

ارزیابی پایداری ترانشه‌های مستعد لغزش با استفاده از تکنیک فتوگرامتری

مقاله علمی-پژوهشی

مجید خیامی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

مسعود رابطی مقدم*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

مهدی زمانی لنجانی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

علی علی پور منصورخانی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rabeti@yu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۳۷۹-۳۹۰

چکیده

تعدد وقوع مخاطرات ژئوتکنیکی در حوزه راه‌ها از قبیل لغزش دامنه‌های مشرف به جاده در نتیجه خاکبرداری، ضرورت استفاده از یک روش با سرعت عمل و دقت بالا و هزینه کمتر را ایجاب می‌نماید. استفاده از روش فتوگرامتری روشی نوین در مطالعات ژئوتکنیک و پایداری شیب می‌باشد که با کمک آن می‌توان پتانسیل شکست شیب و وضعیت ناپایداری آن را تعیین نمود. در پژوهش حاضر، پایداری ترانشه مجاور راه محور یاسوج-کاکان واقع در نواحی کوهستانی استان کهگیلویه و بویراحمد به روش فتوگرامتری مورد بررسی قرار گرفته است. در هنگام بارندگی ناپایداری ترانشه‌های خاکبرداری باعث تحمل هزینه‌های زیادی به راهداری در بحث نگهداری راه‌ها در این منطقه شده است. در این پژوهش ابتدا با استفاده از تکنیک فتوگرامتری یک منطقه از مسیر مورد مطالعه برداشت شد. پس از انجام آنالیز داده‌های حاصل از فتوگرامتری منطقه، سه مقطع مختلف تعیین و سپس به بررسی پایداری این مقاطع پرداخته شد. تحلیل‌های پایداری شیب در دو حالت بدون بارش و با بارش مورد انجام گرفت. نتایج مطالعه نشان داد سرعت عمل در روش فتوگرامتری برای برداشت شکل زمین در وسعت بسیار زیاد مشهود است. در کلیه مقاطع مورد بررسی در مناطق مختلف این مسیر ضریب اطمینان پایداری نزدیک به ۱ بوده و شیب‌ها در آستانه ناپایداری قرار دارند. با در نظر گرفتن حالت با بارش حداکثر در منطقه مورد مطالعه، شیب‌ها کاملاً ناپایدار می‌شوند. از این رو توصیه می‌شود با استفاده از روش‌های پایداری شیب به منظور پایین آوردن سطح خطر در این مناطق تمهیداتی اندیشیده شود.

واژه‌های کلیدی: فتوگرامتری، ارتوفوتو، پایداری شیب، زمین لغزش، ترانشه

۱-مقدمه

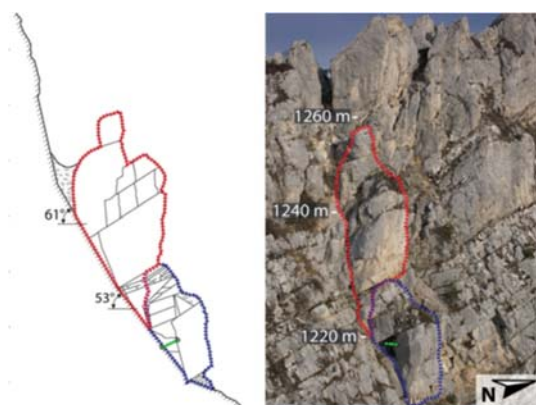
عنوان داده در مطالعات بعدی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی استفاده کرد. منطقه مورد مطالعه محور یاسوج-کاکان می‌باشد که در نواحی کوهستانی استان کهگیلویه و بویراحمد قرار گرفته است. در بسیاری از مواقع در هنگام بارندگی ناپایداری ترانشه‌های خاکبرداری دچار حادثه شده و باعث تحمل هزینه‌های زیادی به راهداری در بحث نگهداری راه‌ها در این منطقه شده است.

استفاده از روش فتوگرامتری روشی نوین در مطالعات ژئوتکنیک و پایداری شیب می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان پتانسیل شکست شیب و وضعیت ناپایداری آن را به دست آورد. در این روش با استفاده از تصاویر گرفته شده از منطقه و با استفاده از پردازش تصاویر می‌توان خروجی‌های قابل قبول از توپوگرافی منطقه و شکل زمین به صورت کاملاً دقیق گرفت و از آن‌ها به

