دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تحلیل پایداری شیروانی‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی براساس خصوصیات مکانیک خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز استخرپشت نکا)

سید عطاالله حسینی[۱]، مرضیه جانزاده چناری[۲]، آیدین پارساخو[۳] و حسن اکبری[۴]

۱- استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسوول: Aidinparsakhoo@yahoo.com)
۴- استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

چکیده

ناپایداری شیب‌ها و حرکت توده‌ای خاک همواره یکی از دغدغه‌های صاحب‌نظران و متخصصان راه و ساختمان و هم‌چنین محیط‌زیست بوده است. خاک عمده‌ترین مصالح ساختمانی راه‌های جنگلی بوده و در عین حال بستر آن را تشکیل می‌دهد. در این تحقیق برای جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه‌های ناشی از آزمایشگاه مکانیک خاک، اقدام به زون‌بندی منطقه به واحدهای همگن از نظر شکل زمین در نرم‌افزار GIS شد. از هر یک از ۲۰ واحد شکل زمین و در محل عبور جاده، ۱۰ نمونه به‌روش تصادفی منظم و در مجموع ۲۰۰ نمونه خاک از روی شیروانی خاک‌برداری برداشت و از نظر مشخصه‌های درصد رطوبت وزنی، وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک آنالیز گردید. پس از دسته‌بندی نتایج آزمایش خاک مناطق همگن جدیدی با ویژگی‌های خاک‌شناسی مشابه بدست آمد. بدین‌ترتیب در فرآیند بهینه‌سازی تعداد نمونه‌ها میزان شدت نمونه‌برداری با حفظ دقت و اعتبار، به‌طور قابل ملاحظه‌ای و تا ۱۰۰ نمونه کاهش یافت. بر روی این نمونه‌ها آزمایش حدود آتربرگ و مقاومت برشی انجام شد. نتایج نشان داد که درصد بخش ریزدانه خاک در هر دو عمق (۳۰-۱۰ و ۹۰-۷۰ سانتی‌متر) منطقه لغزشی بیشتر از منطقه پایدار بود. شاخص روانی در منطقه لغزشی و پایدار به‌ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۰۹ بدست آمد. شاخص خمیری در منطقه لغزشی و پایدار به ترتیب ۴۵/۸۸ و ۱۹/۰۷ بود. علاوه‌براین، میانگین مقاومت برشی خاک منطقه لغزشی به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه پایدار بود. با توجه به حالت خمیری خاک در منطقه لغزشی پیشنهاد می‌شود عمل زهکشی در آن مناطق انجام شود.

واژه‌های کلیدی: جاده، واحدهای شکل زمین، بهینه‌سازی نمونه‌ها، حدود آتربرگ، پایداری شیب

مقدمه

به توده‌های خاکی طبیعی یا مصنوعی که سطح آن‌ها با افق زاویه می‌سازد، سطوح شیب‌دار یا شیروانی می‌گویند (۹). جاده‌سازی یکی از عوامل ایجاد شیروانی‌های خاکی می‌باشد (۲۵،۱۲). چنان‌چه ساخت جاده بدون شناخت از خاک منطقه‌ای که قرار است جاده از آن عبور کند صورت گیرد، پی‌آمدهای خطرناکی را به‌دنبال خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به هزینه سنگین ساخت جاده، نگهداری و بازسازی راه در خاک‌های حساس به حرکت توده‌ای و ساخت دیواره‌های حائل جهت تثبیت خاک‌های سطحی و شیروانی‌های خاکی اشاره نمود (۲۶،۲۲،۱۷).

پایداری شیروانی عموماً به‌طور نسبی است، به عبارت دیگر یک شیب برای همیشه پایدار نمی‌ماند. از دیدگاه مهندسی بررسی برش‌ها و شیروانی‌های طبیعی موجود در منطقه، راهنمای با ارزشی برای طراحی شیب است (۳). برای کلیه برش‌هایی که بیش از ۶ متر ارتفاع دارند و نیز در شرایط خاک‌های سست، نرم، ترک‌دار و یا مستعد تراوش آب، تجزیه و تحلیل پایداری شیب ضروری می‌باشد (۲۷،۴). لذا در بسیاری از حالات لازم است پایداری شیروانی‌های طبیعی یا مصنوعی که ممکن است در اثر گودبرداری یا خاک‌ریزی ایجاد شده باشد توسط مهندس طراح کنترل گردد (۲۸). در این کنترل باید تنش‌های برشی ایجاد شده در امتداد سطح لغزش محاسبه شده و با مقاومت برشی خاک مقایسه گردد. به چنین فرآیندی تحلیل پایداری شیروانی اطلاق می‌گردد (۱۸). در اغلب موارد وسعت زیاد منطقه و حجم بالای نمونه‌ها سبب افزایش هزینه‌ها و وقت‌گیر شدن آزمایشات می‌شود که این امر لزوم یافتن راه‌کاری برای بهینه‌سازی نمونه‌ها را آشکار می‌سازد.

