

بررسی کارایی مدل شاخص پایداری دامنه در شرایط مختلف هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه سد بیدواز اسفراین)

- ❖ زکيه صفرپور؛ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران.
- ❖ جلیل فرزادمهر*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران.
- ❖ علی گلکاریان؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- ❖ مهدی بشیری؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران.

چکیده

لغزش یکی از عمده حرکات توده‌ای است که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی فراوان در مناطق پر باران کوهستانی و لرزه‌خیز می‌شود، از این رو شناسایی مناطق مستعد خطر برای برنامه‌ریزی و مدیریت جامع سرزمین امری ضروری می‌باشد. لذا در این پژوهش زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوزه آبخیز سد بیدواز با مساحت ۱۶۱ کیلومتر مربع و دارای ۱۲۵ نقطه لغزشی، با استفاده از مدل شاخص پایداری دامنه در شرایط مختلف هیدرولوژیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر روی دامنه‌های مورد نظر آزمایش دانه‌بندی خاک انجام و پارامترهای مکانیک خاک اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از بسته‌های Arc Gis و Arc View و کالیبره کردن پارامترها در محیط SINMAP و تلفیق پارامترهای مکانیک خاک و پارامترهای هیدرولوژیکی با نقشه راقومی ارتفاعی، مدل اجرا گردید. سپس اعتبارسنجی مدل در دو شرایط هیدرولوژیکی معمول که اجرای مدل با بارش‌هایی با دوره بازگشت ۱۰-۲ سال و شرایط هیدرولوژیکی حداکثر که شامل اجرای مدل با بارش‌هایی با دوره بازگشت‌های ۲۰-۵۰ سال بود اعمال گردید. نتایج نشان داد که در شرایط هیدرولوژیکی معمول، عملکرد مدل در شبیه‌سازی زمین‌لغزش‌ها متوسط است. در حالی که با افزایش شرایط رطوبت هیدرولوژیکی در محدوده مورد مطالعه، عملکرد مدل افزایش چشم‌گیری داشته است و پیش‌بینی مدل توانست به ترتیب ۲۱٪ و ۲۶٪ در مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی ارتقاء پیدا نماید. بنابراین از مدل SINMAP در شرایط رطوبت هیدرولوژیکی بالا می‌توان برای انتخاب مسیر راه‌های ارتباطی پرخطر با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش اقدام کرد.

کلید واژگان: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، سد بیدواز، مدل پایداری دامنه

۱. مقدمه

زمین لغزش می‌باشد.

زمین لغزش عبارت است از حرکت مواد تشکیل دهنده شیب شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌های مصنوعی و یا مخلوطی از آن‌ها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند. زمین لغزش پدیده‌ای است که تحت عنوان حرکت سریع توده‌ها بر اثر نیروی ثقل، عارض می‌شود [۱۹]. برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش‌ها ده‌ها مدل عددی با عوامل، وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع و در شرایط متنوع بر اساس شواهد زمینی واسنجی شده‌اند [۱۴]. روش‌های آماری فقط روابط بین وقوع زمین لغزش و عوامل مرتبط با آن را در نظر می‌گیرند، اما مکانیزم شکست را لحاظ نمی‌کنند، در مقابل روش‌های پایه فیزیکی، شرایط مکانیکی دامنه و پایداری آن را با استفاده از محاسبات ریاضی برآورد و تجزیه و تحلیل می‌کنند [۸]. در ارزیابی زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر رویکرد احتمالاتی، به این نتیجه رسیدند که عملکرد مدل‌های قطعی بهتر از مدل‌های آماری بوده است، علاوه بر این، نتایج نشان داد که در نظر گرفتن و شناخت عدم قطعیت نقش مهمی در دقت پیش‌بینی زمین لغزش‌ها ایفا می‌کند [۱۶]. مطالعه زمین لغزش‌های رخ داده محدوده جاده ساری - کیاسر که با استفاده از مدل پایه فیزیکی SHALSTAB مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که برای کل لغزش‌های به وقوع پیوسته ۷۳/۴ درصد از لغزش‌های واقعی در منطقه ناپایدار شبیه‌سازی شد که گویای کاربرد موفق این مدل می‌باشد [۱۷]. در بررسی عوامل مختلف در وقوع زمین لغزش‌های حاشیه جاده با استفاده از دو مدل SHALSTAB و SINMAP نتایج نشان داد زمانی که مدل‌ها برای پیش‌بینی لغزش‌های رخ داده در حاشیه جاده اجرا می‌گردد، کارایی پایینی دارند، زیرا فرآیند جاده‌سازی موجب تغییر در خصوصاتی از دامنه‌ها می‌گردد که این دو مدل آن را در نظر نمی‌گیرند [۱۳]. هدف اصلی این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش بر اساس مدل SINMAP و بررسی دقت مدل مذکور در تعیین مناطق حساس به

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۶۱ کیلومتر مربع، در مختصات جغرافیایی $30^{\circ}57'$ تا $56^{\circ}57'$ طول شرقی و $37^{\circ}01'$ تا $37^{\circ}15'$ عرض شمالی در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی قرار گرفته که جزء زون بینالود می‌باشد (شکل ۱).

