پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۸
صص. ۱۹۶-۱۷۶

# پهنه‌بندی زمین‌لغزش و برنامه مدیریتی کنترل خطر آن در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل حائری – سمیعی

محسن آرمین*- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری، دانشگاه یاسوج.
جمال مصفائی- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.
وجیهه قربان نیا خیبری- دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه ملایر.
افسانه خیری- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

## چکیده

**در آمایش سرزمین و راهبرد توسعه پایدار، مدیریت محیط، طراحی پروژه‌ها و انتخاب و آرایش گزینه‌های کاربری زمین بر نقشه‌های ارزیابی توان و پهنه‌بندی شدت و تیپ خطرات محیطی مانند زمین‌لغزش و ناپایداری زمین استوارند. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش را شناسایی نمود. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل تجربی حائری – سمیعی شامل تلفیق نقشه‌های موضوعی سنگ‌شناسی، زاویه شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین‌لرزه در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰۰ انجام گرفته است. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش، با بررسی دقیق تصاویر Google Earth محدوده‌هایی از استان که انتظار می‌رفت پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در آنها بیشتر باشد، مشخص گردید. سپس طی بازدیدهای گسترده میدانی مختصات جغرافیایی زمین‌لغزش‌های مشاهده شده ثبت و با تهیه فایل مختصات نقطه‌ای زمین‌لغزش‌ها در محیط نرم‌افزار Arc Map و انتقال آنها بر روی تصاویر Googel Earth، محل زمین‌لغزش‌ها شناسایی و محدوده مربوط به هر کدام به صورت یک فایل پلی‌گونی تهیه و به محیط نرم‌افزار Arc Map منتقل شد و به این ترتیب نقشه رقومی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان تهیه گردید. برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از شاخص نسبت دانسیته (Dr) استفاده شد. نتایج نشان داد که فقط از لحاظ عامل زمین‌شناسی حدود ۴۰ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد حساسیت بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد، در صورتی که از لحاظ سایر عوامل شامل زاویه شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین‌لرزه، حدود ۹۵ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. پس از تلفیق امتیاز عددی نقشه‌های موضوعی مدل حائری- سمیعی، نقشه خطر زمین‌لغزش در ۴ 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. در ارتباط با ارزیابی کارایی مدل با استفاده از شاخص نسبت دانسیته، نتایج نشان داد که مدل توانسته است پهنه‌های خطر زمین‌لغزش را به خوبی از هم تفکیک کند و در کلاس خطر بسیار کم از دقت بیشتری برخوردار است. بر اساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی، می‌توان گفت که وقوع خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد در وضعیت فعلی تقریباً بسیار ناچیز است و صرفاً می‌توان با برنامه‌های مدیریتی کنترل خطر یا اصل پیشگیری، از وقوع زمین‌لغزش‌ها در آینده در استان جلوگیری کرد. نتایج این مطالعه گامی مؤثر در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت هر چه بهتر سرزمین در استان کهگیلویه و بویراحمد است.**

***واژگان کلیدی:** زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، برنامه مدیریتی خطر، مدل حائری - سمیعی، استان کهگیلویه و بویراحمد.*

* نویسنده مسئول: E-mail: mohsenarmin2007@gmail.com

**مقدمه**

زمین‌لغزش[۱]، سیل، زلزله و آتشفشان از خطرات طبیعی به شمار می‌روند که زیان‌های جانی و مالی فراوانی به همراه دارند. ر شد نامتوازن جمعیت موجب افزایش روز افزون ف شار بر منابع طبیعی می شود که پیامد آن ت شدید وقوع خطرات طبیعی مانند زمین‌لغزش و سیل است. ناپایداری دامنه‌ها یا شیب‌های طبیعی در کشوری با شرایط متنوع زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب و هوایی و کاربری زمین چون ایران که از لحاظ لرزه‌زمین ساختی و لرزه‌خیزی نیز یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین خوردگی آلپ – هیمالیا اسـت، اهمیت ویژه‌ای دارد. ایران از جمله کشـورهایی اسـت که به صـورت عام با مشـکل زمین‌لغزش روبرو اسـت. در آمایش سـرزمین و راهبرد توسـعه پایدار، مدیریت محیط، طراحی پروژه‌ها و انتخاب و آرایش گزینه‌های کاربری زمین بر نقشـــه‌های ارزیابی توان و پهنه‌بندی شـــدت و تیپ خطرات محیطی مانند زمین‌لغزش و ناپایداری زمین اســـتوارند. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌توان مناطق حســـاس و دارای پتانســـیل خطر بالای زمین‌لغزش را شـــناســـایی نمود و تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا از خســـارات ناشـــی از وقوع آنها کاســـت (جایگزینی مدیریت ریسـک به جای مدیریت بحران). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش[۲] در واقع تقسـیم‌بندی سـطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش است (مصفایی و همکاران، ۱۳۸۸). طی دو دهه اخیر تلاش زیادی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح جهان صورت پذیرفته است، ولی به دلیل نقش متفاوت عوامل منطقه‌ای در ایجاد زمین‌لغزش، تاکنون روش مدون و یکپارچه‌ای برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه نشـــده اســـت. مدل‌های مختلف پهنه‌بندی این خطر را می‌توان بر اســـاس ماهیت آنها به دو دســـته مدل‌های آماری و مدل‌های تجربی تقسـیم نمود. از آنجا که روش‌های تجربی در شـرایط جغرافیایی ویژه‌ای ارائه می‌شـوند، لذا عوامل هر روش تجربی متناسب با شرایط خاص آن منطقه بوده و یا بر روی بعضی عوامل تأکید بیشتری شده است و ممکن است که برای مناطق دیگر چندان مناســـب نباشـــد. تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به علت تأثیرگذاری عوامل مختلف چندان آ سان نمی‌با شد و از طرفی حجم و سیع داده‌های ورودی و انجام تحلیل‌ها ب سیار پر هزینه و وقت‌گیر می‌با شد که خو شبختانه امروزه با پی شرفت قابل ملاحظه در علوم کامپیوتری، این عمل با سهولت و سرعت بی شتری انجام می‌گیرد. ر سایی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل رگر سیون چند متغیره در محیط GIS در حوضه آق مشهد، استان مازندران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که بین اعداد و کلا سه‌های خطر این مدل با مساحت زمین‌لغزش‌های موجود همبسـتگی و ارتباط معنی‌داری در سـطح یک درصـد برقرار اسـت. عابدینی و یعقوب‌نژاد اصـل (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به پهنه‌بنـــدی خطـــر وقـــوع زمین‌لغـــزش در اســـتان تهـــران بـا اسـتفاده از مـدل فـازی پرداختند. نتایج نشان آنها داد حدود ۱۳/۳۱ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته ا ست. حدود ۱۳/۷۱ در صد در پهنه‌ی با آ سیب‌پذیری متو سط و ۷۲/۹۴ در صد از م ساحت ا ستان تهران در پهنه‌ی با خطر وقوع کم و بسیار کم قرار گرفته است. پس از انجام مشاهدات میدانی از نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش و مقایسه‌ی آن با نقشه‌ی پهنه‌بندی به دست آمده، صحت و کارایی مدل فازی تأیید شد.

مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی ح سا سیت‌پذیری زمین‌لغزش در منطقه Xiushui در ک شور چین یا ا ستفاده از مدل ن سبت فراوانی[۳] توسـط Hong و همکاران (۲۰۱۵) انجام شـد. در این مطالعه، ابتدا نقشـه ارزیابی زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه با ا ستفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های برر سی‌های صحرایی تهیه شد. سپس رابطه بین زمین‌لغزش و عوامل اثر گذار شامل شیب، ارتفاع از سطح دریا، فا صله تا رودخانه، فا صله تا گ سل، نوع سنگ، بارندگی و غیره ت شریح