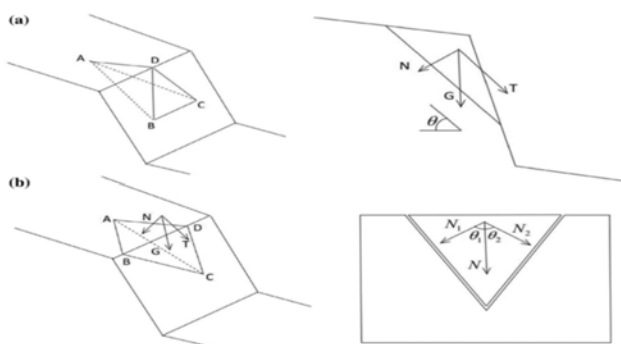
فتوگرامتری و اسکن لیزری برای آنالیز پایداری شیب استفاده کردند. بونیللا-سرا همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تکنیک فتوگرامتری به بررسی پایداری یک شیب سنگی در کوه‌های آلپ پرداختند. به دلیل عدم دسترسی در برداشت زمینی با استفاده از برداشت‌های حاصل از فتوگرامتری به بررسی پایداری یک تکه سنگ پرداختند. با استفاده از این روش به هندسه سه بعدی آن رسیدند و سپس مقطع بحرانی و سطح جداشدگی در این تکه سنگ رسیدند. شکل ۱ مقطع عرضی از این تکه سنگ را نشان می‌دهد همچنین خط چین‌های نشان داده شده ناپیوستگی این سنگ را نشان می‌دهد.

شانگ وانگ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تکنیک فتوگرامتری به بررسی پایداری شیب‌های سنگی پرداختند. آن‌ها با استفاده از تئوری پایداری بلوکی به آنالیز پایداری آن‌ها پرداختند. شکل ۲ مدل‌های کشویی بلوک‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت این جاده بر آن شدیم که با استفاده از روش‌های نوین نقشه‌برداری فتوگرامتری برای پیش‌بینی این رانش زمین، به روش‌های بهینه پایداری سازه خاکبرداری با حداقل زمان و دقت بسیار بالا و هزینه کم رسید. همچنین از این روش می‌توان برای مسیر یابی ایمن از لحاظ مخاطرات ژئوتکنیکی مانند رانش زمین و ناپایداری شیب‌ها پرداخت. سالوینی و همکاران (۲۰۱۲) مطالعات بررسی پایداری شیب‌های موجود در مسیر راه آهن دوماسولا-ایزله در کوه‌ها آلپ ایتالیا می‌باشد. با استفاده از فتوگرامتری مدل دیجیتال شیب و ویژگی ساختاری شیب و وضعیت اتصال سنگ‌ها فاصله بلوک‌ها را بدست آوردند. با استفاده از تعادل حدی به بررسی پایداری شیب پرداختند. هدف آنها تهیه نقشه خطر و مسیر ریزش سنگ بود. با استفاده از نصب تجهیزات فتوگرامتری در هلیکوپتر نسبت به تهیه تصاویر کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های حاصل از



شکل ۱. مقطع عرضی حاصل از برداشت فتوگرامتری



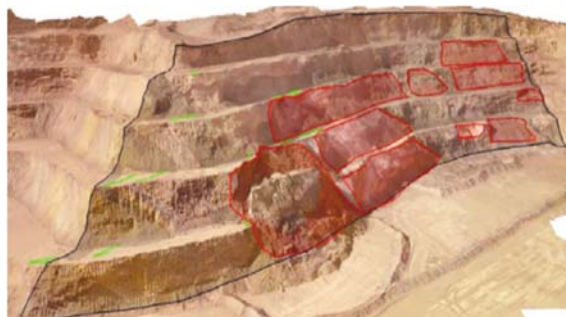
شکل ۲. مدل‌های کشویی بلوک‌ها؛ a مدل شکست با سطح کشویی تک؛ b مدل خرابی با دو سطح کشویی (شانگ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷)

معدن ۵۳۰ متر قطر و ۲۴۳ متر ارتفاع دارد و دارای سنگ‌های هوازاده و هماتیت می‌باشد. این معدن دارای قطعات سنگ

این پژوهشگران با مطالعه موردی معدن باز لوکوشیان استفاده از نرم افزار GEO SMA شروع به مدل‌سازی آن کردند. این

عددی صورت می‌گیرد که تعادل حدی در این سه روش بیشتر استفاده می‌شود. در مدل‌سازی سه بعدی درصد ریز سطح ترانسه‌های خاکبرداری شده ۳۲ درصد تخمین زده شد که در مقایسه با احتمالات ریزش به صورت تجربی که ۵۰ درصد گرفته می‌شود بسیار کاربردی‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. شکل ۳ مدل سه بعدی فتوگرامتری برداشت شده توسط پهپاد و نواحی خرابی، منطقه شکست و آثار ترک تنش را نشان می‌دهد.

و در نهایت با استفاده از تصاویر و برداشت‌های فتوگرامتری انجام شده که گروه نقشه برداری معدن آخر هر ماه انجام می‌دهد گروه ژئوتکنیک نیز می‌تواند داده‌های خود را به روز کرده و خطرات ناشی از ریزش را به طور قابل قبولی پیش‌بینی کند. سوریا سارات و همکاران (۲۰۲۱) با توجه به این که ۹۷ درصد خاک ایالات متحده را مناطق روستایی تشکیل می‌دهند در صورتی که فقط ۱۹ درصد جمعیت در آن‌ها زندگی می‌کنند، این روش می‌تواند یک ایده برای دپارتمان حمل و نقل راه‌های آمریکا باشد تا برای نگهداری از زیرساخت‌های واقع در مجاورت سنگ‌های برشی و شیب‌های ناپایدار و جلوگیری از آسیب‌ها که تا حدود زیادی به پایداری آن‌ها بستگی دارد، باشد. ارزیابی شیوه‌های صحیح در مناطق دورافتاده برای اطمینان از عملکرد آن‌ها ضروری است. استفاده از تجزیه تحلیل سه بعدی قبل از تجزیه و تحلیل دو بعدی پنج دهه است که مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در بحث پردازش‌های سه بعدی انجام این عمل آسان‌تر شده است.