۲.۲. مفاهیم مدل SINMAP

اصول نظری SINMAP ترکیبی از مدل عددی نامحدود پایداری شیب و رطوبت (فشار منفذی آب در داخل خاک) به دست آمده از توپوگرافی بر اساس مدل‌های هیدرولوژیک و در شرایط ماندگار می‌باشد [۱۶]. در این مدل از روش‌های خاصی جهت استخراج داده‌های مورد نیاز (شیب و سطح ویژه حوزه بالادست) از مدل رقومی ارتفاع، استفاده می‌شود [۱۵]. در این مدل هم‌چنین عدم قطعیتی برای پارامترهای مدنظر بین حدود از قبل تعریف شده توسط کاربر تغییر کرده و دارای توزیع یکنواختی می‌باشد. بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی یا خاک نیز می‌توان حدود تعریف شده قبلی را برای مناطق جغرافیایی مختلف در حوزه آبخیز واسنجی نمود [۱۵]. هم‌چنین با دیدن و بررسی زمین لغزش‌های مشاهده‌ای حوزه بر روی صفحه نمایشگر، عمل واسنجی را به صورت بصری به انجام رساند. به طوری که محدوده‌های دارای شاخص پایداری پایین، حداکثر تعداد زمین لغزش‌های مشاهده‌ای را در برمی‌گیرند [۷ و ۱۲]. این روش به مدل‌سازی ضریب اطمینان پرداخته که این ضریب به صورت نسبت نیروهای پایدار ساز به نیروهای ناپایدارکننده شیب تعریف می‌شود: (رابطه ۱)

$$FS = \frac{C + \cos \theta \left[1 - \min \left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) \cdot r \right] \tan \phi}{\sin \theta} \quad \text{رابطه ۱}$$

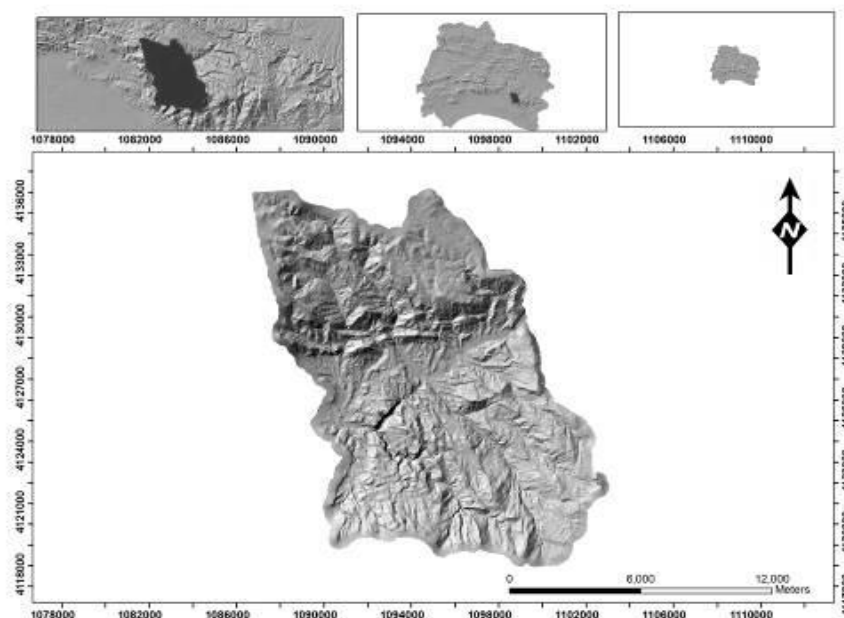
$$C = \frac{(C_s + C_r)}{(\rho_s \cdot g \cdot h)} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه C_s چسبندگی خاک (N/m^2)، C_r چسبندگی ریشه (N/m^2)، g شتاب جاذبه زمین (m/s^2)، h ضخامت خاک (m) می باشد.

$$T = K_s \cdot d \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این رابطه K_s هدایت هیدرولیکی اشباع (m/day) و d عمق خاک در راستای عمود بر دامنه (m) می باشد. جدول (۱) رتبه بندی پایداری دامنه (SI) در مدل SINMAP را نمایش می دهد.