[۱] Landslide

[۲] Landslide Hazard Zonation

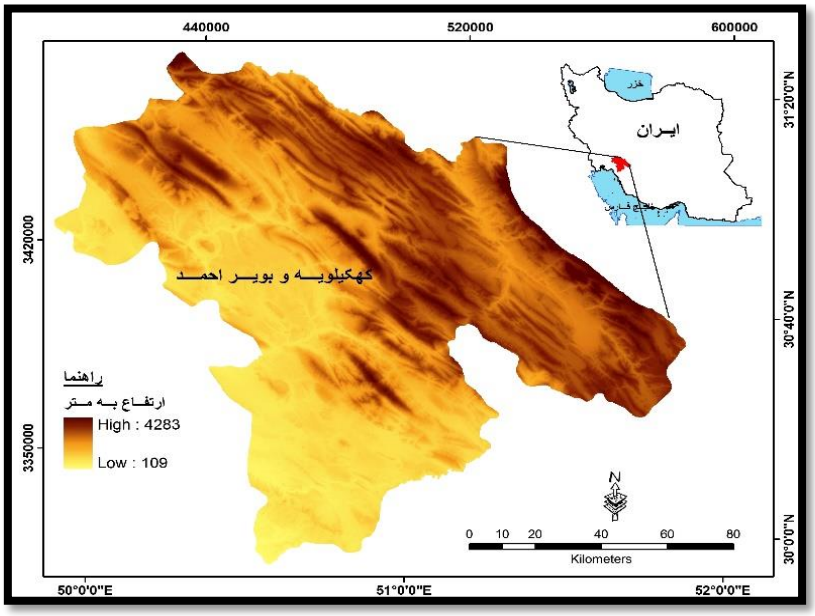
[۳] Frequency Ratio Model

شد. نتایج نشان داد که مساحت قرار گرفته در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لغزش ۴۸/۲ درصد است. با استفاده از آماره ROC اعتبار مدل بررسی و در نتیجه نقشه شاخص حساسیت‌پذیری لغزش منطقه Xiushui برای تصیم‌گیران در مناطق حساس به لغزش ارزشمند است. Hamza و Raghuvanshi (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در Jeldu در مرکز اتیوپی انجام دادند. نتایج ن شان داد که ۱۲ در صد از منطقه مورد مطالعه در کلاس بدون خطر، ۲۷ در صد در کلاس خطر کم، ۳۲ در صد در کلاس خطر متوسط، ۲۱ درصد در کلاس خطر زیاد و ۸ درصد در کلاس خطر خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان داد که ۹۲ درصد از لغزش‌های گذشته در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد خطر فرسایش در حالی که ۶ درصد در کلاس خطر متوسط و ۲ درصد در کلاس خطر کم قرار گرفته است. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلوبه و بویراحمد با استفاده از مدل تجربی حائری- سمیعی در سطح تفصیلی و مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰۰ انجام گرفته است تا بتوان گامی مؤثر را در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت هر چه بهتر سرزمین در استان کهگیلویه و بویراحمد برداشت.

## روش‌شناسی

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ا ستان کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی حدود ۱۵ هزار و ۴۹۸ کیلومتر مربع، سرزمینی نسبتاً مرتفع و کوهستانی در ادامه سلسله جبال زاگرس در جنوب غربی ایران است. استان کهگیلویه و بویراحمد از شرق با استان ا صفهان و فارس، از جنوب با ا ستان بو شهر، از غرب با ا ستان خوز ستان و از شمال با ا ستان چهار محال و بختیاری همسایه ا ست. کهگیلویه و بویراحمد از نظر جغرافیایی در ناحیه ایران و تورانی و شامل دو بخش سردسیری و گرمسیری ا ست. بخش گرم سیری منطقه‌ای پ ست با ارتفاع حداقل ۹۰۰ متر از سطح دریا و بخش سرد سیری منطقه‌ای مرتفع با ارتفاع متوسطی در حدود ۲۱۰۰ متر از سطح دریا است. این استان بر طبق آخرین تقسیمات کشوری به هفت شهرستان و ۱۶ بخش تقسیم شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.




**شکل ۱: موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد در ایران**

در این پژوهش، پس از تهیه نق شه‌های پارامترهای اولیه کلیدی شامل ارتفاع از سطح دریا، لیتولوژی ( سنگ شنا سی)، شیب دامنه، جهت جغرافیایی، شتاب زمین‌لرزه، شبکه گسل، شبکه راه و رودخانه و شدت و مقدار بارندگی، نقشه

پارامترهای مدل پهنه‌بندی خطر حائری – سمیعی آماده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح استان تهیه شد. در ادامه برای بررسی کارایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های واقعی استان با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر Google Earth تهیه گردید و شاخص‌های کارایی مدل نیز محاسبه شد.

## تشریح مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حائری - سمیعی

حائری و سمیعی (۱۳۷۶) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ، در مجموع هفت عامل زمین‌شناسی (نوع سنگ)، زاویه شیب، طول گسل، طول راه و طول رودخانه، مقدار بارندگی و رطوبت، شدت بارندگی و زمین‌لرزه را مورد استفاده قرار داده‌اند. در این مدل در یک شبکه‌بندی سلولی، پس از محاسبه امتیاز هر یک از عوامل ذکر شده، طبق رابطه‌ای جبری، امتیاز نهایی هر سلول از شبکه محاسبه می‌گردد. امتیاز دهی هر یک از عوامل ذکر شده بر اساس رده‌های مختلف طبقه‌بندی صورت می‌گیرد به این صورت که عامل سنگ شناسی به ده رده (رده اول سنگ‌های مقاوم در مقابل زمین‌لغزش و رده دهم سنگ‌های ضعیف در مقابل زمین‌لغزش)، زمین‌لرزه به شش رده و بقیه عوامل به پنج رده طبقه‌بندی می شوند. برای پهنه‌بندی نهایی خطر زمین‌لغزش، ضریب عوامل مؤثر در هر سلول شبکه تعیین و با استفاده از رابطه زیر، میزان خطر ناپایداری دامنه در هر شبکه تعیین می‌گردد.

رابطه (۱)

$$H_{Ls}=(C_L P_L)(C_I P_I)(C_F P_F)(C_R P_R)(C_H P_H)(C_P T_P+C_E T_E)$$

$H_{Ls}$: میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها، $P_L$: امتیاز استعداد عامل زمین شناسی، $P_I$: امتیاز استعداد عامل زاویه شیب، $P_F$: امتیاز استعداد عامل گسل، $P_R$: امتیاز استعداد عامل راه و رودخانه، $P_H$: امتیاز استعداد عامل میزان بارندگی و رطوبت، $T_P$: امتیاز استعداد عامل شدت بارندگی و $T_E$: امتیاز استعداد عامل زمین‌لرزه.

ضرایب C بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری می‌باشد که در جدول (۱) ارائه شده است.

**جدول ۱: مقادیر مربوط به ضرایب نسبی C**

| ضریب | CL | CI | CF | CR | CH | CP | CE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار | ۰/۷۵ | ۱ | ۰/۳۳ | ۰/۷۵ | ۱ | ۱ | ۲ |

پس از تعیین میزان خطر در هر سلول، نسبت به کلاسه‌بندی خطر زمین‌لغزش در هفت کلاس (کلاس یک بدون خطر و کلاس هفت خطر فوق العاده زیاد) مطابق جدول (۲) و تهیه نقشه کروپلت خطر زمین‌لغزش اقدام خواهد شد.

**جدول ۲: طبقه‌بندی میزان خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها در مدل حائری - سمیعی**

| امتیاز بدست آمده از رابطه خطر زمین‌لغزش | ۰ | ۱-۳۰ | ۳۱-۱۲۰ | ۱۲۱-۴۸۰ | ۴۸۱-۱۷۵۰ | ۱۷۵۰-۷۵۰۰ | ۷۵۰۰< |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رده | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ |
| میزان خطر | بدون خطر | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | فوق العاده زیاد |

## استعداد عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) ($P_L$)

در مدل حائری - سمیعی سازندهای زمین‌شناسی از نظر مقاومت به ۱۰ رده تقسیم‌بندی شده‌اند (جدول۳). در این جدول کلاس یک کمترین حساسیت و کلاس ۱۰ بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را خواهند داشت. در تحقیق حاضر،

امتیاز عامل زمین‌شناسی بر اساس جدول ۳ و اطلاعات موجود در منابع و مأخذ(؟؟؟؟) و همچنین بازدیدهای صحرایی نگارنده از بعضی بخش‌های استان صورت گرفته است.

**جدول ۳: رده‌بندی سنگ‌ها از نظر مقاومت در برابر زمین‌لغزش در مدل حائری - سمیعی**

| رتبه | نوع سنگ |
|---|---|
| ۱ | سنگ آهک توده‌ای، سنگ آهک ضخیم لایه، دولومیت توده‌ای، سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه، ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی با سیمان سیلیسی و درزهای کم، کنگلومرا با سیمان سیلیسی، مرمریت توده‌ای، مرمر ضخیم با درزهای کم، کوارتزیت |
| ۲ | سنگ آهک با لایه‌بندی متوسط، ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی، سنگ آهک دولومیتی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط، کوارتزیت، سنگ‌های آذرین |
| ۳ | سنگ آهک مارنی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی نازک لایه، ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط |
| ۴ | بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده، ماسه سنگ نازک لایه تا متوسط لایه دارای درزه، توف آهکی، ماسه سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف، سنگ آهک ماسه‌ای نازک لایه با درز، شیست و سنگ‌های دگرگون درزدار و لایه بندی شده ، سنگ‌های آذرین بیرونی با ایستادگی متوسط |
| ۵ | توف آندزیتی، توف آهکی هوازده، شیل آهکی |
| ۶ | مارن زغال دار، شیل آهکی هوازده، تناوب شیل و ماسه سنگ، تناوب شیل و لای سنگ، مارن گچ دار |
| ۷ | مارن، توف هوازده، گل سنگ، ماسه سنگ تکتونیزه و هوازده، زغال سنگ، شیل |
| ۸ | شیل و مارن هوازده |
| ۹ | آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی، رسوبات پر کننده دره‌ها مشتمل بر مارن و گچ |
| ۱۰ | آبرفت‌های جوان مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان، خاک‌های برجا، خاک‌های حاصل فرسایش سنگ بستر که بر اثر نیروی ثقل و عوامل جوی از ارتفاعات روی شیب حمل شده و روی هم انباشته شده‌اند |

## استعداد عامل زاویه شیب ($P_I$)

زاویه شیب از عوامل اصلی وقوع گسیختگی دامنه‌ها به شمار می‌رود. افزایش زاویه شیب، وضعیت تعادل مواد سازنده دامنه را بر هم می‌زند و موجب بالارفتن تنش‌های برشی در مواد دامنه‌ای می شود. برای تعیین استعداد عامل زاویه شیب ابتدا نقشه زاویه شیب در محیط نرم‌افزار Arc Map از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع[۱] (DEM) استان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و در اندازه سلول ۲۵۰*۲۵۰ متر تهیه شد، سپس بر اساس جدول مدل حائری - سمیعی (جدول ۴)، نقشه شیب به شش کلاس تفکیک شد و به هر یک از این شش کلاس مطابق جدول (۴) ضریبی اختصاص داده شد.

