



## بررسی اثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه FLAC SLOP (مطالعه موردی: حوضه آب‌خیز سد ایلام)

\*محسن فعله‌گری<sup>۱</sup>، علی طالبی<sup>۲</sup> و یاسر کیااشکوریان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد، استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد،

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی معدن، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۲۲

### چکیده

زمین‌لغزش‌ها یکی از انواع مخرب فرسایش در دامنه‌ها می‌باشند که موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی در جاده‌ها می‌شود. امروزه زمین‌لغزش‌ها بیش‌تر از این‌که جنبه طبیعی داشته باشد، تحت‌تأثیر عوامل انسانی است. از عوامل انسانی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌توان به جاده‌سازی اشاره نمود. در این پژوهش به بررسی نقش جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش در بخشی از حوضه سد ایلام، واقع در جنوب‌شرقی ایلام به مساحت ۱۸۳۶۰ هکتار با استفاده از مدل پایداری دامنه FLAC SLOP پرداخته شد. پس از تعیین دامنه‌های موردنظر به‌منظور تعیین پارامترهای مورد نیاز نمونه‌برداری از خاک این دامنه‌ها صورت گرفت. برای تعیین ضریب پایداری (FS) دامنه این پارامترها در مدل تحلیل پایداری شیب وارد شد و مقادیر FS برای هر دامنه استخراج شد. در مرحله بعد تأثیر جاده‌سازی بر دامنه موردنظر در مدل اعمال شد. نتایج نشان داد که جاده‌سازی در دامنه‌های با شیب تندتر (بیش از ۱۵ درصد) باعث کاهش پایداری دامنه‌ها می‌شود. همچنین، با استفاده از مدل ارزیابی شده می‌توان دامنه‌های ناپایدار را شناسایی نموده و نوع عملیات حفاظتی برای افزایش ضریب پایداری را مشخص نمود. براساس نتایج به‌دست آمده، عملیات‌هایی مانند میخ‌کوبی و تراس‌بندی می‌تواند پایداری (FS) دامنه‌ها را تا ۲۰ درصد افزایش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** افزایش پایداری، جاده‌سازی، دامنه، زمین‌لغزش، ضریب پایداری، مدل پایداری

\* مسئول مکاتبه: [m.felegari@gmail.com](mailto:m.felegari@gmail.com)

مقدمه

زمین‌لغزش یکی از مشکلات از بین رفتن منابع طبیعی در مناطق کوهستانی است که در سراسر جهان همواره باعث خسارات سنگین جانی و مالی می‌شود (کوهورست و همکاران، ۲۰۰۵). براساس مطالعات انجام شده به‌وسیله شبکه موضوعی ژئوتکنیکی اروپا، زمین‌لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است و میزان مرگ و میر ناشی از این پدیده در طی سال‌های ۱۹۰۳ تا ۲۰۰۴ به‌ترتیب در آسیا ۲۹ درصد، آمریکا ۳۹ درصد، اروپا ۳۰ درصد، آفریقا ۱ درصد و اقیانوسیه ۱ درصد می‌باشد (کوهورست و همکاران، ۲۰۰۵).

ایران با توپوگرافی به‌طور عمده کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها داراست. از جمله عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان به عواملی هم‌چون بارندگی، سنگ‌شناسی، شیب و مانند آن اشاره کرد (طالبی و نیازی، ۲۰۱۱). اما از عوامل انسانی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌توان به اثر جاده‌سازی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب اشاره نمود (کلارستاقی، ۲۰۰۲).

در این خصوص، لارسن و پارکس (۱۹۹۷) طی پژوهشی در منطقه جنگلی به بررسی ارتباط مکانی وقوع زمین‌لغزش‌ها با جاده‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جاده‌سازی تأثیر زمین‌لغزش را ۵ تا ۸ درصد بیش‌تر می‌کند. همچنین سا و مازاری (۱۹۹۶) در هند به بررسی نقش عوامل انسانی در وقوع زمین‌لغزش‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وقوع زمین‌لغزش با عواملی مانند جاده‌سازی، رشد توریسم و افزایش فشار جمعیت، افزایش می‌یابد. سرکار و کانگو (۲۰۰۳) طی پژوهشی در منطقه هیمالیا با استفاده از RS و GIS به این نتیجه رسیدند که وقوع زمین‌لغزش‌ها با برخی از عوامل زمینی مانند جاده‌سازی، تراکم زه‌کشی و گسل در ارتباط می‌باشد.

