

بررسی زمین لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده با استفاده از مدل فرآیند محور پایداری سطحی دامنه (مطالعه موردی: محدوده محور ساری - کیاسر)

علی طالبی^۱، علی‌رضا متولی^{۲*}

۱. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۲. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۲

چکیده

شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ها بخش مهمی از سرمایه‌های هر کشوری محسوب می‌شوند. در کنار این موضوع، نگهداری از این شبکه‌های عظیم ارتباطی و روند توسعه فرآیند جاده‌سازی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی مبحثی مهم به‌شمار می‌آید. در این تحقیق، زمین لغزش‌های رخ داده محدوده جاده کیاسر واقع در جنوب شهرستان ساری با استفاده از مدل پایه فیزیکی SHALSTAB مورد بررسی قرار گرفت و نقشه پایداری دامنه این محدوده به‌وسیله این مدل تعیین شد. در ابتدا مشخصات فیزیکی و مکانیکی ۱۵ نمونه خاک که در محدوده حاشیه جاده وجود داشتند برداشت و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و با ۱۱۵ مورد از لغزش‌های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیقات میدانی، تجزیه و تحلیل داده‌های زمین‌شناسی، تست‌های آزمایشگاهی و اجرای مدل نشان داد که برای کل لغزش‌های به وقوع پیوسته، ۴۳/۴۹ درصد لغزش‌های واقعی در منطقه ناپایدار صورت گرفته‌اند، سپس اقدام به تفکیک لغزش‌های حاشیه جاده از لغزش‌های رخ داده در شرایط طبیعی گردید و برای هر کدام از این زمین لغزش‌ها مدل اجرا گردید. نتایج نشان داد زمانی که با استفاده از لغزش‌های حاشیه جاده مدل SHALSTAB اجرا می‌گردد، این مدل قادر به شبیه‌سازی تنها ۱۸/۵۵ درصد از نقاط لغزشی در طبقات ناپایدار بوده و زمانی که این مدل با استفاده از لغزش‌هایی که در شرایط طبیعی به وقوع پیوسته در این محدوده اجرا می‌گردد، با پیش‌بینی ۶۹/۵ درصد، کاربرد موفق‌تری داشته است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش حاشیه جاده، زمین لغزش طبیعی، محور ساری- کیاسر، مدل SHALSTAB، نقشه پایداری دامنه.

مقدمه

جهان به‌عنوان یک تهدید جدی جانی- مالی مطرح است. شناخت نوع و فرآیند شکل‌گیری، عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای و شناخت گستره‌های دارای زمین لغزش و تعیین میزان خطر آن‌ها، مهم‌ترین مسائلی است که در

زمین لغزش یک فرآیند ژئودینامیکی است که معمولاً در سطح زمین رخ می‌دهد. زمین لغزش در بسیاری از مناطق

* نویسنده مرتبط: Ar.Motevalli@modares.ac.ir

(2003)، نیوزیلند (Claessens et al., 2005) و ایتالیا (santini et al., 2009; Cervi et al., 2010) داشته است. همچنین نتایج خروجی این مدل دقت بالایی در مقایسه با دیگر مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش داشته است. این مدل همچنین کاربرد موفقیت‌آمیزی در مناطق مرطوب برزیل به‌وسیله (Guimaraes et al., 2004; Fernandes et al., 2000) داشته است. در ایران در ارتباط با مدل‌های فرآیند-محور زمین لغزش، طالبی و ایزدوست (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان بررسی کارایی مدل فرآیند محور SINMAP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نقشه پایداری دامنه را با استفاده از این مدل تهیه کردند. نتایج حاصل از اجرای مدل SINMAP نشان داد که مدل SINMAP از دقت بالایی در پیش‌بینی خطر زمین لغزش در حوضه سد ایلام برخوردار است. استان مازندران به دلایل زیر از جمله مناطق بسیار مستعد زمین لغزش کشور می‌باشد: مهم‌ترین عامل، اقلیم مرطوب و پرباران استان است که به طرق مختلف اعم از مستقیم و غیرمستقیم در فراوانی وقوع حرکت توده‌ای نقش دارد. عامل دوم، شرایط زمین‌شناسی استان می‌باشد، وجود رخنمون‌های وسیع از سازندهای حساس به لغزش از قبیل تناوب‌های مارن میوسن و ماسه‌سنگ و سیلت، سازند شمشک، لس‌های کواترنر و همچنین خاک رومی نسبتاً ضخیمی که بر روی سازندها تشکیل شده موجب گردیده که سطح قابل توجهی از استان به‌طور بالقوه دارای شرایط وقوع حرکت توده‌ای باشد. در کنار این عوامل، عامل انسانی نیز با استفاده نادرست از منابع طبیعی (بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل و قطع درختان، جاده‌سازی و ...)، تغییر کاربری و احداث جاده‌های متعدد روستایی و جنگلی در سطح استان و به‌ویژه در این منطقه، حرکت‌های توده‌ای را تشدید می‌کند (شکل ۲). هدف از این مطالعه، بررسی زمین لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده محدوده محور ساری - کیاسر با استفاده از مدل فرآیند محور SHALSTAB می‌باشد.

راستای جلوگیری از این نوع مخاطره طبیعی باید به آن توجه شود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). اگرچه ناپایداری شیب ممکن است در اثر فاکتورهای انسان-محور مانند بریدن پای دامنه‌ها جهت اهداف ساختمانی و جاده‌سازی رخ دهد، اما خیلی از زمین لغزش‌ها خصوصاً در مناطق دارای خاک‌های رسوبی در معرض بارندگی شدید، به‌سادگی در اثر بارندگی رخ می‌دهند. بروز پدیده زمین لغزش می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد. با وجود این، نقش اساسی در شروع زمین لغزش را عمدتاً عاملی محرک ایفا می‌کند. بارندگی به‌عنوان متداول‌ترین عامل محرک وقوع زمین لغزش‌ها شناخته شده است. از این‌رو، مهم‌ترین بخش در مدل‌سازی تجربی، آماری و یا فیزیکی زمین لغزش، بخش هیدرولوژیکی آن خواهد بود (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸). در به وقوع پیوستن این حرکات، عوامل گوناگون با نسبت‌های مشارکتی متفاوت نقش دارند که شناخت این عوامل مؤثر در وقوع و شناسایی مناطق پرخطر و کم‌خطر از نظر وقوع، یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات جهت پیشگیری و کاهش خسارات می‌باشد. مدل‌های شبیه‌سازی و پهنه‌بندی زمین لغزش به‌طور کلی در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند: مدل‌های لرزه‌ای^۱ که مبتنی بر داده‌های لرزه‌نگاری بوده و پارامترهای زیادی را وارد نمی‌کنند، مدل‌های آماری^۲ که اکثراً مبتنی بر تراکم زمین لغزش‌ها در واحد سطح هستند و مدل‌های قطعی^۳ که این مدل‌ها بر پایه محاسبات عددی بوده و پارامترهای فیزیکی نسبتاً دقیقی را در مدل وارد می‌کنند (معماریان و صفدری، ۱۳۸۸). از آنجا که کاستی‌هایی در فهم فشار منفذی آب در خاک، از جمله توزیع مکانی و زمانی آن وجود داشت، برخی از مدل‌های فیزیکی توسعه یافتند (Yilmaz and Keskin, 2009). در خارج ایران، از مدل فرآیند محور SHALSTAB توسط Montgomery (1994) and Dietrich در شرق ایتالیا استفاده و گزارش شد که بسیاری از ناپایداری‌ها به‌درستی شناسایی شدند. همچنین این مدل کاربرد موفقیت‌آمیزی در مناطق مختلف، شامل آرژانتین (Rafaelli et al., 2001; Casadei et al., 2001)