**جدول ۴: ضریب اثر زاویه شیب در افزایش ناپایداری دامنه‌ها**

| زاویه شیب (درجه) | <۵ | ۶-۱۵ | ۱۶-۲۵ | ۲۶-۳۵ | ۳۶-۴۵ | >۴۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تأثیر در ناپایداری | بدون تأثیر | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
| ضریب | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |

## استعداد عوامل ساختاری و طول گسل ($P_F$)

[۱] Digital Elevation Model

گسل‌ها از عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در توده‌های سنگی و خاکی هستند. درصد قابل ملاحظه‌ای از لغزش‌ها نزدیک گسل‌ها رخ می‌دهند که این امر حاکی از اهمیت این ساختار زمین‌شناسی در افزایش ناپایداری دامنه‌ها است. برای تعیین تأثیر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها و تعیین ضریب اثر آن در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، ابتدا نقشه رقومی گسل‌های استان تهیه و سپس طول گسل در هر سلول اندازه‌گیری و مطابق جدول (۵) ضریب اثر طول گسل تعیین شد.

**جدول ۵: ضریب اثر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در یک واحد شبکه به ابعاد ۲۵۰ متر**

| طول گسل (متر) | ۳۵> | ۳۵–۱۰۵ | ۱۰۵–۱۷۵ | ۱۷۵–۲۴۵ | ۲۴۵< |
|---|---|---|---|---|---|
| چگونگی تأثیر در ناپایداری دامنه | کم | نسبتاً کم | متوسط | نسبتاً زیاد | زیاد |
| ضریب PF | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |

## استعداد عوامل راه و رودخانه ($P_R$)

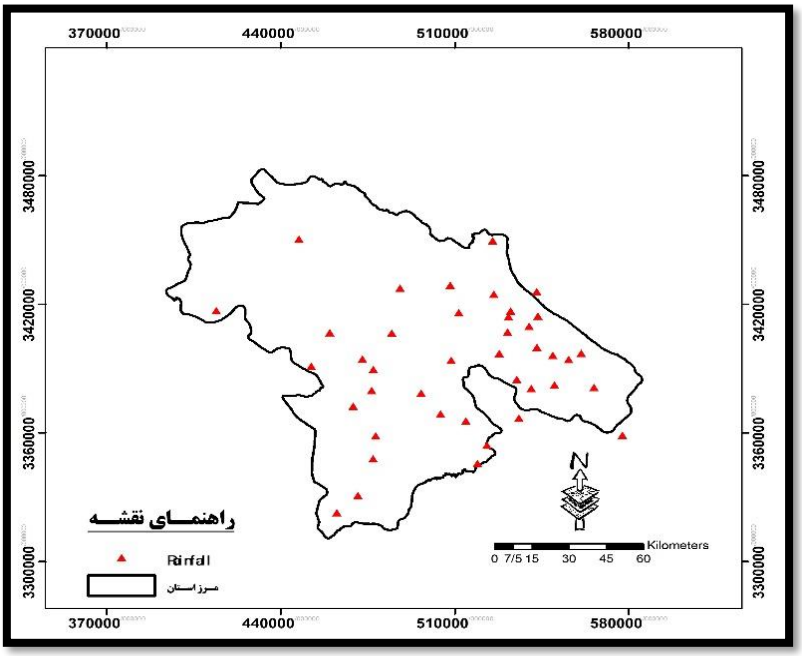
آب‌های جاری یکی از عوامل افزایش آمادگی لغزش در دامنه‌ها به شمار می‌روند. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها، حفر و فرسایش صورت می‌گیرد. احداث راه به طور عمده با کاهش دادن مقاومت برشی در برابر فشار برشی، باعث افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها می‌شود. عوارض خطی راه و رودخانه به طور عمده با کاهش مقاومت برشی در برابر حرکت مواد دامنه‌ای، سبب افزایش پتانسیل ناپایداری در دامنه‌ها می شوند. به همین دلیل مجموع طول رودخانه و راه در هر شبکه سلولی به عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها در نظر گرفته شده است. پس از اندازه‌گیری طول رودخانه و راه در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر مطابق جدول (۶)، ضریب این عامل در شبکه سلولی تعیین شد.

**جدول ۶:ضریب اثر طول رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها**

| طول رودخانه و راه در هر واحد شبکه (متر) | ۷۰> | ۷۰–۲۱۰ | ۲۱۰–۳۵۰ | ۳۵۰–۴۹۰ | ۴۹۰< |
|---|---|---|---|---|---|
| میزان تأثیر در ناپایداری | کم | نسبتاً کم | متوسط | نسبتاً زیاد | زیاد |
| ضریب PR | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |

## استعداد عامل میزان بارش ($P_H$)

برای محا سبه ضریب عامل میزان بارش، ابتدا میانگین بارندگی ماه‌های مختلف در ۴۱ ای ستگاه باران سنجی در ا ستان کهگیلویه و بویراحمد (شکل ۲) محاسبه و بر اساس جدول (۷)، ضریب بارندگی هر ماه در ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی تعیین شد. سپس نقشه ضریب بارندگی هر ماه با استفاده از روش میان‌یابی در استان تهیه شد. در ادامه ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه در ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی بر اساس جدول (۸) محاسبه و نقشه ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه با استفاده از روش میان‌یابی در استان تهیه شد.




**شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در استان کهگلویه و بویراحمد**

**جدول ۷: رده‌بندی میانگین بارندگی ماهانه**

| میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر در ماه) | ۰–۴۹ | ۵۰–۹۹ | ۱۰۰–۱۴۹ | ۱۵۰–۱۹۹ | ۲۰۰< |
|---|---|---|---|---|---|
| ضریب بارندگی ماهانه | ۰ | ۰/۵ | ۱ | ۱/۵ | ۲ |

**جدول ۸: تأثیر میزان تجمعی میانگین بارندگی ماهانه در ناپایداری دامنه‌ها**

| ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه | ۰–۳ | ۳–۶/۵ | ۶–۹/۵ | ۹–۱۲/۵ | ۱۲< |
|---|---|---|---|---|---|
| تأثیر در ناپایداری | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
| ضریب PH | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |

## استعداد عامل شدت بارندگی ($T_P$)

بر اساس جدول (۹)، برای تعیین ضریب شدت بارندگی به حداکثر بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال نیاز است.

**جدول ۹: چگونگی تأثیر شدت بارش در ناپایداری دامنه‌ها**

| ضریب | چگونگی تأثیر بر ناپایداری دامنه‌ها | حداکثر بارندگی- n>10 میانگین (میلی متر) | حداکثر بارندگی- n>10 دوره بازگشت ۱۰۰ سال (میلی‌متر) |
|---|---|---|---|
| ۱ | خیلی کم | ۳۰< | ۶۰< |
| ۲ | کم | ۳۰–۵۵ | ۶۱–۱۲۰ |
| ۳ | متوسط | ۵۶–۸۰ | ۱۲۱–۱۸۰ |
| ۴ | زیاد | ۸۱–۱۰۵ | ۱۸۱–۲۴۰ |
| ۵ | خیلی زیاد | ۱۰۵> | ۲۴۱< |

ابتدا یک دوره آماری م شترک ۳۰ ساله بین ای ستگاه‌های باران سنجی ن شان داده شده در شکل (۲) انتخاب و پس از باز سازی آمار بارندگی ایستگاه‌های دارای آمار ناقص با ا ستفاده روش نزدیک‌ترین هم‌سایه [۱]، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در سال‌های مختلف در هر ای ستگاه محا سبه شد. سپس میانگین ۳۰ ساله حدکثر بارندگی ۲۴ ساعته در هر ای ستگاه محاسبه شد. داده‌های میانگین ۳۰ ساله حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در هر ایستگاه با توزیع‌های مختلف آماری در نرم‌افزار Easy Fit برازش داده شد و بر اساس دو آماره Kolmogorov Smirnov و Anderson Darling ، مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب گردید. پس از استخراج پارامترهای مناسب‌ترین توزیع آماری برازش یافته، حداکثر بارندگی در دوره بازگشت ۱۰۰ سال محاسبه گردید. با استفاده از روش میان‌یابی، نقشه حداکثر بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در استان تهیه و سپس مطابق جدول (۹)، در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، ضریب این عامل در هر سلول شبکه تعیین شد.

