بررسی تأثیر سامانهٔ بارشی فروردین ۱۳۹۸ در وقوع زمین‌لغزش‌ها در شهرستان‌های بویراحمد و دنا در استان کهگیلویه و بویراحمد

سجاد پاکبازی: *دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان*
محسن آرمین*: *استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج*
محمد فرجی: *دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان*

مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶)

چکیده

زمین‌لغزش یکی از خطرهای طبیعی است که هر ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. در این تحقیق، تأثیر سامانهٔ بارشی فروردین ۱۳۹۸ در وقوع زمین لغزش‌ها در شهرستان‌های بویراحمد و دنا در استان کهگیلویه و بویراحمد بررسی شد. این امر با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل تجربی حائری ـ سمیعی و تلفیق نقشه‌های موضوعی سنگ‌شناسی، زاویهٔ شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، میزان و شدت بارندگی و شدت زمین‌لرزه صورت گرفت. پس از تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش، طی بازدیدهای گستردهٔ میدانی مختصات جغرافیایی زمین‌لغزش‌های مشاهده شده ثبت و با تهیهٔ فایل مختصات نقطه‌ای زمین‌لغزش‌ها در محیط نرم‌افزار Arc Map و محدودهٔ پلی‌گونی آنها روی تصاویر Google Earth، نقشهٔ رقومی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقهٔ مورد مطالعه تهیه شد. برای ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از شاخص نسبت دانسیته (Dr) استفاده شد. نتایج نشان داد که خطر زمین‌لغزش در چهار کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط، به ترتیب دارای توزیع مساحت ۱۵/۱، ۳۶/۰۷، ۴۳/۳۳ و ۵/۵ درصد در حالت میانگین بارش و ۷/۹، ۲۲/۵۴، ۳۸/۰۳ و ۳۱/۵۳ درصد در حالت میزان بارش فروردین ۱۳۹۸ است. در حالت بارش، میانگین حدود ۹۴ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس‌های بدون خطر تا خطر کم وقوع زمین‌لغزش قرار دارد و در بارش فروردین ۱۳۹۸، حدود ۶۹ درصد در محدودهٔ خطر متوسط و کم قرار دارد. بر این اساس، می‌توان گفت وقوع خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه بر اساس مدل مورد بررسی و شرایط متقابل پارامترهای مؤثر در حالت میانگین بارش، تقریباً کم است و در حالت بارش فروردین ۱۳۹۸، خطر کم تا متوسط است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بارندگی فروردین ۱۳۹۸، بر خطر وقوع زمین‌لغزش تأثیر نسبتاً قابل ملاحظه‌ای داشته‌است. دربارهٔ 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 در هر دو حالت میزان بارندگی، دقت بیشتری داشته باشد.

واژگان کلیدی: بارش، پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، شهرستان‌های بویراحمد و دنا، فروردین ۱۳۹۸، مدل حائری ـ سمیعی.

* نویسنده مسئول: **m.armin@yu.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

۱ـ مقدمه

زمین لغزش[1] را می‌توان حرکت توده‌ای مواد دامنه‌های شیب‌دار تحت‌تأثیر نیروی ثقل توده و عوامل محرکی مانند زمین‌لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا تعریف کرد. این پدیده هر ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد و در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد (Armin et al, 2019). از آنجا که پیش‌بینی زمان وقوع زمین‌لغزش از توان علمی بشر خارج است، شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس توان خطر ناشی از بروز این پدیده اهمیت زیادی دارد. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش[2] در واقع، تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس توان خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش است. با پهنه‌بندی این خطر می‌توان مناطق حساس به زمین‌لغزش و مناطقی را که دارای پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش است، شناسایی کرد و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب، تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری کرد، یا از خسارت‌های ناشی از وقوع آنها کاست (اصل پیشگیری بهتر از درمان). پیش‌بینی زمان، محل، تیپ و شدت وقوع خطر زمین‌لغزش‌ها چندان امکان‌پذیر نیست، ولی در مورد پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش، مدل‌های تجربی[3] و آماری[4] متعددی ارائه شده‌است که باید بهترین مدل را برای هر منطقه انتخاب کرد و با توجه به نقشهٔ به دست آمده از آن، راهکارهای مدیریتی خاصی را برای آن منطقه ارائه داد.

Haeri و Sami (1997) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش زمین‌های شیب‌دار، در مجموع از هفت عامل زمین‌شناسی (نوع سنگ)، زاویهٔ شیب، طول گسل، راه و رودخانه، مقدار بارندگی و رطوبت، شدت بارندگی و زمین‌لرزه استفاده کردند. در این مدل در یک شبکه‌بندی سلولی ابتدا امتیاز هر یک از عوامل ذکر شده، سپس امتیاز نهایی هر سلول از شبکه طبق رابطه‌ای جبری محاسبه شد. Sadeghi و همکاران (2022)، آستانه بارش بحرانی در وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی را بر اساس مدل فرایند محور (Talebi et al, 2008) در منطقهٔ جوانرود استان کرمانشاه تعیین کردند. در این مطالعه با در نظر گرفتن پلان دامنه، پروفیل طولی دامنه، هیدرولوژی زیرسطحی همراه با ویژگی‌های مکانیک خاک، ضریب پایداری دامنه‌ها محاسبه و بارش بحرانی برای دامنه‌های مطالعاتی تعیین شد. مطابق محاسبات به دست آمده، میزان بارش بحرانی برای دامنه‌های ناپایدار، کمتر از پنجاه میلی‌متر و برای دامنه‌های پایدار، بیش از صد میلی‌متر در روز است. Marin و همکاران (2020)، آستانه‌های بارندگی را بر اساس مدل‌های فیزیک پایه TRIGRS و Papa بررسی کردند. Feranie و همکاران (2021) با بررسی تأثیر شدت بارندگی در پیش‌بینی و سرعت وقوع زمین‌لغزش، به این نتیجه رسیدند که شدت بارندگی باعث تفاوت در عمق وقوع لغزش در هر دامنه می‌شود. یکی از عوامل مهم بر وقوع زمین‌لغزش در مدل تجربی حائری ـ سمیعی، میزان بارندگی است که برای بررسی تأثیر این عامل معمولاً از میانگین داده‌های چندین ساله و بلندمدت استفاده می‌شود. همزمان و بعد از رخداد سامانهٔ بارشی ۱۳۹۸، زمین‌لغزش‌های زیادی در سطح شهرستان‌های بویراحمد و دنا در استان کهگیلویه و بویراحمد رخ داد؛ بنابراین، به نظر می‌رسد مقادیر

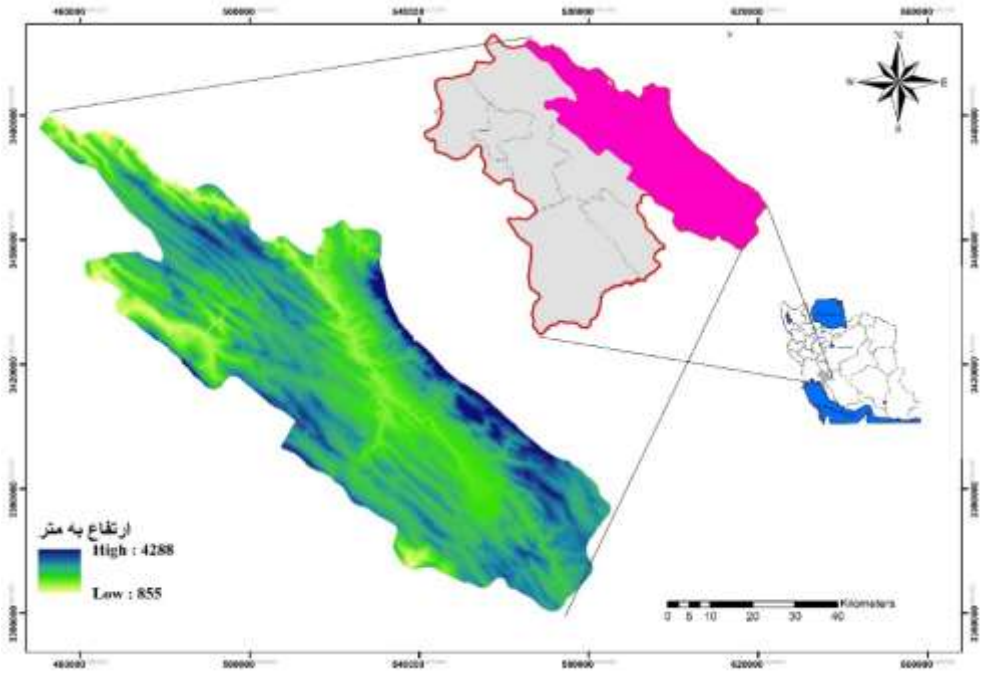
[1] Landslide
[2] Landslide Hazard Zonation
[3] Empirical Models
[4] Statistical Models

