

پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فرآیند محور SINMAP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ماربر، شهرستان سمیرم)

مهديه شفيعي^۱، مهدي حيات زاده^{۲*}، علي فتح زاده^۳، يعقوب نيازي^۴، مهدي تازه^۵

چکیده

زمین لغزش یکی از بلایای طبیعی است که هر ساله با تغییراتی که بشر در عرصه‌های طبیعی ایجاد می‌کند اتفاق می‌افتد. ارزیابی زمین لغزش نیازمند اطلاعات مکانی دقیق و قابل اعتماد است. امروزه با استفاده از فن‌آوری‌های جدید مانند دریافت و پردازش داده‌ها (از طریق ماهواره)، استفاده از نرم‌افزارها و سیستم‌های پردازش اطلاعات و توسعه مدل‌های فرآیند محور، وقوع زمین لغزش را می‌توان با دقت بیشتری ارزیابی نمود. در این پژوهش از ترکیب نرم‌افزار ArcGIS و افزونه SINMAP جهت پیش‌بینی زمین لغزش استفاده شده است. ورودی اصلی مدل SINMAP نقشه رقمی ارتفاع می‌باشد که با تعیین پارامترهایی از قبیل چسبندگی و تراکم خاک، زاویه اصطکاک داخلی برای مرز بالا و پایین منطقه مورد مطالعه، پردازش می‌گردد. در این تحقیق جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ضمن تهیه و پردازش اطلاعاتی از قبیل نقاط کنترل زمینی، مدل رقمی ارتفاع تصحیح شده، شیب، جهت جریان، سطح ویژه حوزه آبخیز، میزان اشباع شدگی خاک در نهایت نقشه شاخص پایداری ایجاد گردید. نتایج مدل ضمن اولویت دادن به پارامترهای شیب و زاویه اصطکاک داخلی خاک در رخداد زمین لغزش، نشان داد که حدود ۷۰/۶۷ درصد از وسعت حوزه آبخیز ماربر در محدوده پایدار قرار دارد. همچنین نتایج مدل‌سازی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که از بین ۹ زمین لغزش رخ داده در منطقه پایدار، تعداد ۶ لغزش قابل پیش‌بینی می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی مدل با ضریب تعیین برابر با ۰/۷۸ و مقدار شاخص SR برابر با ۰/۸۱ نیز نشان داد که همبستگی مناسبی برای پیش‌بینی صورت گرفته وجود دارد. لذا از نتایج حاصل از مدل‌سازی مربوطه می‌توان به منظور پیش‌بینی و هشدار رخداد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

واژگان کلیدی:

ضریب پایداری، شیب دامنه، فرسایش، مدل‌سازی، SINMAP.



مقاله پژوهشی

۱. کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mahdiyeh.shafiee2002@gmail.com

۲. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

*نویسنده مسئول

۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
fat@ardakan.ac.ir

۴. دانش‌آموخته دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
niazi8127@gmail.com

۵. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mtazeh@ardakan.ac.ir

شماره مقاله: ۲۴۰۱-۱۰۵۰

شماره صفحه پایایی: ۳۷۶-۳۸۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

زمان پذیرش: ۱۱۷ روز

استناددهی:

شفیعی، م، حیات‌زاده، م، فتح‌زاده، ع، نیازی، ع، و تازه، م. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فرآیند محور SINMAP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ماربر، شهرستان سمیرم). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۳(۱)، ۲۵-۳۳.