گرجی مجری و ساریخانی (۱۰) در تحقیقاتی در منطقه خیرودکنار با آزمایشاتی که از طریق نمونه‌گیری تصادفی بر روی خاک منطقه انجام داد به این نتیجه رسید که در خاک‌هایی با زاویه اصطکاک داخلی ۲۳/۴ درجه و ضریب چسبندگی خاک ۱/۶۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نیروی فعال یا رانش خاک برابر با ۱۲/۲۹ تن بر متر می‌باشد که این نشان‌دهنده خاک‌های ناپایدار است. حسینی و همکاران (۱۳) با بررسی لغزش و رابطه آن با خواص مکانیکی خاک جاده‌های جنگلی به این نتیجه دست یافتند که مناطق لغزشی دارای بافت خاک رسی با شلی پایین (CL) و بالا (CH) و مناطق شاهد دارای بافت ماسه‌ای رس‌دار (SC) است. به‌علت وجود ریزدانه در خاک مناطق لغزشی و جذب و نگهداری رطوبت توسط آن و همچنین نامناسب بودن جریان زهکشی خاک، انجام عملیات جاده‌سازی سبب حرکت و لغزش منطقه شده است. مجنونیان و همکاران (۲۱) پس از تهیه نقشه شکل زمین اقدام به برداشت ۴۲ نمونه خاک از واحدهای همسان نموده و سپس به اندازه‌گیری قابلیت مکانیکی خاک جاده‌های جنگلی منطقه آق‌مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که ۸۴ درصد خاک منطقه از نوع ریزدانه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

سیلت با شلی پایین (ML) و CL و ۱۶ درصد خاک از نوع درشت‌دانه شنی سیلت‌دار (GM) و ماسه‌ای سیلت‌دار (SM) می‌باشد. شاخص‌روانی خاک منطقه بیش از ۰/۵ است. این بدان معنـی اسـت کـه این نوع خاک مناسب عبور و مرور وسایل نقلیه نمی‌باشد و ساخت و ساز در این گونه مناطق منجر به لغزش و رانش خواهد شد (۱۵).

مقیمی و همکاران (۲۳) در مطالعات خود در دامنه‌های شمالی یال داق در حوضه چناران دریافت که حذف پنجه خاک‌برداری و افزایش سربار شیروانی خاک‌ریزی در زمان ساخت جاده باعث به‌هم خوردن پایداری شیب در بالادست و پایین‌دست جاده می‌شود. محمدی سوادکوهی و حسینی (۲۰) به مطالعه وضعیت پایداری خاک دامنه‌های حاشیه جاده‌های جنگلی در حوزه آبخیز تجن مازندران پرداختند و به این نتایج دست یافتند که مناطق لغزشی دارای خاک CL و درصد رطوبت طبیعی ۴۹ و منطقه شاهد دارای خاک ML با درصد رطوبت طبیعی ۴۰ بود. بالا بودن رطوبت حد روانی نشان می‌دهد که مقدار رس در خاک‌های منطقه بالا بوده و اشباع بودن خاک سبب لغزش شده است (۱۶). برگا (۶) با مطالعاتی که در بررسی رانش‌های جاده‌های جنگلی براساس خصوصیات زمین در بریتیش کلمبیا انجام دادند به این نتایج دست یافتند که بیشترین ناپایداری در دامنه‌هایی با شیب بالای ۵۰ درصد صورت گرفته است و این ناپایداری‌ها در مناطقی که شکست شیب به‌طور طبیعی صورت می‌گیرد و در نزدیکی آب‌گذرها واقع شده‌اند بیشتر اتفاق می‌افتد. گالی و همکاران (۱۱) به اندازه‌گیری و نقشه‌برداری از لغزش‌های منطقه امبریا در ایتالیا پرداختند. آن‌ها با روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، شیب و نوع و فراوانی لغزش‌های اتفاق افتاده نسبت به تهیه نقشه خطر اقدام کردند. عابدی و همکاران (۲) در تحقیقی در حوزه آبخیز چفرود استان گیلان به مطالعه رابطه خواص مکانیکی خاک و ایجاد لغزش در مسیر جاده جنگلی پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد خاک مناطق لغزشی دارای بافت SC و مناطق شاهد CH و CL هستند. وجود ریزدانه در خاک مناطق لغزشی و جذب و نگهداری رطوبت توسط آن که از درصد بالای رطوبت طبیعی خاک منطقه مشخص است و هم‌چنین نامناسب بودن جریان زهکشی سبب تحریک و لغزش خاک منطقه شده است. جلوگیری از وقوع ناپایداری شیروانی‌ها و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و جلوگیری از هدررفت سرمایه‌گذاری انجام شده در احداث جاده و حفظ و نگهداری جاده ضرورت انجام این تحقیق را مشخص می‌سازد. هدف پژوهش حاضر بهینه‌سازی تعداد نمونه‌های خاک جهت تحلیل پایداری شیروانی‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی و سپس مقایسه خواص مکانیکی خاک در مناطق پایدار و لغزشی بود.