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

حدی[1] بارندگی، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در این شهرستان‌ها است که برای بررسی این موضوع تصمیم بر آن شد تا به جای استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی در مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از داده‌های بارندگی فروردین سال ۱۳۹۸ استفاده و نتایج مدل در حالت استفاده از داده‌های بلندمدت بارندگی و داده‌های بارندگی فروردین ۱۳۹۸ با هم مقایسه شود. ناپایداری دامنه‌ها یا شیب‌های طبیعی در استان کهگیلویه و بویراحمد با شرایط خاص زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب و هوایی و کاربری زمین، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین از اهداف این تحقیق، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه برای تعیین مناطق با استعداد زمین‌لغزش یا دارای محدودیت برای فعالیت‌های عمرانی و بررسی نقش مقدار بارندگی در وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه، شهرستان‌های بویراحمد و دنا در استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی حدود ۵۳۴۹ کیلومتر مربع، سرزمینی نسبتاً مرتفع و کوهستانی در ادامهٔ رشته‌کوه‌های زاگرس در جنوب غربی ایران است. میانگین بارندگی در شهرستان بویراحمد حدود ۶۵۰ میلی‌متر است و غالباً طبقهٔ اقلیمی نیمه مرطوب گرم دارد. میانگین بارندگی شهرستان دنا نیز حدود هشتصد میلی‌متر است و بر اساس مدل اقلیمی اصلاح شدهٔ دومارتن، غالباً طبقهٔ اقلیمی مرطوب معتدل دارد. بیش از ۹۹ درصد مساحت شهرستان‌های بویراحمد و دنا اراضی طبیعی شامل جنگل و مرتع است. منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ ارتفاعی ۸۵۵ تا ۴۲۸۸ متر از سطح دریا قرار دارد. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

[1] Extreme Values

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

۳ـ مواد و روش

به طور کلی، این تحقیق در پنج گام، تهیهٔ نقشهٔ پارامترهای مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حائری ـ سمیعی شامل لیتولوژی (سنگ‌شناسی)، شیب دامنه، طول گسل، طول راه و رودخانه، شدت زمین‌لرزه و مقدار و شدت بارندگی (نقشهٔ مقدار بارندگی در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی و داده‌های بارندگی فروردین ماه ۱۳۹۸ تهیه شد)، تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش حائری ـ سمیعی در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی و داده‌های بارندگی فروردین ماه ۱۳۹۸، تهیهٔ نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر Google Earth در سال‌های گذشته و سال ۱۳۹۸، مقایسهٔ پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی و داده‌های بارندگی فروردین ماه ۱۳۹۸ و بررسی کارایی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شده‌است.

۳ـ۱ـ داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از برش استانی داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)[1] در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشهٔ سنگ‌شناسی و گسل‌ها با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشهٔ راه‌ها و رودخانه‌ها، داده‌های بارندگی ماهانهٔ نوزده ایستگاه باران‌سنجی در دورهٔ زمانی سی ساله و نقشهٔ شدت زمین‌لرزه برای منطقهٔ مورد مطالعه به منظور تهیهٔ نقشهٔ پارامترهای مدل حائری ـ سمیعی استفاده شد.

۳ـ۲ـ مدل حائری ـ سمیعی

Sami and Haeri (1997) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اراضی شیب‌دار، در مجموع از هفت عامل زمین‌شناسی (نوع سنگ)، زاویهٔ شیب، طول گسل، طول راه و رودخانه، مقدار بارندگی و رطوبت، شدت بارندگی و زمین‌لرزه استفاده کردند. در این مدل، در یک شبکه‌بندی سلولی ابتدا امتیاز هر یک از عوامل ذکر شده، سپس امتیاز نهایی هر سلول از شبکه طبق رابطه‌ای جبری محاسبه شد. امتیازدهی هر یک از عوامل ذکر شده بر اساس رده‌های مختلف طبقه‌بندی صورت گرفت؛ به این صورت که عامل سنگ‌شناسی به ده رده (ردهٔ اول سنگ‌های مقاوم در مقابل زمین‌لغزش و ردهٔ دهم سنگ‌های ضعیف در مقابل زمین‌لغزش)، زمین‌لرزه به شش رده و بقیهٔ عوامل به پنج رده طبقه‌بندی شد. برای پهنه‌بندی نهایی خطر زمین‌لغزش، ضریب عوامل مؤثر در هر سلول شبکه تعیین و با استفاده از رابطهٔ زیر، میزان خطر ناپایداری دامنه در هر شبکه تعیین شد (Armin et al, 2019).

$$H_{LS}=(C_L P_L)(C_I P_I)(C_F P_F)(C_R P_R)(C_H P_H)(C_P T_P+C_E T_E) \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

H_{LS} میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها، P_L امتیاز استعداد عامل زمین‌شناسی، P_I امتیاز استعداد عامل زاویهٔ 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

[1] Digital Elevation Model

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

امتیاز استعداد عامل شدت بارندگی و T_E امتیاز استعداد عامل زمین‌لرزه است. ضرایب C اهمیت هر یک از عوامل را در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری نشان می‌دهد که در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱: مقادیر مربوط به ضرایب نسبی *C*

ضریب	C_L	C_I	C_F	C_R	C_H	C_P	C_E
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 تهیهٔ نقشهٔ کروپلت خطر زمین‌لغزش پرداخته شد.

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

امتیاز به دست آمده از رابطهٔ 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	فوق‌العاده زیاد

۳ـ۲ـ۱ـ تهیهٔ نقشهٔ پارامترهای مدل حائری ـ سمیعی

استعداد عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) (P_L)

در مدل حائری ــ سمیعی، سازندهای زمین‌شناسی از نظر مقاومت به ده رده تقسیم می‌شود (جدول ۳). در این جدول کلاس یک، کمترین حساسیت و کلاس ده، بیشترین حساسیت را به وقوع زمین‌لغزش خواهد داشت. در این تحقیق، امتیاز عامل زمین‌شناسی بر اساس جدول ۳ و اطلاعات موجود در منابع و مآخذ و بازدیدهای صحرایی نگارنده، از بعضی از بخش‌های منطقهٔ مورد مطالعه به دست آمد. نحوهٔ تهیهٔ نقشهٔ عامل زمین‌شناسی در محیط نرم‌افزار Arc Map به این صورت بود که ابتدا نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه از نقشهٔ سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برش داده شد، سپس به یک نقشهٔ رستری به اندازه سلول[1] ۲۵۰*۲۵۰ متری تبدیل شد و از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map به هر کدام از جنس‌سنگ‌ها یک ضریب اختصاص داده شد.

استعداد عامل زاویهٔ شیب (P_I)

زاویهٔ شیب از عوامل اصلی آمادگی گسیختگی دامنه‌ها است. افزایش این زاویه، وضعیت تعادل مواد سازندهٔ دامنه را بر هم می‌زند و به بالارفتن تنش‌های برشی در مواد دامنه‌ای منجر می‌شود. برای تعیین استعداد عامل زاویهٔ شیب، ابتدا نقشهٔ این زاویه در محیط نرم‌افزار Arc Map از روی نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و در اندازه سلول ۲۵۰*۲۵۰ متر تهیه شد. سپس بر اساس جدول مدل حائری ــ سمیعی (جدول ۴)، نقشهٔ شیب به شش کلاس تفکیک شد و از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map، مطابق جدول ۴ به هر یک از این شش کلاس ضریبی اختصاص داده شد.

[1] Pixel Size

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

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

رتبه	نوع سنگ
۱	سنگ آهک توده‌ای، سنگ آهک ضخیم لایه، دولومیت توده‌ای، سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه، ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی با سیمان سیلیسی و درزهای کم، کنگلومرا با سیمان سیلیسی، مرمریت توده‌ای، مرمر ضخیم با درزهای کم و کوارتزیت
۲	سنگ آهک با لایه‌بندی متوسط، ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی، سنگ آهک دولومیتی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط، کوارتزیت و سنگ‌های آذرین
۳	سنگ آهک مارنی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی نازک لایه و ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط
۴	بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده، ماسه‌سنگ نازک‌لایه تا متوسط لایه دارای درزه، توف آهکی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف، سنگ آهک ماسه‌ای نازک لایه با درز، شیست و سنگ‌های دگرگون درزدار و لایه‌بندی شده، و سنگ‌های آذرین بیرونی با ایستادگی متوسط
۵	توف آندزیتی، توف آهکی هوازده و شیل آهکی
۶	مارن زغال‌دار، شیل آهکی هوازده، تناوب شیل و ماسه‌سنگ، تناوب شیل و لای سنگ و مارن گچ‌دار
۷	مارن، توف هوازده، گل سنگ، ماسه‌سنگ تکتونیزه و هوازده، زغال سنگ، شیل
۸	شیل و مارن هوازده
۹	آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی و رسوبات پر کنندهٔ درّه‌ها 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

جدول ۴: ضریب اثر زاویه شیب در افزایش ناپایداری دامنه‌ها

زاویهٔ شیب (درجه)	<۵	۱۵-۶	۲۵-۱۶	۳۵-۲۶	۴۵-۳۶	>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)

گسل‌ها از عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در توده‌های سنگی و خاکی است. درصد قابل ملاحظه‌ای از لغزش‌ها در نزدیکی گسل‌ها رخ می‌دهد که این امر، اهمیت این ساختار زمین‌شناسی را در افزایش ناپایداری دامنه‌ها نشان می‌دهد. برای تعیین تأثیر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها و تعیین ضریب اثر آن در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، ابتدا نقشهٔ رقومی گسل‌های منطقهٔ مورد مطالعه تهیه شد و طول گسل در هر سلول اندازه‌گیری و ضریب اثر طول گسل از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map و مطابق جدول ۵ تعیین شد.