شکل ۳. مدل سه بعدی فتوگرامتری پهپاد که نواحی رویداد خرابی را قرمز، منطقه شکست را مشکی، و آثار ترک تنش را با رنگ سبز نشان می‌دهد. (نیل بارو همکاران، ۲۰۲۰)

ضریب اطمینان به دست آمده از مدل سه بعدی بیشتر از مدل دو بعدی است. در آنالیز ضریب اطمینان به دست آمده توسط گیتیرانا و همکاران (۲۰۰۸) در زمین لغزش لودالن به ضریب اطمینان به دست آمده حدود ۲۰ درصد بیشتر از مقدار به دست آمده در آنالیز دو بعدی آن می‌باشد. ناجندران و همکاران

جداشده بزرگی که دسترسی برای برداشت دستی آنها غیر ممکن است می‌باشد. آن‌ها با استفاده از روش RANSAC به نتایج موردنظر دست پیدا کردند. آزمایش در سه حالت برای زوایای مختلف زاویه شیب ۶۰ و ۸۰ انجام گرفت و ضریب اطمینان و تعداد قطعات با استفاده از آنالیز نرم افزار GEO SMA به دست آمد. در نهایت به این نتیجه رسیدیم که با استفاده از این روش می‌توان با دقت بالا و در زمان بسیار کمی به یک نتیجه ایده‌آل رسید. بار و همکاران (۲۰۲۰) مطالعات خود را برای بررسی پایداری شیب ترانسه‌های خاکبرداری شده‌ای در معدن آهن در غرب استرالیا انجام دادند. آن‌ها با استفاده از داده‌های فتوگرامتری به بررسی پایداری شیب پرداختند. هدف آن‌ها بررسی میزان دقت و سرعت عمل در این تکنیک در مقایسه با روش سنتی و برداشت دستی و همچنین میزان تحلیل آن‌ها نسبت به واقعیت بود. این روش با استفاده از تصاویر با دقت برداشت برای مدل‌سازی سه بعدی و همسان‌سازی با موقعیت مکانی ابر نقطه با دقت یک درصد واقعی با استفاده از نرم افزار پردازشگر سه بعدی Shape Matrix با استفاده از تحلیل RANSAC انجام گرفت. در مدل‌سازی دو بعدی شیب به دست آمده الزاماً بحرانی‌ترین نبوده ولی در مدل‌سازی سه بعدی با توجه به نمایش مسئله مانند اندازه توزیع فضایی حوزه‌های ژئوتکنیکی، جهت‌گیری‌های ناپیوستگی و توضیح فشارهای منفذی که همیشه سه بعدی هستند، نسبت به واقعیت بهتر صورت می‌گیرد. مدل‌سازی سه بعدی به سه روش تجربی، تعادل حدی و تحلیل

لوریگ و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که در موارد ساخت شبیه‌سازی مدل دو بعدی به زمان و تلاش بیشتری نسبت به مدل‌های سه بعدی نیاز دارد و بسیاری از مواقع دریافتند که تحلیل دو بعدی بسیار محافظه کارانه‌تر از تحلیل سه بعدی می‌باشد. بسیاری از محققین دریافتند که ترکیب‌های نرمال

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

شیب‌های مورد مطالعه در محور مواصلاتی یاسوج به اقلید حد فاصل یاسوج-کاکان می‌باشد. این محور به علت شرایط کوهستانی سخت و وجود شیب‌های با ترانشه‌های با ارتفاع بالا و همچنین با توجه به بارش برف و باران مستعد ناپایداری می‌باشد. خودروهای عبوری از این مسیر عمدتاً با احساس خطر مواجه هستند و در سال‌های گذشته هم شاهد مواردی از ناپایداری در این منطقه بوده‌ایم. یک مقطع از این منطقه که در کیلومتر ۷+۴۰۰ الی ۷+۶۰۰ از مبدا سه راهی یاسوج-اقلید و در پایین دست روستای چشمه چنار می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. تصویری از این منطقه در شکل ۴ آورده شده است.