در این رابطه: C چسبندگی مؤثر خاک (بدون بعد)، θ زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)، R بارندگی مؤثر (بارندگی که مستقیماً به خاک رسیده و نفوذ می کند) (mm/h)، T ضریب انتقال دهندگی آب در خاک (m^2/h)، r نسبت وزن مخصوص آب به وزن مخصوص اشباع خاک، a سطح بالادست دامنه (m^2)، که به همراه θ به ترتیب از نقشه توپوگرافی و نقشه رقمی ارتفاعی به دست می آیند. در این رابطه چسبندگی مؤثر خاک از رابطه ۲ و ضریب انتقال دهندگی آب در خاک از رابطه ۳ به دست می آید.



شکل ۱. موقعیت حوزه سد بیدواز اسفراین در استان خراسان شمالی

جدول ۱. تعریف کلاس پایداری مدل SINMAP

کلاس	شرایط	حالت پیش بینی شده
۱	$SI > 1/5$	منطقه پایدار
۲	$1/25 > SI > 1/5$	منطقه با پایداری متوسط
۳	$1 > SI > 1/25$	منطقه شبه پایدار
۴	$0.5 > SI > 1$	منطقه پایین تر از سطح آستانه
۵	$0 > SI > 0.5$	منطقه بالاتر از سطح آستانه
۶	$0 > SI$	منطقه حفاظت شده

۳.۲. داده‌های ورودی مدل

داده‌های ورودی مدل SINMAP شامل ماکزیمم بارش ۲۴ ساعته و خصوصیات فیزیکی خاک تا عمق ۵ متر می‌باشد. به این منظور از داده‌های بارندگی روزانه از ایستگاه اسفراین به مدت ۲۰ سال (از سال

۱۳۷۲-۱۳۹۲) استفاده شد. برای برآورد بهترین توزیع آماری بارش روزانه نرم‌افزار Smada استفاده گردید که توزیع آماری پیرسون تیپ ۳ به‌عنوان توزیع بهینه انتخاب گردید. با استفاده از توزیع آماری پیرسون تیپ ۳، بارش با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۲. میزان بارندگی با دوره بازگشت‌های مختلف ایستگاه اسفراین

ایستگاه	نوع توزیع/دوره بازگشت	۲	۱۰	۲۰	۵۰
اسفراین	پیرسون تیپ ۳	۱۹/۹۲	۲۰/۸۱	۳۹/۳۹	۴۷/۷۱

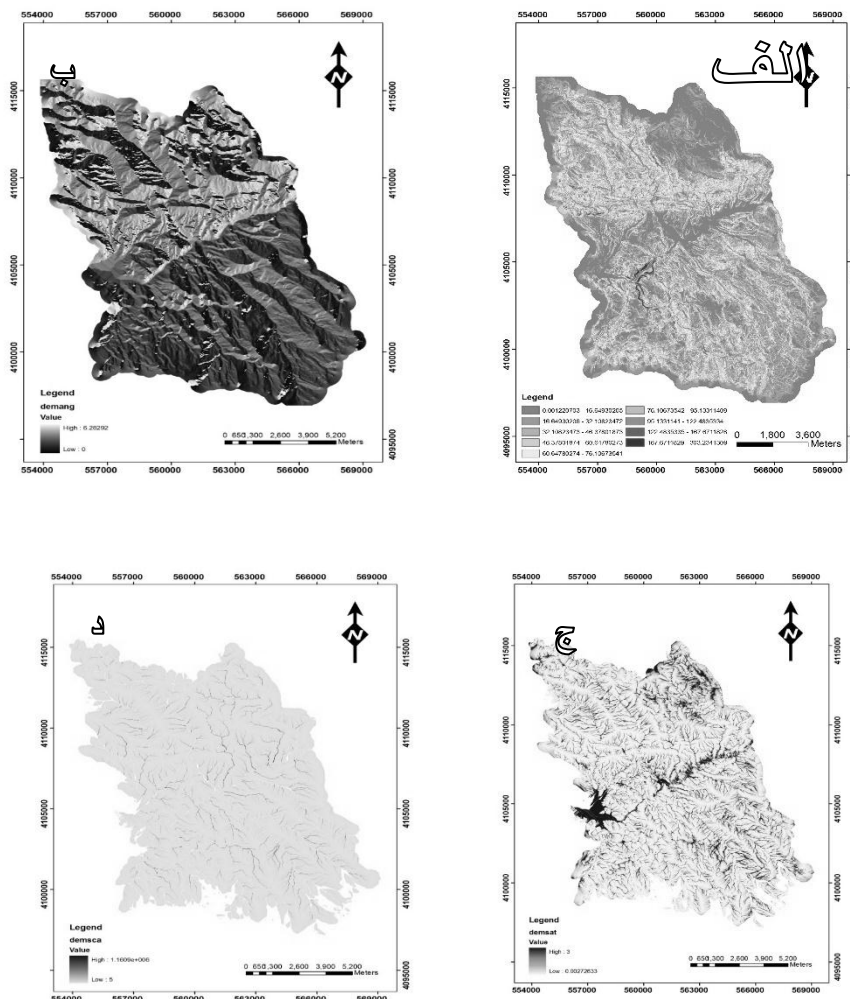
(بارش‌های با دوره بازگشت ۲۰ و ۵۰ ساله) گردید.