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

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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

استعداد عوامل راه و رودخانه (P_R)

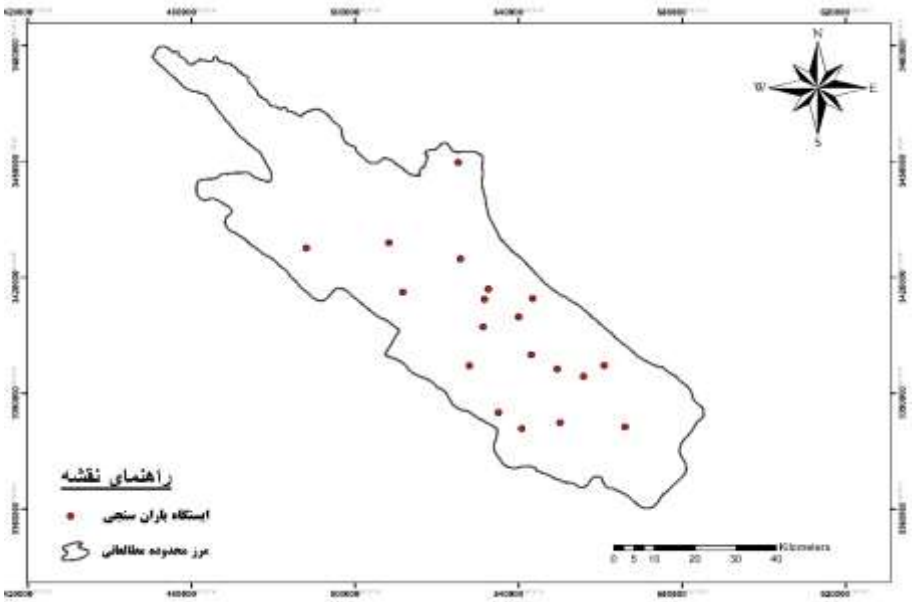
آب‌های جاری، یکی از عوامل افزایش آمادگی لغزش در دامنه‌ها است. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها، حفر و فرسایش صورت می‌گیرد. راه به طور عمده با کاهش دادن مقاومت برشی در برابر فشار برشی، به افزایش توان ناپایداری دامنه‌ها منجر می‌شود. عوارض خطی راه و رودخانه به طور عمده با کاهش مقاومت برشی در برابر حرکت مواد دامنه‌ای، به افزایش توان ناپایداری در دامنه‌ها می‌انجامد؛ به همین دلیل، مجموع طول رودخانه و راه در هر شبکه سلولی به عنوان عاملی در افزایش توان ناپایداری دامنه‌ها در نظر گرفته می‌شود. ابتدا طول رودخانه و راه در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر اندازه‌گیری شد، سپس از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map و 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 P_R	۱	۲	۳	۴	۵

استعداد عامل میزان بارش (P_H)

برای محاسبهٔ ضریب عامل میزان بارش، مراحل محاسبهٔ میانگین بارندگی ماه‌های مختلف در نوزده ایستگاه باران‌سنجی در منطقهٔ مورد مطالعه (شکل ۲)، تعیین ضریب بارندگی هر ماه در نوزده ایستگاه باران‌سنجی بر اساس جدول ۷، تهیهٔ نقشهٔ ضریب بارندگی هر ماه با استفاده از روش میان‌یابی در منطقهٔ مورد مطالعه، محاسبهٔ ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه در نوزده ایستگاه باران‌سنجی بر اساس جدول ۸ و تهیهٔ نقشهٔ ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه با استفاده از روش میان‌یابی در شهرستان‌های بویراحمد و دنا صورت گرفت.



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در شهرستان‌های بویراحمد و دنا

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

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 P_H	۱	۲	۳	۴	۵

پس از تهیهٔ نقشهٔ ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه در منطقهٔ مورد مطالعه در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، ضریب این عامل در هر سلول شبکه از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map و مطابق جدول ۸ تعیین شد. ذکر این امر لازم است که نقشهٔ عامل مقدار بارندگی، در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی و داده‌های بارندگی فروردین ماه ۱۳۹۸ تهیه شده‌است.

استعداد عامل شدت بارندگی (T_P)

بر اساس جدول ۹، برای تعیین ضریب شدت بارندگی به حداکثر بارندگی با دوره بازگشت صد 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 صد 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<

برای تعیین ضریب شدت بارندگی، مراحل انتخاب یک دوره آماری مشترک سی ساله بین ایستگاه‌های باران‌سنجی نشان داده شده در شکل ۲، بازسازی آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی دارای آمار ناقص با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه ۱، استخراج حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در سال‌های مختلف در هر ایستگاه باران‌سنجی، محاسبهٔ میانگین سی سالهٔ حدکثر بارندگی ۲۴ ساعته در هر ایستگاه باران‌سنجی، برازش داده‌های میانگین سی سالهٔ حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در هر ایستگاه با توزیع‌های مختلف آماری در نرم‌افزار Easy Fit، انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری بر اساس دو آماره Kolmogorov Smirnov و Anderson Darling، استخراج پارامترهای مناسب‌ترین توزیع آماری برازش‌یافته، محاسبهٔ حداکثر بارندگی در دوره بازگشت صد سال و تهیهٔ نقشهٔ حداکثر بارندگی با دوره بازگشت

[1] Nearest Neighbors

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

صد سال با استفاده از روش میان‌یابی در منطقهٔ مورد مطالعه انجام شد. پس از تعیین حداکثر بارندگی با دوره بازگشت صد سال در منطقهٔ مورد مطالعه در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، از طریق فرمان Calculation Raster در محیط نرم‌افزار Arc Map و مطابق جدول ۹، ضریب این عامل در هر سلول شبکه تعیین شد.

استعداد عامل شدت زمین‌لرزه (T_E)

برای تعیین ضریب عامل شدت زمین‌لرزه، از جدول ۱۰ استفاده شد. پس از تهیهٔ نقشهٔ شدت زمین‌لرزه در شهرستان‌های بویراحمد و دنا (بر اساس نقشهٔ حاصل از مطالعهٔ تحقیقاتی Azizi and Pour Kermani (2013)) در یک شبکه سلولی به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر، از طریق فرمان Raster Calculation در محیط نرم‌افزار Arc Map و مطابق جدول ۱۰، ضریب این عامل در هر سلول شبکه تعیین شد.

جدول ۱۰: 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	بی‌نهایت قوی	XII

۳ـ۳ـ تهیهٔ نقشهٔ واقعی پراکنش زمین‌لغزش‌های شهرستان بویراحمد و دنا

یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین‌لغزش، تهیهٔ نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه است؛ بدین منظور، ابتدا با بررسی دقیق تصاویر Google Earth، محدوده‌هایی از منطقهٔ مورد مطالعه ــ که انتظار می‌رفت توان وقوع زمین‌لغزش در آنها بیشتر باشد ــ مشخص شد. سپس طی عملیات گستردهٔ میدانی مختصات جغرافیایی ۳۷ زمین‌لغزش مشاهده شده ثبت و از آنها عکس گرفته شد. در مرحلهٔ بعد با تهیهٔ Shape file نقطه‌ای مختصات، ۳۷ لغزش در محیط نرم‌افزار Arc Map فایل KML آنها تهیه شد و محل‌لغزش‌ها در روی تصاویر Google Earth شناسایی شد و محدودهٔ مربوط به هر کدام به صورت یک فایل پلی‌گونی تهیه و به محیط نرم‌افزار Arc Map منتقل و به این ترتیب، نقشهٔ رقومی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقهٔ مورد مطالعه تهیه شد. در شکل ۳، تصویری از زمین‌لغزش‌های شناسایی شده نشان داده می‌شود.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]



شکل ۳: تصویر از زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در منطقهٔ مورد مطالعه

۳ـ۴ـ ارزیابی کارایی و صحت‌سنجی مدل پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شاخص‌های Dr و Qs

نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش را می‌توان با روش‌های مختلفی ارزیابی کرد. یکی از روش‌هایی که از آن استفاده می‌شود، بازدید از منطقه در چند سال بعد و مشاهدهٔ لغزش‌هایی است که به تازگی در منطقه رخ داده‌است. این روش زمانبر است و عموماً از آن استفاده نمی‌شود (Ghajar and Najafi, 2014). روش دوم، روی‌هم اندازی نقشهٔ پراکنش لغزش‌ها با نقشهٔ پهنه‌بندی است که مشخص می‌شود چه تعداد از لغزش‌ها در پهنه‌های مختلف قرار می‌گیرد (Moradi et al, 2012) و در نهایت، برای ارزیابی صحت و دقت پیش‌بینی مدل‌ها با داده‌های واقعیت زمینی می‌توان از پارامترهای اریب‌سنجی[1]، خطاسنجی[2] و کارایی مدل[3] استفاده کرد (Sadeghi, 2014). از شاخص نسبت تراکم[4] (Dr) به عنوان شاخص دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر و از شاخص جمع مطلوبیت[5] (Qs) برای ارزیابی تفکیک کلاسه‌های خطر استفاده می‌شود (Faiz Nia, 2004). هر چه شاخص نسبت تراکم بیشتر باشد، بیانگر این است که مدل در آن کلاس در پیش‌بینی خطر بهتر عمل کرده‌است. مقدار شاخص مطلوبیت نیز بیانگر مطلوبیت عملکرد مدل در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در دامنهٔ 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، مطلوبیت بیشتری در تفکیک دارد.

رابطهٔ ۲

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

[1] Bias Assessment
[2] Error Assessment
[3] Performance Assessment
[4] Density Ratio
[5] Sum of Quality

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

که Dr تراکم لغزش در هر کلاس خطر، Ai مساحت هر کلاس خطر، Si مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس خطر و n تعداد کلاس‌های خطر است.

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

رابطهٔ ۳

که Qs شاخص جمع مطلوبیت و area نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه است.