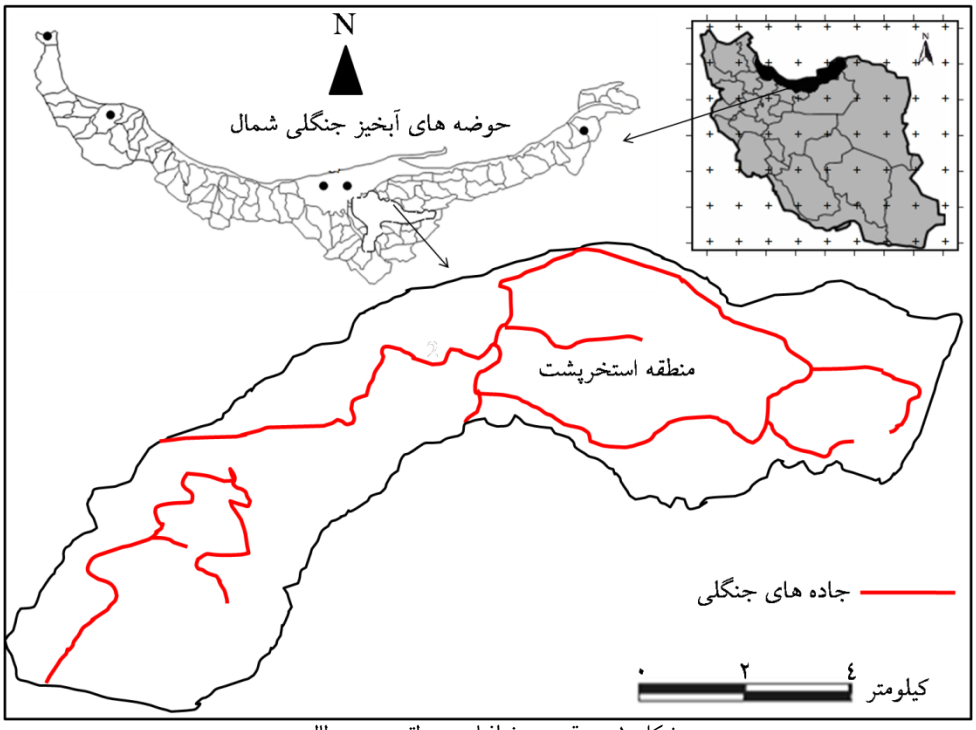
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

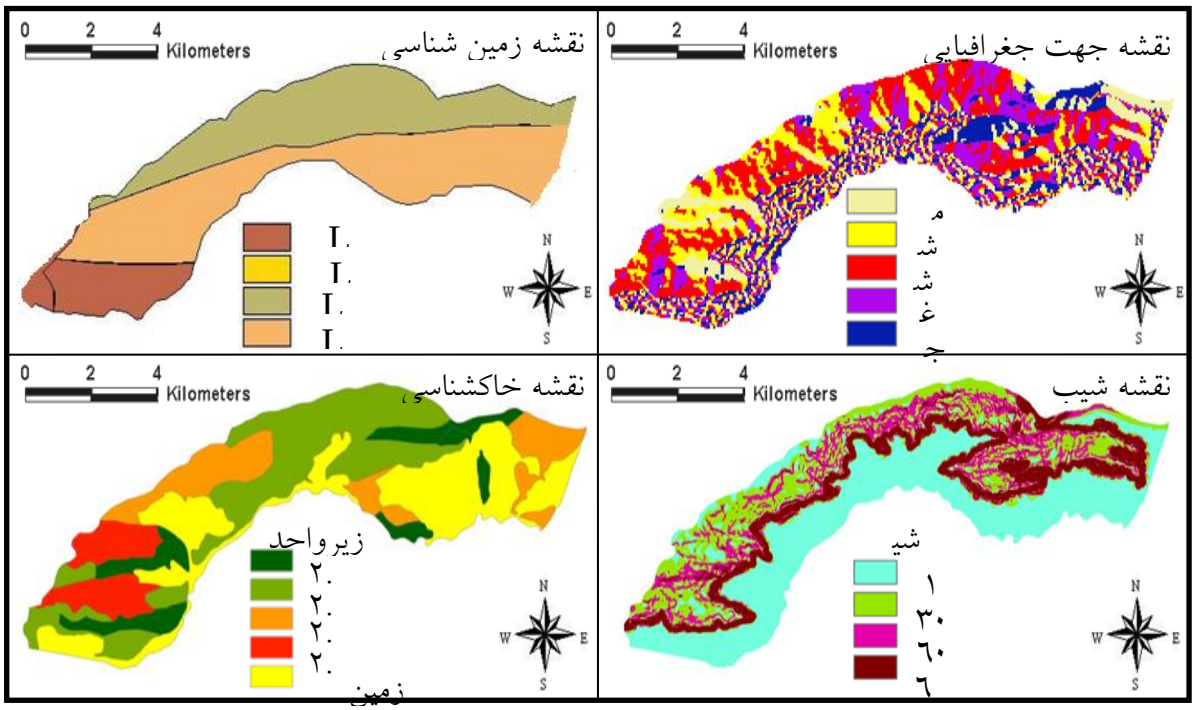
سری دو منطقه استخرپشت در عرض شمالی ´۲۵ °۳۶ و ´۲۹ °۳۶ و در طول جغرافیایی شرقی ´۱۷ °۵۳ تا ´۳۱ °۵۳ واقع شده و شامل ۶۴۴۲ هکتار می‌شود (شکل ۱). از نظر دیرینه شناسی، اکثر نقاط این سری به دوران سوم (پالئوژن–نئوژن) متعلق بوده، ولی در ارتفاعات بلند جنوب آن سنگ‌های آهکی مربوط به دوره کرتاسه فوقانی (دوران دوم مزوزوییک) نیز مشاهده می‌گردد. در هر صورت بیش از ۸۰ درصد سری دو از نهشته‌های دریایی پالئوژن–نئوژن (دوره های ائوسن، میوسن، و پلیوسن) تشکیل شده است. این بخش دارای دامنه‌های موج‌دار، مسیل و اراضی با شیب‌های خیلی تند است (منظور از شیب‌های خیلی تند شیب‌های ۳۱ تا ۴۵ درجه می‌باشد). در سری مورد مطالعه، تیپ‌های خاک راندزین تیپیک، قهوه‌ای جنگل با pH قلیایی، قهوه‌ای شسته‌شده با پسدوگلی شناسایی گردیده است. که به ۴ زیرواحد اراضی تقسیم شده است. زیرواحد ارضی ۲،۲،۱: تیپ خاک راندزین تیپیک، بافت خاک متوسط لومی تا کمی سنگین لومی رسی که زهکشی خاک خوب گزارش شده است، که ارتفاعات جنگلی نسبتا بلند با مواد مادری آهکی، آهک–مارنی را شامل می‌شود. زیرواحد اراضی ۲،۲،۲: تیپ خاک قهوه‌ای جنگل با pH قلیایی و بافت خاک سطحی متوسط تا کمی سنگین لومی رسی تا لومی در عمق و در سطح زیرین سنگین رسی است، که اراضی جنگلی نسبتاً بلند تا بلند با مواد مادری آهکی، مارنی و آهکی مارنی را شامل می‌شود. زیرواحد اراضی ۲،۲،۳: تیپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک و بافت خاک سطحی کمی سنگین لومی رسی و در عمق بسیار سنگین شنی رسی است، که اراضی جنگلی کوتاه تا نسبتا بلند جنگلی با مواد مادری مارنی، آهک مارنی و آهک ماسه‌ای را شامل می‌شود. زیرواحد ۲،۲،۴: تیپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده با پسدوگلی و بافت خاک، سنگین شنی رسی است، و مواد مادری آن مارنی، آهک، آهک مارنی است.