1. Seismic

2. Statistic

3. Deterministic

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

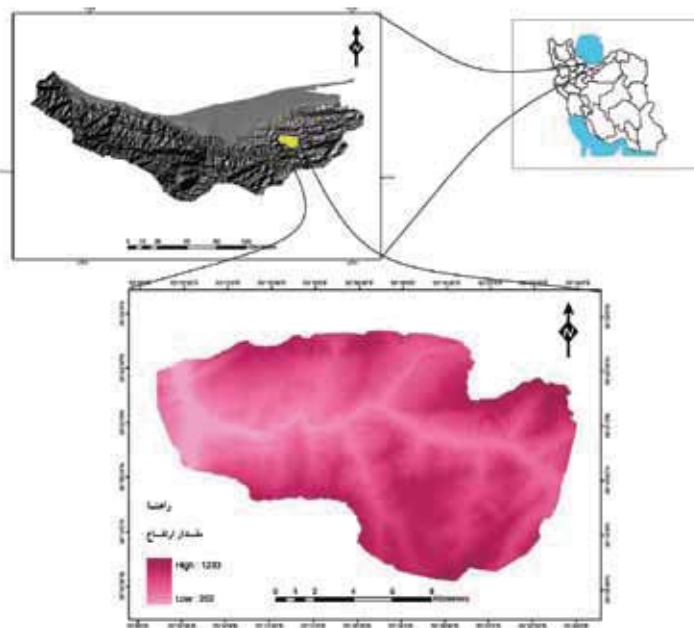
منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، با وسعت ۲۰۰ کیلومترمربع واقع در جنوب شهرستان ساری در حوضه آبخیز تجن در محدوده مختصات $53^{\circ} 09' 00''$ تا $53^{\circ} 23' 30''$ طول شرقی و $36^{\circ} 16' 30''$ تا $36^{\circ} 24' 00''$ عرض شمالی قرار دارد که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. بارندگی منبع اصلی آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. آمار هواشناسی نشان می‌دهد که بسیاری از بارش باران در طول ماه آذر با مقدار میانگین $110/68$ میلی‌متر رخ می‌دهد (جدول ۱).

زمین‌شناسی: منطقه مورد مطالعه، شامل سه دوران پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد. سازند مارن میوسن $M_{2,3}^{sl}$ شامل مارن، ماسه‌سنگ، سیلت‌آهکی، مارن سیلت دار، سنگ‌آهک ماسه‌ای، ماد ستون است. این سازند زمین‌شناسی گسترده‌ترین سطح در منطقه مورد مطالعه است که اکثریت زمین‌لغزش‌های موجود در این سازند واقع شده‌اند (شکل ۳). این محدوده توسط گسل اصلی شمال البرز با طول بیش از ۴۰۰ کیلومتر با روند تقریباً شرقی-غربی در بر گرفته شده است. این منطقه توسط چهار گسل فرعی کسوت، ششک، علمدارده و کلوکرد با روند شمال شرق -

جنوب غرب نیز در بر گرفته شده است. نقشه زمین‌شناسی مورد استفاده نشان‌دهنده توزیع یکنواخت لغزش‌های به وقوع پیوسته در سازندهای زمین‌شناسی منطقه است.

مدل پایداری سطحی دامنه

این مدل فرآیند-محور برای ارزیابی شرایط ناپایداری به‌منظور ایجاد یک نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به نام مدل پایداری سطحی دامنه به‌وسیله Montgomery and Dietrich (1994) توسعه یافت. مدل SHALSTAB با فرض ماندگاری جریان آب به‌موازات جریان اشباع به سطح لغزش و با استفاده از قانون داریسی برای تخمین توزیع مکانی فشار منفذی آب می‌باشد. این مدل داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاع را با جریان زیرسطحی نزدیک سطح زمین و مدل شیب بی‌نهایت ترکیب می‌کند (Montgomery et al., 1998). در این مدل هر جا شیب دامنه با زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر باشد، دامنه بدون هیچ قید و شرطی ناپایدار تعریف می‌شود. هنگامی که خاک در حال اشباع شدن است، زاویه بحرانی گسیختگی کاهش می‌یابد. مدل SHALSTAB نسبت $\log Q/T$ (نسبت لگاریتمی بارش مؤثر بر انتقال‌پذیری) را محاسبه می‌کند (Dietrich et al., 2001).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. آمار بارش ماهیانه در محدوده محور ساری - کیاسر از سال ۸۰ تا ۸۹

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	بارش (میلی‌متر)
۷۳/۹	۷۹/۲۵	۷۱/۰	۱۱۰/۶	۱۰۴/۸	۹۴/۴	۵۸/۸	۳۵/۳	۴۵/۰	۴۴/۸	۴۱/۳	۷۲/۱	میانگین بارش
۳۰/۵	۳۱/۰	۱۳/۰	۴۳/۵	۵۶/۰	۳۲/۵	۲۱/۰	۴/۵	۰/۵	۰/۷۰	۲۵/۰	۹/۰	حداقل بارش
۱۵۷/۰	۱۵۰/۰	۲۴۳/۰	۱۴۴/۰	۱۶۷/۵	۱۶۰/۰	۸۳/۰	۱۰۳/۵	۸۹/۰	۱۰۶/۵	۶۴/۵	۱۳۶/۰	حداکثر بارش



شکل ۲. نمایی از زمین لغزش اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه و درختی که در اثر رانش زمین نصف شده است

که در آن c چسبندگی مؤثر (kn/m^2)، ρ_s وزن مخصوص خاک اشباع (kg/m^3)، w_p وزن مخصوص آب (kg/m^3)، g شتاب گرانش (9.81 m/s^2)، z عمق خاک (m) و ϕ زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک و w : رطوبت نسبی می‌باشد.

نقشه رقومی ارتفاعی

این مدل برای محاسبه توپوگرافی، نیاز به داده‌های رقومی ارتفاعی دارد. در این مطالعه از نقشه خطوط تراز رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده گردید. نقشه شیب و سطح ویژه از نقشه رقومی ارتفاعی به وسیله مدل پایداری سطحی دامنه و از طریق برنامه Arc view 3.2 آماده گردید. این نقشه‌های اولیه نشان‌دهنده توزیع پستی و بلندی در منطقه و همچنین مرتبط با ناپایداری دامنه می‌باشند. در واقع سطح ویژه مناطق از طریق مدل SHALSTAB محاسبه می‌شود که الگوریتم آن بر پایه روش Quinn et al. (1991) است که سطح ویژه هر سلول توزیع شده به وسیله روش جریان را محاسبه می‌کند (Guimaraes et al., 2000) (شکل ۴). در این الگوریتم، جریان آب بالادست به سمت سلول پایین دست، مطابق با همان شیب است.