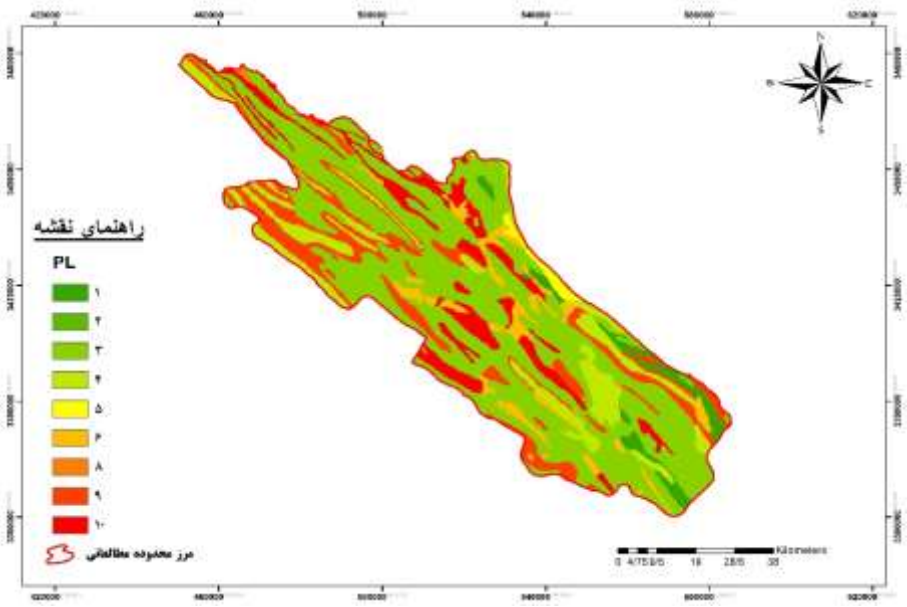
۴ـ یافته‌ها (نتایج)

در بخش نتایج نقشهٔ پارامترهای مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حائری ــ سمیعی، نقشهٔ خطر زمین‌لغزش حاصل شده بر اساس تلفیق پارامترهای مدل و در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارندگی، استفاده از داده‌های بارندگی فروردین ماه ۱۳۹۸ و ارزیابی کارایی و صحت‌سنجی مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه خواهد شد.

۴ـ۱ـ نقشهٔ پارامترهای مدل حائری ـ سمیعی

استعداد عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) (P_L)

در جدول ۱۱، تفکیک سنگ‌های مختلف نسبت به وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است. در شکل ۴، نقشهٔ عامل زمین‌شناسی (P_L) در مدل حائری ــ سمیعی ارائه شده‌است.



شکل ۴: نقشهٔ عامل زمین‌شناسی (P_L) در مدل حائری ـ سمیعی

چنان که در شکل ۴ و جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، در مدل حائری ــ سمیعی واحدهای سنگ‌شناسی از نظر حساسیت به وقوع زمین‌لغزش به ده کلاس تفکیک می‌شود که با افزایش کلاس، وقوع خطر زمین‌لغزش نیز بیشتر خواهد بود. در منطقهٔ مورد مطالعه، سازند کژدمی (سبز پر رنگ) و گچساران (قرمز پر رنگ) به ترتیب کمترین و بیشترین حساسیت را به وقوع زمین‌لغزش دارند. سایر سازندهای حساس به وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه، به ترتیب سازندهای

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

پابده و گورپی است. در جدول ۱۲، کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل زمین‌شناسی در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شد. چنان که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود، حدود ۲۳ درصد منطقهٔ مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی حساسیت بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد که عمدتاً شامل سازندهای گچساران، پابده و گورپی است.

جدول ۱۱: رده‌بندی امتیاز جنس سنگ‌های مختلف نسبت به وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه

PL	سازند زمین شناسی	جنس سنگ	علامت اختصاری
	کژدمی	آهک فسیلی متوسط لایه تا توده‌ای خاکستری و قهوه‌ای	KEpd-gu
۱	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	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 سنگ قرمز	pC-Ch
	خانه کت و نی ریز	دولومیت خاکستری تیره نازک تا متوسط لایه، دولومیت نازک لایه، شیل سبز و آهک رسی نازک لایه	TRkk-nz
	آسماری	سنگ آهک کرم تا قهوه‌ای هوازده، اتصالات خوب و بین لایه‌های شیل	OMas
		سازند آسماری و جهرم تفکیک نشده	EOas-ja
۴		گروه بنگستان تفکیک نشده، عمدتاً آهک و شیل، متشکل از سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام	Kbgp
		گروه تفکیک نشده خامی، متشکل از آهک نازک لایه متراکم، شامل سازندهای سورمه، انیدریت، فهلیان، گدوان و داریان	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
۸	آغاجاری	ماسه سنگ قهوه‌ای تا خاکستری آهکی با هوازدگی کم، رگه‌های گچی، مارن قرمز و سیلت سنگ	MuPlaj
۹	میشان	مارن خاکستری با هوازدگی کم متناوب با نوارهایی از آهک شیلی مقاوم‌تر	Mmn
	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 سنگ آهک	Mgs

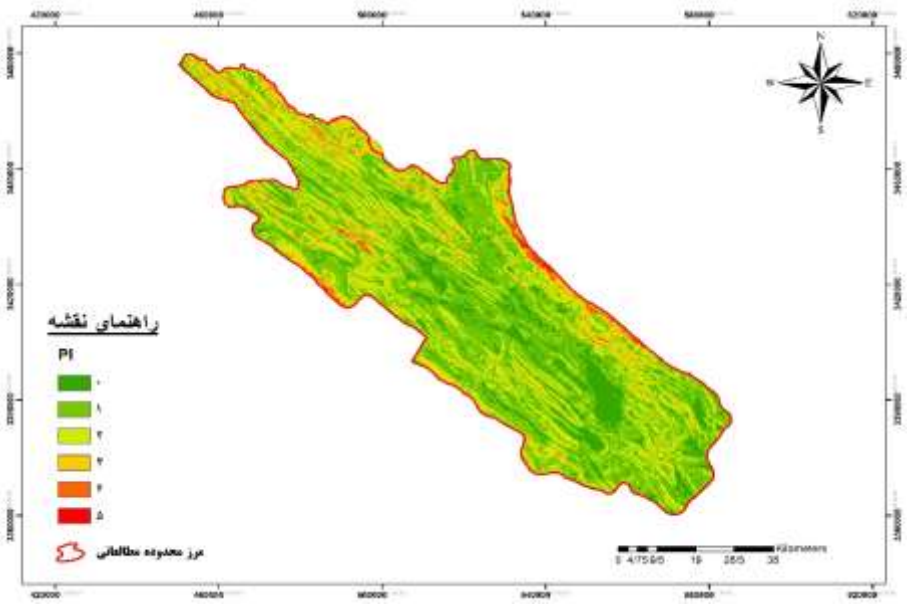
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

جدول ۱۲: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ عامل زمین‌شناسی در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱	۱۸۹	۳/۵۳
۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱
۳	۲۹۵۲	۵۵/۱۱
۴	۶۲۴	۱۱/۶۷
۵	۵۱	۰/۹۷
۶	۲۷۳	۵/۱۱
۸	۸	۰/۱۷
۹	۷۳۳	۱۳/۶۹
۱۰	۵۲۲	۹/۷۵
مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

استعداد عامل زاویهٔ شیب (P_I)

در شکل ۵، نقشهٔ عامل زاویهٔ شیب (P_I) در مدل حائری - سمیعی نشان داده شده‌است.



شکل ۵: نقشهٔ عامل زاویهٔ شیب (P_I) در مدل حائری ـ سمیعی

در شکل ۵، ضریب تأثیر زاویهٔ شیب در ناپایداری دامنه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه از صفر (بدون تأثیر) تا پنج (تأثیر خیلی زیاد) است. زاویهٔ شیب در بخش‌های کمی از منطقهٔ مورد مطالعه، تأثیر زیاد و خیلی زیادی در ناپایداری دامنه‌ها دارد و در عمده مساحت منطقهٔ مورد مطالعه، نقش شیب در ناپایداری دامنه‌ها کم یا خیلی کم است. در جدول ۱۳، کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل شیب در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است. چنان که در

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

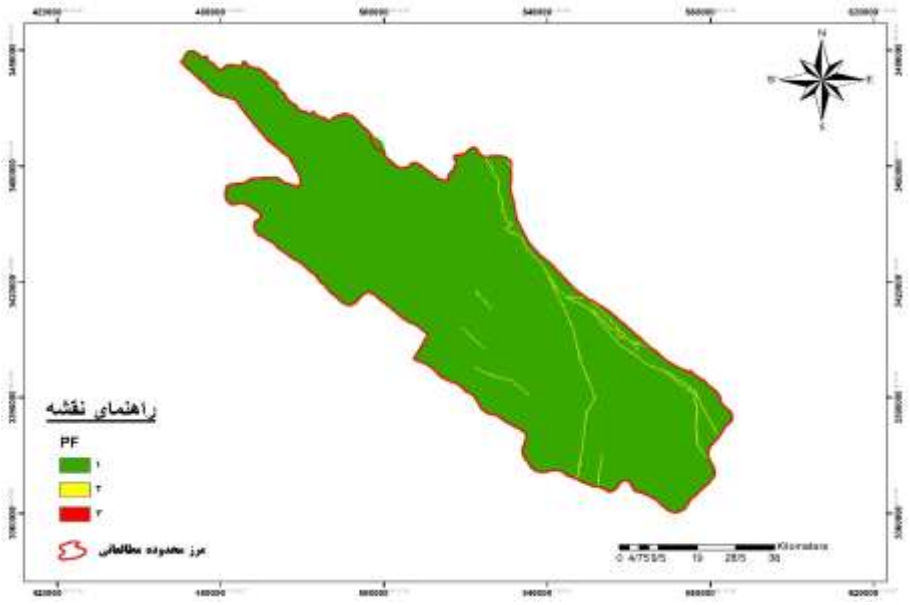
جدول ۱۳ مشاهده می‌شود، از نظر شیب حدود ۷۳ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد.