نرم‌افزارهای متعددی برای پایداری سطوح شیب‌دار ارایه شده است. تعدادی از آن‌ها دارای قابلیت مدل کردن توده خاک با استفاده از معیار موهر-کلمب و یا هوک براون را می‌باشند که نرم‌افزار FLAC SLOP از این گونه می‌باشد (توه‌انگ آن، ۲۰۰۵).

منجزی و همکاران (۲۰۰۵) به طراحی شیب نهایی بهینه معدن مس سونگو با استفاده از FLAC SLOP پرداختند و پایداری بحرانی‌ترین مقطع معدن و ضریب ایمنی دیواره را تعیین کردند. کالا و همکاران (۲۰۰۴) به آنالیز پایداری شیب با تکنیک مقاومت برشی کاهشی با استفاده از نرم‌افزار FLAC SLOP پرداختند و که کارایی بالای این مدل را در شیب‌های کمپلکس تأیید کردند.

در تحلیل پایداری شیب، تعیین فاکتور ایمنی اهمیت ویژه‌ای دارد. برنامه FLAC SLOP براساس نظریه حد پایداری تهیه شده است که فاکتور ایمنی را می‌تواند تعیین کند. انجام محاسبه‌های پایداری به صورت تقریب زدن و براساس روش SLICES (موقعیت و زاویه داخلی نیروهای برشی) بنا نهاده شده است. این برنامه این فرصت را به کاربر می‌دهد که به آنالیز تنش برشی بپردازد و به طور اتوماتیک فرآیندهایی که از نظر فیزیکی ناپایدار هستند را شبیه‌سازی نماید و ضریب ایمنی را در اطراف نقطه پایدار به دست آورد و موقعیت شکست بحرانی (ریزش) را تعیین نماید (کالا و همکاران، ۲۰۰۴). این نرم‌افزار در گستره وسیعی از بررسی شرایط پایداری شیب‌ها و دیواره‌های خاکی به کار برده می‌شود و قادر به ایجاد شکل مرز شیب است که اجازه می‌دهد تا خیلی سریع شبکه‌بندی خطی، غیرخطی و شیب پله‌ها و دیواره‌های خاکی انجام گیرد و قابلیت وارد کردن چندین لایه از مواد با جهت‌ها و ضخامت‌های متفاوت در مدل وجود دارد. همچنین، خط پیرومتریک و سطح آب زیرزمینی و فضاهایی که توزیع فشار روزه‌ای وجود دارد به منظور یکسان شدن تنش‌های مؤثر در مدل وارد و وزن مخصوص خشک و تر در محاسبه‌ها ضریب ایمنی تعریف می‌شود. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم مدل قابلیت نصب ساختارهای تقویت‌کننده، همانند پیچ‌سنگ‌ها در شیب‌های مورد نظر می‌باشد.

بنابراین، در این پژوهش سعی بر آن است تا با تجزیه و تحلیل پایداری دامنه‌های مشرف به جاده‌ها، پایداری آن‌ها با استفاده از مدل FLAC SLOP بررسی و میزان تغییر ضریب پایداری تحت اثر جاده‌سازی مشخص شود.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه حوضه کوهستانی سد ایلام، واقع در جنوب شرقی ایلام است. مساحت این حوضه ۱۸۳۶۰ هکتار است که از نظر موقعیت جغرافیایی، بین عرض‌ها ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۲ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۰/۲ ثانیه و طول‌های ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه و ۱۷ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه و ۵۶ ثانیه شده است. (شکل ۱).