در نقشه زمین‌شناسی LML2 مناطق با ارتفاع متوسط و پرشیب و LML3 مناطق با ارتفاع کم و شیب ملایم و شامل لایه‌های مارن، آهک مارنی، آهک ماسه‌ای و کنگلومرای ارگانیک با پایداری خیلی ضعیف هستند. LPL2 زمین‌های با پایداری متوسط و شامل لایه‌های آهک ماسه‌ای و آهک مارنی به همراه مارن و مختصری کنگلومرا و LPL3 زمین‌های با پایداری خیلی ضعیف و شامل لایه‌های مارن، مارن آهکی و آهک مارنی است (۱۹) (شکل ۲). میانگین شیب شیروانی خاک‌برداری در منطقه مورد مطالعه ۱۰۰ درصد و دارای ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد بود، لذا شیب شیروانی خاک‌برداری به‌عنوان یک متغیر مستقل در تحقیق لحاظ نگردید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Geographical position of the study area

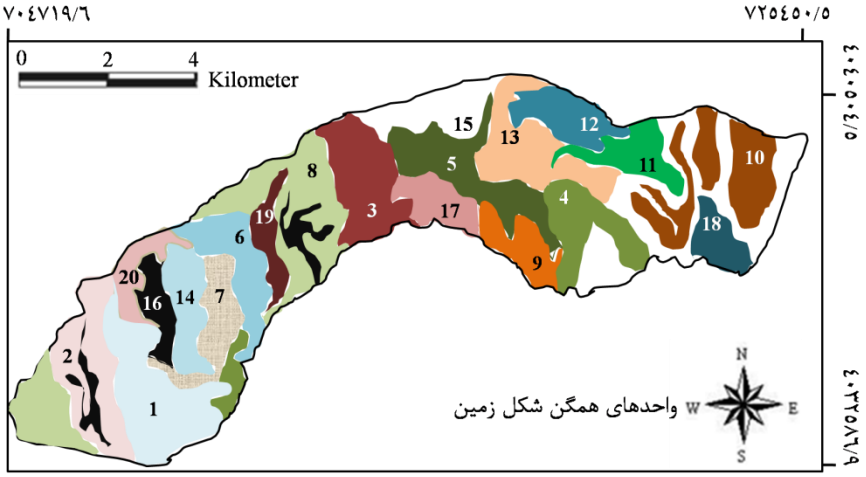


شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی جهت‌های جغرافیایی، زمین‌شناسی، شیب و خاک منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Data layers of slope direction, geology, slope gradient and soil in study area

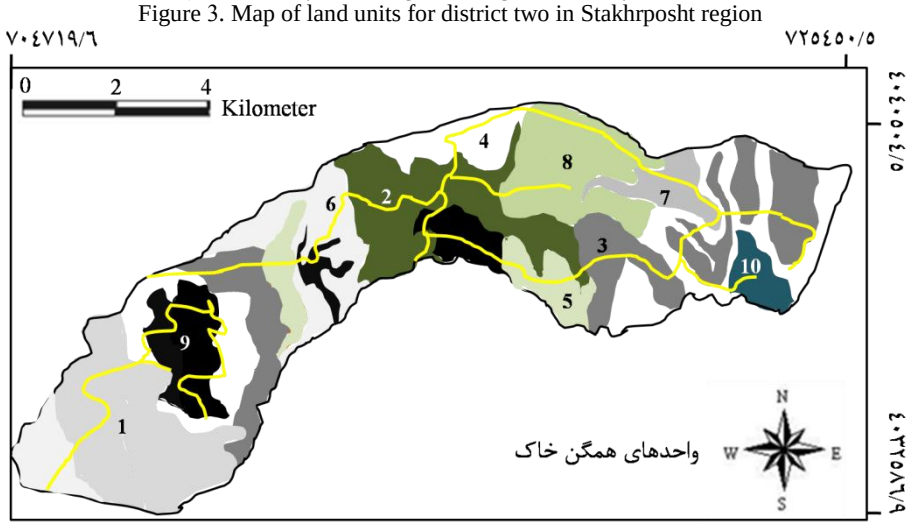
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