جدول ۱۳: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ شیب در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	تأثیر در ناپایداری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۰	بدون تأثیر	۸۵۱	۱۵/۹۰
۱	خیلی کم	۲۴۵۶	۴۵/۸۵
۲	کم	۱۴۲۸	۲۶/۶۸
۳	متوسط	۵۰۸	۹/۴۹
۴	زیاد	۹۹	۱/۸۵
۵	خیلی زیاد	۱۲	۰/۲۳
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

استعداد عوامل ساختاری و طول گسل (P_F)

در شکل ۶، نقشهٔ عامل گسل (P_F) در مدل حائری ـ سمیعی نشان داده شده‌است. چنان که در شکل ۶ مشخص است، تأثیر عامل گسل در وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه قابل توجه نیست. در جدول ۱۴ نیز کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل گسل در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است. چنان که در این جدول مشاهده می‌شود، حدود ۹۹ درصد منطقهٔ مورد مطالعه از نظر گسل، حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد.



شکل ۶: نقشهٔ عامل گسل (P_F) در مدل حائری – سمیعی

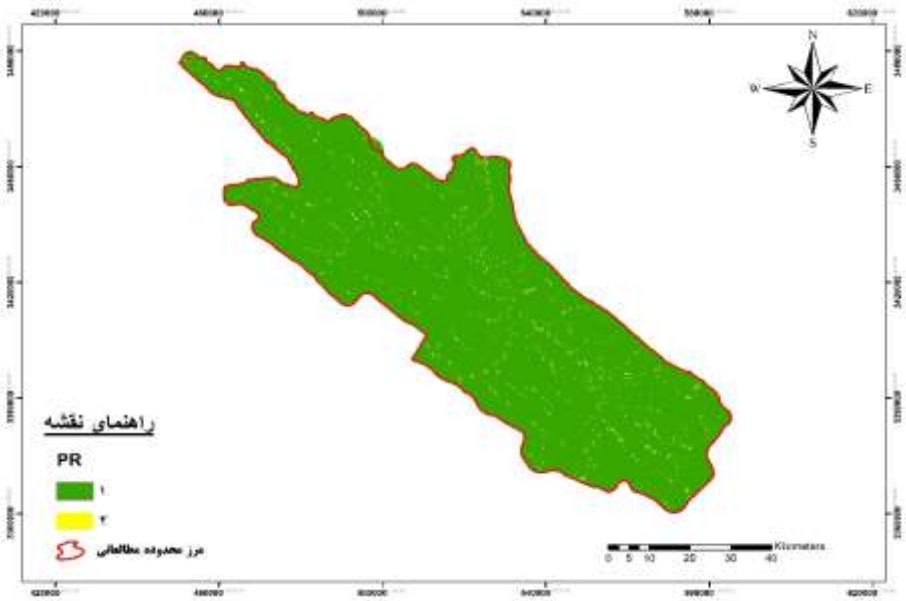
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

جدول ۱۴: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ گسل در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	تأثیر در ناپایداری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱	کم	۵۲۹۷	۹۸/۸۹
۲	نسبتاً کم	۵۹	۱/۱۱
۳	متوسط	۰/۰۶	۰/۰۰۱
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

استعداد عوامل راه و رودخانه (P_R)

در شکل ۷، نقشهٔ عامل راه و رودخانه (P_R) در مدل حائری ــ سمیعی نشان داده شده‌است.



شکل ۷: نقشهٔ عامل راه و رودخانه (P_R) در مدل حائری- سمیعی

چنان که در شکل ۷ مشخص است، طول رودخانه و راه در منطقهٔ مورد مطالعه در هر واحد شبکه ۲۵۰*۲۵۰ متر، ۲۱۰ تا ۳۵۰ متر و میزان تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها متوسط است. در جدول ۱۵، کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل طول راه و رودخانه در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.

جدول ۱۵: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ راه و رودخانه در منطقهٔ مورد مطالعه

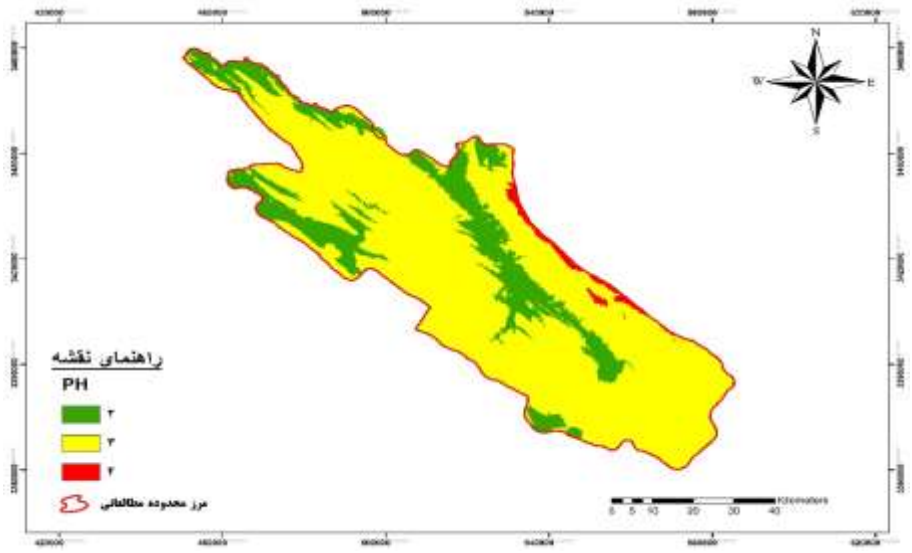
کلاس	تأثیر در ناپایداری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱	کم	۵۲۵۸	۹۸/۱۶
۲	نسبتاً کم	۹۸	۱/۸۴
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

چنان که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود، حدود ۹۸ درصد منطقهٔ مورد مطالعه از نظر طول راه و رودخانه، حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد.

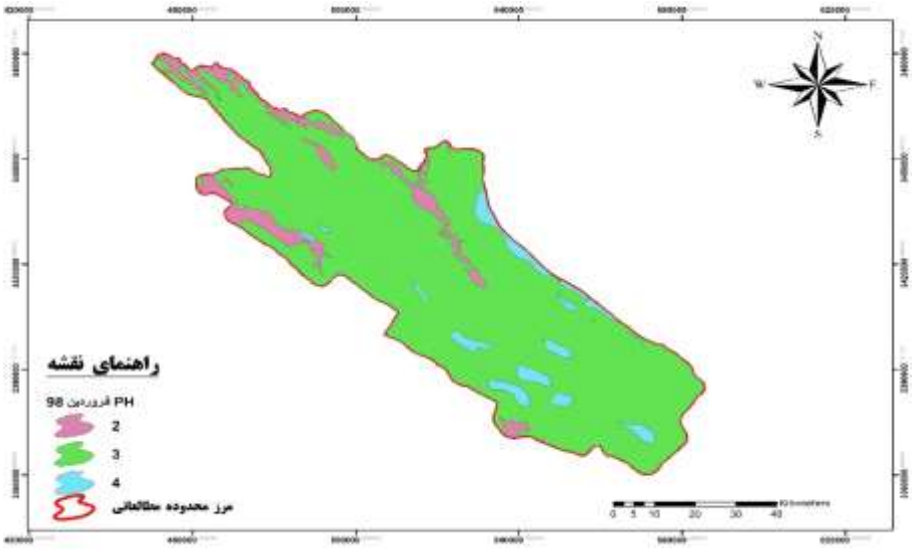
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

استعداد عامل میزان بارش (P_H)

در شکل ۸، نقشهٔ عامل میزان بارش (P_H) در مدل حائری ـ سمیعی در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارش (الف) و داده‌های بارش فروردین ۱۳۹۸ (ب) نشان داده شده‌است.



(الف)



(ب)

شکل ۸: نقشهٔ عامل میزان بارش (P_H) در مدل حائری ـ سمیعی در دو حالت استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های بارش (الف) و داده‌های بارش فروردین ۱۳۹۸ (ب)

در شکل ۸، ضریب تأثیر عامل میزان بارش در ناپایداری دامنه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه از دو (تأثیر کم) تا چهار (تأثیر زیاد) است؛ به طوری که میزان بارش در بخش زیادی از این منطقه تأثیر متوسطی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. در جدول ۱۶، کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان بارش در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

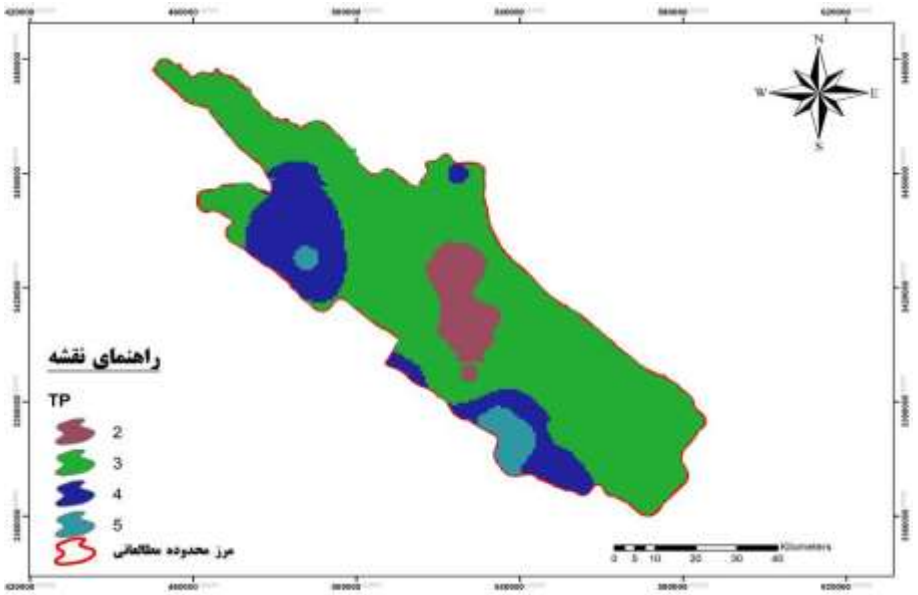
جدول ۱۶: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ میزان بارش در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	تأثیر در ناپایداری	میانگین بلندمدت		فروردین ۹۸	
		مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۲	کم	۱۱۰۲	۲۰/۵۸	۳۷۳	۶/۹۷
۳	متوسط	۴۱۷۸	۷۸/۰۰	۴۴۳۰	۸۲/۷۱
۴	زیاد	۷۶	۱/۴۲	۵۵۲	۱۰/۳۲
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰	۵۳۵۶	۱۰۰

چنان که در جدول ۱۷ مشاهده می‌شود، از نظر میزان بارش، حدود هشتاد درصد منطقهٔ مورد مطالعه نسبت بـه وقـوع زمین‌لغزش حساسیت متوسطی دارد.