از نظر توپوگرافی منطقه مورد مطالعه دارای حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۹۴۰ و ۲۱۷۷ متر از سطح دریا با شیب متوسط وزنی ۳۰/۴ درصد است. از نظر هواشناسی، منطقه براساس روش دومارتن

دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده، متوسط بارندگی آن ۵۹۲/۸۷ میلی‌متر، متوسط حداکثر دما ۲۱/۷ و متوسط حداقل دما ۴/۷ درجه سانتی‌گراد است. از نظر زمین‌شناسی، این حوضه در منطقه‌های ساختاری زاگرس مرتفع و پیش‌ژگودال واقع شده است. از منظر چینه‌شناسی، در این حوضه انواع رخساره‌های رسوبی، تبخیری و آبرفتی متعلق به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی (کرتاسه تا کواترنر) یافت می‌شود. از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های منطقه در دو رده انتی‌سول و اریدی‌سول قرار دارند. دارای ۵ تیپ اراضی کوهستانی، تپه‌ماهوری، فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، دشت‌های رسوبی رودخانه‌ای، اراضی مسکونی می‌باشد.

مراع حوضه مطالعاتی سطحی معادل با حدود ۱۱۴۷۲ هکتار را به خود اختصاص داده است که وضعیت آن غالباً ضعیف است.

پس از تعیین دامنه‌های مشرف به جاده و دامنه‌های لغزشی، برای تعیین پارامترهای مورد نیاز این دامنه‌ها که برای اجرای مدل مورد نیاز بود، نمونه‌برداری از خاک این دامنه‌ها صورت گرفت و نمونه‌ها در اختیار آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک قرار گرفت. برای مشخص نمودن چسبندگی ریشه برای دامنه‌های مورد بررسی از مقادیر ارانه شده توسط کایاستا (۲۰۰۶) و وین (۲۰۰۷) که برای کاربری‌های اراضی مختلف ارایه شده است، استفاده شد که جزئیات آن در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

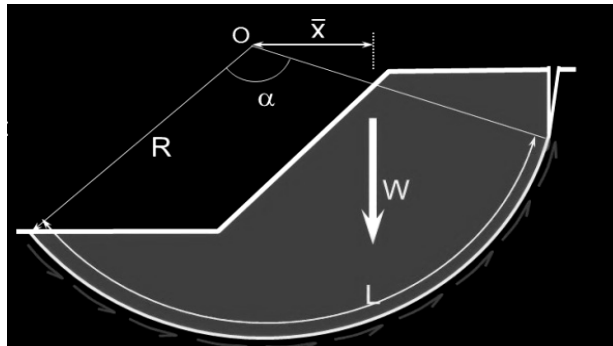
جدول ۱- مقادیر شاخص چسبندگی ریشه برای کاربری‌های ارضی مختلف (کایاستا، ۲۰۰۶؛ وین، ۲۰۰۷).

نوع کاربری اراضی	چسبندگی ریشه (کیلو نیوتن بر متر مربع)
اراضی کشاورزی	۱
اراضی جنگلی	۸
روستاها و مناطق ساختمانی	۰
بوته‌زارها و تپه‌های بدون پوشش	۱

پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز به وسیله آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ( $C_s$ ): چسبندگی خاک،  $C_r$ : چسبندگی ریشه،  $\varphi$ : زاویه اصطکاک داخلی خاک،  $\gamma_d$ : چگالی خاک،  $\gamma_w$ : چگالی مرطوب خاک) برای تعیین ضریب پایداری<sup>۱</sup> دامنه‌ها این پارامترها که ورودی‌های مدل یاد شده می‌باشند، در مدل تحلیل پایداری شیب قرار داده شد و مقادیر FS برای هر دامنه استخراج شد (رابطه ۱). برای بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای مقاومت برشی ( $\varphi$  و  $C_s$ ) آزمایش‌های متداولی وجود دارد که در این پژوهش با توجه به تعداد نمونه‌ها، نوع خاک و هدف پژوهش آزمایش برش مستقیم انتخاب شد. بر این اساس، از ۶ پروفیل مورد نظر نمونه خاک آماده شد و آزمایش برش مستقیم در شرایط (UU) تحکیم‌نیافته - زه‌کشی نشده روی نمونه‌ها انجام شد. چسبندگی ریشه نیز با توجه به نوع پوشش جنگلی (بلوط) از داده‌های به‌دست آمده در آزمایشگاه در مورد ریشه بلوط مانند (کایاستا، ۲۰۰۶؛ وین، ۲۰۰۷) استفاده شده است.