## استعداد عامل شدت زمین‌لرزه ($T_E$)

پس از تهیه نقشه شدت زمین‌لرزه در استان کهگیلویه و بویراحمد (بر اساس نقشه حاصل از مطالعه تحقیقاتی پورکرمانی و عزیزی، ۱۳۹۲) در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر و مطابق جدول (۱۰)، ضریب این عامل در هر سلول شبکه تعیین شد.

**جدول۱۰: تأثیر شدت لرزه در مقیاس مرکالی به عنوان یک عامل محرک در ایجاد زمین‌لغزش**

| ضریب | حساسیت | شدت‌ها (میلی‌متر) |
|---|---|---|
| ۱ | ناچیز | III |
| ۲ | خیلی کم | IV |
| ۳ | کم | V |
| ۴ | ملایم | VI |
| ۵ | متوسط | VII |
| ۶ | قابل توجه | VIII |
| ۷ | زیاد | IX |
| ۸ | قوی | X |
| ۹ | خیلی قوی | XI |
| ۱۰ | بی نهایت قوی | XII |

## تهیه نقشه واقعی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

یکی از مهمترین مراحل ارزیابی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه می‌باشد. بدین منظور ابتدا با بررسی دقیق تصاویر Google Earth محدوده‌هایی از استان که انتظار می‌رفت پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در آنها بیشتر باشد، مشخص گردید. سپس طی عملیات گسترده میدانی مختصات جغرافیایی زمین‌لغزش‌های مشاهده شده ثبت و از آنها عکس تهیه گردید. در مرحله بعد با تهیه Shape file نقطه‌ای مختصات لغزش‌ها در محیط نرم‌افزار Arc Map، فایل KML آنها تهیه و در روی تصاویر Googel Earth محل لغزش‌ها شناسایی و محدوده مربوط به هر کدام به صورت یک فایل پلی‌گونی تهیه و به محیط نرم‌افزار Arc Map منتقل و به این ترتیب نقشه رقومی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان تهیه گردید. در واقع در این مطالعه فقط لغزش‌های انتقالی که قابل تشخیص بر

[۱] Nearest Neighbour

روی تصاویر Google Earth بودند، شناسایی شدند و از پرداختن به سایر حرکت‌های توده‌ای مثل ریزش‌ها و غیره صرفنظر شده است.

## ارزیابی کارایی و صحت سنجی مدل پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شاخص‌های Dr و Qs

نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش را می‌توان از روش‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار داد. یکی از روش‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بازدید از منطقه در چند سال بعد و مشاهده لغزش‌هایی است که به تازگی در منطقه رخ داده است. این روش زمان‌بر بوده و عموماً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (قجر و نجفی، ۱۳۹۳). روش دوم، روی‌هم اندازی نقشه پراکنش لغزش‌ها با نقشه پهنه‌بندی است که مشخص می شود چه تعداد از لغزش‌ها در پهنه‌های مختلف قرار می‌گیرد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱) و در نهایت برای ارزیابی صحت و دقت پیش‌بینی مدل‌ها با داده‌های واقعیت زمینی می‌توان از پارامترهای اریب سنجی[۱]، خطا سنجی[۲] و کارایی مدل[۳] استفاده کرد (صادقی، ۱۳۹۳). از شاخص نسبت تراکم[۴] (Dr) (فیض‌نیا، ۱۳۸۳) به عنوان شاخص دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر و از شاخص جمع مطلوبیت[۵] (Qs) (فیض‌نیا، ۱۳۸۳) برای ارزیابی تفکیک کلاسه‌های خطر استفاده می‌شود. هر چه شاخص نسبت تراکم بیشتر باشد نشان دهنده این است که مدل در آن کلاس در پیش‌بینی خطر بهتر عمل کرده است. مقدار شاخص مطلوبیت نشان دهنده مطلوبیت عملکرد مدل در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در دامنه صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگر چه از لحاظ تئوریک حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی مدل‌ها هر چه مقدار شاخص جمع مطلوبیت بیشتر باشد، روش از مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است.

رابطه (۲)

$$Dr = \frac{Si/Ai}{\sum_1^n Si / \sum_1^n Ai} * 100$$

رابطه (۳)

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} \left[ (Dr - 1)^2 \times area \right]$$

Dr : تراکم لغزش در هر کلاس خطر، Ai : مساحت هر کلاس خطر، Si : مساحت زمین لغزش‌ها در هر کلاس خطر، n : تعداد کلاس‌های خطر، Qs: شاخص جمع مطلوبیت و area: نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه است.

## نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نقشه‌های مورد نیاز و اطلاعات هر یک از آنها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش حائری- سمیعی ارائه خواهد شد و سپس متناسب با کلاس خطر، برنامه مدیریتی مناسب ارائه خواهد شد.

### نقشه پارامترهای مدل حائری- سمیعی

در جدول (۱۱) تفکیک سنگ‌های مختلف نسبت به وقوع زمین‌لغرش در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است. در شکل (۳) نیز نقشه عامل زمین‌شناسی ($P_L$) در مدل حائری – سمیعی ارائه شده است.

---

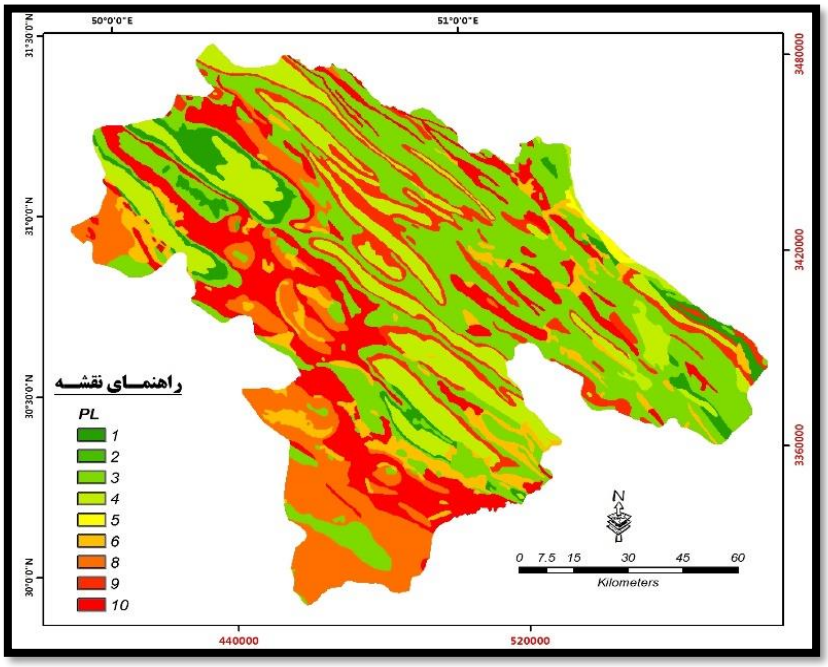
[۱] Bias Assessment

[۲] Error Assessment

[۳] Performance Assessment

[۴] Density Ratio

[۵] Sum of Quality




**شکل ۳: نقشه عامل زمین‌شناسی ($P_L$) در مدل حائری- سمیعی**

چنانچه در شکل (۳) م شاهده می شود، در مدل حائری – سمیعی واحدهای سنگ شنا سی از نظر ح سا سیت به وقوع زمین‌لغزش به ۱۰ کلاس تفکیک می‌شـــوند که با افزایش کلاس، وقوع خطر زمین‌لغزش بیشـــتر خواهد بود. در اســـتان کهگیلویه و بویراحمد سازند کژدمی (سبز پر رنگ) و گچساران (قرمز پر رنگ) به ترتیب کمترین و بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را دارند. ســـایر ســـازندهای حســـاس به وقوع زمین‌لغزش در اســـتان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب سازندهای پابده، گورپی، میشان و آغاجاری هستند.