استعداد عامل شدت بارندگی (T_P)

در شکل ۹، نقشهٔ عامل میزان شدت باران (T_P) در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.



شکل ۹: نقشهٔ عامل شدت بارش (T_P) در مدل حائری ـ سمیعی

چنان که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، بخش کمی از منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ شدت زیاد و خیلی زیاد بارش از نظر وقوع زمین‌لغزش است و حداکثر بارندگی با دوره بازگشت صد ساله در بخش بسیار زیادی از استان کمتـر از ۱۲۰ میلی‌متر است. در جدول ۱۷، کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل شدت بارش در منطقهٔ مورد مطالعـه نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

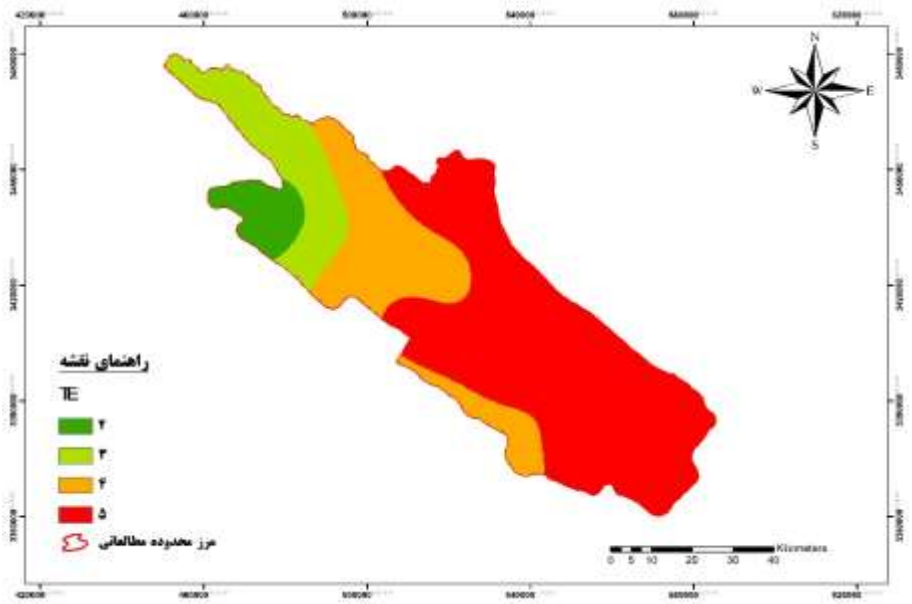
جدول ۱۷: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از لحاظ شدت بارش در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	تأثیر در ناپایداری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۲	کم	۳۸۰	۷/۰۹
۳	متوسط	۳۸۵۹	۷۲/۰۶
۴	زیاد	۹۳۶	۱۷/۴۷
۵	خیلی زیاد	۱۸۱	۳/۳۸
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

چنان که در جدول ۱۷ مشاهده می‌شود، حدود ۷۹ درصد منطقهٔ مورد مطالعه از نظر شدت بارش، حساسیت کم تا متوسطی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد و فقط ۱۷ درصد منطقه دارای حساسیت زیاد به وقوع زمین‌لغزش است.

استعداد عامل شدت زمین‌لرزه (T_E)

در شکل ۱۰، نقشهٔ عامل میزان زمین‌لرزه (T_E) در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.



شکل ۱۰: نقشهٔ عامل میزان زمین‌لرزه (T_E) در مدل حائری ـ سمیعی

چنان که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، ضریب تأثیر عامل زمین‌لرزه در منطقهٔ مورد مطالعه از خیلی کم (کلاس ۲) تا متوسط (کلاس ۵) است. کلاس متوسط عمدتاً در امتداد گسل‌های معروف منطقهٔ مورد مطالعه است. در جدول ۱۸ نیز کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان زمین‌لرزه در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

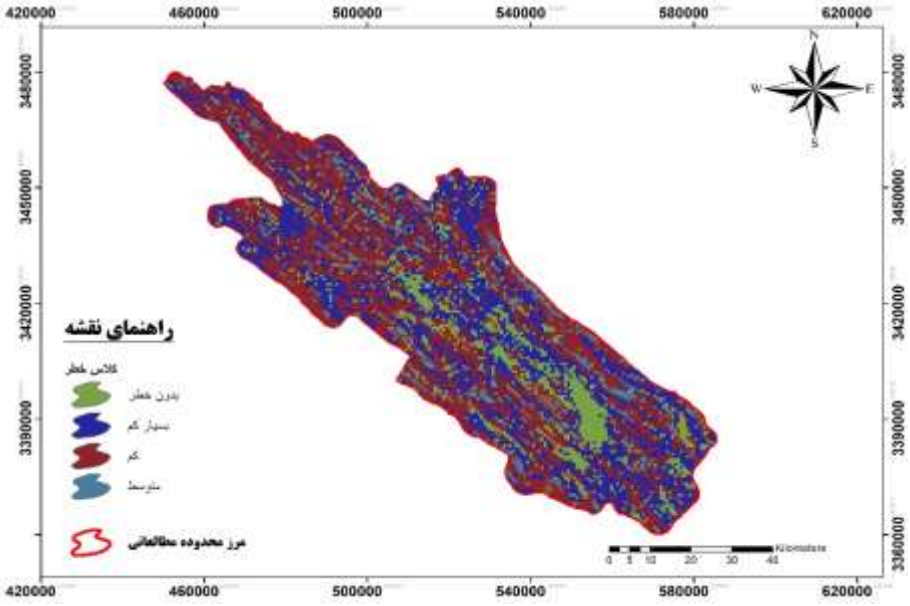
جدول ۱۸: کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش از نظر عامل میزان زمین‌لرزه در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس	تأثیر در ناپایداری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۲	خیلی کم	۲۹۶	۵/۵۴
۳	کم	۷۶۲/۹۴	۱۴/۲۴
۴	ملایم	۱۲۱۲	۲۲/۶۳
۵	متوسط	۳۰۸۴	۵۷/۵۹
	مجموع	۵۳۵۶	۱۰۰

چنان که در جدول ۱۸ مشاهده می‌شود، حدود ۵۸ درصد منطقهٔ مورد مطالعه از نظر عامل زمین‌لرزه حساسیت متوسطی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد.

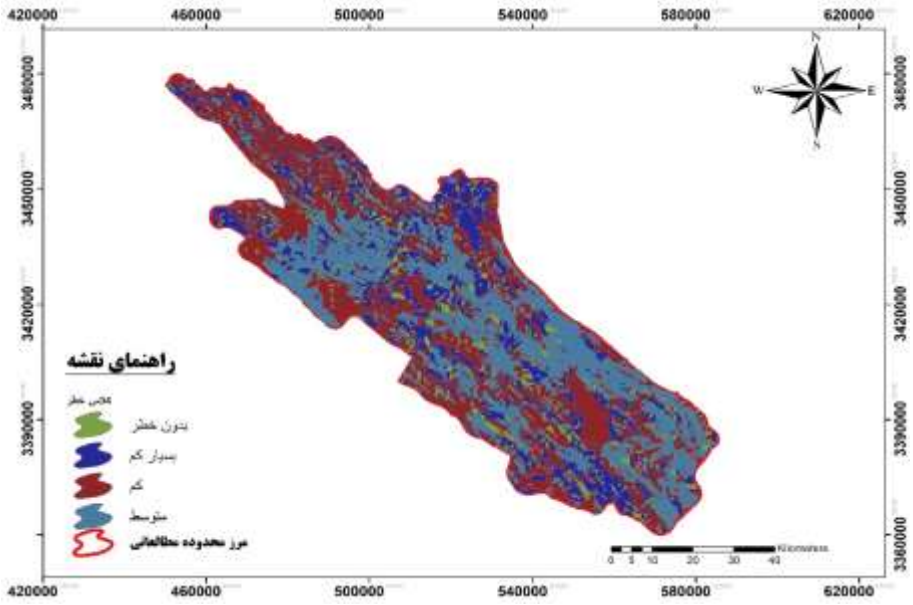
۴-۲- نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل حائری ـ سمیعی

در شکل ۱۱، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل حائری ـ سمیعی در دو حالت بارش میانگین بلندمدت (الف) و بارش فروردین ۱۳۹۸ (ب) در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.