روش تحقیق

بهینه‌سازی حجم نمونه: در این تحقیق به منظور پرهیز از گزینش مکان‌های مشابه از نظر شیب، جهت و ارتفاع، نقشه واحدهای شکل زمین منطقه به‌عنوان مبنای انجام پژوهش در نظر گرفته شد. برای تولید این نقشه نیاز به نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع است که به طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج شدند. با توجه به مشخصات منطقه مورد مطالعه نقشه شیب به ترتیب در ۴ طبقه ۱۰-۰ درصد، ۳۰-۱۱ درصد، ۶۰-۳۱ درصد و بیشتر از ۶۱ درصد (۱۴)، نقشه جهت به ترتیب در ۴ طبقه شمال، شرق، جنوب و غرب و نقشه ارتفاعی منطقه در طبقات ۵۰۰-۴۰۰، ۶۰۰-۵۰۰، ۷۰۰-۶۰۰، ۸۰۰-۷۰۰، ۹۰۰-۸۰۰، ۱۰۰۰-۹۰۰، ۱۱۰۰-۱۰۰۰، ۱۲۰۰-۱۱۰۰متر تهیه شد. از روی هم‌گذاری نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه شکل زمین بدست آمد. این نقشه دارای ۲۰ واحد همسان در درون و ناهمسان بین یکدیگر است (شکل ۳). در مسیر جاده از هر واحد همسان ۱۰ نمونه خاک به‌روش تصادفی منظم (اولین نقطه به‌صورت تصادفی و بقیه با فواصل یکسان ۱۰۰ متر از یکدیگر) برداشت و درصد رطوبت وزنی، وزن مخصوص ظاهری، درصد تخلخل و بافت خاک اندازه‌گیری شد و سپس مشخصات نقطه نمونه‌برداری توسط GPS ثبت گردید (۱۴،۷).



شکل ۳- نقشه واحدهای همگن شکل زمین در سری دو منطقه استخرپشت
Figure 3. Map of land units for district two in Stakhrposht region



شکل ۴- نقشه واحدهای همگن از نظر ویژگی‌های خاک‌شناسی
Figure 4. Map of land units based on soil properties

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

تعداد مناسب نمونه در هر واحد همگن پس از محاسبه انحراف معیار آماربرداری مقدماتی از مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، تخلخل و بافت به‌کمک فرمول کوکران معین شد. تعداد مناسب نمونه با در نظر گرفتن t =۲ و ۸٪ =$E_{95\%}$± از رابطه (۱) محاسبه شد (۲۹):

$$n = \frac{t^2 \times (S_X\%)^2}{(E\%)^2}$$ رابطه (۱)

در این رابطه n تعداد نمونه، t ضریبی است که بستگی به تعداد نمونه و سطح احتمال مورد نظر دارد، E اشتباه آماربرداری و S_X مقدار انحراف معیار است که با آماربرداری اولیه از ۳ نمونه خاک در هر واحد بدست آمد. با توجه به خطای آماری ۸± درصد تعداد ۱۰ نمونه خاک برای هر واحد کافی بود. نمونه‌های مربوط به آزمایش دانه‌بندی خاک با توجه به حداکثر عمق خاک در محل شیروانی‌های خاک‌برداری، از عمق‌های ۳۰-۱۰ و ۹۰-۷۰ سانتی‌متر از طریق حفر گمانه جمع‌آوری و به‌روش الک تر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای سایر آزمایشات نمونه‌ها توسط استوانه فولادی از عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری برداشت شد (۱۴). اندازه‌گیری حجم استوانه با استفاده از رابطه (۲) انجام پذیرفت:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$ رابطه (۲)

که در آن d قطر استوانه به اندازه ۵ سانتی‌متر و h طول استوانه به اندازه ۱۰ سانتی‌متر بود.

وزن مخصوص ظاهری خاک: وزن مخصوص ظاهری خاک از رابطه (۳) به‌دست آمد (۸):

$$BD = DS \div V$$ رابطه (۳)

که در آن BD وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، DS وزن خاک خشک (گرم) و V حجم استوانه (سانتی‌متر مکعب) است.

رطوبت وزنی خاک: رطوبت خاک نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌کمک رابطه (۴) محاسبه شد (۸).

$$M = [(MS - DS) \div DS] \times ۱۰۰$$ رابطه (۴)

که در آن M درصد رطوبت وزنی خاک و MS وزن خاک مرطوب (گرم) است.

تخلخل خاک: تخلخل نسبت فضای حفره‌ای خاک است به فضای کلیآن (رابطه ۵) (۸).

$$P = ۱۰۰ - (BD \div PD) \times ۱۰۰$$ رابطه (۵)

که در آن P درصد تخلخل خاک و PD وزن مخصوص حقیقی خاک است.

