی انتخاب گردید. نتایج این تحقیق با نتایج صفاری (۱۳۹۳) و خزائی و قائمی (۱۳۹۴) همخوانی دارد. نتایج کلی نشان داد که پردازش تصویر دیجیتال روی تصویر ماهواره ای و DEM از پتانسیل قابل

توجهی برای استخراج خطوط مربوط به لغزش زمین و ریزش سنگ برخوردار است. نتایج این تحقیق با نتایج صفاری (۱۳۹۳) همخوانی دارد. خزائی و قائمی (۱۳۹۴) و آرمین و همکاران (۱۳۹۸) سنگ شناسی، زاویه شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین لرزه در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰۰ را عاملی برای تعیین وقوع زمین لغزش معرفی کردند. عامل های مهم تأثیرگذار، از جمله فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، شبکه ارتباطی، بارش، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، سازندهای زمین شناسی و در نهایت شیب منطقه بررسی شد. نتایج وزن هر یک از پارامترها در جداول ۶ و ۷ ارائه شد. نتایج مقایسه زوجی پارامتر فاصله از گسل با وزن ۰/۰۵ بیشترین وزن، فاصله از رودخانه ۰/۰۷، شبکه ارتباطی ۰/۰۹، بارش ۰/۱۲، کاربری اراضی ۰/۱۵، پوشش گیاهی ۰/۲، سازند زمین شناسی ۰/۳ و شیب ۰/۵۹ به دست آمد. نتایج وزن دهی نشان داد که با ادغام لایه های مختلف، کلاس های خطر زیاد و بسیار خطرناک به ترتیب ۳۲/۸۷ و ۶/۶۸ کیلومتر از طول خطوط راه آهن را در خود جای داده اند که جمعاً ۳۹/۵۵ کیلومتر یا ۸/۹۲ درصد از کل ۳۹،۵۵ کیلومتر از کل طول خط راه آهن اندیمشک- دورود است. کامران زاد و همکاران (۱۳۹۴) روش AHP را برای تعیین پهنه زمین لغزش در مناطق ریلی مناسب و با دقت معرفی کردند. مرادی و همکاران (؟؟) نیز با تعیین وزن دهی پارامترهایی مانند



شیب و زمین‌شناسی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به تعیین پهنه‌بندی زمین‌لغزش در بخشی از جاده هراز پرداختند. علیمرادی و همکاران (۱۳۹۳) و میرنظری و همکاران (۱۳۹۳) نیز پهنه‌بندی زمین‌لغزش را با روش AHP انجام دادند.

## ۵. مراجع

- آدینه‌وند، ر. ا.، زارع، م. و رئیس، ع. ا. ۱۳۹۶. "کاربرد مدل آماری رگرسیون لجیستیک نادر وقوع در ارزیابی پهنه‌بندی حساسیت به حرکات توده‌ای". فصلنامه کواترنری ایران، ۱۱: ۲۳۱-۲۴۶.
- آرمین، م.، مصطفائی، ج.، نیاخیبری، ق. و خیری، ا. ۱۳۹۸. "پهنه‌بندی زمین‌لغزش و برنامه مدیریتی کنترل خطر آن در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل حائری - سمیعی". فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱): ۱۹۶-۱۷۶.
- حافظی مقدس، ن. و غفوری، م. ۱۳۸۸. "زمین‌شناسی زیست‌محیطی". انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حائری، م. و سمیعی، ا. ح. ۱۳۷۶. "روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازنداران". فصلنامه علوم زمین، ۲۳(۶): ۲-۱۶.
- حسین‌زاده، م. م.، ثروتی، م. ر.، منصور، ع.، میرباقری، ب. و خضری، س. ۱۳۸۸. "پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: محدوده مسیر سندرگ-دهگلان)". فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۱: ۲۷-۳۷.
- خزائی، ج. و قائمی، م. ۱۳۹۴. "مقایسه و ارزیابی روش‌های پایدارسازی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: زمین‌لغزش کیلومتر ۱۹۴ راه‌آهن ملایر - کرمانشاه)". فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، ۱۶: ۳۹.
- رحیمی‌شهید، م. و رحیمی، ن. ۱۳۹۴. "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بخش مرکزی شهرستان سمیرم". فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، ۳۳(۹): ۱۱-۲۳.
- رنجبر، م. ۱۳۹۱. "عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه گرگانرود با استفاده از مدل AHP". فصلنامه جغرافیا، ۳۵: ۱۹۵.
- روستایی، ش. و احمدزاده، ح. ۱۳۹۱. "پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS". پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۱(۱): ۴۷-۵۸.
- روستایی، ش. و خدائی قشلاق، ف. ۱۳۹۵. "ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد، مطالعه موردی: سد قلعه‌چای". فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۵): ۶۷-۸۰.
۱. صفاری، ا. ۱۳۹۳. "تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری لغزشی در پهنه‌های کوهستانی کلانشهر تهران". مجله تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، ۱(۳): ۲۹-۴۴.
- طالبی، ع.، نفرزادگان، ع. ر. و ملکی‌نژاد، ح. ۱۳۸۸. "مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی". پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۷۰: ۴۵-۶۴.
- طالبی، ع. و متولی، ع. ر. ۱۳۹۵. "بررسی زمین‌لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده با استفاده از مدل فرآیند محور پایداری سطحی دامنه (مطالعه موردی: محدوده محور ساری-کیاسر)". زمین‌شناسی ایران، ۱۰(۳۷): ۱-۱۳.