**جدول ۱۱: رده‌بندی امتیاز جنس سنگ‌های مختلف نسبت به وقوع زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| PL | سازند زمین | جنس سنگ | علامت اختصاری |
|---|---|---|---|
| ۱ | کژدمی | آهک فسیلی متوسط لایه تا توده‌ای خاکستری و قهوه‌ای | KEpd-gu |
| | جهرم | دولومیت توده‌ای هوازده قهوه‌ای و خاکستری، دولومیت توده‌ای نازک تا متوسط لایه با هوازدگی کم، آهک دولومیتی | Eja |
| | | آهک توده‌ای تا نازک لایه | K1l |
| ۲ | | کنگلومرا و ماسه سنگ | Plc |
| | تاربور | سنگ آهک انیدریتی، توده‌ای، صدفی و صخره‌ای | Ktb |
| ۳ | بختیاری | تناوب کنگلومرای سخت و تحکیم یافته و ماسه سنگ لایه‌ای با هوازدگی کم | Plbk |
| | | سنگ نمک، گچ و قطعاتی از مواد رسی از قبیل آهک چرتی، دولومیت چرتی قهوه‌ای، ماسه | pC-Ch |
| ۴ | خانه کت | دولومیت خاکستری تیره نازک تا متوسط لایه، دولومیت نازک لایه، شیل سبز و | TRkk-nz |

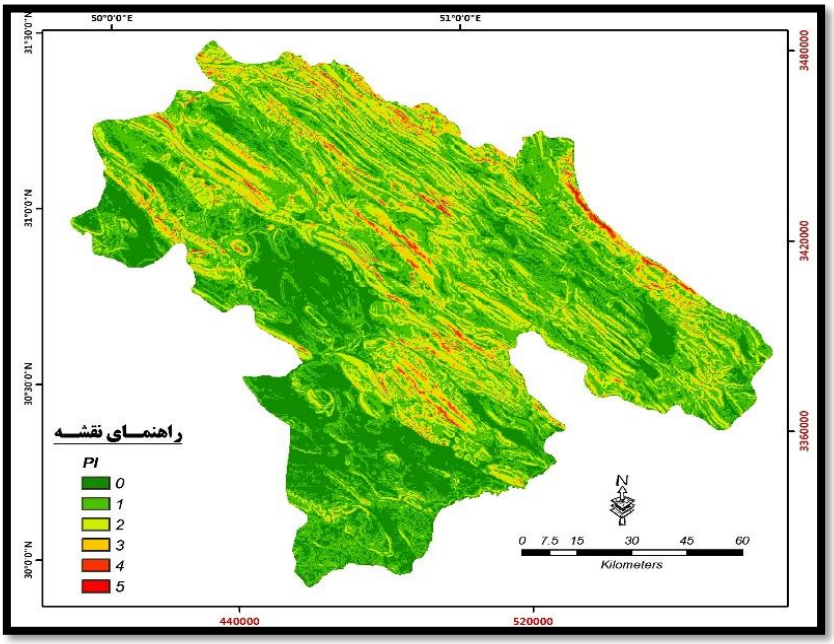
| | | | |
|---|---|---|---|
| | آسماری | سنگ آهک کرم تا قهوه‌ای هوازده، اتصالات خوب و بین لایه‌های شیل | OMas |
| | | سازند آسماری و جهرم تفکیک نشده | EOas-ja |
| | | گروه بنگستان تفکیک نشده، عمدتاً آهک و شیل، متشکل از سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه | Kbgp |
| | | گروه تفکیک نشده خامی، متشکل از آهک نازک لایه متراکم، شامل سازندهای سورمه، انیدریت، | JKkgp |
| | فهلیان – داریان | آهک توده‌ای االیتی، قهوه‌ای تا خاکستری، تناوب آهک و مارن و آهک توده‌ای ضخیم لایه | Kda-fa |
| ۵ | ساچون | سنگ مارن قرمز کم رنگ، آهک، گچ و دولومیت | PeEsa |
| ۶ | | مخروط افکنه‌ها دشت‌های پایینی و نهشته‌های تراس‌های دره‌ای | Qft2 |
| | | کنگلومرای آبرفتی و ماسه سنگ و کنگلومرای کوهپایه‌ای | PlQc |
| ۷ | | | |
| ۸ | آغاجاری | ماسه سنگ قهوه‌ای تا خاکستری آهکی با هوازدگی کم، رگه‌های گچی، مارن قرمز و سیلت سنگ | MuPlaj |
| | میشان | مارن خاکستری با هوازدگی کم متناوب با نوارهایی از آهک شیلی مقاوم‌تر | Mmn |
| ۹ | گورپی | مارن خاکستری مایل به آبی و شیل با بین لایه‌های نازک آهک رسی | Kgu |
| | پابده | شیل آبی و بنفش و مارن با بین لایه‌های آهک رسی | PeEpd |
| ۱۰ | گچساران | انیدریت، نمک، مارن قرمز و خاکستری متناوب با انیدریت، سنگ آهک رسی و | Mgs |

در جدول (۱۲) کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل زمین‌شناسی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۲: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ عامل زمین‌شناسی در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|
| ۱ | ۶۸۴/۸۷ | ۴/۴ |
| ۲ | ۳/۸۱ | ۰/۰۲ |
| ۳ | ۵۴۹۶/۰۶ | ۳۵/۴۴ |
| ۴ | ۲۳۱۱/۵۶ | ۱۴/۹ |
| ۵ | ۵۱/۸۱ | ۰/۳۳ |
| ۶ | ۱۰۶۷/۸۱ | ۶/۸۸ |
| ۸ | ۱۹۸۹/۲۵ | ۱۲/۸۲ |
| ۹ | ۱۳۰۳/۵ | ۸/۴ |
| ۱۰ | ۲۵۹۷/۴۳ | ۱۶/۷۵ |
| مجموع | ۱۵۴۹۸/۷۸ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۲) م شاهده می شود، حدود ۴۰ در صد ا ستان کهگیلویه و بویراحمد از نظر زمین شنا سی ح سا سیت بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد که عمدتاً شامل سازندهای گچساران، آغاجاری، میشان، پابده و گورپی ا ست. در شکل (۴) نقشه عامل زاویه شیب (PI) در مدل حائری – سمیعی نشادن داده شده است.



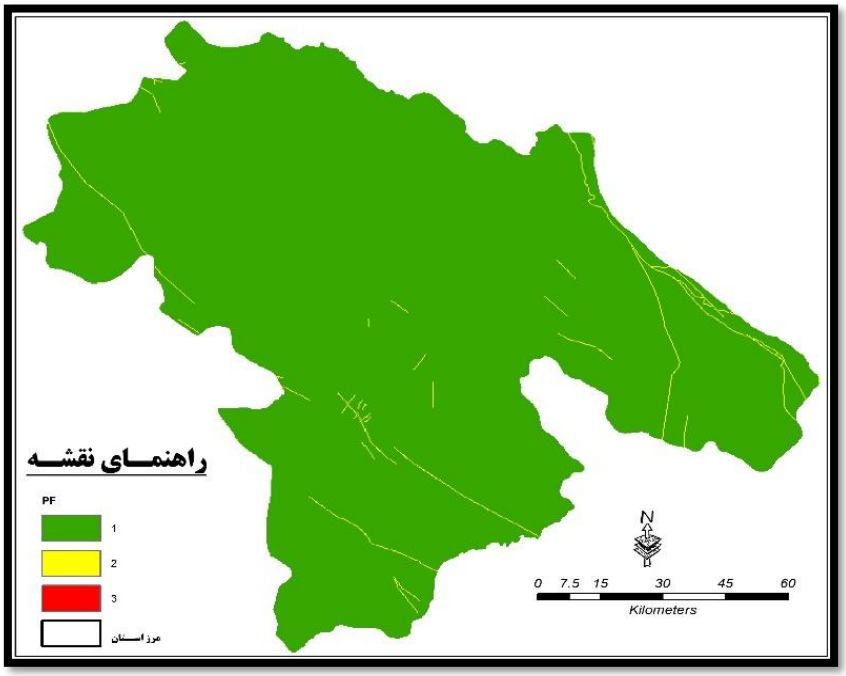

**شکل ۴: نقشه عامل زاویه شیب (PI) در مدل حائری- سمیعی**

در شکل (۴) ضریب تأثیر زاویه شیب در ناپایداری دامنه‌ها در ا ستان کهگیلویه و بویر احمد از صفر (بدون تأثیر) تا پنج (تأثیر خیلی زیاد) است. چنانچه در شکل (۴) مشاهده می‌شود، زاویه شیب در بخش‌های کمی از استان کهگیلویه و بویراحمد تأثیر زیاد و خیلی زیادی در ناپایداری دامنه‌ها دارد و در عمده م ساحت ا ستان نقش شیب در ناپایداری دامنه‌ها کم و یا خیلی کم است. در جدول (۱۳) کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل شیب در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۳: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ شیب در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۰ | بدون تأثیر | ۴۰۸۲/۱۲ | ۲۶/۳۳ |
| ۱ | خیلی کم | ۶۵۲۰/۹۳ | ۴۲/۰۷ |
| ۲ | کم | ۳۴۳۶/۸۷ | ۲۲/۱۷ |
| ۳ | متوسط | ۱۲۳۸/۵۶ | ۸ |
| ۴ | زیاد | ۲۰۵/۷۵ | ۱/۳۲ |
| ۵ | خیلی زیاد | ۱۴/۲۵ | ۰/۰۹ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۴ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۳) مشاهده می شود، حدود ۹۸ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر شیب حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شکل (۵) نقشه عامل گسل (PF) در مدل حائری – سمیعی نشادن داده شده است.