با دسته‌بندی نتایج آزمایش خاک به‌کمک آزمون خوشه‌بندی و فاصله مربع اقلیدسی در نرم‌افزار SPSS، تعداد ۱۰ واحد همگن جدید با ویژگی‌های خاک‌شناسی مشابه شامل وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، تخلخل و بافت بدست آمد (شکل ۴). بدین‌ترتیب شدت نمونه‌برداری با حفظ میزان دقت، به میزان ۵۰ درصد یعنی تا ۱۰۰ نمونه کاهش یافت.

مکانیک خاک منطقه لغزشی و پایدار: زمین‌لغزش به حرکت توده‌ای مواد روی شیب دامنه گفته می‌شود. ۶۰ درصد این نمونه‌ها در منطقه لغزشی کنار جاده و ۴۰ درصد آن‌ها در مناطق پایدار واقع شده بودند. بر روی این نمونه‌ها آزمایشات حدود آتربرگ (حد روانی، حدخمیری، شاخص خمیری و روانی) و برش مستقیم جهت مقایسه مشخصات مکانیکی خاک مناطق لغزشی و پایدار صورت گرفت.حد خمیری خاک یا به‌عبارت دیگر درصد رطوبتی که در آن خمیره خاک هنگام ورز دادن شروع به ترک خوردن می‌کند از رابطه (۶) بدست می‌آید (۵):

$$PL = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$ رابطه (۶)

که در آن W_2 وزن ظرف و خاک مرطوب (گرم)، W_3 وزن ظرف و خاک خشک و W_1 وزن ظرف خالی می‌باشد. حد روانی خاک نیز با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (۵):

$$LL = W_N * \left[\frac{N}{25}\right]^{0.121}$$ رابطه (۷)

در این رابطه N تعداد ضرباتی است که در آن ۱۳/۷ میلی‌متر از طول شیار ایجاد شده روی خاک درون ظرف کاساگرانده بسته می‌شود و W درصد رطوبتی است که در آن این طول از شیار بسته می‌شود (۵). شاخص خمیری (PI) از تفاضل حد روانی از حدخمیری بدست آمد (رابطه ۸).

$$PI = LL - PL$$ رابطه (۸)

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SAS به‌اجرا درآمد. ابتدا به وسیله آزمون کولموگرف- اسمیرنوف میزان تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال بررسی و به کمک تجزیه واریانس (General Linear Model) اثر متغیرهای مستقل شامل پایداری منطقه و عمق نمونه‌برداری بر متغیرهای وابسته شامل برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک آنالیز گردید. در مواردی که تجزیه واریانس اثر معنی‌دار نشان داد از آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق با روی‌هم‌گذاری نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع نقشه شکل زمین با ۲۰ واحد همسان بدست آمد که اطلاعات هر واحد به‌صورت مجزا در جدول ۱ ارائه شده است. پس از تعیین واحدهای همسان بر روی مسیر جاده‌های جنگلی نسبت به برداشت نمونه‌های خاک جهت تعیین درصد رطوبت، بافت (شن، ماسه، لای و رس)، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری اقدام گردید (جدول ۲). بر اساس این اطلاعات ۱۰ واحد همگن از نظر ویژگی‌های مهم خاک شناسایی شد. از میان این ۱۰ واحد، واحدهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۹ در منطقه ناپایدار با نشانه‌های لغزش و واحدهای ۶، ۷، ۸ و ۱۰ در منطقه پایدار واقع شده بودند (جدول ۳). بدین‌ترتیب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با استخراج واحدهای همسان خاک‌شناسی از واحدهای شکل زمین می‌توان ضمن صرفه‌جویی در زمان و کاستن از حجم نمونه‌ها، هزینه‌های جابجایی و هزینه انجام آزمایش‌های مکانیک خاک به نتایج مطلوب نیز دست یافت. وو و همکاران (۲۸) نیز با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اراضی جنگلی نسبت به برداشت نمونه‌های خاک از طبقات مختلف خطر و به تبع آن کاهش تعداد نمونه مورد نیاز اقدام نمودند.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا) هر یک از واحدهای شکل زمین

Table 1. Physiographic characteristics (Slope gradient, slope direction and elevation at sea level) for each land units

واحد	شیب (درصد)	جهت	ارتفاع (متر)	واحد	شیب (درصد)	جهت	ارتفاع (متر)
۱	۳۰-۶۰	شرق	۹۰۰-۱۰۰۰	۱۱	۱۱-۳۰	شرق	۴۰۰-۵۰۰
۲	۳۰-۶۰	شمال	۹۰۰-۱۰۰۰	۱۲	۳۰-۶۰	غرب	۹۰۰-۱۰۰۰
۳	۳۰-۶۰	شرق	۷۰۰-۸۰۰	۱۳	>۶۰	شمال	۸۰۰-۹۰۰
۴	۳۰-۶۰	شرق	۴۰۰-۵۰۰	۱۴	>۶۰	جنوب	۹۰۰-۱۰۰۰
۵	۰-۱۰	جنوب	۴۰۰-۵۰۰	۱۵	۳۰-۶۰	غرب	۴۰۰-۵۰۰
۶	۱۱-۳۰	شرق	۷۰۰-۸۰۰	۱۶	۰-۱۰	غرب	۴۰۰-۵۰۰
۷	۱۱-۳۰	شرق	۷۰۰-۸۰۰	۱۷	۰-۱۰	شرق	۴۰۰-۵۰۰
۸	۱۱-۳۰	شرق	۸۰۰-۹۰۰	۱۸	>۶۰	جنوب	۷۰۰-۸۰۰
۹	>۶۰	شمال	۴۰۰-۵۰۰	۱۹	۰-۱۰	شرق	۴۰۰-۵۰۰
۱۰	>۶۰	شرق	۴۰۰-۵۰۰	۲۰	۱۱-۳۰	شمال	۴۰۰-۵۰۰