۱- مقدمه

در آمایش سرزمین و راهبرد توسعه پایدار، انتخاب و آرایش گزینه‌های کاربری زمین، طراحی پروژه‌ها و شیوه‌های مدیریت محیط با الزامات قانونی و فنی، بر نقشه‌های ارزیابی توان و پهنه‌بندی شدت و تیپ خطرات محیطی مانند زمین‌لغزش و ناپایداری زمین استوارند (Huang et al., 2023). با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش را شناسایی نمود و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا از خسارات ناشی از وقوع آن‌ها کم کرد (آرمین و همکاران، ۱۳۹۸). برای این منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش جهت شناسایی و تفکیک مناطق مستعد زمین‌لغزش و مکان‌های امن برای توسعه اقتصادی آینده در کشور زلزله‌خیز با تنوع زمین‌شناسی و توپوگرافی زیادی مانند ایران از حساسیت بالایی برخوردار است (آدینه‌وند و همکاران، ۱۳۹۶). زمین‌لغزش یک الگوی معمولی از حرکت زمین است که در آن سنگ‌ها و خاک‌ها از منبع جدا شده و از شیب به سمت پایین می‌لغزند. در برخی موارد، منجر به مسدود شدن رودخانه‌ها، دفن روستاها و از دست دادن جان و مال می‌شود (Hung et al., 2014; Nowicki et al., 2020). بیشتر ادبیات مربوط به پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش؛ به جای انواع مختلف زمین‌لغزش، تنها یک نوع زمین‌لغزش، مانند زمین‌لغزش سطحی، ریزش سنگ یا جریان گلی را در نظر می‌گیرند، که تا حد زیادی بر عملکرد پیش‌بینی حساسیت، تأثیر می‌گذارد (Reichenbach et al., 2018). بطور کلی زمین‌لغزش می‌تواند به تکامل چشم‌انداز نیز کمک کند (Tanyaş et al., 2017; Larsen and Montgomery., 2012). پس ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت و سازهای انسانی مستعد لغزش می‌باشد ضروری به‌نظر می‌رسد (خدایی قشلاق و همکاران، ۱۳۹۶). از طرفی با توجه به شباهت عوامل شرطی‌سازی، ویژگی تجمع زمین‌لغزش‌ها و فهرست زمین‌لغزش چند زمانی، باید اثرات مکانی و زمانی زمین‌لغزش‌ها در پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش در نظر گرفته شود، چون نا آگاهی از این موضوع منجر به برخی سوگیری‌ها و عدم پیش‌بینی مناسب در وقوع زمین‌لغزش می‌شود. از این رو، یک چارچوب جدید برای به‌روزرسانی حساسیت زمین‌لغزش با در نظر گرفتن همزمان اثرات مکانی و زمانی زمین‌لغزش‌ها در مقیاس منطقه‌ای می‌توان پیشنهاد داد (Chang et al., 2023). همچنین تشدید فراوانی و شدت بلایای طبیعی در دهه گذشته باعث شده است که جامعه مجبور به توسعه راه‌حل‌های فن‌آوری نوآورانه برای کاهش اثرات بلایا باشد به‌طوری‌که ماهیت چند رشته‌ای مدیریت بلایا، همکاری بین رشته‌های مختلف را برای یک نتیجه کارآمد می‌طلبد، بنابراین چنین چارچوب مشترکی در ادبیات وجود ندارد (لجم‌اورک و پیری، ۱۴۰۲). پس یک طبقه‌بندی مشترک و تفسیر محدودیت‌های مربوط به مدیریت بلایا برای توسعه راه‌حل‌های فن‌آوری کارآمد بسیار مهم است (Iqbal et al., 2021). SINMAP نیز یکی از مدل‌ها و فن‌آوری‌هایی است که با استفاده از برخی اطلاعات موجود در منطقه به بررسی پایداری دامنه در برابر زمین‌لغزش می‌پردازد. مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور در ارتباط با زمین‌لغزش و پیش‌بینی آن با مدل‌های مختلف صورت پذیرفته است. از جمله Cook et al. (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای جهت نقشه‌برداری و پایش زمین‌لغزش‌های شهری در نیوزلند با استفاده از داده‌های سنتینل ۳ و تکنیک InSAR اقدام به نظارت بر تغییر شکل زمین مربوط به زمین‌لغزش کردند و کارایی روش مذکور را به اثبات رساندند. Abay et al. (۲۰۱۹) به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از AHP^۵ در اتیوپی پرداخته نتایج این پژوهش نشان داد که سنگ‌شناسی، نزدیکی به گسل، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. سبزواری و طالبی (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای اطلاعات ده دامنه از منطقه سد ایلام جهت محاسبه لغزش را برداشت کردند و مشخصات هر نقطه را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۶ ثبت کردند سپس نقشه‌های کمبود رطوبت خاک و شاخص اشباع‌پذیری دامنه‌ها بر اساس TOPMODEL و در نهایت نقشه‌های ضریب پایداری براساس مدل SINMAP برای منطقه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مناطقی که پوشش ضعیف دارند در مقایسه با مناطق دارای پوشش درختی بلوط از پایداری کمتری برخوردار هستند. صفرپور و همکاران (۱۳۹۹) زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوزه آبخیز سد بیدواز اسفراین را با استفاده از مدل شاخص پایداری دامنه در شرایط مختلف هیدرولوژیکی با استفاده از بسته‌های Arc GIS و اسنچی کردن پارامترها در محیط SINMAP و تلفیق پارامترهای مکانیک خاک و پارامترهای هیدرولوژیک با نقشه رقوم^۱ ارتفاعی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نشان دادند که در شرایط هیدرولوژیک معمول، عملکرد مدل در شبیه‌سازی زمین‌لغزش‌ها متوسط است. درحالی که با افزایش شرایط رطوبت هیدرولوژیک در محدوده مورد مطالعه، عملکرد مدل افزایش چشم‌گیری داشته است و پیش‌بینی مدل توانست به ترتیب ۲۱٪ و ۲۶٪ در مراحل کالیبراسیون و اعتبار سنجی ارتقاء پیدا کند. ایران با توجه به ویژگی‌های زمین ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی و آب و هوایی از جمله کشورهایی به حساب می‌آید که در اثر وقوع زمین‌لغزش‌ها هر ساله متحمل خسارات سنگین می‌شود. با توجه به اینکه بسیاری از خسارات ناشی از زمین‌لغزش به دلیل عدم رعایت اصول صحیح در گسترش مناطق مسکونی، ساخت سدها، احداث راه‌ها و تاسیسات و غیره به‌وجود آمده‌اند، لزوم شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش از اهمیت بسیاری برخوردار است (طالبی و ایزددوست، ۱۳۹۰). امروزه مطالعه علمی و جامع پدیده زمین‌لغزش در دنیا به دلایل تحمیل خسارات مالی و جانی وارد شده بر اجتماعات انسانی، یکی از مسایل مهم محسوب می‌گردد (Froude et al., 2018). دستیابی به نتایج مطلوب از لحاظ ایمنی و اقتصادی در پروژه‌های عمرانی، مانند انتخاب مسیر، احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی و طرح‌های توسعه

1. landslide susceptibility prediction (LSP)

2. Stability Index Mapping

3. Entinel

4. Interferometric synthetic aperture radar

5. Analytical Hierarchy process

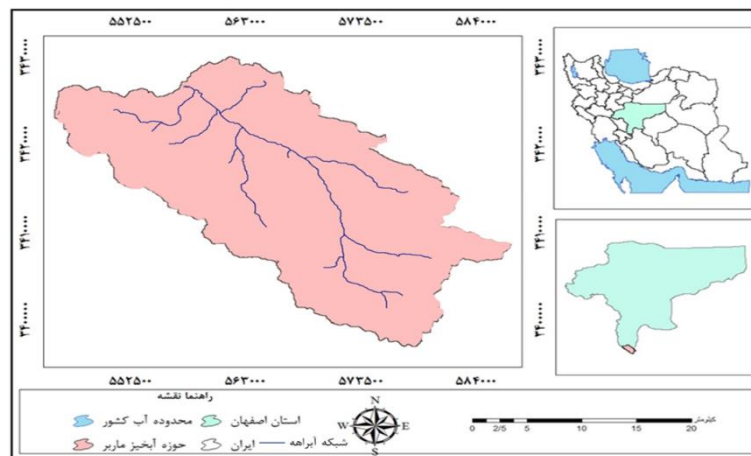
6. Geographic Information System (GIS)