۳. نتایج

نقشه پایداری دامنه برای هر پیکسل از محدوده مورد مطالعه با استفاده از ترکیب اطلاعات و لایه‌هایی از قبیل مدل رقمی ارتفاعی، مقدار شیب، زاویه اصطکاک داخلی خاک، شاخص رطوبت توپوگرافیک و جریان اولیه ترسیم شد. SINMAP به‌طور جداگانه برای هر پیکسل مقادیر فاکتور اطمینان را تعیین می‌کند که برای ایجاد نقشه حساسیت به لغزش برای سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای ورودی مدل که از آزمایش بر روی گمانه‌های حوزه آبخیز سد بیدواز به‌دست آمده در جدول (۳) آمده است.

با توجه به جدول (۴)، شکل ۴ الف، از مجموع ۸۳ زمین لغزش، ۳۸ زمین لغزش یا به عبارت دیگر ۴۵٪ زمین لغزش‌های مشاهداتی در زون ناپایدار مدل‌سازی گردید که این مناطق ۴۱/۱٪ از کل منطقه را در بر گرفته است. با توجه به این آمار می‌توان به این نتیجه رسید که اجرای مدل SINMAP در شرایط هیدرولوژیکی معمول (بارش ۲ و ۱۰ ساله) کاربرد متوسطی در پیش‌بینی زمین لغزش‌های مشاهداتی در محدوده سد بیدواز دارد.

مدل SINMAP برای محاسبه لایه‌های وابسته به توپوگرافی، نیاز به مدل رقمی ارتفاعی دارد. در این مطالعه از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده گردید. نقشه شیب (شکل ۲ الف)، مسیر جریان (شکل ۲ ب)، سطح ویژه (شکل ۲ ج) و شاخص رطوبت توپوگرافی (شکل ۲ د) از مدل رقمی ارتفاعی از طریق نرم‌افزار Arc GIS آماده گردید (۵). متغیرها برای مدل SINMAP در این مطالعه از قبیل چسبندگی مؤثر خاک (C')، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک (ϕ')، وزن مخصوص خاک مرطوب (ρ_s) و عمق خاک (z) می‌باشد. در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل SINMAP، دامنه‌های موردنظر که آزمایش‌های مربوط به پارامترهای مکانیکی خاک آن توسط اداره راه و شهرسازی استان خراسان شمالی اندازه‌گیری شده، با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری، Arc GIS و Arc view و کالیبره کردن پارامترهای آن در محیط مدل SINMAP و تلفیق پارامترهای مکانیک خاک و پارامترهای هیدرولوژیک انجام شد. با استفاده از داده‌های مشاهداتی، کارایی مدل مذکور در حوزه سد بیدواز بررسی گردید. به‌منظور تأثیر عوامل هیدرولوژیک در وقوع زمین لغزش‌های منطقه بیدواز اقدام به سناریو‌بندی شرایط هیدرولوژیک معمول (بارش‌های با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ سال) و شرایط هیدرولوژیک حداکثر



شکل ۲. لایه‌های ورودی مدل SINMAP: نقشه شیب (الف)، مسیر جریان (ب) سطح ویژه (ج)، شاخص رطوبت توپوگرافی (د)

جدول ۱. اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های محدوده مورد مطالعه (اداره راه و شهرسازی استان خراسان شمالی)

گمانه ۵	گمانه ۴	گمانه ۳	گمانه ۲	گمانه ۱	واحد / منطقه	پارامتر
۵۶۳۷۹۵	۵۶۳۸۱۵	۵۵۷۷۱۴/۷	۵۶۰۰۵۹	۵۵۵۹۸۶/۲		طول جغرافیایی-UTM
۴۱۰۷۶۴۷	۴۱۰۲۵۳۹	۴۱۱۲۴۴۱	۴۱۰۸۶۷۸	۴۱۰۴۲۹۳		عرض جغرافیایی-UTM
۳/۲۵	۳/۸۵	۲/۱۵	۲/۹	۲/۳	متر	عمق نمونه
۳۳	۱۳	۳۸	۳	۱۸	درجه	زاویه اصطکاک داخلی خاک
۰	۰/۸۶۹	۱/۰۶۱	۰/۲۵۳	۱/۱۶	—	چسبندگی مؤثر خاک
۱۷۷۰	۱۶۸۰	۱۷۹۰	۱۷۶۰	۱۵۶۰	(Kg/m3)	وزن مخصوص خاک خشک
۲۰۴۰	۱۹۸۰	۲۱۰۰	۲۰۸۰	۱۹۱۰	(Kg/m3)	وزن مخصوص خاک مرطوب
۰/۰۳۶	۱/۴۶۶	۰/۱۶۳۲	۰/۶۲۱۶	۰/۱۶۳۲	Ks(m/day)	هدایت هیدرولیکی
۰/۱۱۷	۵/۶۴	۰/۳۵	۱/۸۰۲	۰/۳۷۵	T(m2/day)	ضریب انتقال خاک