(۲۰۱۹) دلایل اینکه ضریب توان در محیط سه بعدی بیشتر است را بررسی کردند. آنها به این نتایج رسیدند. اولاً در شبیه‌سازی دو بعدی ساده‌سازی بیش از حد محافظه کاران را اتخاذ کردیم در حالی که در هندسه سه بعدی واقعی تحلیل سه بعدی نزدیک به واقعیت در نظر گرفته می‌شود. دوماً در تجزیه و تحلیل سه بعدی می‌توان سطوح ضعیف و قوی را برای سطح شکست انتخاب کرد. کنگرس و همکاران (۲۰۲۰) آنالیز سه بعدی خود را بر اساس آنالیز و تعادل حدی انجام دادند و ضریب اطمینان آنها با روش‌های بیشا-جانبو و مورگان-پرایس مقایسه کردند. در بررسی آن‌ها ضریب اطمینان در روش بیشا-جانبو بیشتر از دو روش دیگر شد که با یافته‌های قبلی در مورد محافظه‌کارانه بودن این روش مطابقت داشت.

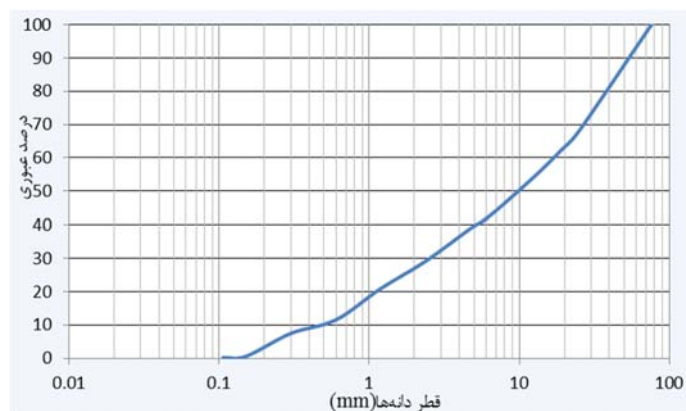


شکل ۴. تصویری از منطقه مورد مطالعه

۲-۱- مشخصات ژئوتکنیکی

جهت جداسازی کامل دانه‌ها در دستگاه شیکر برای دانه‌بندی روی الک قرار گرفت. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک‌ها بعد از آزمایش دانه بندی با الک در شکل ۵ نشان داده شده است.

آزمایش‌های ژئوتکنیکی صرفاً از آزمایش دانه‌بندی در سطح ترانشه برای تعیین مشخصات خاک استفاده شده است. در آزمایشگاه بعد از خشک کردن خاک در آون و کوبیدن آن



شکل ۵. منحنی دانه بندی خاک

اخیر در ایستگاه یاسوج در تاریخ ۱۳۷۰/۹/۲۲ بوده است. میزان بارش ۱۲۹٫۱ میلی متر ثبت شده است. سطح آب زیر زمینی از سطح مسیر ۲۴ متر در نظر گرفته شده است.

خاک از نوع شن خوب دانه بندی شده (GW) می باشد. مشخصات خاک خوب شن ماسه دار در مراجع بین ۳۴ تا ۴۸ می باشد. در تحقیق حاضر میزان ϕ برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شد.

۳-مدلسازی و تحلیل مقطع

۳-۱- مقطع کیلومتر ۷+۴۷۲

در شکل ۶ و ۷ به ترتیب عکس از محل مقطع و نمای سه بعدی ساخته شده از آن را نمایش می دهد.

۲-۲- شرایط بارش و آب زیرزمینی

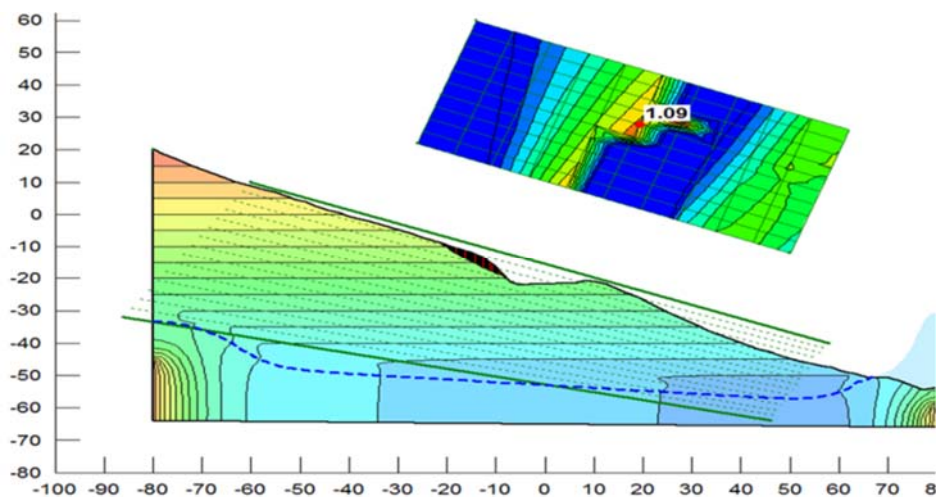
در مدلسازی های انجام شده شرایط بارندگی بدون بارش، با بارش و آب زیرزمینی لحاظ گردید. بر اساس استعلام گرفته شده از سازمان هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد حداکثر میزان بارندگی سی سال