همچنین مدل SHALSTAB نسبت $\text{Log } Q/T$ (تأثیر بارش بر روی ضریب انتقال پذیری خاک) را با استفاده از نظریه شیب بی‌نهایت (Hammond et al., 1992) و تنش برشی خاک را با استفاده از نظریه گسیختگی موهر-کلمب و مدل هیدرولوژیکی (O'Loughlin, 1986) محاسبه می‌کند (Dietrich et al., 2001) (رابطه ۱).

$$\text{Log } \frac{Q}{T} = \frac{\sin \theta}{a/b} \left[\frac{\hat{c}}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \sin^2 \theta \cdot \tan(\phi)} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن Q بارندگی (mm)، T ضریب انتقال خاک (m^2/day)، a سطح ویژه (m^2)، b طول شیبی که در آن جریان شکل می‌گیرد (m)، c چسبندگی مؤثر (kn/m^2)، ρ_s وزن مخصوص خاک اشباع (kg/m^3)، w_p وزن مخصوص آب (kg/m^3)، g شتاب گرانش (9.81 m/s^2)، z عمق خاک (m) و ϕ زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک (درجه) می‌باشد. ضریب پایداری در این مدل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FS = \frac{C + (1 - w \cdot \frac{\rho_w}{\rho_s}) \cdot \rho_s \cdot g \cdot Z \cdot \cos 2\theta \cdot \tan \phi}{\rho_s \cdot g \cdot Z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad \text{رابطه ۲}$$

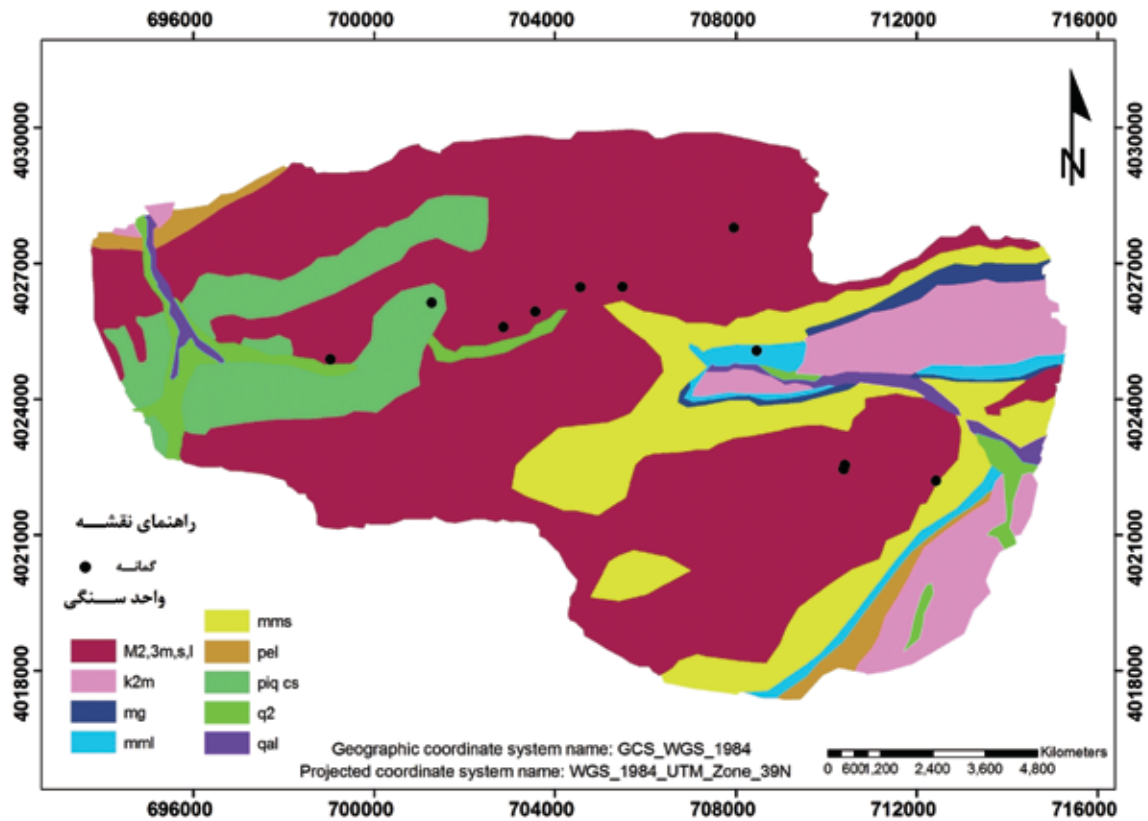
پارامترهای خاک

جهت طبقه‌بندی شاخص $\text{Log } Q \cdot T^{-1}$ نشان داده شده است. در جدول ۲ از واژه‌های پایدار در شرایط اشباع و غیراشباع برای طبقه‌بندی مناطقی استفاده شده که بر اساس تئوری مدل حتی با وجود حداکثری پارامترهای ناپایدارکننده، بازهم دچار شکست شیب نمی‌شوند، بنابراین $\text{Log } Q \cdot T^{-1}$ در این موارد به صورت شاخصی تعریف می‌گردد که برآوردی از شدت و بزرگی عوامل ناپایدارکننده شیب است (به‌عنوان مثال افزایش رطوبت در پای شیب به علت احداث جاده، بارگذاری بر روی شیب و یا افزایش فشار منفذی خاک به علت اثرات لوله‌ای در آن)؛ اما عبارات بی‌هیچ قید و شرطی ناپایدار در شرایط اشباع و غیراشباع و ناپایدار اشباع و غیراشباع نشان‌دهنده مناطقی هستند که در آن‌ها نیازی به وجود عوامل خارجی تشدیدکننده جهت ناپایداری شیب نیست و ناپایداری می‌تواند به‌سادگی با تغییر در ارزش پارامترهای داخلی مدل به دست آید و هرگونه تغییر در دامنه عددی پارامترهای ورودی نمی‌تواند از ناپایداری آن‌ها جلوگیری کند (Dietrich et al., 2001).