جدول ۲. نتایج واسنجی آماری محاسبه شده با مدل SINMAP در شرایط هیدرولوژیکی معمول و حداکثر

مجموع	حفاظتی	حد بالای ناپایداری	حد پایین ناپایداری	شبه پایدار	پایداری متوسط	پایدار	SI	شرایط هیدرولوژیک
							متغیر	
۱۶۱/۲	۲/۴	۷/۹	۳۱/۹	۲۴	۱۷/۷	۷۷/۲	مساحت (km ²)	شرایط هیدرولوژیک معمول
۱۰۰	۱/۵	۴/۹	۱۹/۸	۱۴/۹	۱۱	۴۸	درصد منطقه	
۸۳	۲	۱۰	۱۲	۱۴	۱۰	۳۵	تعداد لغزش	
۱۰۰	۲/۴۱	۱۲	۱۴/۴۶	۱۶/۸۷	۱۲/۰۵	۴۲/۱۷	درصد لغزش	
۱۶۱/۲	۲/۶	۱۵/۲	۶۲/۳	۲۰/۱	۱۳/۵	۴۷/۴	مساحت (km ²)	شرایط هیدرولوژیک حداکثر
۱۰۰	۱/۶	۹/۵	۳۸/۷	۱۲/۵	۸/۴	۲۹/۴	درصد منطقه	
۸۳	۲	۱۱	۳۵	۱۰	۱۲	۱۳	تعداد لغزش	
۱۰۰	۲/۴۱	۱۳/۳۵	۴۲/۱۷	۱۲	۱۴/۴	۱۵/۶۶	درصد لغزش	

عملکرد مدل ارزیابی شد. نسبت موفقیت به عنوان این که چه مقدار مکان زمین لغزش های واقعی درست پیش بینی شده تعریف شده و محدوده آن بین صفر و یک است، هرچه این عدد به یک نزدیک تر باشد، مدل مذکور از صحت بیش تری برخوردار است (رابطه ۴).

رابطه ۴

$$SR = \frac{\text{تعداد زمین لغزش های صحیح پیش بینی شده}}{\text{کل زمین لغزش های رخ داد}}$$

در این مرحله با استفاده از یک سوم داده های مشاهده ای که در مرحله مدل سازی وارد نشده بودند، استفاده و بر روی نقشه پتانسیل خطر روی هم گذاری و نتایج آن ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به جدول ۵ در شرایط هیدرولوژیک معمول ۴۱/۱٪ از منطقه دارای پتانسیل خطر زمین لغزش بوده و ۴۷/۶۲٪ زمین لغزش ها در آن واقع شده اند که نشان دهنده عملکرد متوسط مدل در این شرایط است. همچنین در شرایط هیدرولوژیک حداکثر در مجموع ۶۲/۳٪ از سطح منطقه دارای پتانسیل خطر زمین لغزش است که ۷۳/۸۱٪ زمین لغزش ها در آن واقع شده اند و نشان دهنده عملکرد بهینه مدل در شرایط هیدرولوژیک حداکثر است.

با توجه به ویژگی این مدل در تعریف بازه حداقل و حداکثر پارامتر بارش، شرایط هیدرولوژیکی حداکثر برای اجرای این مدل در نظر گرفته شد (بارش با دوره بازگشت ۲۰ و ۵۰ سال). با توجه به جدول (۵) و شکل (۴ب)، ۶۲/۳٪ از منطقه مورد مطالعه در مناطق با پتانسیل خطر رانش پیش بینی گردید که ۶۷/۴۷٪ (۵۶ مورد از ۸۳ مورد زمین لغزش) زمین لغزش های مشاهده ای در این زون مدل سازی گشته اند که گویای کاربرد موفق این مدل در مرحله مدل سازی زمین لغزش دارد.