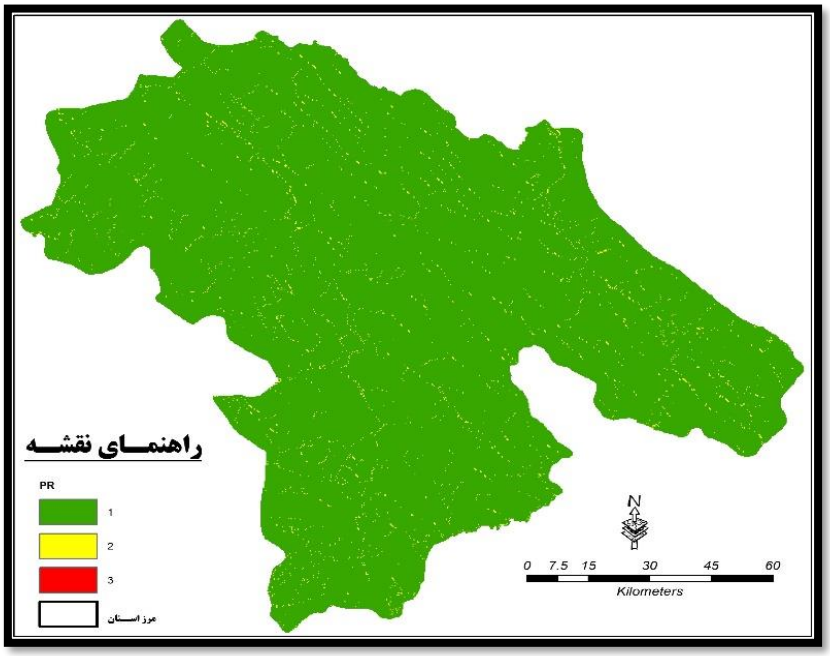

**شکل ۵: نقشه عامل گسل (PF) در مدل حائری – سمیعی**

چنانچه در شکل (۵) مشخص است، تأثیر عامل گسل در وقوع زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد قابل توجه نیست. در جدول (۱۴) کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل گسل در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول :۴-کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ گسل در استان کهگیلوبه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۱ | کم | ۱۵۴۱۸/۶۲ | ۹۹/۲۴ |
| ۲ | نسبتاً کم | ۱۱۶ | ۰/۷۴ |
| ۳ | متوسط | ۰/۶۲ | ۰/۰۰۰۳ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۷۸ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۴) مشاهده می‌شود، حدود ۹۹ درصد استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر گسل حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شکل (۶) نقشه عامل راه و رودخانه ($P_R$) در مدل حائری– سمیعی نشادن داده شده است.



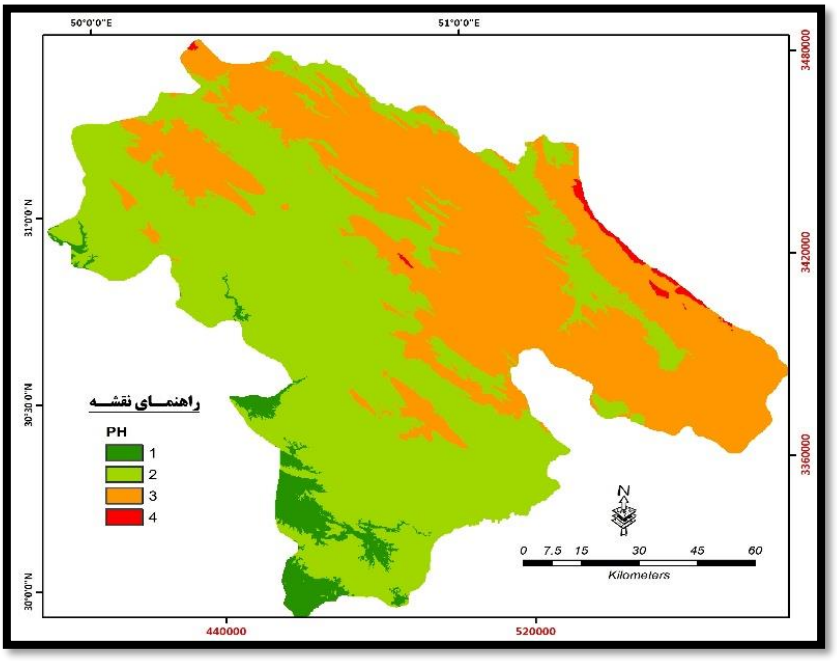

**شکل ۶: نقشه عامل راه و رودخانه ($P_R$) در مدل حائری- سمیعی**

چنانچه در شکل (۶) م شخص ا ست، طول رودخانه و راه در ا ستان کهگیلویه و بویراحمد در هر واحد شبکه ۲۵۰*۲۵۰ متر، ۲۱۰ تا ۳۵۰ متر ا ست و میزان تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها متو سط ا ست. در جدول (۱۵) کلاس‌های حسا سیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل طول راه و رودخانه در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول۵ : کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ راه و رودخانه در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۱ | کم | ۱۵۳۱۱/۲۵ | ۹۸/۵۵ |
| ۲ | نسبتاً کم | ۲۲۳/۳۷ | ۱/۴۳ |
| ۳ | متوسط | ۰/۶۲ | ۰/۰۰۰۳ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۷۸ | |

چنانچه در جدول (۱۵) مشاهده می‌شود، حدود ۹۸ درصد استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر طول راه و رودخانه حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شکل (۷) نقشه عامل میزان بارش ($P_H$) در مدل حائری – سمیعی نشادن داده شده است.



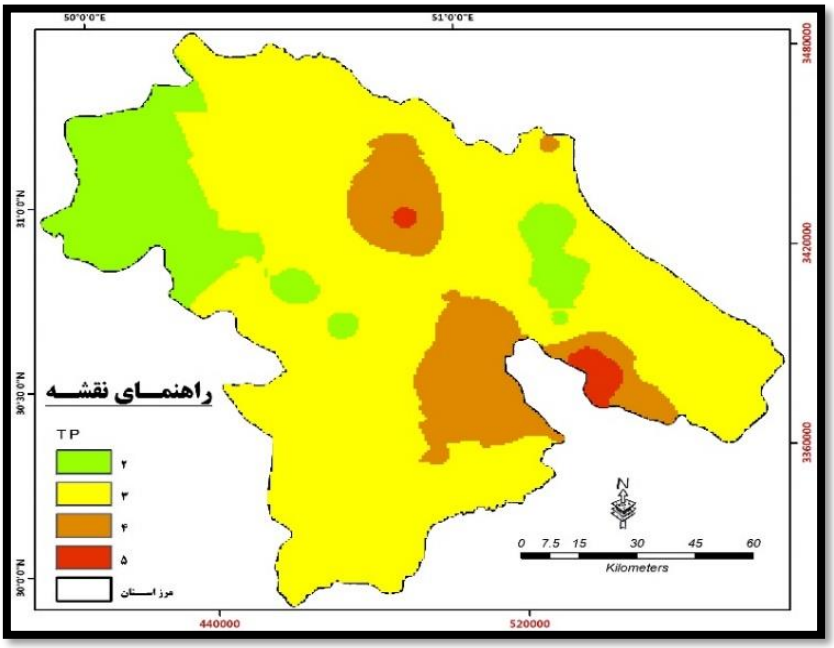

**شکل ۷: نقشه عامل میزان بارش (PH) در مدل حائری - سمیعی**

در شکل (۷) ضریب تأثیر عامل میزان بارش در ناپایداری دامنه‌ها در استان کهگیلویه و بویراحمد از یک (تأثیر خیلی کم) تا چهار (تأثیر زیاد) اســت. به طوری که میزان بارش در بخش ســردســیری اســتان کهگیلویه و بویراحمد تأثیر زیادی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. در جدول (۱۶) کلاس‌های حســاســیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان بارش در اســتان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۶:کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ میزان بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۱ | خیلی کم | ۶۰۵/۶۸ | ۳/۹ |
| ۲ | کم | ۸۴۷۷/۵۶ | ۵۴/۷ |
| ۳ | متوسط | ۶۳۳۲/۶۱ | ۴۰/۸۵ |
| ۴ | زیاد | ۸۲/۹۳ | ۰/۵۳ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۷۸ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۶) مشاهده می‌شود، حدود ۹۵ درصد استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر میزان بارش حساسیت کم تا متوســطی نســبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شــکل (۸) نقشــه عامل میزان شــدت باران ($T_P$) در اســتان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.