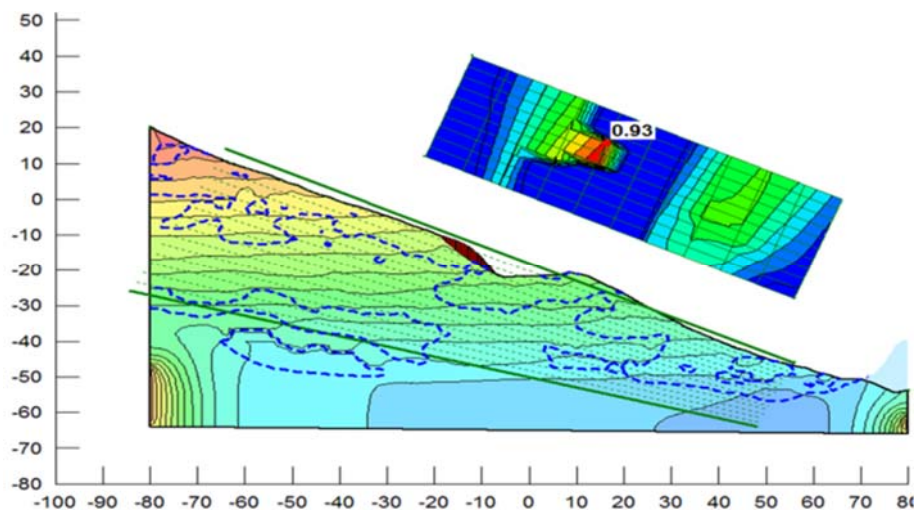
شکل ۶. عکس کیلومتر ۷+۴۷۲



شکل ۷. نمای سه بعدی کیلومتر ۷+۴۷۲



شکل ۸. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت بدون بارش کیلومتر ۷+۴۷۲



شکل ۹. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت با بارش کیلومتر ۷+۴۷۲

در شکل‌های ۸ و ۹ مقاطع مدل‌سازی شده و میزان ضرایب اطمینان را نشان می‌دهد. در این منطقه مشاهده می‌شود که ضرایب اطمینان بدست آمده در شرایط مرزی و بحرانی می‌باشند.

۲-۳- مقطع کیلومتر ۷+۵۱۶

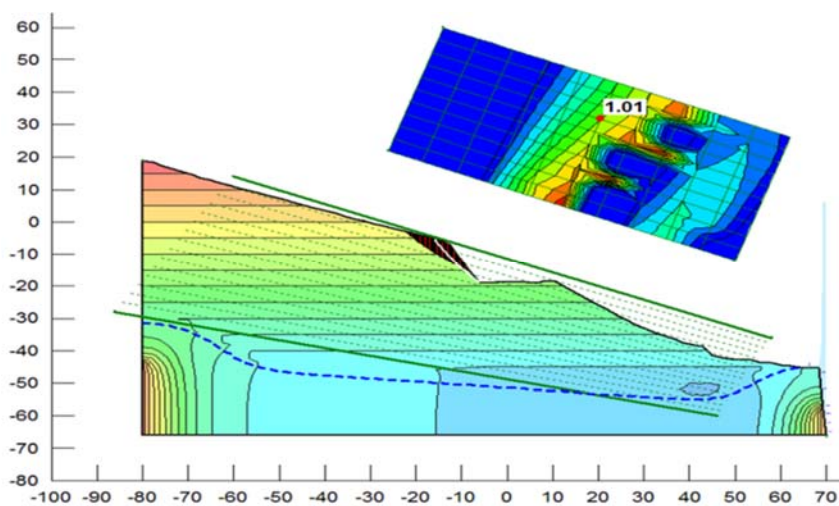
در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب عکس و شکل سه بعدی این منطقه نشان داده شده‌اند.



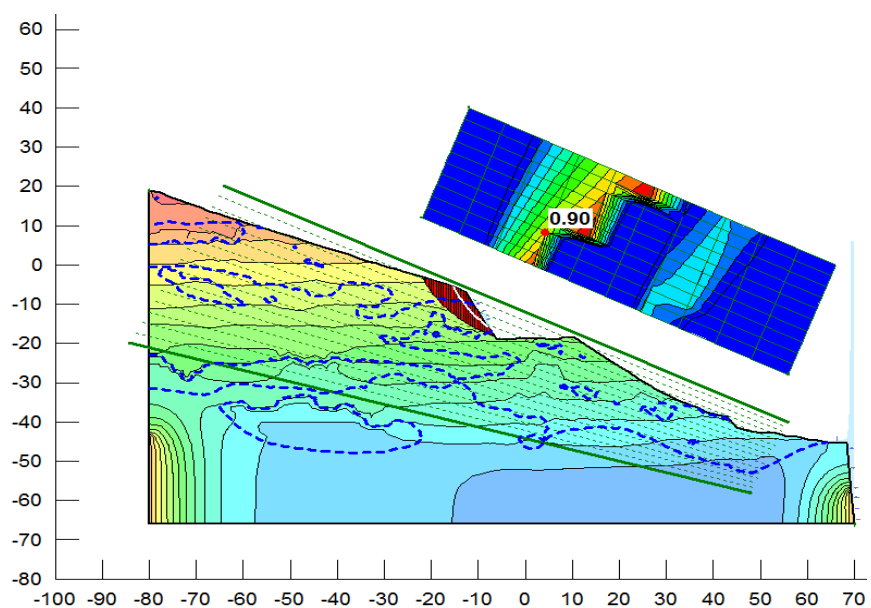
شکل ۱۰. عکس کیلومتر ۷+۵۱۶



شکل ۱۱. نمای سه بعدی کیلومتر ۷+۵۱۶



شکل ۱۲. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت بدون بارش کیلومتر ۷+۵۱۶