پس از این که مقادیر بهینه تعیین شد، این مقادیر در مدل جایگذاری شدند و نتایج حاصل از تعیین پایداری دامنه زمین لغزش های رخ داده در شرایط طبیعی مورد اعتبار سنجی قرار گرفت، از آنجا که نمی توان جهت ارزیابی کارایی و صحت نقشه خطر زمین لغزش، از نقشه پراکنش زمین لغزش استفاده کرد [۱۸]. جهت حل این مشکل از ۱۲۵ نقطه لغزشی که در منطقه شناسایی گردید دوسوم نقاط لغزشی (۸۳ نقطه لغزشی) برای مدل سازی و یک سوم نقاط لغزشی (۴۲ نقطه) برای ارزشیابی مدل استفاده گردید [۹]. همچنین برای تأیید یک مدل لغزش، یک شاخص و یا برآوردگر مناسب برای اندازه گیری عملکرد آن بسیار مهم است. براساس مطالعات قبلی [۲، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۲] با استفاده از نرخ موفقیت (SR)

جدول ۳. نتایج اعتبار سنجی محاسبه شده با مدل SINMAP در شرایط هیدرولوژیکی معمول و حداکثر

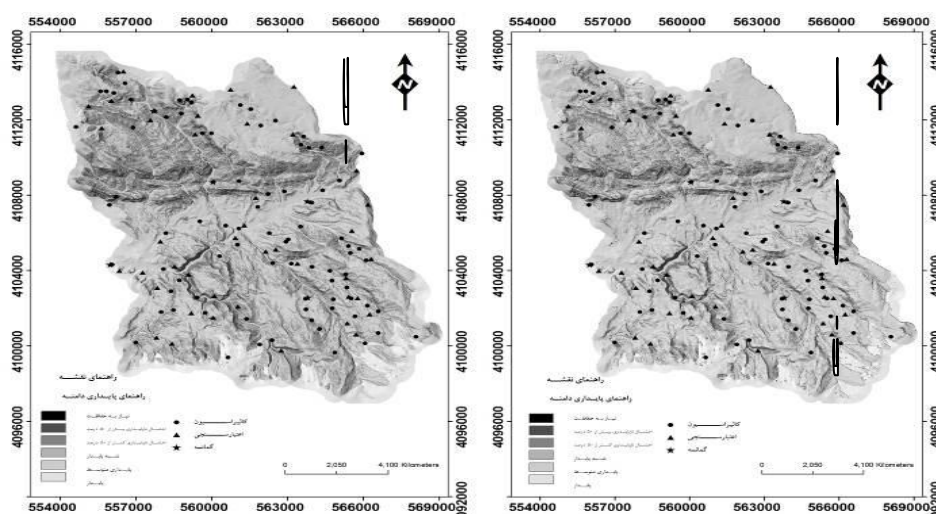
مجموع	حفاظتی	حد بالای ناپایداری	حد پایین ناپایداری	شبه پایدار	پایداری متوسط	پایدار	SI	
							متغیر	شرایط هیدرولوژیکی
۱۶۱/۲	۲/۴	۷/۹	۳۱/۹	۲۴	۱۸/۳	۷۷/۲	(km ²) مساحت	شرایط هیدرولوژیکی معمول
۱۰۰	۱/۵	۴/۹	۱۹/۸	۱۴/۹	۵	۱۷	درصد منطقه	
۴۲	۲	۲	۹	۷	۵	۱۷	تعداد لغزش	
۱۰۰	۴/۷۶	۴/۷۶	۲۱/۴۳	۱۶/۶۷	۱۱/۹	۴۰/۴۸	درصد لغزش	
۱۶۱/۲	۲/۶	۱۵/۲	۶۲/۳	۲۰/۱	۱۳/۵	۴۷/۴	(km ²) مساحت	شرایط هیدرولوژیکی حداکثر
۱۰۰	۱/۶	۹/۵	۳۸/۷	۱۲/۵	۸/۴	۲۹/۴	درصد منطقه	
۴۲	۲	۶	۱۶	۷	۲	۹	تعداد لغزش	
۱۰۰	۴/۷۶	۱۴/۲۹	۳۸/۱	۱۶/۶۷	۴/۷۶	۲۱/۴۳	درصد لغزش	

زمین لغزش نیز در این دو حالت اعمال گردید که مقادیر هر شاخص در جدول (۶) آمده است.