متغیرها برای مدل SHALSTAB در این مطالعه از قبیل چسبندگی مؤثر خاک (C')، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک (ϕ')، وزن مخصوص خاک مرطوب (ρ_s) و عمق خاک می‌باشد (Z). باهدف تعیین وضعیت لایه‌های خاک در نواحی مورد مطالعه برنامه‌ای شامل حفر ۱۵ گمانه تهیه شد. عمق و موقعیت گمانه‌های شناسایی با توجه به نوع و شرایط محلی هریک از لغزش‌ها انتخاب شد. در این مطالعه ۱۵ آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های دست‌نخورده با رطوبت طبیعی یا اشباع در جعبه برش به قطر پنج سانتیمتر برای تعیین c و ϕ در نمونه‌ها انجام گردید (جدول ۳). سپس لغزش‌های معرفی‌شده در مطالعات مدیریت بحران استان مازندران انتخاب شد و نقاط لغزشی حاشیه جاده از نقاط لغزشی که در شرایط طبیعی به وقوع پیوستند، تفکیک شد و در نهایت نقشه حساسیت کل زمین لغزش‌های منطقه و لغزش‌های طبیعی و لغزش‌های حاشیه جاده با استفاده از مدل فرآیند محور پایداری سطحی دامنه تهیه و مورد بحث و مقایسه قرار گرفت. در جدول ۲ رده‌های پیش‌فرض مدل

جدول ۲. تعریف رده پایداری مدل SHALSTAB (Montgomery and Dietrich, 1994)

تفسیر مربوط به هر رود	طبقه‌بندی پایداری در مدل SHALSTAB
بی‌هیچ قید و شرطی ناپایدار و اشباع	Chronic instability
بی‌هیچ قید و شرطی ناپایدار و غیراشباع	$\text{Log } Q \cdot T^{-1} < -3.1$
ناپایدار و اشباع	$-3.1 < \text{Log } Q \cdot T^{-1} < -2.8$
ناپایدار و غیراشباع	$-2.8 < \text{Log } Q \cdot T^{-1} < -2.5$
پایدار و غیراشباع	$-2.5 < \text{Log } Q \cdot T^{-1} < -2.2$
بی‌هیچ قید و شرطی پایدار و غیراشباع	$\text{Log } Q \cdot T^{-1} > -2.2$
بی‌هیچ قید و شرطی پایدار و اشباع	Stable



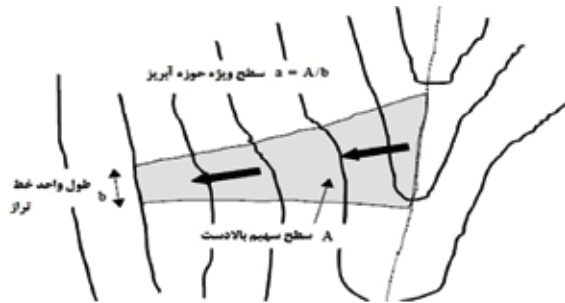
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی و گمانه‌های مطالعاتی محدوده محور ساری - کیاسر

جدول ۳. پارامترهای اندازه‌گیری شده در گمانه‌های مورد بررسی

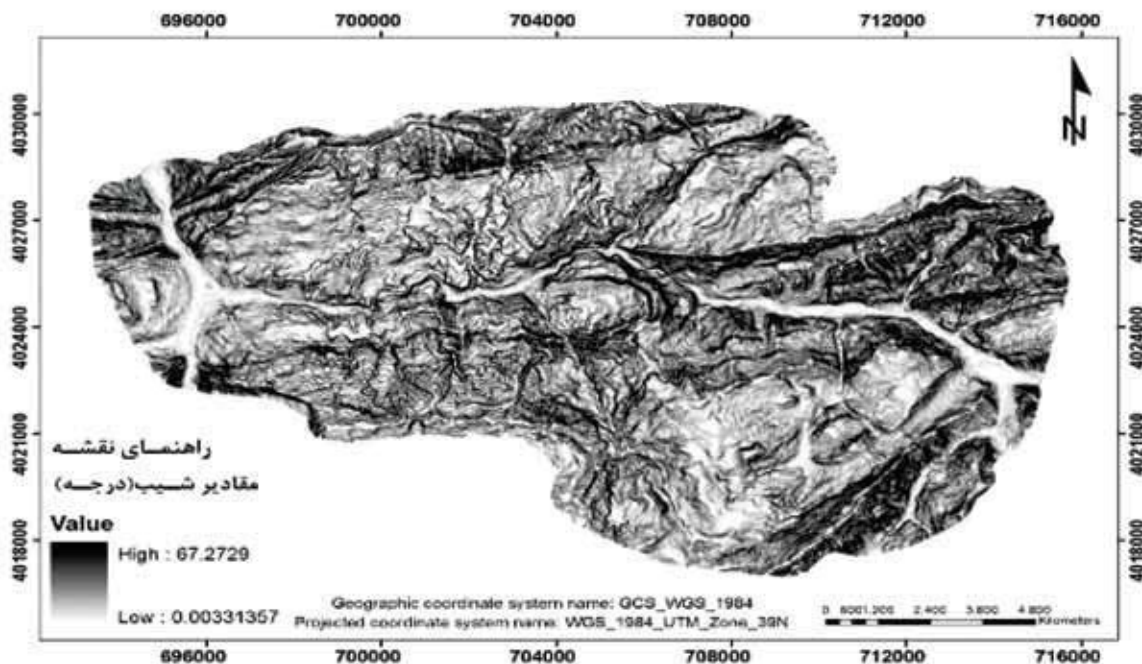
نمونه	UTM-X	UTM-Y	عمق خاک (متر)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (degrees)	چسبندگی مؤثر خاک (kpa)	وزن مخصوص خاک مرطوب (Kg/m ³)
۱	۷۳۸۰۱۰	۴۰۲۲۴۶۴	۲	۰	۵۰	۲۰۰۰
۲	۷۱۰۳۸۰	۴۰۲۲۴۶۴	۲/۵	۴۰	۳۰	۲۱۰۰
۳	۷۱۰۴۰۶	۴۰۲۲۵۵۳	۴	۵	۳۵	۱۹۵۰
۴	۷۱۰۴۰۶	۴۰۲۲۵۵۳	۳/۵	۳۶	۵	۲۱۰۰
۵	۷۱۲۴۲۳	۴۰۲۲۲۰۰	۵	۱۴	۴۰	۲۱۰۰
۶	۶۹۹۰۳۱	۴۰۲۴۸۹۰	۴	۱	۲۰	۱۸۰۰
۷	۷۰۱۲۷۱	۴۰۲۶۱۴۵	۴	۲۹	۰	۲۰۰۰
۸	۷۰۲۸۵۷	۴۰۲۲۵۵۹۸	۴	۰	۲۰	۱۸۰۰
۹	۷۰۳۵۶۴	۴۰۲۵۹۴۶	۳/۵	۳۰	۰	۱۸۵۰
۱۰	۷۰۴۵۵۸	۴۰۲۶۴۸۸	۳/۷	۳۲	۰	۱۹۸۰
۱۱	۷۰۸۴۵۵	۴۰۲۵۰۷۸	۲/۸۵	۳	۴۹	۱۹۵۰
۱۲	۷۱۶۸۷۸	۴۰۱۶۷۶۷	۲	۳۸	۶۷	۲۱۰۰
۱۳	۷۱۷۰۷۹	۴۰۱۵۳۶۴	۳/۷	۱۳	۲۶	۱۹۸۰
۱۴	۷۰۹۴۰۱	۴۰۲۴۶۵۷	۲/۵	۱۷	۲۴	۱۹۶۰
۱۵	۷۰۵۴۸۷	۴۰۲۶۴۹۶	۳	۱۹	۵۵	۲۰۶۰
میانگین			۳/۴	۱۸/۵	۲۸/۳۵	۱۹۸۳/۵