جنگل‌ها و مراتع طبیعی در گرو مطالعه و توجه به پایداری شیب‌های طبیعی منطقه است (بابلی موخر و همکاران، ۱۳۹۷). عدم توجه به این مسأله خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی، تخریب اراضی و رسوب‌زایی حوزه را می‌تواند به دنبال داشته باشد. شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی با استفاده از مدل‌های فرآیند محور یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در مدیریت مناطق جنگلی و به ویژه در طراحی مسیرهای جدید جاده‌های جنگلی جهت کاهش هزینه ساخت و نگهداری جاده‌ها می‌باشد. در پیشنهاد مدل‌ها و راهکارهای مناسب برای ارزیابی خطر لغزش زمین تلاش‌های بسیاری توسط پژوهشگران مختلف در دنیا و کشور ما انجام شده است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق با استفاده از مدل SINMAP به پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز ماربر واقع در استان اصفهان پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۶۳۰ کیلومترمربع، در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵/۷۷ ثانیه تا ۵۱ درجه، ۵۴ دقیقه و ۱۱/۵۴ ثانیه طول شرقی ۳۰ درجه، ۴۱ دقیقه و ۴۵/۸۲ ثانیه تا ۳۰ درجه، ۵۹ دقیقه و ۴۰/۸۶ ثانیه عرض شمالی در استان اصفهان و ۵۵ کیلومتری جنوب شهر سمیرم واقع شده است. بیشتر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه از کوهستان‌های بلند و دره‌های عمیق تشکیل شده و فقط در قسمت‌های میانی حوزه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری است. بیشتر سطح این حوزه اقلیم نیمه مرطوب معتدل با زمستان‌های سرد و بسیار سرد است. همچنین کاربری این حوزه به ترتیب وسعت مرتع، صخره، کاربری زراعی و جنگل است (جهان‌دیده و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش کار

برای انجام این تحقیق با استفاده از داده‌های اسنادی و کتابخانه‌ای، داده‌های رقومی ارتفاعی و نمونه‌برداری میدانی از زمین‌لغزش‌ها در موقعیت منطقه استفاده شده است. سپس بر اساس مدل SINMAP نقشه پهنه‌های حساس به زمین‌لغزش در حوزه مورد مطالعه مشخص می‌شود. در واقع این مدل شاخص پایداری نقشه‌برداری است، که ترکیبی از مدل‌های مکانیکی پایداری شیب بی‌نهایت و مدل هیدرولوژیکی می‌باشد (صفرپور و همکاران، ۱۳۹۴). این مدل به‌عنوان ابزار واقعی نقشه‌برداری زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد که انواع روش‌های نقشه‌برداری پایداری زمین را تعریف می‌کند (Roback et al., 2018). بطور کلی اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و مکانیک خاک دامنه‌ها در محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شود. بنابراین برای دستیابی به این اطلاعات لازم بود تا ابتدا دامنه‌های نمونه برای اندازه‌گیری متغیرهای فوق شناسایی شوند. برای این منظور نیز ابتدا نقشه پراکنش لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. سپس بر اساس آن‌ها، دامنه‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری متغیرهای نمونه انتخاب شد. نقشه پراکنش دامنه‌ها با استفاده از اطلاعات محلی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه شد. پس از شناسایی دامنه‌های مطالعاتی، موقعیت آن‌ها به کمک GPS تعیین و سپس به نقشه پایه منطقه منتقل شد. انتخاب دامنه‌های مطالعاتی بر اساس بازدیدهای میدانی و استفاده از نظر کارشناسان متخصص در این زمینه صورت گرفت (شکل ۲).

مدل SINMAP شرایطی را جهت کنترل زمین‌لغزش انتقالی سطحی توسط همگرایی جریان آب زیرزمینی کم‌عمق فراهم می‌آورد، اساس این مدل بر مدل پایداری شیب بی‌نهایت می‌باشد (Dias Nory et al., 2015). فاکتور پایداری (Fs) بر طبق رابطه (۱) تعریف شده که تمام محاسبات بر اساس آن انجام می‌شود:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta[1 - W.r] \tan\theta}{\sin\theta}$$

رابطه (۱)

که در اینجا، C چسبندگی خاک و ریشه می‌باشد که با توجه به رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$C = (Cr + Cs) / (h * g * ps) \quad \text{رابطه (۲)}$$