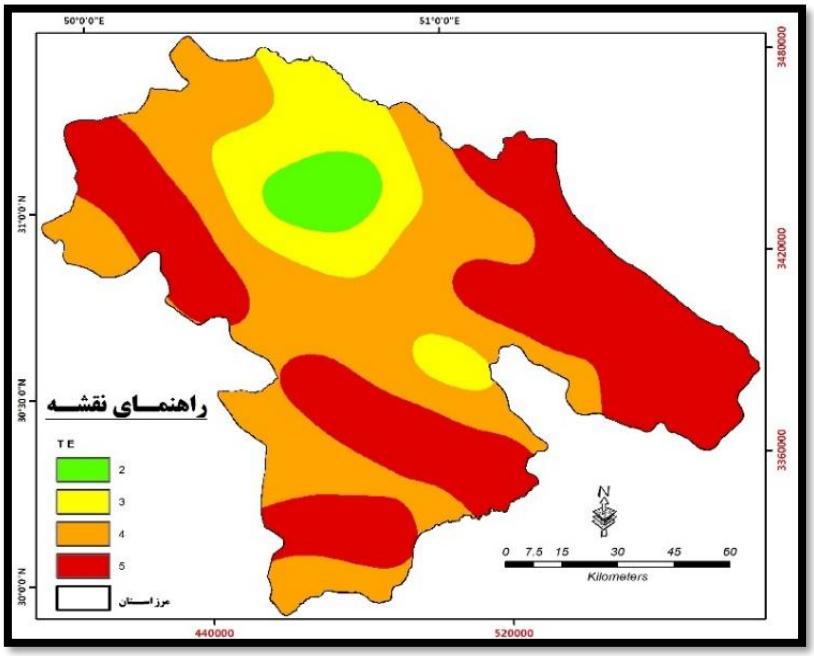

**شکل ۸: نقشه عامل شدت بارش (TP) در مدل حائری - سمیعی**

چنانچه در شکل (۸) م شاهده می شود، بخش کمی از ا ستان کهگیلویه و بویراحمد در محدوده شدت زیاد و خیلی زیاد بارش از نظر وقوع زمین‌لغزش است و حداکثر بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در بخش بسیار زیادی از استان کمتر از ۱۲۰ میلی‌متر اســت. در جدول (۱۷) کلاس‌های حســاســیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل شــدت بارش در اســتان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۷: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ شدت بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۲ | کم | ۳۰۲/۱۲ | ۲/۱۷ |
| ۳ | متوسط | ۱۳۳۰۸/۰۶ | ۹۵/۸۱ |
| ۴ | زیاد | ۲۵۶/۲۵ | ۱/۸۴ |
| ۵ | خیلی زیاد | ۲۲/۳۱ | ۰/۱۶ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۷۸ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۷) مشاهده می‌شود، حدود ۹۸ درصد استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر شدت بارش حساسیت کم تا متوسطی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شکل (۹) نقشه عامل میزان زمین‌لرزه ($T_E$) در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.



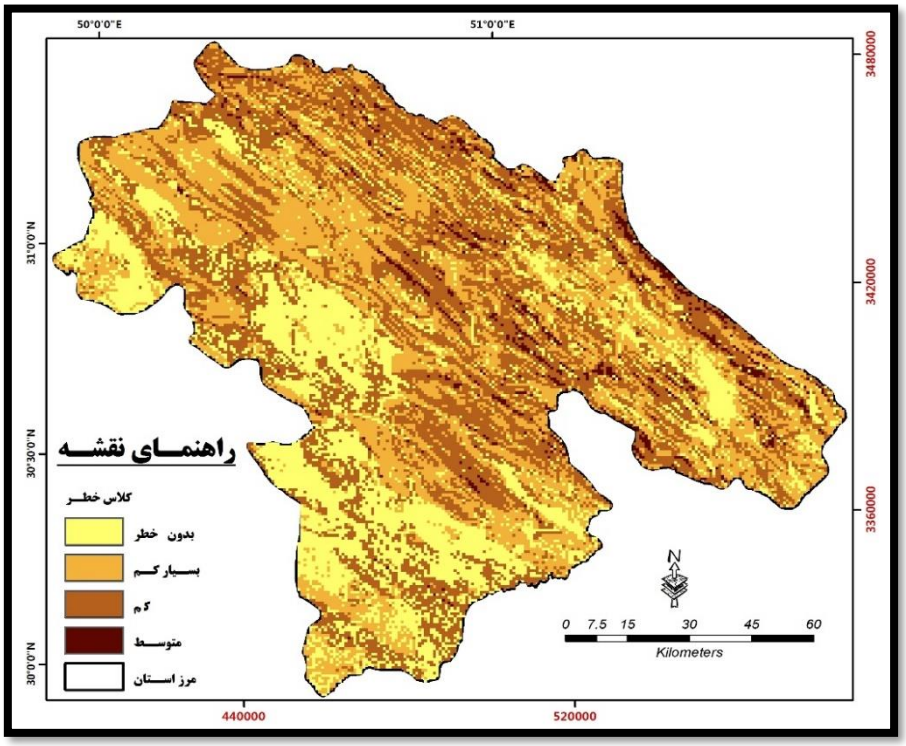

**شکل ۹: نقشه عامل میزان زمین‌لرزه (TE) در مدل حائری – سمیعی**

چنانچه در شکل (۹) مشاهده می شود، ضریب تأثیر عامل زمین‌لرزه در استان کهگیلویه و بویراحمد از خیلی کم (کلاس ۲) تا متوسط (کلاس ۵) است. کلاس متوسط عمدتاً در امتداد گسل‌های معروف استان است. در جدول (۱۸) کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان زمین‌لرزه در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۸: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان زمین‌لرزه در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| کلاس | تأثیر در ناپایداری | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۲ | خیلی کم | ۵۶۵ | ۳/۶۴ |
| ۳ | کم | ۲۱۳۴/۶ | ۱۳/۷۷ |
| ۴ | ملایم | ۶۵۶۶/۳ | ۴۲/۳۶ |
| ۵ | متوسط | ۶۲۳۲/۸۸ | ۴۰/۲۱ |
| مجموع | | ۱۵۴۹۸/۷۸ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۸) مشاهده می شود، حدود ۴۰ درصد استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر عامل زمین‌لرزه حساسیت متوسطی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. در شکل (۱۰) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش حائری – سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.



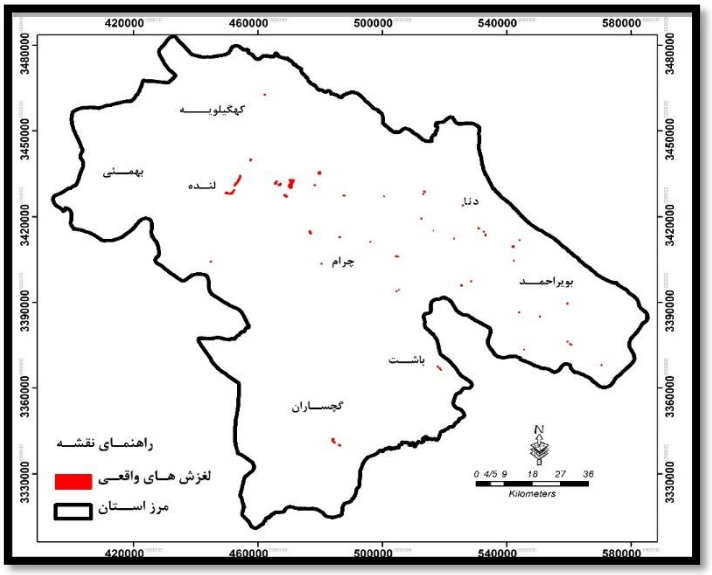

**شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل حائری - سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد**

چنانچه در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود فقط در بخش‌های کمی از مناطق سردسیری استان کهگیلویه و بویراحمد پتانسیل خطر زمین‌لغزش در کلاس متوسط قرار دارد و در سایر بخش‌های استان کلاس خطر بسیار کم و کم برآورد کرده است. عمده مناطق گرمسیری استان در کلاس بدون خطر قرار دارند. در جدول (۱۹) مساحت کلاس‌های خطر وقوع زمین‌لغزش بر اساس مدل حائری – سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۱۹: درصد مساحت کلاس‌های خطر زمین‌لغزش مدل حائری-سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| ردیف | کلاس خطر | مساحت (هکتار) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۱ | بدون خطر | ۴۰۶۹۲۹ | ۲۶/۳ |
| ۲ | بسیار کم | ۵۲۲۲۷۱ | ۳۳/۸ |
| ۳ | کم | ۵۷۰۵۹۹/۵ | ۳۶/۹ |
| ۴ | متوسط | ۴۵۳۴۹ | ۲/۹ |
| مساحت کل | | ۱۵۴۵۱۴۸/۵ | ۱۰۰ |

چنانچه در جدول (۱۹) مشاهده می‌شود، نقشه خطر زمین‌لغزش در ۴ کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط به ترتیب با توزیع مساحت ۲۶/۳، ۳۳/۸، ۳۶/۹ و ۳ درصد تهیه شد. به عبارتی دیگر حدود ۹۸ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد در کلاس‌های بدون خطر تا خطر کم وقوع زمین‌لغزش قرار دارد. در شکل (۱۱) نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.




**شکل ۱۱: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی استان کهگیلویه و بویراحمد**

با پیمایش‌های صحرایی گسترده تعداد ۶۸ زمین‌لغزش در مناطق مختلف استان کهگیلویه و بویراحمد شناسایی گردید که مشخصات آماری آنها در جدول (۲۰) ارائه شده است.

**جدول ۲۰: مشخصات آماری زمین‌لغزش‌های واقعی در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| تعداد زمین‌لغزش | حداقل مساحت (هکتار) | حداکثر مساحت (هکتار) | میانگین مساحت (هکتار) |
|---|---|---|---|
| ۶۸ | ۰/۴ | ۲۱۲/۲ | ۷/۶ |

## نتایج ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

از انطباق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بدست آمده توسط مدل حائری- سمیعی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های واقعی استان کهگیلویه و بویراحمد کارایی نقشه خطر زمین‌لغزش ارزیابی شد. در جدول (۲۱) نتایج شاخص‌های ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل حائری-سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شده است.