با توجه به اینکه این مدل برای تعیین ناپایداری دامنه نسبت به زمین لغزش در دو شرایط هیدرولوژیکی اجرا شد. صحت سنجی بر روی تعیین شاخص پایداری

جدول ۶. مقادیر شاخص های آماری جهت اعتبار سنجی

SR	مراحل مدل سازی
۰/۴۶	واسنجی مدل در شرایط هیدرولوژیکی معمول
۰/۶۷	واسنجی مدل در شرایط هیدرولوژیکی حداکثر
۰/۴۸	صحت سنجی مدل در شرایط هیدرولوژیکی معمول
۰/۷۴	صحت سنجی مدل در شرایط هیدرولوژیکی حداکثر

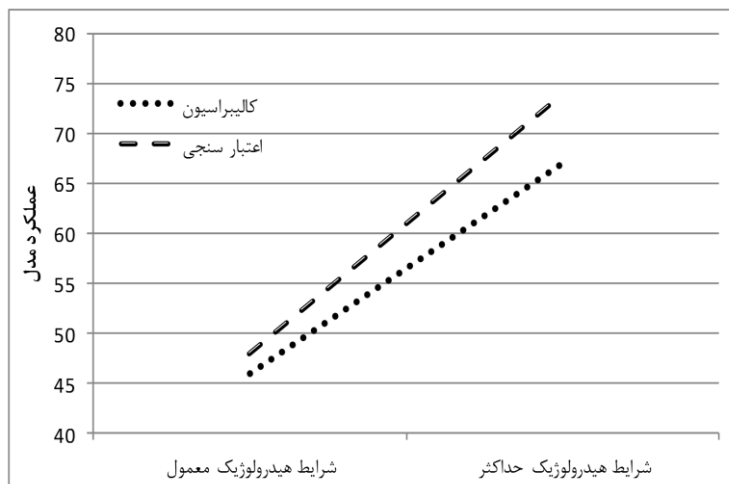


شکل ۲. نقشه پتانسیل خطر به همراه پراکنش نقاط لغزشی محدوده سد بیدواز الف: شرایط هیدرولوژیکی معمول، ب: شرایط هیدرولوژیکی حداکثر

ترتیب ۲۱٪ و ۲۶٪ در مراحل کالیبراسیون و اعتبار سنجی ارتقا پیدا نماید. با افزایش شرایط هیدرولوژیکی کارایی مدل بالا رفته و این نشان دهنده این است که مدل SINMAP در شرایط بحرانی کاربرد بهتری می تواند داشته باشد. با اعمال سناریوی هیدرولوژیک معمول ۴۵/۰۷٪ زمین لغزش های مشاهداتی در فاز کالیبراسیون و ۴۷/۶۲٪ زمین لغزش های مشاهداتی در فاز اعتبارسنجی به عنوان زمین لغزش پیش بینی گردیدند.

با توجه به جدول (۶)، مدل SINMAP در حالت صحت سنجی در شرایط هیدرولوژیک حداکثر با بیشترین مقدار نسبت موفقیت، دقت پیش بینی بالاتری نسبت به سه حالت دیگر اجرای مدل SINMAP داشته و مدل بهینه انتخاب گردید.

شکل ۵ خلاصه ای از تحقیق انجام شده را نمایش می دهد. با توجه به شکل ۵ با افزایش شرایط هیدرولوژیک در محدوده مورد مطالعه، عملکرد مدل افزایش چشم گیری در مدل سازی زمین لغزش ها داشته و مدل توانست به



شکل ۳. مقایسه عملکرد مدل SINMAP در مراحل مختلف مدل سازی زمین لغزش محدوده اسفراین

قادر به مدل سازی ۴۸٪ زمین لغزش های مشاهداتی است که این زمین لغزش ها از دید اجرایی و تثبیت ناپایداری دارای اهمیت بیش تری می باشند. چون شدت تغییرات کمتری لازم است تا این دامنه ها به ناپایداری برسند. لذا بایستی توجه بیش تری به این تعداد زمین لغزش ها جهت جلوگیری از گسترش فعالیت مجدد یا تثبیت آن داشت. در حالی که در شرایط هیدرولوژیکی حداکثر عملکرد مدل به طور چشم گیری افزایش پیدا نمود و این مدل قادر به مدل سازی ۴۷/۶۲٪ زمین لغزش های مشاهداتی گردید. نتایج مدل SINMAP با تغییر شرایط هیدرولوژیکی در حدود ۲۰٪ ارتقاء پیدا نمود که با نتایج [۳، ۵ و ۱۵].