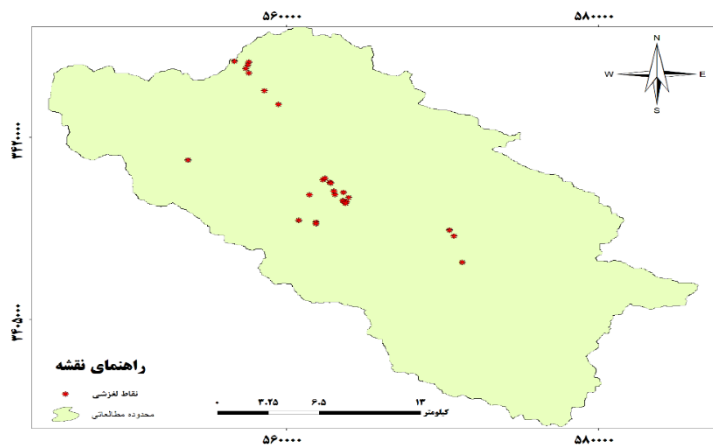
h ضخامت خاک (متر)، g شتاب ثقل (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)، θ زاویه شیب (درصد)، ps وزن مخصوص خاک (کیلوگرم بر متر مکعب)، Φ زاویه اصطکاک داخلی خاک مقادیر پیش فرض زاویه اصطکاک داخلی نیز برای مرز پایین دست و بالادست به ترتیب ۳۰ و ۴۵ درجه می‌باشد که براساس بافت و ساختمان خاک ورودی به مدل تعدیل می‌گردد، w رطوبت نسبی است که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$w = \min [R/T * a / \sin(\theta), 1] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه: R بارندگی خالص (میلی‌متر بر ساعت)، a سطح بالادست دامنه (متر مربع)، T انتقال‌دهندگی خاک (متر مربع بر ساعت) که از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$T = k * d \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در اینجا K هدایت هیدرولیکی (متر در روز)، D عمق خاک (متر)، با توجه به این فاکتور پایداری (fs) جدولی به دست می‌آید که بر اساس آن می‌توان پایداری و یا عدم پایداری دامنه‌ها را پیش‌بینی نمود جدول (۱).



شکل (۲): موقعیت نقاط لغزشی

جدول (۱): تعریف کلاس پایداری مدل SINMAP (Pack et al., 2001)

کلاس	شرایط	حالت پیش‌بینی
۱	$Fs > 1/5$	منطقه پایدار
۲	$1/25 < Fs < 1/5$	منطقه با پایداری متوسط
۳	$1 Fs < 1/25$	منطقه شبه پایدار
۴	$0.5 Fs < 1$	منطقه پایین‌تر از سطح آستانه
۵	$0 Fs < 0.5$	منطقه بالاتر از سطح آستانه
۶	$Fs < 0$	منطقه حفاظت شده

از ویژگی‌های بارز مدل نرم‌افزاری SINMAP این است که محاسبات بر پایه یک شبکه سلولی انجام می‌گیرد و صحت اطلاعات خروجی بستگی به صحت اطلاعات موجود در مدل رقمی ارتفاع دارد. با توجه به فاکتور پایداری (fs) در جدول (۱) می‌توان پایداری و یا عدم پایداری دامنه‌ها را پیش‌بینی کرد. در این پژوهش به منظور پیش‌بینی زمین‌لغزش با مدل SINMAP از داده‌های زمینی مختلفی استفاده گردیده است. ورودی اصلی، مدل رقمی ارتفاع می‌باشد. با تعیین پارامترهایی از قبیل نسبت ظرفیت انتقال آب در خاک به بارش خالص (T/R)، چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک داخلی برای مرز بالادست و پایین دست منطقه مورد مطالعه و همچنین تراکم خاک برای کل حوزه، مدل رقمی ارتفاع تعدیل می‌گردد. در این مرحله نقشه‌هایی از قبیل مدل رقمی ارتفاع تصحیح‌شده، شیب، جهت جریان، سطح ویژه حوزه آبخیز، میزان اشباع شدگی خاک و در نهایت نقشه شاخص پایداری حاصل می‌شود. از طرفی پارامتر آگذری خاک در معادله (۴) دارای بعد (ml-1) می‌باشد که رطوبت نسبی را با در نظر گرفتن نسبت تغذیه مجدد سفره در شرایط ماندگار به ظرفیت زهکشی جانبی خاک، محاسبه می‌نماید. در واقع R تغذیه مؤثر برای یک دوره بحرانی از هوای مرطوب است که می‌تواند منجر به شروع فرآیند زمین‌لغزش گردد. سطح بالادست (که با توجه به تعداد پیکسل‌های شبکه رستری محاسبه می‌شود) در SINMAP با استفاده از یک راهکار بازگشتی تعیین می‌گردد. این روش در واقع انشعابی از الگوریتم برگشتی است که توسط مارک در سال ۱۹۸۸ برای جهت‌های منفرد ارائه

شد. سطح بالادست هر پیکسل برابر است با سطح خود پیکسل به علاوه سطحی از سلول‌های همسایه بالاست که به پیکسل موردنظر زهکش می‌شوند. در عمل مدل SINMAP با محاسبه شیب و رطوبت در هر نقطه شبکه اجرا می‌شود، اما فرض مدل این است که سایر پارامترها بزرگ‌تر و ثابت بوده‌اند و یا به عبارتی دیگر دارای توزیع احتمال ثابتی می‌باشند. در این مطالعه از دو سوم نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و یک سوم نقاط لغزشی برای ارزیابی مدل استفاده شده است. ضمناً بر اساس آنالیز حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای ورودی مدل SINMAP مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان دقت نتایج مدل SINMAP جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مشخص می‌گردد.

۲-۳- معیار ارزیابی کارایی مدل

سازمان جهانی هواشناسی برای ارزیابی انواع مدل‌ها به دو صورت عمل کرده است. در این تحقیق دو نوع معیار عددی به منظور ارزیابی کارایی و خطای هر شبکه و توانایی آن برای پیشگویی دقیق استفاده می‌شود. ریشه مربع متوسط خطا که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه فوق y_i نتایج مشاهداتی، \hat{y}_i نتایج محاسباتی و N تعداد کل مشاهدات است. RMSE اختلاف مابین مقدار مشاهده شده و مقادیر محاسبه شده را نشان می‌دهد. کمترین مقدار RMSE بالاترین صحت پیشگویی را نشان می‌دهد. R^2 که نشانگر میزان بازده شبکه می‌باشد و بر اساس رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

بهینه‌ترین جواب برای مدل هنگامی ایجاد خواهد شد که RMSE به سمت صفر و R^2 به سمت یک میل کند.