شکل ۱۳. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت با بارش کیلومتر ۷+۵۱۶

۳-۳- مقطع کیلومتر ۷+۵۴۲

در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب عکس و شکل سه بعدی این منطقه نشان داده شده‌اند.

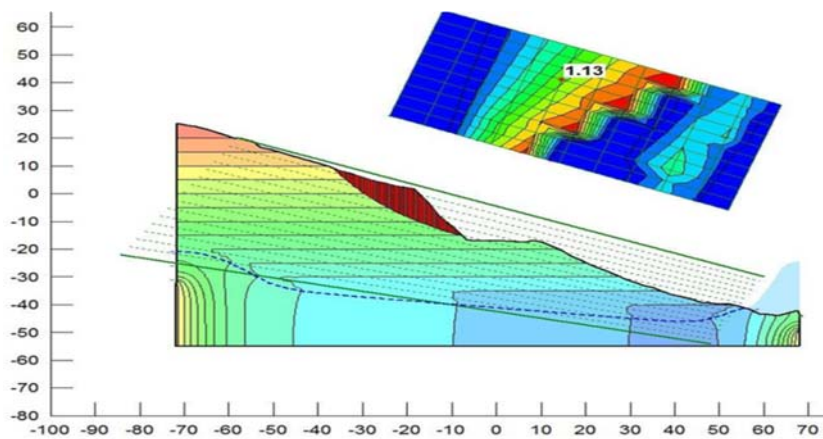
شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مقطع مدل‌سازی شده و میزان ضریب اطمینان این منطقه نشان داده شده است. در این منطقه نیز میزان ضرایب بحرانی می‌باشند.



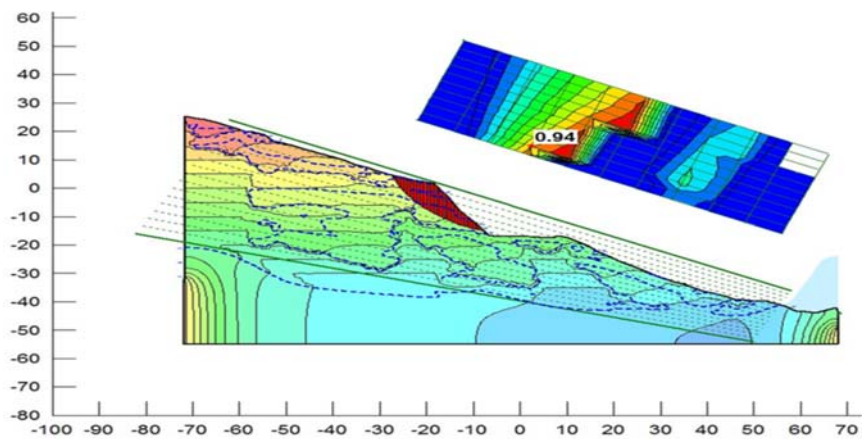
شکل ۱۴. عکس کیلومتر ۷+۵۴۲



شکل ۱۵. نمای سه بعدی کیلومتر ۷+۵۴۲



شکل ۱۶. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت بدون بارش کیلومتر ۷+۵۴۲



شکل ۱۷. مقطع مدل سازی و آنالیز شده در حالت بدون بارش کیلومتر ۷+۵۴۲

۴- جمع بندی مطالعات پایداری

در جدول ۱ بررسی پایداری شیب ها به تفکیک هر مقطع آمده است. همانطور که مشاهده می شود ترانسه مورد بررسی در وضعیت بحرانی و در آستانه لغزش قرار دارد.

شکل های ۱۶ و ۱۷ مقطع مدل سازی شده و میزان ضریب اطمینان این منطقه نشان داده شده است. در این منطقه نیز میزان ضرایب بحرانی می باشند.

جدول ۱. ضریب اطمینان کلیه مقاطع همراه با وضعیت پایداری هر مقطع

Zone	Section (km)	F.S Dry Soil	F.S saturated Soil	وضعیت پایداری در حالت اشباع	وضعیت پایداری در حالت خشک خاک
Zone	7+472	1.09	0.93	در آستانه لغزش	ناپایدار
	7+516	1.01	0.9	در آستانه لغزش	ناپایدار
	7+542	1.13	0.94	در آستانه لغزش	ناپایدار

با فرض بازه ۳۵ تا ۴۵ درجه برای این پارامتر بررسی شده است. این تحلیل حساسیت برای مقطع کیلومتر ۴+۸۵۴ انجام گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۵) تغییر زاویه اصطکاک داخلی باعث تغییرات کمی در ضریب اطمینان شده و با فرض ϕ برابر ۴۵ درجه، که کران بالا برای این خاک محسوب می شود، ضریب اطمینان برابر ۱/۳۹ می باشد که همچنان پایین تر از ضریب اطمینان حداقل آیین نامه ای است و لزوم توجه به پایدارسازی این شیب ها را بیش از پیش آشکار می سازد. در صورت بارش، حتی با فرض بیشترین مقدار ϕ برای خاک، این خاک در آستانه ناپایداری قرار خواهد گرفت.