(الف)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]



(ب)

شکل ۱۱: نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل حائری – سمیعی در دو حالت بارش میانگین بلندمدت (الف) و بارش فروردین ۹۸ (ب) در منطقهٔ مورد مطالعه

چنان که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، در حالت بارش میانگین در بخش‌های کمی از منطقهٔ مورد مطالعه پتانسیل خطر زمین‌لغزش در کلاس متوسط قرار دارد و در سایر بخش‌های منطقه، کلاس خطر بسیار کم و کم برآورد شده‌است. اما در حالت بارش فروردین ۱۳۹۸، بخش بیشتری از منطقه در کلاس خطر متوسط و کم قرار دارد. در جدول ۱۹، مساحت کلاس‌های خطر وقوع زمین‌لغزش بر اساس مدل حائری ــ سمیعی در دو حالت بارش میانگین بلندمدت و بارش فروردین ۱۳۹۸ در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.

جدول ۱۹: درصد مساحت کلاس‌های خطر زمین‌لغزش مدل حائری- سمیعی در منطقهٔ مورد مطالعه

ردیف	کلاس خطر	بارش میانگین		بارش فروردین ۹۸	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	بدون خطر	۸۰۸۶۴	۱۵/۱	۴۲۳۴۱	۷/۹
۲	بسیار کم	۱۹۳۲۲۳	۳۶/۰۷	۱۲۰۷۲۲	۲۲/۵۴
۳	کم	۲۳۲۰۹۸	۴۳/۳۳	۲۰۳۶۹۲	۳۸/۰۳
۴	متوسط	۲۹۴۹۴	۵/۵۰	۱۶۸۹۲۴	۳۱/۵۳
	مساحت کل	۵۳۵۶۸۱	۱۰۰	۵۳۵۶۸۱	۱۰۰

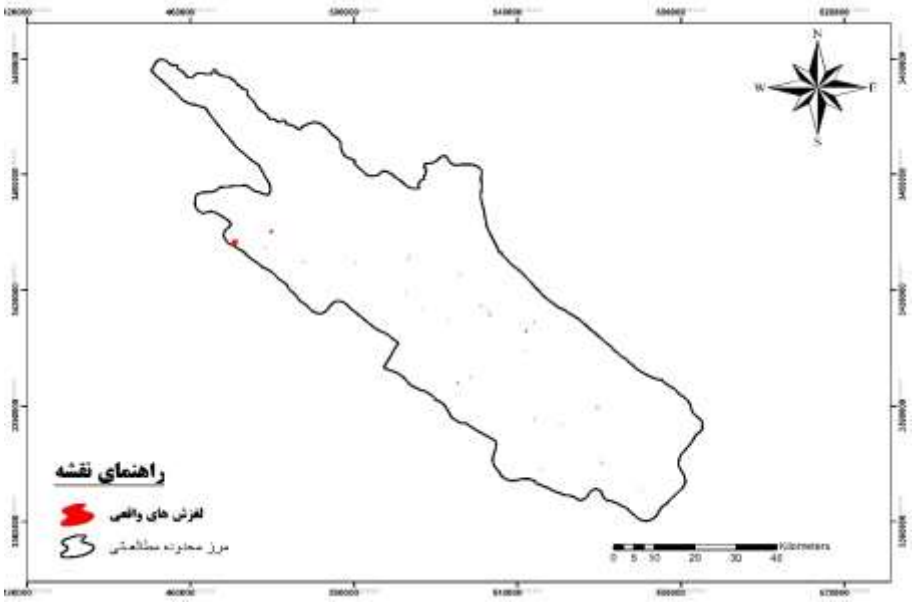
چنان که در جدول ۱۹ مشاهده می‌شود، نقشهٔ خطر زمین‌لغزش در چهار کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط به ترتیب با توزیع مساحت ۱۵/۱، ۳۶/۰۷، ۴۳/۳۳ و ۵/۵ درصد در حالت میانگین بارش و ۷/۹، ۲۲/۵۴، ۳۸/۰۳ و ۳۱/۵۳ درصد در حالت میزان بارش فروردین ۹۸ تهیه شد؛ به عبارتی دیگر، در بارش میانگین حدود ۹۴ درصد مساحت

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس‌های بدون خطر تا خطر کم وقوع زمین‌لغزش قرار دارد و در بارش فروردین ۹۸، حدود ۶۹ درصد در محدودهٔ خطر متوسط و کم قرار دارد.

۴-۳- نقشهٔ واقعی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقهٔ مورد مطالعه

در شکل ۱۲، نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.



شکل ۱۲: نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی منطقهٔ مورد مطالعه

با پیمایش‌های صحرایی گسترده، ۳۷ زمین‌لغزش در مناطق مختلف منطقهٔ مورد مطالعه شناسایی شد که مشخصات آماری آنها در جدول ۲۰ ارائه شده‌است.

جدول ۲۰: مشخصات آماری زمین‌لغزش‌های واقعی در منطقهٔ مورد مطالعه

تعداد زمین‌لغزش	حداقل مساحت (هکتار)	حداکثر مساحت (هکتار)	میانگین مساحت (هکتار)
۳۷	۰/۰۰۴	۱۳۷	۶

۴-۴- نتایج ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

از انطباق نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمده توسط مدل حائری- سمیعی با نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی منطقهٔ مورد مطالعه، کارایی نقشهٔ خطر زمین‌لغزش ارزیابی شد. در جدول ۲۱، نتایج شاخص‌های ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل حائری ــ سمیعی در دو حالت بارش میانگین بلندمدت و بارش فروردین ۹۸ در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

جدول ۲۱: نتایج شاخص‌های ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل حائری- سمیعی در منطقهٔ مورد مطالعه

(الف)

ردیف	کلاس خطر	مساحت (هکتار) Ai	درصد مساحت	مساحت لغزش در کلاس (هکتار) Si	area	Dr	Qs
۱	بدون خطر	۸۰۸۶۴	۱۵/۱	۱/۳	۰/۱۵	۴/۵۱	۰/۶۶
۲	بسیار کم	۱۹۳۲۲۳	۳۶/۰۷	۱۶۷/۷۴	۰/۳۶	۲۴۳/۳۶	
۳	کم	۲۳۲۰۹۸	۴۳/۳۳	۱۸/۱	۰/۴۳	۲۱/۸۶	
۴	متوسط	۲۹۴۹۴	۵/۵۰	۳/۹۵	۰/۰۶	۳۷/۵۴	
	جمع کل	۵۳۵۶۸۱	۱۰۰	۱۹۱/۰۹			

(ب)

ردیف	کلاس خطر	مساحت (هکتار) Ai	درصد مساحت	مساحت لغزش در کلاس (هکتار) Si	area	Dr	Qs
۱	بدون خطر	۴۲۳۴۱	۷/۹	۲/۷	۰/۰۸	۱۷/۳۸	۰/۷۵
۲	بسیار کم	۱۲۰۷۲۲	۲۲/۵۴	۱۳۵/۳۲	۰/۲۲	۳۰۵/۶	
۳	کم	۲۰۳۶۹۲	۳۸/۰۳	۲۱/۲	۰/۳۸	۲۸/۳۸	
۴	متوسط	۱۶۸۹۲۴	۳۱/۵۳	۳۷/۲۶	۰/۳۲	۶۰/۱۴	
	جمع کل	۵۳۵۶۸۱	۱۰۰	۱۹۶/۴۸			

با توجه به جدول ۲۱، نتایج ارزیابی کارایی مدل حائری ـ سمیعی در تهیهٔ نقشهٔ خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه نشان داد که مدل توانسته‌است پهنه‌های خطر زمین‌لغزش را به خوبی از هم تفکیک کند و در کلاس خطر بسیار کم دقت بیشتری دارد.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که از لحاظ عامل زمین‌شناسی، حدود ۲۳ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه حساسیت بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. Ranjbar (۲۰۱۲) نیز با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای در حوضهٔ گرگانرود پرداخت و نشان داد که عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) مهم‌ترین عامل وقوع حرکت‌های توده‌ای است. سایر عوامل شامل زاویهٔ شیب (۷۳ درصد)، طول گسل (۹۹ درصد)، طول راه و رودخانه (۹۸ درصد) نیز حساسیت کمی نسبت به وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه دارد. از لحاظ میزان بارندگی (۷۸ درصد در حالت میانگین بارندگی)، حساسیت متوسط و در حالت اعمال بارش فروردین ۱۳۹۸، (۸۲ درصد حساسیت متوسط و ۱۰ درصد حساسیت زیاد) نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد؛ به عبارت دیگر، در سال ۱۳۹۸ مساحت پهنهٔ حساس به لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر شده‌است. از لحاظ شدت بارندگی (۷۹ درصد) و زمین‌لرزه، حدود ۵۸ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه حساسیت متوسطی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. خطر زمین‌لغزش در چهار کلاس بدون خطر، خطر بسیار کم، کم و متوسط به ترتیب دارای توزیع با مساحت ۱۵/۱، ۳۶/۰۷، ۴۳/۳۳ و ۵/۵ درصد در حالت میانگین بارش و ۷/۹، ۲۲/۵۴، ۳۸/۰۳ و ۳۱/۵۳ درصد در حالت میزان بارش فروردین ۱۳۹۸ است. در حالت بارش، میانگین