$$FS = \frac{\text{گشتاور مقاوم}}{\text{گشتاور محرک}} = \frac{c_u R^2 \alpha}{W \bar{x}} \frac{c_u L R}{W \bar{x}} \quad (1)$$

که در آن،  $\alpha$ : زاویه کمان لغزش،  $c_u$ : چسبندگی،  $R^2$ : شعاع دایره لغزش،  $W$ : وزن توده،  $\bar{x}$ : فاصله از مرکز دایره تا مرکز جرم توده است (شکل ۲).



شکل ۲- نیروهای وارده به یک مقطع شیب.

برای ارزیابی مدل تعداد ۶ دامنه مشرف به جاده که زمین لغزش در همگی رخ داده بود، انتخاب شد. مشخصات و پارامترهای اندازه‌گیری شده این دامنه‌ها در جدول ۲ آماده است.

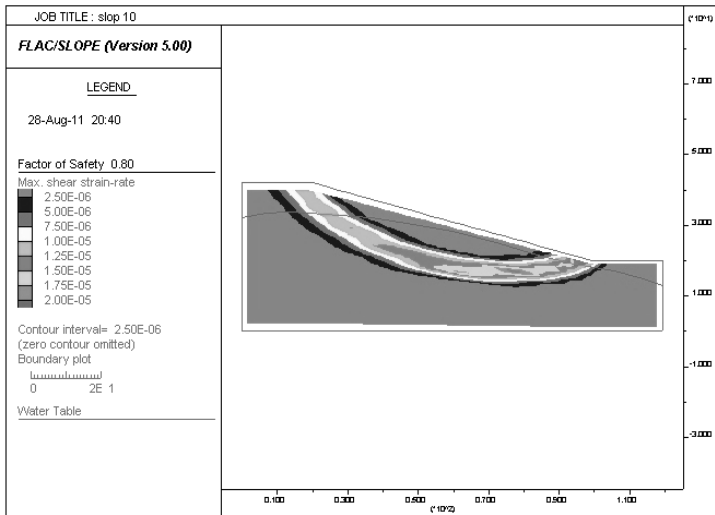
جدول ۲- پارامترهای مورد نیاز برای تعیین ضریب پایداری دامنه و ورودی‌های مدل.

دامنه	طول دامنه (متر)	شیب متوسط (درصد)	$C_s$ (کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)	$\phi$	$\gamma_d$ (کیلونیوتن بر مترمکعب)	$\gamma_w$ (کیلونیوتن بر مترمکعب)	$C_r$ (کیلونیوتن بر مترمربع)
۱	۵۰	۷/۸۹	۰/۰۵	۱۸	۱۷۷۰	۱۹۸۰	۰
۲	۴۰	۷/۶۸	۰/۰۵	۲۴	۱۸۱۰	۲۰۳۰	۰
۳	۹۰	۱۰/۳۵	۰/۰۴	۲۲	۱۸۱۰	۲۰۳۰	۱
۴	۶۰	۹/۲۳	۰/۰۴	۱۹	۱۷۹۰	۲۰۱۵	۱
۵	۸۰	۱۵/۴۹	۰/۰۱	۱۵/۵	۱۷۴۵	۱۹۵۰	۴
۶	۱۳۰	۵۴/۴۶	۰/۰۱	۲۴	۱۷۳۰	۲۰۰۰	۱