بررسی تاثیر عدم قطعیت های موجود بر نتایج تحقیق

با توجه به محدودیت های موجود در مطالعه حاضر، پارامترهای مقاومت برشی خاک بر اساس ادبیات فنی انتخاب گردیده است. از این رو، در این قسمت به بررسی تغییر پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر نتایج پژوهش پرداخته شده است.

تاثیر پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر ضرایب اطمینان پایداری

در تمامی مراحل انجام شده در نرم افزار مقدار ϕ برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شده بود. از این رو در این قسمت اثر ϕ بر ضرایب اطمینان

جدول ۵. میزان ضریب اطمینان در مقادیر متفاوت ϕ

ϕ (deg)	F.S. (Dry soil)	F.S. (Saturation Soil)
45	1.39	1.19
43	1.25	1.08
40	1.17	1
38	1.09	0.93
35	0.98	0.84

۵- نتیجه گیری

شیب های خاکبرداری قبل از اجرا می گردد. در این پژوهش سعی بر آن شد که این تکنیک با زبانی ساده و مفهومی باشد. در محدوده مورد بررسی با توجه به کوهستانی بودن منطقه و استان و ارتفاع بالا از سطح دریا و برفگیر بودن مسیر مورد مطالعه اهمیت آن دوچندان می گردد. -در هر سه منطقه بررسی شده خطر ریزش و رانش بسیار زیاد است -بررسی اثر پارامتر زاویه اصطکاک داخلی ϕ بر ضرایب اطمینان در بازه ۳۵ تا ۴۵ درجه برای خاک محدوده مورد مطالعه نشان داد که با فرض زاویه اصطکاک داخلی حداکثر برای خاک، همچنان پایین تر از

اهم نتایج تحقیق حاضر به شرح زیر می باشد:

- سرعت عمل در روش فتوگرامتری برای برداشت شکل زمین در وسعت بسیار زیاد مشهود است. دقت مناطق برداشت شده نسبت به روش های سنتی دیگر که با استفاده از دوربین های نقشه برداری انجام می شد بسیار دقیقتر و در عین حال بسیار سریعتر می باشد. در این روش به دلیل نیروی کار کمتر و سرعت عمل بیشتر به شدت باعث کاهش هزینه ها در بحث مطالعات جاده ای می شود که همین امر باعث ترغیب ادارات ذیربط به انجام مطالعات ژئوتکنیکی برای بررسی پایداری

خاکبرداری این مناطق بصورت پلکانی اجرا گردند تا خطر رانش در آنها به حداقل رسد. در شیب‌هایی که ارتفاع ترانشه‌های خاکبرداری کمتر از ده متر می‌باشند با استفاده از اصلاح شیب ترانشه به حداقل رساندن ناپایداری کمک کنند. در مناطقی که امکان خاکبرداری وجود ندارد و یا با برداشت خاکبرداری در این مناطق باعث بیشتر شدن احتمال لغزش وجود دارد (مانند منطقه شماره یک) با استفاده از ساخت دیوار حایل با یک فاصله از پای ترانشه جهت ایمن سازی مسیر و در صورت رانش در این ناحیه خاک به پشت دیوار منتقل باید و ایمن سازی انجام گردد.

ضریب اطمینان حداقل آیین نامه‌ای است و لزوم توجه به پایداری این شیب‌ها را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در صورت بارش، حتی با فرض بیشترین مقدار ϕ برای خاک، این خاک در آستانه ناپایداری قرار خواهد گرفت.

نظر به اهمیت این جاده و خسارات جانی و مالی که می‌تواند در پی رانش ترانشه‌های مورد بررسی وجود داشته باشد؛ از این رو اکیداً توصیه می‌شود با استفاده از روش‌های پایداری شیب به منظور پایین آوردن سطح خطر در این مناطق تمهیداتی اندیشیده شود. در این مناطق می‌توان با استفاده از سبک‌سازی شیب‌های ترانشه‌ها به کمک برم‌های