نتایج و بحث

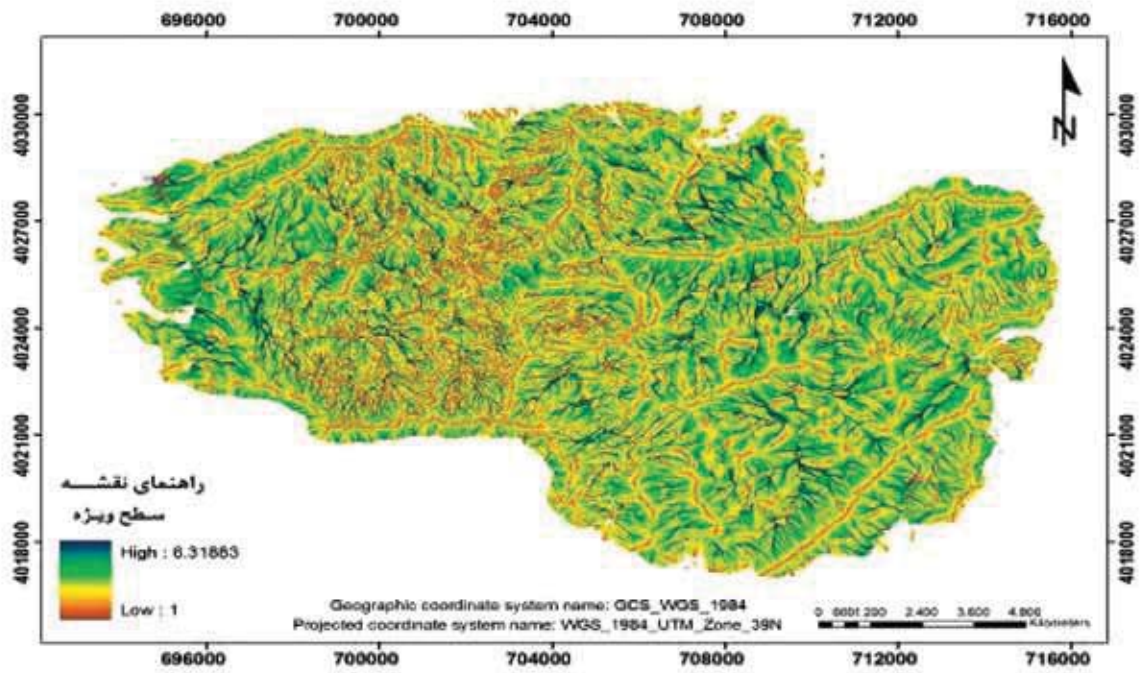
در این تحقیق، زمین لغزش‌های مورد مطالعه با استفاده از مطالعات صحرایی، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، نظارت بر روی آن‌ها در طول زمان مشخص گردید. به منظور پیش‌بینی لغزش‌های آینده در منطقه و اطراف آن، نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل SHALSTAB تهیه گردید. بر اساس DEM، نقشه شیب (شکل ۵) و سطح ویژه (شکل ۶) که به‌عنوان داده‌های ورودی مدل SHALSTAB برای محاسبه پایداری دامنه محدوده تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که حرکت جریان کم‌عمق آب زیرسطحی درون خاک، تابعی از شیب توپوگرافیک دامنه است و سطح ویژه مؤید این است که سطح بالادست سهمیم در جریان آب در هر نقطه از محدوده با توجه به توپوگرافی تعریف می‌گردد



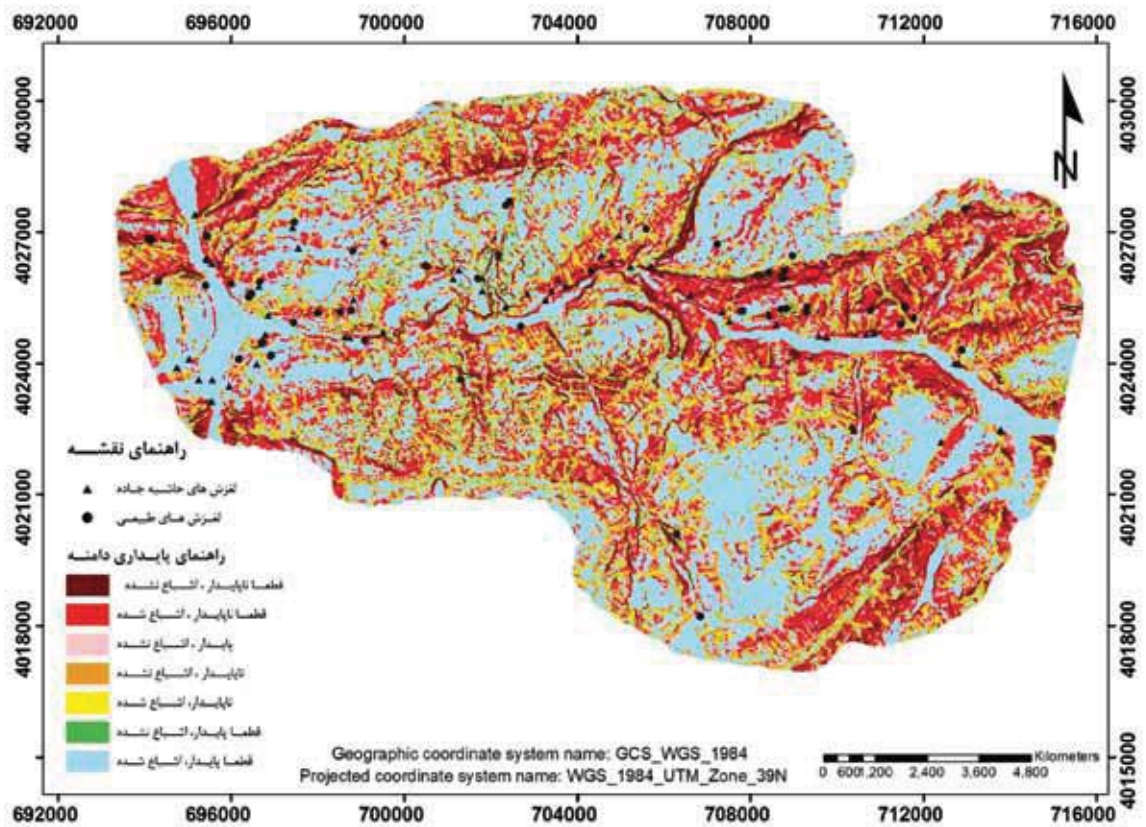
شکل ۴. نمایی شماتیک از سطح ویژه محدوده آبریز



شکل ۵. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۶. نقشه سطح ویژه منطقه مورد مطالعه