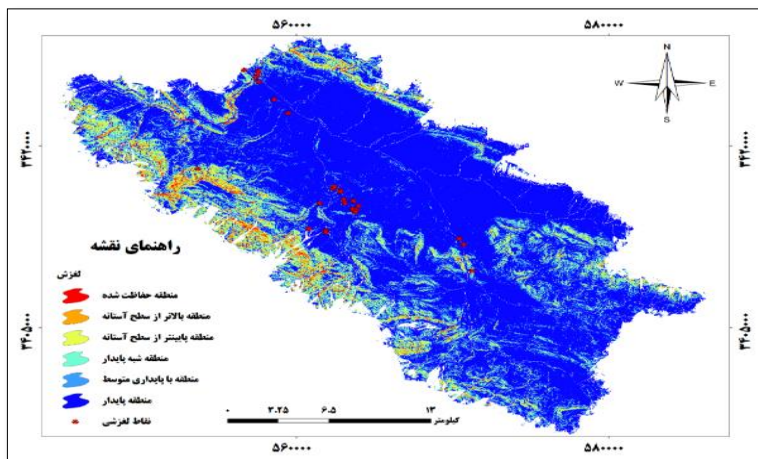
۳- نتایج

با در نظر گرفتن ویژگی‌های مدل SINMAP در تعریف بازه حداقل و حداکثر عدم قطعیت در داده‌های ورودی مدل مشخص شد که بر اساس زمین‌لغزش‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه، ۹ واقعه یعنی حدود ۳۳ درصد از زمین‌لغزش‌ها در منطقه پایدار اتفاق افتاده است. کمترین رخداد این پدیده طبیعی در منطقه شبه پایدار رخ داده است. نتایج کلی وضعیت مدل‌سازی با SINMAP در جدول (۲) نشان داده شده است. بیشترین وسعت حوزه ماربر در منطقه پایدار با $Fs > 1/5$ و $70/67$ درصد مساحت قرار گرفته است. کمترین درصد مساحت برای منطقه حفاظتی با $Fs < 0$ و $0/64$ درصد از مساحت کل است. این منطقه دارای بیشترین زمین‌لغزش نیز هست. شکل (۳) نقشه حساسیت منطقه نسبت به زمین‌لغزش را در حوزه آبخیز ماربر را نشان می‌دهد.

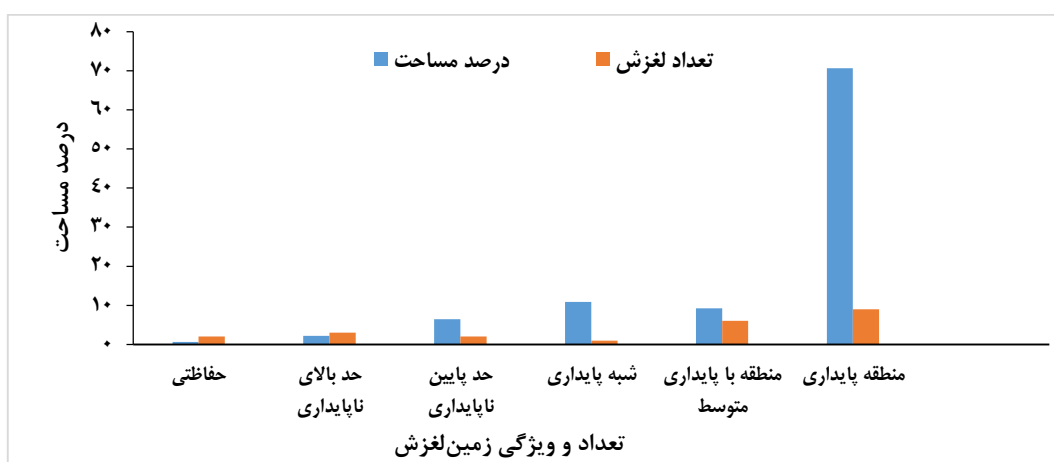
جدول (۲): نتایج آماری محاسبه شده با مدل SINMAP در شرایط معمول هیدرولوژیکی

ویژگی	شاخص Fs	مساحت (Km ²)	درصد منطقه	تعداد لغزش	درصد لغزش
حفاظتی	$Fs < 0$	۳/۷	۰/۶۴	۲	۷/۴
حد بالای ناپایداری	$0 < Fs < 0/5$	۲/۷۵	۲/۲۱	۴	۱۴/۸۱
حد پایین ناپایداری	$0/5 < Fs < 1$	۳۷/۹۵	۶/۴۱	۳	۱۱/۱۱
شبه پایدار	$1 < Fs < 1/255$	۶۲/۴۵	۱۰/۸۳	۲	۷/۲
منطقه با پایداری متوسط	$1/25 < Fs < 1/5$	۵۲/۲۶	۹/۲۴	۷	۲۵/۸۵
منطقه پایدار	$Fs > 1/5$	۴۰۷/۵۵	۷۰/۶۷	۹	۳۳/۳۳

نتایج فاکتور پایداری Fs موقعیت منطقه نیز نشان داد که بیشتر منطقه دارای Fs بیشتر از $1/5$ هستند. شکل (۴) درصد مساحت دارای زمین‌لغزش و وضعیت منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس وضعیت نمودار می‌توان گفت که بیشترین درصد و بیشترین تعداد رخداد زمین‌لغزش در منطقه پایدار است.