جدول ۲- میانگین برخی مشخصه‌های فیزیکی نمونه خاک‌های جمع‌آوری‌شده از واحدهای شکل زمین

Table 2. Mean of some physical properties of collected soil samples from land units

واحد	درصد لای	درصد رس	درصد شن و ماسه	درصد رطوبت	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	درصد تخلخل
۱	۱۸/۸	۱۸/۸	۶۲/۴	۳۶/۹۷	۱/۹۶	۲۹/۹۶
۲	۱۶/۶	۱۹/۹	۶۳/۵	۳۷/۶۰	۲/۰۷	۲۶/۰۴
۳	۵۲/۵	۱۱	۳۶/۵	۲۹/۱۹	۱/۶۷	۳۹/۴۵
۴	۳۲/۴	۵۲/۸	۱۴/۸	۲۹/۱۷	۱/۲۰	۵۴/۷۱
۵	۵۰/۳	۱۲	۳۷/۷	۲۴/۲	۱/۷۱	۳۷/۸۱
۶	۳۱/۲	۵۸	۱۰/۸	۲۷/۲۳	۱/۱۸	۵۵/۴۷
۷	۶۹	۲۷	۴	۳۲/۵۱	۱/۱۲	۸۰/۷۶
۸	۶۴	۲۶	۱۰	۲۹/۱۸	۱/۲۲	۵۳/۹۶
۹	۷۶	۱۰/۵	۱۳/۵	۲۰/۵۱	۱/۲۷	۵۲/۰۷
۱۰	۳۰	۵۵	۱۵	۲۹/۸۳	۱/۲۸	۵۱/۶۹
۱۱	۴۳	۴۰	۱۷	۱۴/۳۸	۱/۱۵	۵۶/۶۰
۱۲	۷۶	۷	۱۷	۱۴/۵	۱/۱۹	۵۵/۰۹
۱۳	۶۰	۱۳	۲۷	۱۴/۳	۱/۱۷	۵۵/۸۴
۱۴	۵۰	۲۱	۲۹	۳۲/۸	۱/۴۰	۴۸/۱۴
۱۵	۶۰	۲۹/۸	۱۰/۲	۳۸/۸	۱/۱۷	۵۶/۲۱
۱۶	۵۳	۱۷	۳۰	۳۳/۱۹	۱/۶۷	۳۹/۲۷
۱۷	۶۱	۱۳	۲۶	۳۳/۲۵	۱/۵۲	۴۳/۷۰
۱۸	۶۴/۶	۸	۲۷/۴	۲۲/۱۷	۱/۴۶	۴۵/۹۲
۱۹	۶۸	۱۵	۱۷	۲۲/۱۹	۱/۱۷	۵۵/۸۴
۲۰	۶۱	۲۸	۱۱	۳۱/۳۲	۱/۱۶	۵۶/۲۲

جدول ۳- دسته‌بندی نتایج آزمایش خاک به واحدهای همگن جدید به‌کمک آزمون خوشه‌بندی و فاصله مربع اقلیدسی

Table 3. Classification of the results of soil test to new land units using clustering test and Euclidian square distance

واحدهای جدید	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
واحدهای مشابه	۲،۱	۵،۳	۱۰،۴،۶	۱۵،۷،۲۰	۹،۱۹	۸	۱۱	۱۲،۱۳	۱۴،۱۷،۱۶	۱۸

نتایج آزمایش دانه‌بندی خاک پس از تفکیک واحدهای همگن جدید به دو بخش لغزشی و پایدار نشان داد که درصد بخش ریزدانه خاک در هر دو عمق منطقه لغزشی بیشتر از منطقه پایدار بود. ضمن آن‌که درصد بخش ریزدانه خاک در عمق دوم یعنی ۹۰-۷۰ سانتی‌متری منطقه لغزشی بیشتر از لایه سطحی (عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متر) بدست آمد (جدول ۴). مشخصات مکانیک خاک نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از واحدهای همگن جدید نیز در جدول ۵ ارائه شده است. مقایسه میانگین حدود آتربرگ و مقاومت برشی بین دو منطقه لغزشی و پایدار نشان داد که حد روانی و حد خمیری خاک مناطق لغزشی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق پایدار بود. مقدار شاخص روانی در منطقه لغزشی و پایدار به‌ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۰۹ بدست آمد. شاخص خمیری در منطقه لغزشی و پایدار به ترتیب ۴۵/۸۸ و ۱۹/۰۷ بود. علاوه بر این، میانگین مقاومت برشی خاک منطقه لغزشی به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه پایدار بدست آمد (جدول ۶). مجنونیان و همکاران (۲۱)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