- مدل سازی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چندمترغیره فضایی (مطالعه موردی: مسیر راه آهن جنوب غرب کشور)
- علیمرادی، م.، شیرانی، ک. و سلطانیان، م. ۱۳۹۳. "ارزیابی و مقایسه دقت و صحت AHP کارشناسی و AHP تلفیقی در پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر)". جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، (۳-۵۵): ۲۵-۱۸۵-۲۰۶.
- کامرانزاد، ف.، محصل افشار، ع.، مجرب، م. و معماریان، ح. ۱۳۹۴. "پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی". فصلنامه علوم زمین، ۹۷: ۱۰۱.
- محمدی، م.، مرادی، ح.، فیض نیا، س. و پورقاسمی، ح. ۱۳۸۷. "ارزیابی اثرات پوشش مرتعی در پایداری دامنه های در بخشی از حوزه آبخیز هراز با استفاده از GIS". مجله مرتع، ۳(۲): ۲۸۹-۲۹۹.
- مصفاei، ج.، اونق، م.، مصداقی، م. و شریعت جعفری، م. ۱۳۸۸. "مقایسه کارایی مدل های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)". مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۴): ۴۳-۶۱.
- مقیمi، ا.، شکری سیدباقری، س. و صفرراد، ط. ۱۳۹۱. "پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نسا زاکرس شمال غربی)". فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷۹: ۷۷.
- میرنظری، ج.، شهابی، ه. و خضری، س. ۱۳۹۳. "ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)". مجله جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۷): ۷۰-۵۳.
- یاوری، س.، ولدان زوج، م. ج.، صاحبی، م. ر. و مختارزاده، م. ۱۳۹۵. "ارزیابی دقت تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک بالا با استفاده از اطلاعات کنترلی". سنجش از دور و GIS ایران، ۳(۸): ۱-۱۰.
- Froude, M. J. and Petley, D. N. 2018. "Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18: 2161-2181.
- Goetz, J. N., Guthrie, R. H. and Brenning, A. 2019. "Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models". *Geomorphol.*, 129(3): 376-386.
- Intrieri, E., Carlà, T. and Gigli, G. 2019. "Forecasting the time of failure of landslides at slope scale: A literature review". *Earth Sci. Rev.*, 193: 333-349.
- Komac, M. A. 2006. "Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prealpine Slovenia". *Geomorphol.*, 74: 17-28.
- Zhang, Y., Meng, X. M., Dijkstra, T. A., Jordan, C. J., Chen, G., Zeng, R. Q. and Novellino, A. 2020. "Forecasting the magnitude of potential landslides based on InSAR techniques". *Remote Sens. Environ.*, 241: 111738.