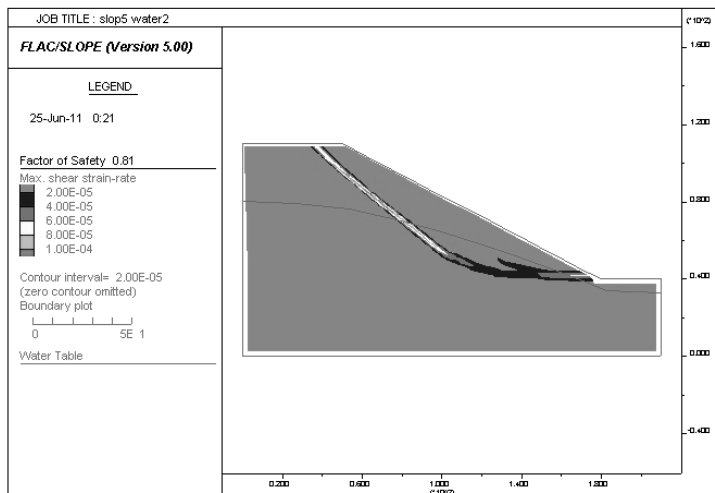
پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین ضریب پایداری (FS) دامنه، این پارامترها در مدل تحلیل پایداری شیب قرار داده شد و مقادیر FS برای هر دامنه استخراج شد. تعداد ۶ دامنه در طبیعت انتخاب و در هر دامنه یک پروفیل (تا عمق سنگ بستر) حفر شد و پس از ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک (اداره راه استان ایلام)، پارامترهای مورد نیاز به شرح جدول ۲ محاسبه شد.

نتایج و بحث

برای نمونه شکل‌های ۳ و ۴، دامنه‌های ۴ و ۶ که با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییر شکل نسبی حداکثر و فاکتور ایمنی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار، دامنه ۴.



شکل ۴- تغییر شکل نسبی حداکثر و فاکتور ایمنی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار، دامنه ۶.

برای تعیین کلاس ناپایداری دامنه‌های مورد بررسی در این مطالعه براساس مقدار FS، از تقسیم‌بندی پک و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. جدول ۳ این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- طبقه‌بندی آسیب‌پذیری زمین لغزش (پک و همکاران، ۱۹۹۸).

ضریب پایداری (FS)	کلاس آسیب‌پذیری زمین لغزش
$FS > 1/5$	آسیب‌پذیری زمین لغزش کم
$1/5 > FS > 1/25$	آسیب‌پذیری زمین لغزش متوسط
$1/25 > FS > 1$	آسیب‌پذیری زمین لغزش زیاد
$FS < 1$	آسیب‌پذیری زمین لغزش خیلی زیاد

جدول ۴- کلاس ناپایداری دامنه‌ها.

دامنه	FS	کلاس آسیب‌پذیری
۱	۲/۱۵	کم
۲	۳/۰۷	کم
۳	۱/۸۲	کم
۴	۱/۷۸	کم
۵	۰/۸۰	خیلی زیاد
۶	۰/۸۱	خیلی زیاد

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود فقط دامنه‌های ۱ و ۲ ضریب پایداری بالایی دارند که آن هم به‌علت شیب کم (۷-۸ درصد) آن‌هاست. از سویی، در دامنه‌های ۵ و ۶ با وجود پوشش جنگلی به‌علت شیب بالاتر، پس از احداث جاده ضریب پایداری آن‌ها به کم‌تر از ۱ رسیده و ناپایدار شده‌اند. بنابراین چنین استنباط می‌شود که جاده‌سازی باعث کاهش طول شیب و افزایش مقدار شیب دامنه می‌شود و همچنین نبود زه‌کشی مناسب برای تخلیه آب اضافی زیرسطحی دامنه در فرآیند جاده‌سازی، باعث افزایش میزان رطوبت خاک به اندازه اشباع (افزایش فشار منفذی) و افزایش وزن توده خاک و کاهش چسبندگی می‌شود و در کل باعث افزایش نیروهای محرک و در نتیجه یک کاهش قابل‌توجه در مقاومت خاک می‌شود.