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

حدود ۹۴ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس‌های بدون خطر تا خطر کم وقوع زمین‌لغزش قرار دارد و در بارش فروردین ۱۳۹۸، حدود ۶۹ درصد در محدودهٔ خطر متوسط و کم قرار دارد. بر اساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی می‌توان گفت وقوع خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه بر اساس مدل مورد بررسی و شرایط متقابل پارامترهای مؤثر در حالت میانگین بارندگی، کم و در حالت بارش فروردین ۱۳۹۸، خطر کم تا متوسط است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بارندگی فروردین ۱۳۹۸ به افزایش مساحت سطوح حساس‌تر به لغزش به میزان ۲۶ درصد منجر شده‌است. دربارهٔ 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، در هر دو حالت میزان بارندگی دقت بیشتری دارد و در حالت بارندگی فروردین ۱۳۹۸، در کلاس خطر زیاد نیز دقت خوبی دارد. معمولاً پس از وقوع هر بلای طبیعی، گروه‌های زیادی هیجان زده می‌شوند و به بررسی موضوع می‌پردازند، اما پس از چندی تب و تاب آنان فرو می‌نشیند و همه چیز فراموش می‌شود. در توسعهٔ پایدار، این گونه برخوردهای مقطعی و احساساتی با مسئله به جای راه‌حل‌های اصولی قطعاً جایگاه مناسبی نخواهد داشت. با وجود سابقهٔ چند سالهٔ بحث مدیریت خطر یا بحران در محافل علمی کشور، هنوز برنامه‌ریزی مناسبی برای برخورد صحیح با بلایای طبیعی ارائه نشده‌است. زمین‌لغزش‌های متعددی که در اثر اقدامات غیر اصولی فرایند توسعه رخ داده‌اند، شاهدی بر این مسئله است که در بسیاری از طرح‌های توسعه، ناپایداری دامنه قابل توجه قرار نگرفته‌است. در مطالعه برای مبارزهٔ اصولی با زمین‌لغزش‌ها، باید شیوهٔ مدیریتی مناسبی را انتخاب کرد. برای برخورد با بلایای طبیعی باید مدیریتی جامع را اجرا کرد که منظور از آن، اتخاذ تدابیر و اجرای فعالیت‌هایی است که به پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارت‌های وارد شده منجر می‌شود. این مدیریت جامع می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای زیان‌های ناشی از بلایای طبیعی را به حداقل برساند. به طور کلی، برای مدیریت خطر زمین‌لغزش باید دو جزء ابزار مدیریت و شیوهٔ مدیریت را در نظر داشت. تهیهٔ نقشهٔ 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 را در مناطق مستعد لغزش می‌توان به عنوان شیوه‌های مدیریت در نظر گرفت (Armin et al, 2019). بر اساس نتایج حاصل شده و با توجه به کلاس‌های خطر موجود در منطقهٔ مورد مطالعه، می‌توان گفت صرفاً با اجرای روش‌های مدیریتی (پیشگیرانه) می‌توان از شدت خطر زمین‌لغزش در این منطقه کاست.

منابع

1. Armin, M.; Mossafaei, J.; Ghorbannia Kheybari, V.; & A. Khiri, 2019. Landslide Zoning and its Risk Control Management Plan in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces using the Haeri-Samii Model, *Quantitative geomorphology research*, 7(4), 176-196. (in Persian).

2. Faiz Nia, S.; Kelarestaghi, A.; Ahmadi, H.; & M. Safaei, 2004. Investigating the Effective Factors in the Occurrence of landslides and Landslide Risk Zoning (case study: Shirin Rood watershed - Tajen Dam), *Journal of Natural Resources of Iran*, 57(1), 3-20. (in Persian).

3. Feranie A, S.; Khoiriyah, TM.; Jabbar, F. D. E.; & A. Tohari, 2021. The Effect of Rainfall Intensity to Landslide Run-out Prediction and Velocity: A Parametric Study on Landslide Zones in West JAVA-INDONESIA, *Journal of Southwest JIAOTONG University*, 56(3), DOI : 10.35741/issn.0258-2724.56.3.45.

4. Ghajar, A., & A. Najafi., (2014). Landslide-Sensitive Modeling and Zoning of Forest Areas

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

in Order to Design a Fforest Road Route Using Adaptive Neural-Fuzzy Inference System. *Forest and Spruce Research of Iran*. 22(3), 509-526. (in Persian).

5. Haeri, M., & A. H. Sami., (1997). The New Method of Zoning Sloping Areas Against the Risk of Landslides Based on the Zoning Surveys of Mazandaran Province. Quarterly Scientific Research Journal of Earth Sciences. 6(23), 2-16. (in Persian).

6. Marin, R.; Alvaro Mattos, J.; & J. Marin-Londono, 2020. Physically-based definition of rainfall thresholds for shallow landslides in a tropical mountain watershed of the Colombian Andes, 13th International Symposium on Landslides, Landslides: Risk Assessment and Management.

7. Moradi, H.; Mohammadi, M.; & H. Pour ghasemi, 2014. Slope movements (mass movements) with emphasis on quantitative methods of landslide occurrence analysis, Publications of Organization for Studying and Compiling Human Books of Universities (Samt), 224 p. (in Persian).

8. Pour Kermani, M., & E. Azizi., (2013). Earthquake risk zoning in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces and preparation of earthquake acceleration map. Research project of the Road and Urban Development Organization of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province. 220 p. (in Persian).

9. Ranjbar, M., (2012). Effective Factors in the Occurrence of Mass Movements in Gorganrood Basin Using AHP Model, *Geography*, 35(10), 195-210.

10. Sadeghi, A.; Talebi, A.; & P. Zarei, (2022). Determining the Threshold of Critical Precipitation in the Occurrence of Surface Landslides Based on the Process-Oriented Model (Case study: Javanroud Region, Kermanshah Province), *Quantitative Geomorphology Research*, 10(4), 156-177. (in Persian).

11. Sadeghi, M. M., 2014. Evaluation of the SpraseGash model in the estimation of rain harvesting of hand-planted stands of Tehran pine and cypress Silver in semi-arid climate (case study: Chitgar Forest Park), Master's Thesis, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, 123 p. (in Persian).

12. Talebi, A.; Troch, P. A.; & R. Uijlenhoet, 2008. A Steady-State Analytical Hillslope Stability Model for Complex Hillslopes, *Hydrological Process*, 22, 546-553.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

Investigating the Impact of the Rainfall System of April 2018 on the Occurrence of Landslides in Boyer-Ahmad and Dena Counties in Kohgilouye and Boyer-Ahmad Province

Sajad Pakzbazi: *Graduated M.Sc in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Khatam Al Anbia Behbahan University of Technology, Behbahan, Iran*
Mohsen Armin[*1]: *Assistant Professor, Natural Resources Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran*.
Mohammad Faraji: *Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources, Khatam Al Anbia Behbahan University of Technology, Behbahan, Iran*

Article History (Received: 2023/02/21 Accepted: 2023/09/17)

Extended abstract

1- Introduction

Landslide can be defined as mass movement of materials on sloping slopes under the influence of mass gravity and triggering factors such as earthquakes, floods and heavy rains. This phenomenon is one of the natural hazards that causes a lot of loss of life and money every year in mountainous, rainy and seismic areas. By zoning the risk of landslides, it is possible to identify sensitive areas with high potential for landslides and by providing solutions, appropriate control and conduting effective management methods, the occurrence of landslides can be partially prevented or the damages caused by them can be reduced.

2- Methodology

In this research, the effect of the rainfall system of April 2018 on the occurrence of landslides in Boyer Ahmad and Dena counties in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province has been investigated. The zoning of landslide risk has been performed using Haeri-Sami experimental model and the integration of thematic rock maps based on geology, slope angle, length of fault, length of road and river, amount of rain, intensity of rain and earthquake have been done in the scale of 1:1500000. After preparing the landslide zoning map, by carefully examining the Google Earth images, the areas of the studied areas where the potential of landslides were expected to be higher were identified. Then, during the extensive field visits, the geographical coordinates of the observed landslides were recorded and by preparing the point coordinates of the landslides in the Arc Map software environment and transferring them to the Google Earth images, the location of the landslides was recorded. The identification and range of each location was prepared in the form of a polygon file and transferred to the Arc Map software environment, and in this way a digital map of the distribution of landslides in the studied area was prepared. The density ratio index (Dr) was used to evaluate the landslide risk zoning map.

3- Results

The results showed that only in terms of the geological factor, about 23% of the area under study has a high sensitivity to the occurrence of landslides, while other factors including the slope angle (73%), fault length (99%), and length of roads and rivers (98%) have little sensitivity to the occurrence of landslides. In terms of the amount of rainfall, in the average

[*] **Corresponding Author:** m.armin@yu.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]

rainfall mode (78% of the region) it has moderate sensitivity and in the mode of April 2018 rainfall, 82% of the region is of medium sensitivity and 10% of high sensitivity with regard to the occurrence of landslides. In terms of the intensity of rainfall (79%) and earthquakes, about 58% of the area under study has a medium sensitivity to the occurrence of landslides. Landslide risk in 4 classes: no risk, very low risk, low risk and medium risk, respectively, have an area distribution of 15.1, 36.07, 43.33 and 5.5% in the case of average rainfall and 22.54, 7.9, 38.03 and 31.53% in the case of April 2018 rainfall. In the average rainfall, about 94% of the studied area is in the classes without risk to low risk of landslides, and in the rainfall of April 2018, about 69% is in the low and medium risk range.

4- Discussion & Conclusions

Based on the results of landslide risk zoning, it can be said that the occurrence of landslide risk in the study area based on the studied model and the mutual conditions of the effective parameters in the average rainfall is almost low and in the rainfall of April 2018, the risk is low to moderate. Therefore, it can be concluded that the rainfall in April 2018 has a relatively significant effect on the risk of landslides. In connection with the evaluation of the efficiency of the model using the density ratio index, the model has been able to separate the landslide risk zones well, and in the very low risk class, the amount of rainfall is more accurate in both cases.

Key Words: Precipitation, Zoning, Landslide, Boyer Ahmad and Dena Counties; April 2018, Haeri-Samii model.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.83]