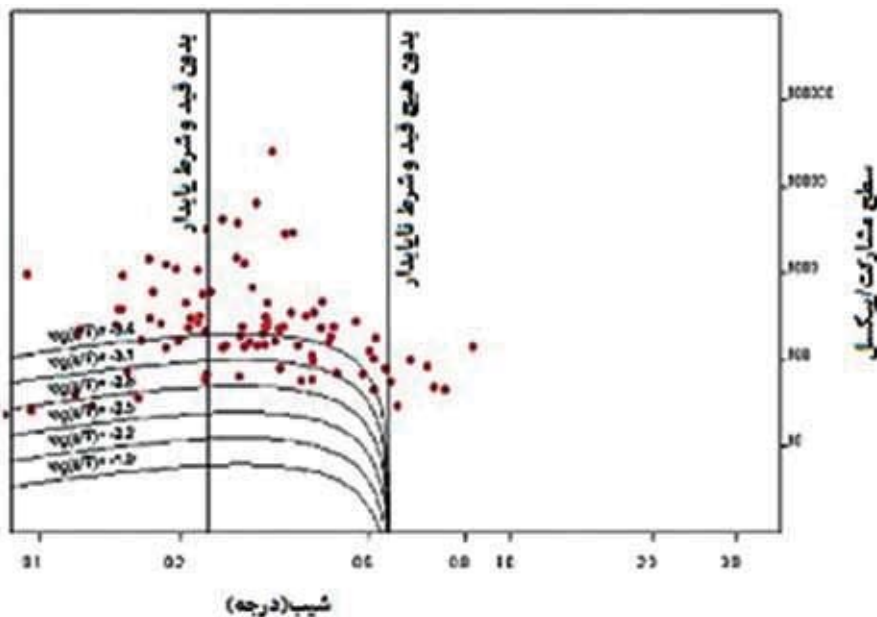


شکل ۷. نقشه پایداری دامنه برای کل زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل SHALSTAB

جدول ۴. نتایج آماری محاسبه‌شده با مدل SHALSTAB برای کل زمین‌لغزش‌ها در محدوده ساری - کیاسر

منطقه	قطعاً پایدار اشباع‌نشده	قطعاً پایدار اشباع‌شده	پایدار اشباع‌نشده	ناپایدار اشباع‌نشده	ناپایدار اشباع‌شده	قطعاً پایدار اشباع‌نشده	قطعاً پایدار اشباع‌شده	مجموع
مساحت (km ²)	۸۰/۹۳	۴۰/۰۳	۲۳/۲۳	۲۴/۰۲	۱۴/۳۵	۴/۲۶	۱۹/۱۴	۲۰۶/۴
درصد منطقه	۳۹/۲۱	۱۹/۳۹	۱۱/۲۵	۱۱/۶۷	۶/۹۹	۲/۱۱	۹/۲۷	۱۰۰
تعداد لغزش	۴۸	۲۷	۱۷	۷	۵	۰	۱۱	۱۱۵
درصد لغزش	۴۱/۷۴	۲۳/۴۸	۱۴/۷۸	۶/۰۹	۴/۳۵	۰	۹/۵۷	۱۰۰

نتایج براساس نقشه پایداری دامنه (شکل‌های ۷ و ۸؛ جدول ۴) رده‌بندی شدند که این رده ۱۸/۶۶٪ از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. ۵۲/۵۷٪ از منطقه مورد مطالعه در رده پایدار به لحاظ شرایط اشباع و غیراشباع قرار گرفت که ۵۶/۵۲٪ از زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در این پهنه رده‌بندی شدند. نتایج براساس نقشه پایداری دامنه (شکل‌های ۷ و ۸؛ جدول ۴) نشان می‌دهند که ۲۸/۶۶٪ از مناطق طبقه‌بندی‌شده جزء مناطق با ناپایداری شدید طبقه‌بندی شدند که ۳۳/۰۵٪ زمین‌لغزش‌ها در این رده قرار دارند. ۱۰/۴۴٪ از زمین‌لغزش‌ها در رده‌های ناپایدار به لحاظ شرایط اشباع و غیراشباع



شکل ۸. نمودار شیب - سطح ویژه منطقه مورد مطالعه برای کل زمین‌لغزش‌های محدوده ساری - کیاسر

بی‌هیچ قید و شرطی پایدار می‌باشند که با واقعیت موجود انطباق ندارد (بخشی از این زمین‌لغزش‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است). توجه به خصوصیات هیدرولوژیکی و فیزیک خاک این دامنه‌ها به‌گونه‌ای است که بر اساس مدل SHALSTAB در شیب کمتر از ۱۰٪ نباید لغزش مشاهده شود. در واقع پس از مطالعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای مشخص گردید که این دامنه‌ها در شرایط عادی امکان لغزش

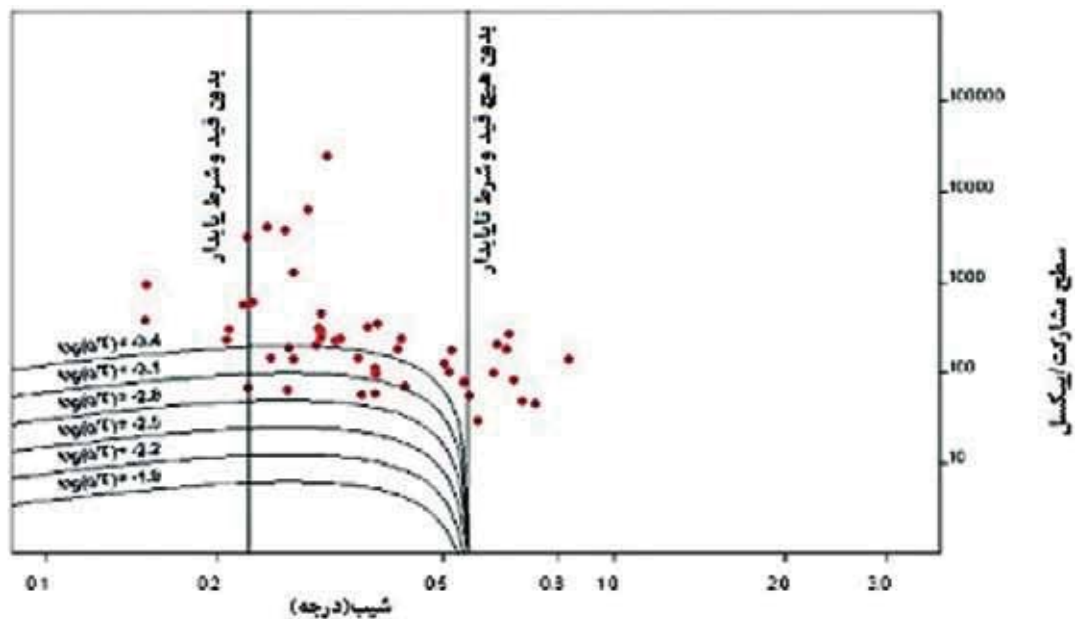
۴۳/۴۹٪ از زمین‌لغزش‌ها در رده ناپایدار به لحاظ شرایط غیراشباع رده‌بندی شدند که این رده ۴۷/۳۲٪ از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. ۳۹/۲۱٪ درصد از محدوده مورد مطالعه با توجه به طبقه‌بندی مدل SHALSTAB جزء مناطق بی‌هیچ قید و شرطی پایدار طبقه‌بندی می‌شود. نتایج آماری نشان می‌دهد که ۶۵ عدد از زمین‌لغزش‌ها در منطقه از نظر مدل SHALSTAB

حاشیه جاده و زمین لغزش‌هایی که در شرایط طبیعی به وقوع پیوسته‌اند، تهیه شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). با توجه به جدول ۵، نتایج اجرای مدل SHALSTAB با استفاده از نقاط لغزشی در شرایط طبیعی نشان می‌دهد که فقط ۱۷ زمین لغزش در رده پایدار طبقه‌بندی شده و ۶۹/۵٪ از زمین لغزش‌های رخ داده در این محدوده، در رده ناپایدار شبیه‌سازی شده که گویای کاربرد موفق مدل در رده‌بندی زمین لغزش‌های طبیعی در این محدوده می‌باشد که با نتایج استرالیا (Rafaelli et al., 2001; Casadei, 2003)، نیوزیلند (Claessens et al., 2005) و ایتالیا (santini et al., 2010) نیز مطابقت دارد.