۶- مراجع

- Krahn, J., (2007), May. Limit equilibrium, strength summation and strength reduction methods for assessing slope stability. In 1st Canada-US Rock Mechanics Symposium. *OnePetro*.
- Li, D. and Xi, W., (2017). Steep slope DEM Model construction based on the unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Sains Malaysiana*, 46, 2119-2124.
- Lorig, L. and Varona, P., (2007). Numerical analysis, rock slope engineering, civil and mining.
- Nagai, M., Chen, T., Shibasaki, R., Kumagai, H. and Ahmed, A., (2009). UAV-borne 3-D mapping system by multisensor integration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 701-708.
- Nagendran, S.K., Ismail, M.A.M. and Tung, W.Y., (2019). 2D and 3D rock slope stability assessment using Limit Equilibrium Method incorporating photogrammetry technique.
- Rossini M, Di Mauro B, Garzonio R, Baccolo G., Cavallini G, Mattavelli M, De Amicis M, Colombo R. (2018). Rapid melting dynamics of an alpine glacier with repeated UAV photogrammetry. *Geomorphology* 304, 159-172. doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.039
- Salvini, R., Francioni, M., Riccucci, S., Bonciani, F. and Callegari, I., (2013). Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola-Iselle railway, the Italian Alps. *Geomorphology*, 185, 110-122.
- Wines, D., (2016). A comparison of slope stability analyses in two and three dimensions. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116(5), 399-406.
- Wang, S., Zhang, Z., Wang, C., Zhu, C. and Ren, Y., (2019). Multistep rocky slope stability analysis based on unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Environmental Earth Sciences*, 78(8), 1-16.
- Alameda-Hernández, P., El Hamdouni, R., Irigaray, C. and Chacon, J., (2019). Weak foliated rock slope stability analysis with ultra-close-range terrestrial digital photogrammetry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(2), 1157-1171.
- Bar, N., Kostadinovski, M., Tucker, M., Byng, G., Rachmatullah, R., Maldonado, A., Pötsch, M., Gaich, A., McQuillan, A. and Yacoub, T., (2020). Rapid and robust slope failure appraisal using aerial photogrammetry and 3D slope stability models. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(5), 651-658.
- Bonilla-Sierra, V., Scholtes, L., Donzé, F.V. and Elmouttie, M.K., (2015). Rock slope stability analysis using photogrammetric data and DFN-DEM modelling. *Acta Geotechnica*, 10(4), 497-511.
- Congress, S.S.C., Kumar, P., Gajurel, A., Patil, U.D. and Puppala, A.J., (2021). Two-and Three-Dimensional Slope Stability Analyses of Rock Cut Using Unmanned Aerial Photogrammetry Data. *In IFCEE* . 31-41.
- Firpo, G., Salvini, R., Francioni, M. and Ranjith, P.G., (2011). Use of digital terrestrial photogrammetry in rocky slope stability analysis by distinct elements numerical methods. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(7), 1045-1054.
- Gibson, W., (2011). Probabilistic methods for slope analysis and design. *Australian Geomechanics*, 46(3), 29.
- Gitirana, Jr, G., Santos, M.A. and Fredlund, M.D., (2008). Three-dimensional analysis of the Lodalen landslide. In *GeoCongress 2008: Geosustainability and Geohazard Mitigation*, 186-190.
- Kirsten, H.A.D., 1983. Significance of the probability of failure in slope engineering. *Civil Engineering*, Siviele Ingenieurswese, 1983(1), 17-29.

Evaluation of Stability of Landslide-Prone Trenches Using Photogrammetry Technique

*Majid Khayyami, M. Sc., Student, Geotechnical Engineering of Yasouj University,
Yasouj, Iran.*

*Masoud Rabeti Moghadam, Assistant Prof., Faculty of Engineering of Yasouj University,
Yasouj, Iran.*

*Mehdi Zamani Lenjani, Assistant Prof., Faculty of Engineering of Yasouj University,
Yasouj, Iran.*

*Ali Alipoor Mansourkhani, Assistant Prof., Faculty of Engineering of Yasouj University,
Yasouj, Iran.*

E-mail: rabeti@yu.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

The frequency of occurrence of geotechnical hazards in the field of roads, such as landslides of slopes overlooking the road as a result of excavation, necessitates the use of a method with high speed and accuracy and lower cost. The use of photogrammetric method is a new method in geotechnical studies and slope stability, which can be used to determine the potential of slope failure and its instability. The studied area is the Yasouj-Kakan axis, which is located in the mountainous areas of Kohgiluyeh and Boyerahmad province. Many times, during the rains, the instability of the excavation trenches has caused accidents and has caused the road administration to bear a lot of costs in the matter of road maintenance in this area. In this research, first, using photogrammetry technique, an area of the studied route was taken. After analyzing the data obtained from the photogrammetry of the area, three different sections were determined and then the stability of these sections was investigated. Slope stability analyzes were performed in two cases without precipitation and with precipitation. The results of the study showed that the speed of action in the photogrammetric method for capturing the shape of the earth is evident in a very large area. The accuracy of the harvested areas is much more accurate and at the same time much faster than other traditional methods that were done using mapping cameras. In all sections investigated in different areas of this route, the reliability coefficient of stability is close to 1 and the slopes are on the threshold of instability. Considering the situation with maximum rainfall in the study area, the slopes become completely unstable. Therefore, it is recommended to use a slope stabilization technique for the studied trenches.

Keywords: Photogrammetry, Orthophoto, Slope Stability, Landslide, Trench