۴. بحث و نتیجه گیری

لغزش یکی از عمده حرکات توده ای است که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی فراوان در مناطق پر باران کوهستانی و لرزه خیز می شود، از این رو شناسایی مناطق مستعد خطر برای برنامه ریزی و مدیریت جامع سرزمین امری ضروری می باشد. لذا در این پژوهش زمین لغزش های رخ داده در حوزه آبخیز سد بیدواز با ۱۲۵ نقطه لغزشی، با استفاده از مدل شاخص پایداری دامنه در شرایط مختلف هیدرولوژیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همان طور که در نتایج آماری که در دو حالت اجرای مدل مشاهده گردید، مدل SINMAP در حالت هیدرولوژیکی معمول

ضمن جلوگیری از گسترش خسارت و کاهش آن، از منابع اعتباری محدود در ساخت و نگهداری راه و ابنیه موجود در حوزه آبخیز سد بیدواز با توجه فنی و اقتصادی بیش‌تری استفاده نمود. هم‌چنین می‌توان از نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش در منطقه به عنوان سیستم‌های هشداردهنده وقوع زمین‌لغزش به‌منظور کاهش خطرات احتمالی و جلوگیری از وارد شدن خسارات جانی و مالی اقدام نمود. هم‌چنین در مکان‌هایی که احتمال وقوع لغزش زیاد است و دارای ارزش اقتصادی زیادی است از مدل SINMAP در مقیاس جزئی‌تر برای پیش‌بینی مناطق حساس به زمین‌لغزش استفاده گردد.

مطابقت دارد. همان‌طور که گفته شد مدل SINMAP چه در شرایط کالیبراسیون، چه در مرحله اعتبارسنجی در شرایط هیدرولوژیک بحرانی، پیش‌بینی بالاتری در وقوع زمین‌لغزش در منطقه سد بیدواز داشته است که با نتایج [۳، ۵، ۶، ۷، ۱۳، ۱۵] مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان از مدل SINMAP با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش در شرایط هیدرولوژیک بالا برای انتخاب مسیر راه‌های ارتباطی پرخطر اقدام کرد. بنابراین با پهنه‌بندی که از نتایج این پژوهش است، می‌توان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای

References

- [1] Ayalew, L., Ymagishi, H., Marui, H. and Kanno, T. (2005). GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. *The journal of Engineering Geology*, (81), 432-445.
- [2] Borga, M., Dalla Fontana, G., Da Ros, D. and Marchi, L. (1998) Shallow landslide hazard assessment using physically based model and digital elevation data. *Environ Geol*, 35(2-3), 81-88.
- [3] Carter, A. (2005). Using A Gis (Geographic Information System To Model Slope Instability And Debris Flow Hazards In The French Broad River Watershed, North Carolina. *Marine, Earth And Atmospheric Sciences*, 22(1). 15-24
- [4] Duan, J. and Grant, G. E. (2000) Shallow landslide delineation for steep forest watersheds based on topographic attributes and probability analysis, in: *Terrain Analysis – Principles and Applications*, edited by: Wilson, J. P., and Gallant, J. C., John Wiley & Sons, New York, 311-329.
- [5] Dietrich, W. E. and Real de Asua, R. (1998). A validation of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California. *National Council for Air and Stream Improvement*, 26.
- [6] Fowze, J.S.M., Buena, D., Daag, A.S., Hazarkia, M. K. and Samarkoon, L. (2007). Spatial modeling of rain-triggered Landslides(a Case study in Southern Leyte Province, Philippines), 193, 204-213.
- [7] Hammond, C., Hall, D, Miller, S and Swetik, P. (1992), "Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0," General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station.
- [8] Ho, J.Y., Lee, K.T., Chang, T.C., Wang, Z.Y. and Liao, Y.H. (2012). Influence of spatial distribution of soil thickness on shallow landslide prediction. *Engineering Geology*, 124, 38-46.
- [9] Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.
- [10] Lee, S. (2005). Application and cross-validation of spatial logistic multiple regression for landslide susceptibility analysis, *Geosciences*, 9(1), 63-71.
- [11] Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *The journal of Environmental Management*, 34, 223-232.

- [12] Shallow Landsliding," Water Resources Research, 30(4), 1153-1171.
- [13] Motevalli, A.S. (2014). Evaluation of different factors on the occurrence of landslides roadside using process-oriented models (case study: the sari –Kyasr Road), Master Thesis, Department of Natural Resources, Yazd University, in persian.
- [14] Ownegh, M. (2004), Assessing the applicability of the Australian landslide database in hazard management, proceeding of ISCO, Brisbane, 4 to 8 July. Australia, 1001-1006.
- [15] Pack, R.T. Tarboton, D. G and Goodwin, C.N. (1998). The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping, Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September.
- [16] Park, H., Lee, J. H. and Woo, I. (2013). Assessment of rainfall-induced shallow landslide susceptibility using a GIS-based probabilistic approach. Engineering Geology, 161, 1–15.
- [17] Safaei, M., Omar, H., Yousof, Z. M. and Motevalli, A. (2013). Application of a Physically Based Model for Terrain Stability Mapping in Northern Iran. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, 132-147.
- [18] Remendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. and Chung, C. (2003). Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, Natural Hazard, 437-449PP.
- [19] Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: A review of Principles and Practice, UNESCO, France, 63p.