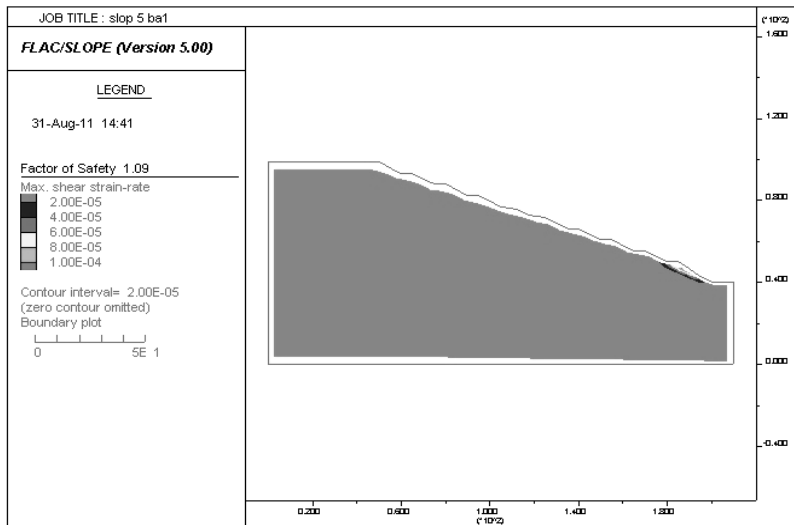
براساس اطلاعات استخراج شده درباره پایداری دامنه‌های مورد بررسی در حوضه سد ایلام براساس مدل تحلیل پایداری شیب و مقایسه آن با شرایط واقعی می‌توان نتیجه گرفت که دامنه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ براساس جدول ۴ کلاس ناپایداری کم قرار گرفته‌اند یا به عبارت دیگر پایدار محسوب شده‌اند. بررسی و مطالعه خصوصیات این دامنه‌ها با استفاده از مدل تحلیل پایداری شیب نشان می‌دهد که نباید در این دامنه‌ها که دارای شیب کم‌تر از ۱۰ درصد هستند لغزش مشاهده شود. پس می‌توان استدلال کرد که در طبیعت این دامنه‌ها به خودی خود امکان لغزش ندارند اما وجود عوامل مصنوعی مانند جاده‌سازی در ایجاد لغزش در این دامنه‌ها مؤثر بوده است. شکل ۵ به خوبی موقعیت دامنه‌های شماره ۱ و ۲ را در طبیعت و تأثیر عواملی مانند احداث جاده در بالادست دامنه را در وقوع لغزش نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمای از دامنه‌های شماره ۱ و ۲ روی تصاویر ماهواره‌ای موجود.

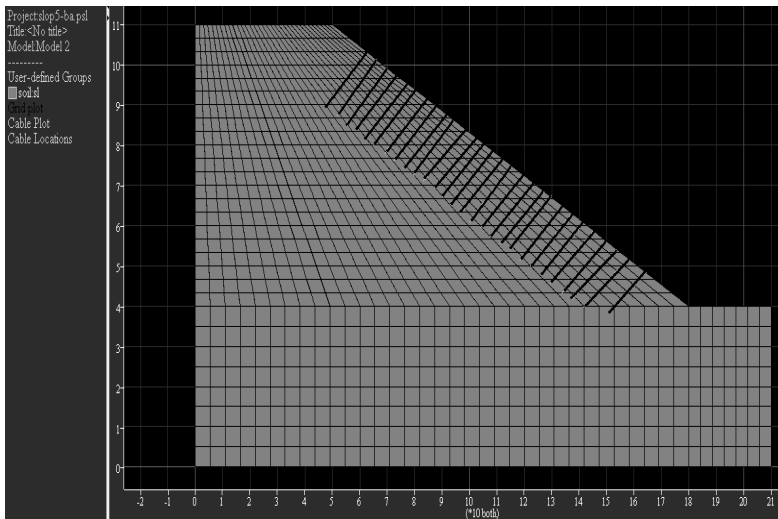
بررسی ضریب پایداری دامنه‌های شماره ۵ و ۶ نشان داد که این دامنه‌ها در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که به‌طور مشخص عامل شیب و عوامل مصنوعی مانند جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش در این دامنه‌ها مؤثر بوده است. راه‌کارهای افزایش پایداری دامنه: به‌طور کلی برای جلوگیری از ناپایداری شیب‌ها و یا طرح یک شیب پایدار می‌توان دو روش زیر را در نظر گرفت:

کاهش نیروهای رانشی زمین (محرک): کاستن از زاویه شیب، پلکانی نمودن و زه‌کشی خاک و استفاده از مصالح سبک در خاک‌ریزها و مسلح‌سازی خاک نمونه‌هایی از روش‌های اجرایی برای کاهش وزن توده لغزنده و در نتیجه کاستن از نیروهای رانشی زمین می‌باشد. شکل ۶ نمونه از عملیات تراس‌بندی را روی دامنه شماره ۶ را نشان می‌دهد، که باعث افزایش (ضریب پایداری) از ۰/۸۱ به ۱/۰۹ شده است.



شکل ۶- تأثیر تراس‌بندی بر افزایش پایداری دامنه شماره ۶.

تقویت نیروهای مقاوم در مقابل جابه‌جایی: برای این حالت باید مقاومت داخلی توده لغزنده به اندازه‌ای افزایش یابد که شیب پایدار بماند (مانند میخ‌کوبی)، میخ‌کوبی زمانی مؤثر است که میخ‌ها (Nails) به اندازه کافی در زیر سطح گسیختگی قرار گیرند، تا بتوانند در مقابل نیروهای رانشی مقاومت نمایند. در طراحی و استفاده از این گونه میخ‌ها، ارتفاع و عمق شیب، تعداد و فاصله میخ‌ها از یکدیگر، فشارهای جانبی وارد به میخ‌ها و ضریب اطمینان میخ در مقابل حرکت، باید کاملاً محاسبه شوند. در این مدل از ۲۸ میله با قطر ۵۰ میلی‌متر و طول ۱۵ متر و زاویه ۳۰ درجه نسبت به افق با فواصل ۲ متر استفاده شد. به‌علت این‌که تحلیل‌ها در این مقاله به‌صورت دوبعدی می‌باشد، فرض بر این است که، تمامی میله‌ها با فواصل یکسان در امتداد یکدیگر در جهت‌های افقی و عمودی قرار گرفته‌اند. شکل ۷ عملیات میخ‌کوبی دامنه شماره ۶ در مدل را نشان می‌دهد که باعث افزایش ضریب پایداری دامنه از ۰/۸۲ به ۱ شده است.



شکل ۷- پایدار کردن دامنه توسط میخ‌کوبی دامنه شماره ۶.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی نقش جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش در بخشی از حوضه سد ایلام، واقع در جنوب شرقی ایلام به مساحت ۱۸۳۶۰ هکتار با استفاده از مدل پایداری دامنه FLAC SLOP پرداخته شد. پس از تعیین دامنه‌های موردنظر برای به‌دست آوردن پارامترهای مورد نیاز نمونه‌برداری از خاک این دامنه‌ها صورت گرفت. برای تعیین ضریب پایداری (FS) دامنه این پارامترها در مدل تحلیل پایداری شیب وارد شد و مقادیر FS برای هر دامنه استخراج شد. در مرحله بعد تأثیر جاده‌سازی بر دامنه موردنظر در مدل اعمال شد. نتایج نشان داد که جاده‌سازی باعث کاهش پایداری دامنه شده که با نتایج لارسن و پارکس (۱۹۹۷)، سا و مازاری (۱۹۹۶)، سرکار و کانگو (۲۰۰۳)، منجری و همکاران (۲۰۰۵) و کالا و همکاران (۲۰۰۴) در سایر مناطق همسان بود. همچنین با استفاده از مدل رایج شده می‌توان دامنه‌های ناپایدار را شناسایی نموده و نوع عملیات حفاظتی به‌منظور افزایش ضریب پایداری را مشخص نمود و عملیات‌هایی مانند میخ‌کوبی و ترانس‌بندی با افزایش نیروهای مقاوم در رابطه ضریب پایداری و همچنین کاهش نیروهای محرک می‌تواند بر پایداری دامنه‌ها بیافزاید. بنابراین طبق نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری عملیات‌های میخ‌کوبی و ترانس‌بندی، پایداری دامنه‌ها تا حدود ۲۰ درصد افزایش یافت.