شکل (۳): نقشه حساسیت منطقه نسبت به زمین لغزش



شکل (۴): توزیع پهنه‌ها و درصد زمین لغزش در حوزه آبخیز ماربر با استفاده از مدل SINMAP در شرایط معمول هیدرولوژیکی

۳-۱- نتایج سناریو تعریف شده در مدل SINMAP

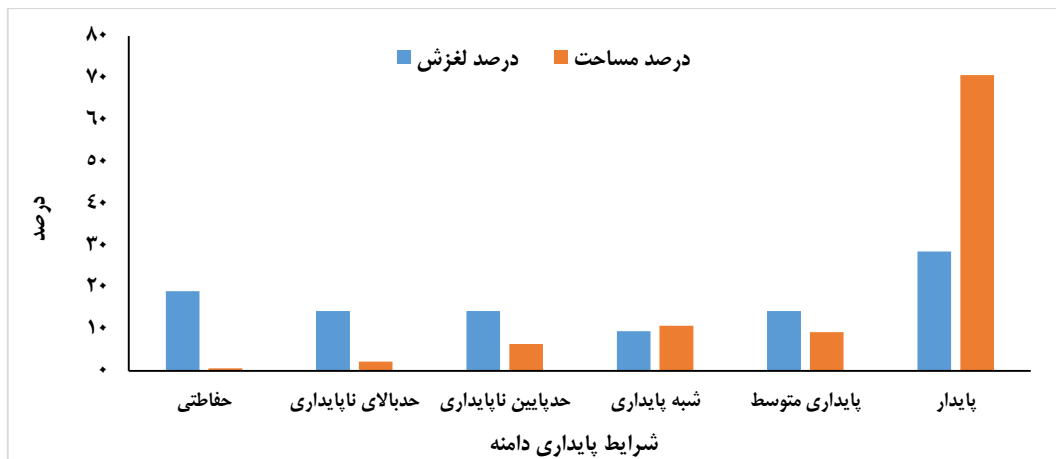
با توجه به سناریوهای تعریف شده در تحقیق مشخص شد که ۳۷/۱۷ درصد منطقه در حالت پایدار قرار دارد. با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی و شیب منطقه از بین ۹ پدیده رخ داده در منطقه پایدار تعداد ۶ پدیده در این منطقه مدل‌سازی شده است. شکل (۵) درصد لغزش و تعداد را در شرایط مختلف منطقه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نمودار منطقه پایدار بیشترین لغزش و بیشترین درصد مساحت را دارد. منطقه پایدار دارای مساحت بیشتری نسبت به دیگر مناطق است و بیشتر موارد لغزشی ثبت شده در اثر دخالت‌های انسانی در منطقه رخ داده است.

جدول (۳): نتایج محاسبه شده با مدل SINMAP در شرایط معمولی اجرای مدل

ویژگی/منطقه	حفاظتی	حد بالای ناپایداری	حد پایین ناپایداری	شبه پایداری	پایداری متوسط	پایدار
مساحت (کیلومتر مربع)	۷۸/۲	۹۵/۱	۶۸/۷	۱۰۰/۲	۱۰۵/۱	۲۵۲/۷
درصد منطقه	۱۲/۴۳	۱۴/۱۱	۷/۹۲	۱۳/۹۳	۱۴/۷۱	۳۷/۱۷
تعداد لغزش	۴	۳	۳	۲	۳	۶
درصد لغزش	۱۹/۰۴	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۹/۵	۱۴/۲۸	۲۸/۵۷

۳-۲- اعتبارسنجی مدل SINMAP

برای اعتبارسنجی مدل SINMAP از داده‌های مشاهده‌ای که در مرحله مدل‌سازی وارد نشده بودند استفاده و بر روی نقشه پتانسیل خطر روی هم‌گذاری شد و نتایج آنالیز شد. بر اساس نتایج بیش از ۷۰ درصد منطقه دارای شرایط پایدار است. جدول (۴) نتایج اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. شکل (۵) نیز توزیع فراوانی سطح و زمین‌لغزش‌های در حوزه آبخیز ماربر را نشان می‌دهد.



شکل (۵): توزیع فراوانی سطح و زمین لغزش‌های حوزه آبخیز ماربر

برای صحت‌سنجی مدل SINMAP از پارامترهای آماری حاصل از قبل و بعد استفاده شد. نتایج مدل نشان داد که همبستگی مناسبی برای پیش‌بینی صورت گرفته وجود دارد. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۷۸ و مقدار شاخص SR نیز برابر است با ۰/۸۱ محاسبه گردید.

جدول (۴): نتایج صحت‌سنجی مدل SINMAP برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