**جدول ۲۱: نتایج شاخص‌های ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل حائری- سمیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد**

| ردیف | کلاس خطر | مساحت (هکتار) Ai | درصد مساحت | مساحت لغزش در کلاس (هکتار) Si | area | Dr | Qs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | بدون خطر | ۴۰۶۹۲۹ | ۲۶/۳ | ۴/۷ | ۰/۲۶ | ۰/۰۳۵ | ۰/۶۶ |
| ۲ | بسیار کم | ۵۲۲۲۷۱ | ۳۳/۸ | ۳۵۹ | ۰/۳۳ | ۲/۰۸ | |
| ۳ | کم | ۵۷۰۵۹۹/۵ | ۳۶/۹ | ۱۴۶/۸ | ۰/۳۶ | ۰/۷۸ | |
| ۴ | متوسط | ۴۵۳۴۹ | ۲/۹ | ۴/۱ | ۰/۰۳ | ۰/۲۷ | |
| مساحت کل | | ۱۵۴۵۱۴۸/۵ | ۱۰۰ | ۵۱۷/۵ | | | |

با توجه به جدول (۲۱)، نتایج ارزیابی کارایی مدل حائری – سمیعی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که مدل توانسته است پهنه‌های خطر زمین‌لغزش را به خوبی از هم تفکیک کند و در کلاس خطر بسیار کم از دقت بیشتری برخوردار است.

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که فقط از لحاظ عامل زمین‌شناسی حدود ۴۰ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد حساسیت بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد، در صورتی که از لحاظ سایر عوامل شامل زاویه شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین‌لرزه، حدود ۹۵ درصد مساحت استان کهگیلویه و بویراحمد حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. خطر زمین‌لغزش در ۴ کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط به ترتیب دارای توزیع مساحت ۲۶/۳، ۳۳/۸، ۳۶/۹ و ۲ درصد است. در ارتباط با ارزیابی کارایی مدل با استفاده از شاخص نسبت دانسیته، مدل توانسته است پهنه‌های خطر زمین‌لغزش را به خوبی از هم تفکیک کند و در کلاس خطر بسیار کم از دقت بیشتری برخوردار است. بر اساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی، می‌توان گفت که وقوع خطر زمین‌لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد در وضعیت فعلی تقریباً بسیار ناچیز است و صرفاً می‌توان با برنامه‌های مدیریتی کنترل خطر یا اصل پیشگیری، از وقوع زمین‌لغزش‌ها در استان در آینده جلوگیری کرد. معمولاً پس از وقوع هر بلای طبیعی، گروه‌های زیادی هیجان زده شده و به بررسی موضوع می‌پردازند و پس از چندی تب و تاب آنان فرو نشسته و همه چیز فراموش می شود. در توسعه پایدار اینگونه برخوردهای مقطعی و احساساتی با مسئله به جای راه‌حل‌های اصولی، قطعاً جایگاه مناسبی نخواهد داشت. با وجود سابقه چند ساله بحث مدیریت خطر یا بحران در محافل علمی کشور، هنوز برنامه‌ریزی مناسبی جهت برخورد صحیح با بلایای طبیعی ارائه نگردیده است. زمین‌لغزش‌های متعددی که در اثر اقدامات غیر اصولی فرآیند توسعه رخ داده‌اند، شاهدی هستند بر این مسئله که در بسیاری از طرح‌های توسعه، ناپایداری دامنه مورد توجه قرار نگرفته است. در مطالعه جهت مبارزه اصولی با زمین‌لغزش‌ها باید شیوه مدیریتی مناسبی را انتخاب نمود. مطالعات انجام شده حاکی از آنست که در کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا و ژاپن، برای کاهش خطر زمین‌لغزش بیشتر از شیوه‌های پیشگیری استفاده می‌کنند تا شیوه‌های درمان و در نتیجه چارچوب مدیریت خطر زمین‌لغزش را در این کشورها، قوانین و دستورالعمل‌های کاربری اراضی و برنامه‌های آموزش به عموم تشکیل می‌دهند. اما در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، روش‌های درمانی اساس برنامه‌های مدیریت کاهش خطر زمین‌لغزش را تشکیل می‌دهند. عملکرد گذشته در کشور ایران نشان از برخورد مکانیکی با این پدیده دارد، اما تخریب بسیاری از ابنیه‌های فنی ثابت می‌کند که جهت مقابله با خطر زمین‌لغزش باید از یک دیدگاه جامع مدیریتی آن را کنترل نمود. عدم وجود برنامه‌های از پیش تعیین شده در مورد مسئولیت ارگان‌های اجرایی و هماهنگ نبودن فعالیت ارگان‌ها، مشکلی است که معمولاً باعث افزایش پیامدهای سوء بلایای طبیعی شده است. بنابراین بدیهی است که برای برخورد با بلایای طبیعی باید مدیریتی جامع را اعمال نمود که منظور از آن اتخاذ تدابیر و انجام فعالیت‌هایی است که موجب پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارات وارده می‌گردد. این مدیریت جامع می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای زیان‌های ناشی از بلایای طبیعی را به حداقل برساند. به طور کلی جهت مدیریت خطر زمین‌لغزش باید دو جزء ابزار مدیریت و شیوه مدیریت را در نظر داشت. تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر، کسب و استفاده از فنون لازم و آموزش و ترویج را می‌توان به عنوان ابزار مدیریت و موضوعات اجتناب از خطر، کنترل و کاهش خطر در مناطق مستعد لغزش را می‌توان به عنوان شیوه‌های مدیریت در نظر گرفت.

**تشکر و قدردانی**

این پژوهش با حمایت مالی سازمان راه و شهرسازی استان کهگیلویه و بویراحمد و بویژه همکاری و مساعدت جناب آقای مهندس اشرف زاده مسئول امور پژوهشی و جناب آقای مهندس مهرابی رئیس اداره مدیریت بحران و پدافند غیرعامل آن سازمان انجام گرفته است.

**منابع**

- پورکرمانی، محسن و عزیزی، احسان. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در استان کهگیلویه و بویراحمد و تهیه نقشه هم‌شتاب زمین‌لرزه. طرح پژوهشی سازمان راه و شهرسازی استان کهگیلویه و بویراحمد.
- حائری، محسن و سمیعی، امیر حسن. ۱۳۷۶. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، سال ۶، شماره ۲۳، صص ۲ – ۱۶.
- رسایی، آرمان؛ خسروی، خه بات؛ حبیب نژاد روشن، محمود، ارکان، حیدری و آرمین، مشایخان. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل رگرسیون چند متغیره در محیط $GIS$ مطالعه موردی: حوزه آق مشهد، استان مازندران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۶، شماره ۱۲.
- شریعت جعفری، محسن. ۱۳۷۵. مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی، انتشارات سازه، ۲۱۸ صفحه.
- صادقی، محمد معین. ۱۳۹۳. ارزیابی مدل $SprarseGash$ در برآورد باران‌ربایی توده‌های دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای در اقلیم نیمه‌خشک (مطالعه موردی: پارک جنگلی چیتگر)، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج. ۱۲۳ ص.
- عابدینی، موسی و یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از مدل فازی. فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۱، صفحات ۱۴۵– ۱۵۵.
- فیض نیا، سادات؛ کلارستاقی، عطاء الله؛ احمدی، حسن و صفایی، مهرداد. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین رود– سد تجن). مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱. صفحات ۳ – ۲۰.
- قجر، اسماعیل و نجفی، اکبر. ۱۳۹۳. مدل سازی و پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش مناطق جنگلی به منظور طراحی مسیر جاده جنگلی با استفاده از سامانه استنتاج عصبی– فازی تطبیقی. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۲، شماره ۳، صفحات ۵۰۹–۵۲۶.
- مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید و پورقاسمی، حمیدرضا. ۱۳۹۱. حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش. انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران، ۲۲۴ ص.
- مصفایی، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور و شریعت جعفری، محسن. ۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، دوره ۱۶، صفحات ۴۳ – ۶۱.
- *Kolmogorov-Smirnov test ,http://mirzadeh.blogfa.com*
- *EasyFit software manual, ver. 5.4,www.mathwave.com/downloads*
- *Hong, H., Xu, Ch., Bui, D.T. 2015. Landslide susceptibility assessment at Xiushui area (China) using frequency ratio mosel. Procedia Earth and Planetary Science, 15:513 – 517.*
- *Hamza, T., Raghuvanshi, T.K. 2017. GIS based landslide hazard evaluation and zonation – A case from Jeldu District, Central Ethiopia, 2(2): 151-165.*
- *Shahabi, H. 2010. Landslide Hazard Investigation in Kurdistan in Saqqez Marivan main road in Kurdistan province, the st International Applied Geological congress, pp, 26-28.*