منابع

1. Cala, M., Flisiak, J., and Tajdus, A. 2004. Slope stability analysis with modified shear strength reduction technique. 9<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Landslides: Evaluation and Stabilization, Pp: 1085-1090.
2. Kayasta, P. 2006. Slope stability analysis using GIS on a regional scale. Master thesis in physical land resources, Vrije University Brussel, 98p.
3. Kelarestaghi, A. 2002. Investigation of effective factors on landslide occurrence, case study of Tajan Dam drainage basin, Sari, M.Sc. Thesis, Tehran University, 120p. (Translated In Persian)
4. Koehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G., and Akkerman, G.J. 2005. Workpackage 6 Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing socioeconomic Impact in Europe, 173p.
5. Larsen, M.C., and Parks, J.E. 1997. How wide is road the association of roads and mass wasting in a forested Montana environment. Earth Surface Processes and Landforms, 22: 835-845.
6. Monjazi, M., Heidari, M., Rezakhah, M., and Masoomi, A. 2005. Designing the final slope optimized of copper Sungun. Conference of Iran mine engineering. The University of Tarbiat Modares, Pp: 120-128. (Translated In Persian)
7. Pack, R.T., Tarboton, D.G., and Goodwin, C.N. 1998. The SINMAP approach to terrain stability mapping. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada, Pp: 1157-1165.
8. Sah, M.P., and Mazari, R.K. 1996. Anthropogenically accelerated mass movement, Kulu Valley, Himachal Pradesh, India, Geomorphology, 20: 123-138.
9. Sarkar, S., and Kanungo, D.P. 2003. Landslides in relation to terrain parameters, A remote sensing and GIS approach, [www.gisdevelopment.net](http://www.gisdevelopment.net).
10. Talebi, A., and Niazi, Y. 2011. Investigation of ability of physically based hydrological model for shallow landslides analysis in natural slopes, Iran Natural Resources, 3: 64-74. (Translated In Persian)
11. Teoh, E.A. 2005. Numerical modeling of complex slope using FLAC/SLOP, bachelor Thesis, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, 110p.
12. Vinh, B.L. 2007. Regional slope instability zonation using different GIS techniques Master thesis in Physical Land Resources, Vrije Universiteit Brussel, 98p.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(1), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Investigation of the effect of road building on landslide occurrence using the FLAC SLOPE model (Case Study: Ilam dam watershed)**

**\*M. Felegari<sup>1</sup>, A. Talebi<sup>2</sup> and Y. Kiaoshkurian<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Yazd University,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Yazd University,

<sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Mine Engineering, Yazd University

Received: 11/08/2011; Accepted: 08/12/2012

### **Abstract**

Landslides are one of the destructive erosion events in slopes that cause financial losses on the roads. Nowadays landslides are more influenced by human activities than natural aspect. But one of the important human activities in landslide event is road construction in most of Watersheds. In this research the effect of the road in landslide event in part of the Ilam dams, in southeast Ilam with 18360 hectare was evaluated by slope stability model (FLAC SLOP). After selecting the slopes, requirement parameters by soil sampling were done in each slope. To determine the factor of safety (FS), these parameters were considered as the input in the model and FS values were calculated. In the next step effect of road on selected slopes was applied in the model. The results indicated that the road building in slopes with more than 15 percent steepness decreased the stability of slopes. Also using this model could help recognize unstable slopes and could characterize conservation operations to increase sloop stability. Based on results operations like nailing and terraces increase slope stability up to 20 percent.

**Keywords:** Landslide, Slope stability model, Road, Factor of safety, Increase stability

---

\* Corresponding Author; Email: [m.felegari@gmail.com](mailto:m.felegari@gmail.com)