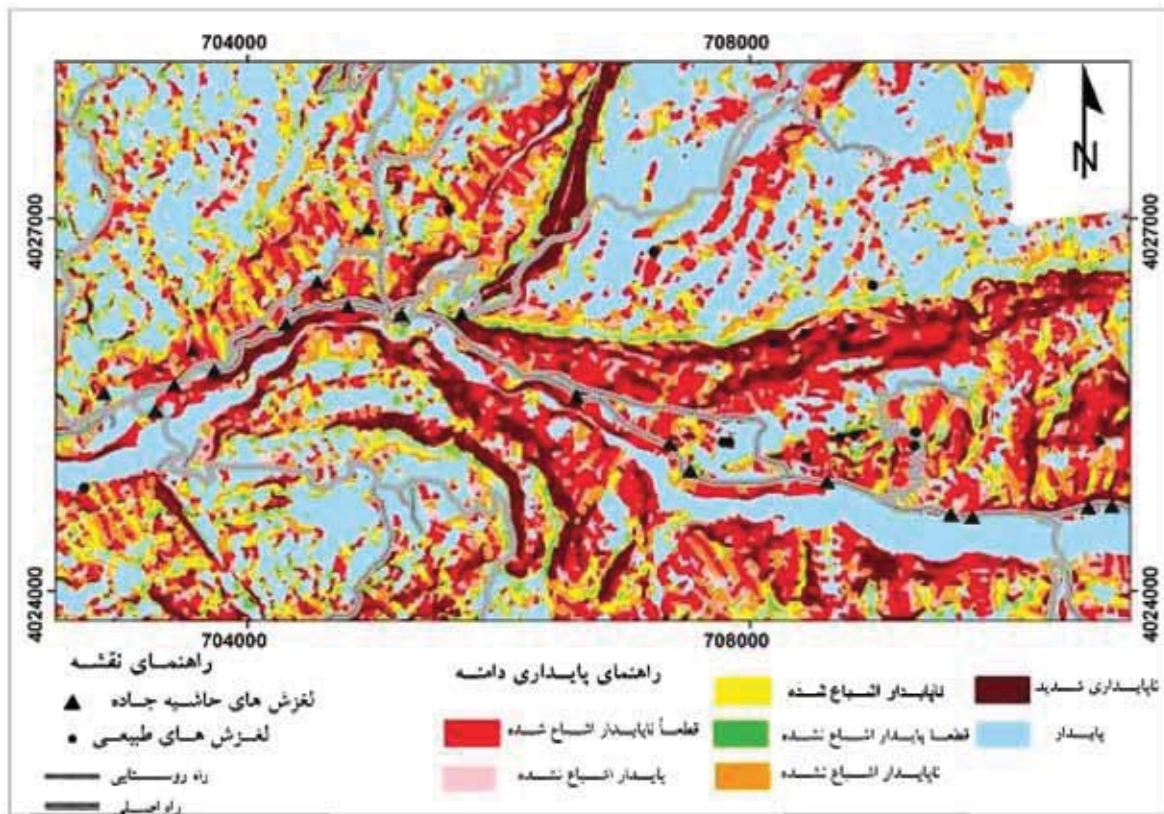
ندارند، اما وقوع عوامل انسانی مثل جاده‌سازی و ترانشه زنی موجب ناپایداری این دامنه‌ها شده است؛ زیرا این مدل اثرات ناشی از عوامل مصنوعی را در نظر نمی‌گیرد و فقط عوامل طبیعی بروز پدیده زمین لغزش را محاسبه می‌کند. بدین منظور اقدام به تفکیک نقاط لغزشی حاشیه جاده از زمین لغزش‌هایی که در شرایط طبیعی به وقوع پیوسته‌اند، شد و مدل SHALSTAB یک‌بار با زمین لغزش‌های حاشیه جاده و بار دیگر برای نقاط لغزشی ناشی از شرایط طبیعی اجرا گردید (جدول ۵ و ۶) که ۵۶ عدد از ۱۱۵ زمین لغزش در شرایط طبیعی و ۵۹ عدد از زمین لغزش‌ها در محدوده حاشیه جاده قرار داشتند. همچنین نمودار سطح بالادست دامنه - شیب برای زمین لغزش‌های

جدول ۵. نتایج آماری محاسبه‌شده با مدل SHALSTAB برای زمین لغزش‌های طبیعی در محدوده محور ساری - کیاسر

منطقه	قطعاً پایدار اشباع شده	قطعاً پایدار اشباع نشده	پایدار اشباع نشده	ناپایدار اشباع نشده	ناپایدار اشباع شده	قطعاً پایدار اشباع نشده	قطعاً پایدار اشباع شده	مجموع
مساحت (km ²)	۸۰/۹۳	۴/۲۶	۲۳/۲۳	۲۴/۰۲	۱۴/۳۵	۶/۹۹	۲/۱۱	۲۰۶/۴
درصد منطقه	۳۹/۲۱	۲/۱۱	۱۱/۲۵	۱۱/۶۷	۶/۹۹	۲/۱۱	۳۹/۲۱	۱۰۰
تعداد لغزش	۹	۰	۸	۵	۵	۰	۹	۵۶
درصد لغزش	۱۶	۰	۱۴/۲	۸/۹	۸/۹	۰	۱۶	۱۰۰



شکل ۹. نمودار شیب - سطح ویژه برای زمین لغزش‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه



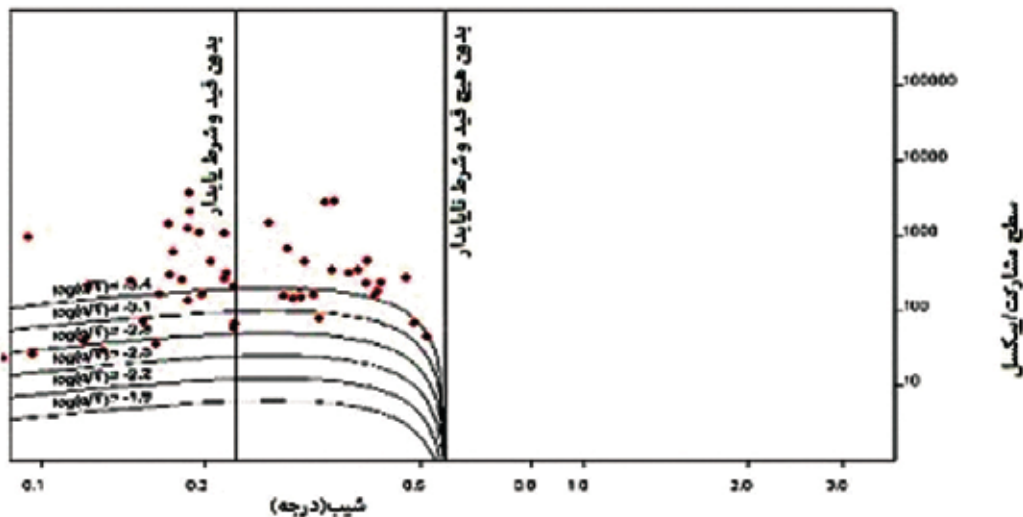
شکل ۱۰. نمایی نزدیک از نقشه پایدار دامنه به دست آمده از محدوده و بخشی از زمین لغزش های به وقوع پیوسته در محدوده ساری - کیاسر