پارامترهای صحت‌سنجی	R^2	RMSE	SR
SINMAP	۰/۷۸	۹/۵	۰/۸۱

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق نقشه پایداری دامنه برای حوزه آبخیز ماربر جهت اجرای مدل SINMAP برای هر واحد مکانی با استفاده از ترکیب اطلاعات اندازه‌گیری شده و لایه‌هایی مانند مدل رقمی ارتفاعی، مقدار شیب، زاویه اصطکاک داخلی خاک، شاخص رطوبت توپوگرافیک و جریان اولیه بدست آمد. نتایج کلی مدل‌سازی نشان از وضعیت پایداری منطقه دارد. بطور کلی زاویه اصطکاک داخلی با مقدار ۱۸ درجه، وزن مخصوص خاک خشک با مقدار حداکثر ۱۶۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب)، حداکثر ضریب انتقال خاک با مقدار ۰/۲۱۴ و در نهایت بیشترین هدایت الکتریکی خاک منطقه برابر ۰/۲۴ (متر در روز) نقش مهمی را در رخداد زمین لغزش منطقه داشتند. صفرپور و همکاران (۱۳۹۴) و Das et al. (۲۰۱۰) تأکید بر روی هدایت هیدرولیکی خاک در رخداد واقعه زمین لغزش داشتند. صفرپور و همکاران (۱۳۹۹)، نشان دادند که عوامل اولیه مدل نقش مهمی در تعیین پهنه زمین لغزش مناطق مختلف می‌توانند داشته باشند. نتایج مدل SINMAP نیز نشان داد که ۷۰/۶۷ درصد از مساحت حوزه ماربر در منطقه پایدار با $Fs > 1/5$ و با بیشترین تعداد واقعه زمین لغزش در شرایط واقعی می‌باشد. ۰/۶۴ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز ماربر در شرایط حفاظتی با $Fs < 0$ است. نتایج فاکتور پایداری Fs نیز نشان داد که بیشتر مناطق حوزه آبخیز ماربر دارای Fs بیشتر از ۱/۵ هستند. یکی از دلایل ایجاد زمین لغزش‌های مکرر در منطقه پایدار، قطعیت اطلاعات ورودی به مدل، دخالت فعالیت‌های انسانی در عرصه‌های طبیعی و در نهایت از بین رفتن پوشش گیاهی و تغییر شرایط رطوبتی خاک را می‌توان نام برد. طالبی و همکاران (۱۳۹۰) اظهار کردند وضعیت هر منطقه تابع اطلاعات اندازه‌گیری شده و ورودی به مدل است و عواملی مانند پوشش گیاهی نقش موثری در وضعیت زمین می‌تواند داشته باشد. طالبی و همکاران (۱۳۹۵) کارایی مدل SINMAP را برای مناطق دارای شرایط ناپایدار با توجه به پارامترهای ورودی به مدل مناسب معرفی کردند.

بنابراین علاوه بر تعیین نقشه پهنه‌بندی می‌توان به تفکیک هر یک از متغیرها از طریق سناریو سازی در مدل و اولویت بندی آنها و تعیین اولویت مکانی برای اعمال اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی و دوری از پهنه‌های پرخطر اقدام نمود. بررسی میزان تأثیر متغیرهای مستقل بر وقوع زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد و به ویژه در خصوص مهمترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش، نتایج حاصل با اصول اولیه ناپایداری دامنه‌ها مطابقت دارد. در این تحقیق پارامترهای شیب و زاویه اصطکاک داخلی خاک مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان دقت نتایج مدل SINMAP جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش هستند. با توجه به نقشه شیب تهیه شده از حوزه آبخیز ماربر مشخص شد که لغزش‌های ثبت شده در دامنه شیب بین ۱۲-۲ درصد قرار دارند. لذا علاوه بر پارامتر شیب که یک حالت عمومی برای نمایش دارد، نتایج نشان می‌دهد که زاویه اصطکاک داخلی، وضعیت چسبندگی و بافت خاک در رخداد زمین لغزش با اهمیت می‌باشند. نتایج تحقیق با پژوهش‌های Das et al. (۲۰۱۰) و Paolin et al. (۲۰۰۵) که نقش شیب را خصوصاً در مناطق کوهستانی برای ایجاد زمین لغزش مهم نشان دادند و اشاره کردند که شیب می‌تواند عاملی برای شدت لغزش باشد هم‌راستا می‌باشد.

منابع

- آدینه‌وند، ر.، زارع، م.، و رئیس، ع. (۱۳۹۶). کاربرد مدل آماری رگرسیون لجیستیک نادر وقوع در ارزیابی پهنه‌بندی حساسیت به حرکات توده‌ای. کواترنری ایران، (۳)، ۳-۲۴۶-۲۳۱.
- آرمین، م.، مصفايي، ج.، قربان‌نیا، و.، و خیری، ا. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی زمین‌لغزش و برنامه مدیریتی کنترل خطر آن در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل حائری-سمیعی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۱)، ۱۹۶-۱۷۶.
- بابلی مؤخر، ح.، شیرانی، ک.، و تقیان، ع. (۱۳۹۷). کارایی تئوری بی‌نظمی سامانه‌های طبیعی در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه فهلیان. علوم زمین، (۱۰۹)، ۲۸: ۲۰۰-۱۸۷.
- خدایی‌قشلاق، ل.، روستایی، ش.، و حجازی، س. ا. (۱۳۹۶). ارزیابی روش رگرسیون لجیستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه حاجیلر چای. جغرافیای طبیعی، (۳۷)، ۱۰: ۴۵-۵۷.
- جهان‌دیده، م.، رحیمی، ا.، ظهرايي، ح.، و ستایش، ب. (۱۳۹۶). تعیین میزان همخوانی کاربری فعلی سرزمین با ارزیابی توان اکولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ماربر جنوبی سمیرم). نخستین همایش بین‌المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم، اصفهان، خردادماه ۱۳۹۶.
- سبزواری، ت.، و طالبی، ع. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه‌های آبخیز با استفاده از ترکیب دو مدل SINMAP و TOPMODEL. مهندسی و مدیریت آبخیز، (۱)، ۱۳: ۲۳۴-۲۲۲.
- صفرپور، ز.، فرزادمهر، ج.، گلکاریان، ع.، و بشیری، م. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مدل شاخص پایداری دامنه در شرایط مختلف هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه سد بیدواز اسفراین). مرتع و آبخیزداری، (۱)، ۷۳: ۱۴۸-۱۳۹.
- صفرپور، ز.، فرزادمهر، ج.، گلکاریان، ع.، و بشیری، م. (۱۳۹۴). بررسی کارایی مدل SINMAP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سر بیدواز اسفراین. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، خراسان رضوی، ۱۲۵ ص.
- طالبی، ع.، و ایزدوست، م. (۱۳۹۰). بررسی کارایی مدل SINMAP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی حوزه آبخیز سد ایلام). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۱۵)، ۶۸-۶۳.
- طالبی، ع.، و متولی، ع. (۱۳۹۵). بررسی زمین‌لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده با استفاده از مدل فرآیند محور پایداری سطحی دامنه (مطالعه موردی: محدوده محور ساری-کیاسر). زمین‌شناسی ایران، (۳۷)، ۱۰: ۱۳-۱.
- لجم اورک، م.، و پیری، ز. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS مطالعه‌ی موردی: شهرستان باغملک، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۳)، ۱۲، ۲۱۵-۱۹۳.
- Abay A., Barbieri G., and Woldearegay, K. (2019). GIS-based landslide susceptibility evaluation using analytical hierarchy processes (AHP) approach: the case of Tarmaber District, Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science* 11(1), pp 14-36.
- Chang, Z., Huang, F., Huang, J., Jiang, S. H., Liu., Y., Meena, S. R., and Catani, F. (2023). An updating of landslide susceptibility prediction from the perspective of space and time. *Geoscience Frontiers*, 14(5), 101619.
- Cook, M., Brook, M., Tunnicliffe, J., Cave, M., Hamling, I., and Holley, R (2021). Mapping and monitoring urban landslides in New Zealand using Sentinel-1 InSAR data: A case study from Gisborne (No. EGU21-13744). *Copernicus Meetings*.
- Das, I., Sahoo, S., Westen, C., Stein, A., and Hack, R. (2010). Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*, 114: 627-637.
- Dias Nory, T., and Carvalho vieira, B. (2015). Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar pavlo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 74:369-378
- Huang, F., Xiong, H., Yao, C., Catani, F., Zhou, C., and Huang, J. (2023). Uncertainties of landslide susceptibility prediction considering different landslide types. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 15(11), 2954-2972.
- Hungr, O., Leroueil, S., and Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.
- Iqbal, U., Perez, P., and Barthelmy, J. (2021). A process-driven and need-oriented framework for review of technological contributions to disaster management. *Heliyon* 7(11), e08405.
- Larsen, I. J., and Montgomery, D. R. (2012). Landslide erosion coupled to tectonics and river incision. *Nature Geoscience*, 5(7), 468-473.
- Nowicki Jessee, M. A., Hamburger, M. W., Ferrara, M. R., McLean, A., and FitzGerald, C. (2020). A global dataset and model of earthquake-induced landslide fatalities. *Landslides*, 17(6), 1363-1376.
- Tanyaş, H., Van Westen, C. J., Allstadt, K. E., Anna Nowicki Jessee, M., Görüm, T., Jibson, R. W., and Hovius, N. (2017). Presentation and analysis of a worldwide database of earthquake-induced landslide inventories. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122(10), 1991-2015.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., and Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-science reviews*, 180, 60-91.
- Roback, K., Clark, M. K., West, A. J., Zekkos, D., Li, G., Gallen, S. F., and Godt, J. W. (2018). The size, distribution, and mobility of landslides caused by the 2015 Mw7. 8 Gorkha earthquake, Nepal. *Geomorphology*, 301, 121-138.
- Froude, M. J., and Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2161-2181.
- Pack, R. T., Tarbaton, D. G., and Goodwin, C. N. (2001). Assessing Terrain Stability in a GIS using SINMAP, 15th annual GIS conference, GIS 2001, Vancouver, British Columbia. February 19-22. 17.
- Paolini, L., Villalba, R., and Grau, R. (2005). Precipitation variability and landslide occurrence in a subtropical mountain ecosystem of NW Argentina. *Dendrochronologia*, 22(3), 175-180.

Landslide Hazard Zoning Using SINMAP Process Oriented Model (Case Study: Marbor Basin, Semirom County)

Mahdieh Shafiee¹, Mehdi Hayatzadeh^{2*}, Ali Fathzadeh³, Yaghub Niazi⁴, Mahdi Tazeh⁵



Research Article

1. M.Sc. of Watershed Management, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
mahdiyeh.shafiee2002@gmail.com

2. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
mhayatzadeh@ardakan.ac.ir
*Corresponding author

3. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
fat@ardakan.ac.ir

4. Ph.D. Graduate, Department of Watershed, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
niazi8127@gmail.com

5. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
mtazeh@ardakan.ac.ir

Article Code: 2401-1050
Continous Pagination: 376-384

Received: 02 January 2024
Accepted: 27 April 2024
Online: 10 August 2024
Review speed: 117 days

Citation:

Shafiee, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., Niazi, Y., and Tazeh, M. (2023). Landslide Hazard Zoning Using SINMAP Process Oriented Model (Case Study: Marbor Basin, Semirom County). *Management of Natural Ecosystems*, 3(1), 25-33.

Abstract

Landslides are one of the natural disasters that happen every year due to the changes made by humans in natural areas. Landslide assessment requires accurate and reliable location information. Today, the use of new technologies such as data receiving and processing (by satellite), using softwares and information processing systems and development of process-oriented models, Landslide occurrence can be evaluated more accurately. In this research, the combination of ArcGIS software and SINMAP extension has been used to predict landslides. The main input of the SINMAP model is a digital elevation map, that is processed by determining parameters such as soil adhesion and density, internal friction angle for the upper and lower border of the studied area. In this research, for zoning of landslide hazard, while preparing and processing information such as ground control points, corrected digital elevation model, slope, flow direction, specific surface of watershed, Soil saturation level, finally, a sustainability index map was created. The results of the model while giving priority to the slope parameters and the internal friction angle of the soil in the landslide event showed that about 70.67% of Marbor basin area is in stable range. Also the modeling results in the studied area showed that among of 9 landslides that occurred in the stable area, 6 landslides can be predicted. The results of model validation with determination coefficient of 0.78 and the value of SR index equal to 0.81 also showed that there is a good correlation for the prediction. Therefore, the results obtained from the relevant modeling can be used to predict and warning the occurrence of landslides in the studied area.

Key Words:

stability coefficient, slope of the land, erosion, modeling, SINMAP.