جدول ۶. نتایج آماری محاسبه شده با مدل SHALSTAB برای زمین لغزش های حاشیه جاده در محدوده محور ساری - کیاسر

مجموع	قطعاً ناپایدار		پایدار		قطعاً پایدار		منطقه
	اشباع نشده	اشباع شده	اشباع نشده	اشباع شده	اشباع نشده	اشباع شده	
۲۰۶/۴	۱۹/۱۴	۴۰/۰۳	۲۳/۲۳	۲۴/۰۲	۱۴/۳۵	۴/۲۶	مساحت (km ²) ۸۰/۹۳
۱۰۰	۹/۲۷	۱۹/۳۹	۱۱/۲۵	۱۱/۶۷	۶/۹۹	۲/۱۱	درصد منطقه ۳۹/۲۱
۵۹	۰	۹	۹	۲	۰	۰	تعداد لغزش ۳۹
۱۰۰	۰	۱۵/۲۵	۱۵/۲۵	۳/۳	۰	۰	درصد لغزش ۶۶/۱

در وقوع این زمین لغزش ها می باشد. دلیل آن است که مدل SHALSTAB تأثیر عوامل مصنوعی را در وقوع زمین لغزش در نظر نمی گیرد و نمی تواند کاربرد مناسبی برای لغزش های حاشیه جاده داشته باشد.

با توجه به جدول ۶ و شکل ۱۱، نتایج نشان می دهند که ۸۱/۳۵٪ از زمین لغزش های رخ داده در محدوده در رده پایدار مدل SHALSTAB قرار گرفت و با آنچه در طبیعت رخ داده مطابقت ندارد که گویای تأثیر عملیات جاده سازی



شکل ۱۱. نمودار شیب - سطح ویژه برای زمین لغزش‌های حاشیه جاده منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

روش‌های زیادی برای پهنه‌بندی زمین لغزش وجود دارند که عوامل مختلف را در وقوع این پدیده بررسی می‌کنند. در این مطالعه سعی شده است تا تأثیر جاده‌سازی در وقوع زمین لغزش‌های حاشیه جاده با استفاده از مدل پایه فیزیکی SHALSTAB مشخص گردد. همچنین برای پهنه‌بندی وقوع لغزش از مدل پایه فیزیکی SHALSTAB استفاده گردید که حل معادلات آن بر پایه روابط ریاضی است. نتایج نشان داد زمانی که این مدل با استفاده از لغزش‌های حاشیه جاده اجرا می‌شود، قادر به شبیه‌سازی نقاط لغزشی در طبقات ناپایدار نبوده و زمانی که این مدل با استفاده از لغزش‌هایی که در شرایط طبیعی به وقوع پیوسته در این محدوده اجرا می‌شود، کاربرد موفقی داشته و می‌توان با ابزار GIS و اطلاعات در مقیاس کوچک و با توجه به داده‌های خاک و اطلاعات هیدرولوژیکی، ناپایداری را تعیین کرد. نهایتاً با تغییراتی در پارامترهای هیدرولوژیکی و ارتفاع رطوبت اشباع، می‌توان مدل را برای زمین لغزش‌های حاشیه جاده‌ای به کاربرد و در بهبود نتایج، با کاهش هزینه‌های برنامه‌ریزی اولیه و کاربری اراضی و اقدامات سازه‌ای ناموفق جهت تثبیت پایداری این رخدادهای طبیعی و سازگار با داده‌های موجود مؤثر باشد.

منابع

- حسین‌زاده، م.م.، ثروتی، م.ر.، منصور، ع.، میرباقری، ب. و خضری، س.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: محدوده مسیر سندنجد - دهگلان). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۱، ۲۷-۳۷.
- طالبی، ع. و ایزدوست، م.، ۱۳۹۰. بررسی کارایی مدل SINMAP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)، مجله علوم مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۵، ۶۸-۶۳.
- طالبی، ع.، نفرزادگان، ع. ر. و ملکی‌نژاد، ح.، ۱۳۸۸. مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۰، ۶۴-۴۵.
- معاریان، ه. و صفدری، ع. ا.، ۱۳۸۸. پایداری شیب‌های طبیعی و تحلیل آن در محیط Arc GIS و آشنایی با مدل SINMAP. انتشارات سخن گستر.
- Borgia, M., Dalla Fontana, G., Da Ros D. and Marchi, L., 1998. Shallow landslide based model and digital elevation data. Environmental Geology, 35, 81-88.
- Casadei, M., Dietrich, W.E., and Miller, N.L., 2003. Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initia-

- tion in soil-mantled landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 925-950.
- Cervi, F., Berti, M., Borgatti, L., Ronchetti, F., Manenti, F. and Corsini, A., 2010. Comparing predictive capability of statistical and deterministic methods for landslide susceptibility mapping: a case study in the northern Apennines (Reggio Emilia Province, Italy). *Landslides*, Online First. doi:10.1007/s10346-010-0207-y.
 - Claessens, L., and Heuvelink, G.B.M., Schoorl, J.M. and Veldkamp, A., 2005. DEM resolutions effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modeling. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 461-477.
 - Dietrich, W. E., Bellugi, D., and Real de Asua, R. 2001. Validation of the shallow landslide model, SHALSTAB, for forest management. *Water Science and Application*, 2, 195-227.
 - Fernandes, N. F., Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T. Vieira, B.C., Montgomery, D.R. and Greenberg, M. H., 2004. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena*, 55, 163-181.
 - Guimarães, R.F., Montgomery, D.R., Greenberg, H. M. Fernandes, N. F. Gomes, R.A.T. and Carvalho Junior, A.O., 2000. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. *Engineering Geology*, 69, 99-108.
 - 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.
 - Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E., 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landslide. *Water Resources Research*, 30, 83-92.
 - Montgomery D.R., Sullivan, K. and Greenberg, H.R., 1998. Regional test of a model for shallow landsliding. *Hydrological Processes*, 12, 943-955.
 - O'Loughlin, E.M., 1986. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research* 22, 794-804.
 - Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5, 59-79.
 - Raffaelli, S.G., Montgomery, D.R. and Greenberg, H.M., 2001. A comparison of thematic of erosional intensity to GIS-driven process models in an Andean drainage basin. *Journal of Hydrology*, 244, 33-42.
 - Santini, M., Grimaldi, S., Nardi, F., Petroselli, A. and Rulli, M.C., 2009. Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs. *Geomorphology*, 113, 110-125.
 - Yilmaz, I. and Keskin, I., 2009. GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(4), 459-471.