در منطقه آق‌مشهد پس از تعیین نقشه شکل زمین، ۴۲ نمونه خاک از واحدهای همسان انتخاب کرده و وزن مخصوص ظاهری، بافت خاک و درصد رطوبت خاک را مورد اندازه‌گیری قرار دادند. آن‌ها پس از کمینه‌سازی تعداد نمونه‌ها جهت آزمایشات مکانیک خاک به این نتایج دست یافتند که ۸۴ درصد خاک منطقه از نوع ریزدانه (ML و CL) و ۱۶ درصد خاک از نوع درشت دانه می‌باشد (GM و SM). مجنونیان و همکاران (۲۲) با بررسی قابلیت مکانیکی خاک جنگلی به‌منظور استفاده در بهره‌برداری و جاده‌سازی در بخش پاتم جنگل خیرود به این نتایج دست یافتند که خاک منطقه به‌طور کلی ریزدانه بوده و درصد رس نمونه‌های برداشت شده در بیشتر نمونه‌ها بیش از ۵ درصد، شاخص روانی بیشتر نمونه‌ها ۰/۵ و حدروانی همه نمونه‌ها ۳۰ است. بنابرین خاک منطقه برای کارهای جاده‌سازی بدون اصلاح خصوصیات فیزیکی و مکانیکی حتی به‌عنوان بستر جاده و خاک‌ریز قابل استفاده نیست و برای ساخت جاده در روی این نوع خاک‌ها باید اقدام‌هایی برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی خاک انجام داد (۱۳). زیرا چنانچه شاخص روانی کوچکتر از صفر باشد، خاک سفت، سخت و قابل تراکم بوده و برای زیرسازی مصالح بسیار خوبی است. اگر بین صفر تا یک باشد، خاک در حالت خمیری قرار داشته و امکان نشست و شکست آن در بستر راه وجود دارد. همچنین اگر شاخص روانی بزرگتر از یک باشد، خاک حالت روانی داشته و برای زیرسازی غیرقابل استفاده است و تنها می‌توان آن را پس از خشک کردن و اصلاحات لازم، به عنوان مصالح بکار برد. بر این اساس، از آنجایی که شاخص روانی در منطقه پایدار نزدیک به صفر بود می‌توان بیان نمود که خاک این منطقه تا حدودی سفت و پایدار است، اما در مورد منطقه لغزشی مقدار این شاخص ۰/۳۸ بود که نشان‌دهنده حالت خمیری و شرایط ناپایدار است. شجاع (۲۴) به بررسی مکانیک خاک بخشی از سری گرازبن پرداخت و دریافت که شاخص روانی بین ۰/۵ و ۰/۲۵ می‌باشد. وی اشاره نمود که این خاک در هوای خشک برای عبور و مرور مناسب است. شاخص خمیری در منطقه لغزشی و پایدار به ترتیب ۴۵/۸۸ و ۱۹/۰۷ بدست آمد. چنانچه شاخص خمیری بین صفر تا پنج باشد خاک غیرخمیری، بین پنج تا ۱۵ خمیری متوسط، بین ۱۵ تا ۳۵ خاک خمیری و بزرگتر از ۳۵ خاک خیلی خمیری است. لذا خاک منطقه لغزشی خیلی خمیری و خاک منطقه پایدار تقریباً حالت خمیری متوسط داشت (۱۴، ۱۶).

جدول ۴- مقایسه دانه‌بندی خاک مناطق لغزشی و پایدار در عمق‌های ۳۰-۱۰ و ۹۰-۷۰ سانتی‌متر

Table 4. Comparison of soil grading in landslide and stable area in depths of 10-30 and 70-90 cm

عمق (سانتی‌متر)	درصد ریزدانه		درصد درشت‌دانه	
	منطقه لغزشی	منطقه پایدار	منطقه لغزشی	منطقه پایدار
۳۰-۱۰	۷۴/۶۸[a]	۶۸/۰۰[b]	۲۵/۳۲[b]	۳۲/۰۰[a]
۹۰-۷۰	۸۲/۶۰[a]	۷۲/۲۹[b]	۱۷/۴۰[b]	۲۷/۷۱[a]

بر اساس آزمون توکی،حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۵- مشخصات مکانیک خاک نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از واحدهای همگن جدید

Table 5. Soil mechanics properties of collected samples from new land units

واحد	حد روانی (٪)	حدخمیری (٪)	شاخص روانی	شاخص خمیری	مقاومت برشی (کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)
۱	۴۶/۴	۲۰/۶	۱/۱۵	۲۶/۷	۰/۳۰
۲	۴۵/۵	۱۷/۸	۰/۱۰	۲۷/۷	۰/۵۴
۳	۸۴/۰	۲۳/۰	۰/۴۰	۶۱/۰	۰/۴۲
۴	۸۴/۴	۲۱/۸	۰/۱۸	۶۲/۴	۰/۵۶
۵	۵۱/۲	۱۵/۵	۰/۱۹	۳۷/۶	۰/۷۵
۶	۷۴/۴	۲۱/۴	۰/۱۵	۵۳/۱	۰/۳۵
۷	۳۶/۰	۱۶/۰	۰/۰۹	۲۰/۰	۰/۵۷
۸	۳۷/۰	۱۵/۰	۰/۱۰	۲۲/۰	۰/۷۴
۹	۷۸/۰	۲۲/۱	۰/۲۸	۵۹/۹	۰/۴۵
۱۰	۸۴/۰	۲۰/۰	۰/۰۳	۶۱/۲	۰/۵۶

جدول ۶- مقایسه میانگین حدود آتربرگ و مقاومت برشی بین دو منطقه لغزشی و پایدار

Table 6. Comparison of the mean of liquid limit and shear strength between landslide and stable areas

واحد	حد روانی (٪)	شاخص روانی	حد خمیری (٪)	شاخص خمیری	مقاومت برشی (کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)
منطقه لغزشی	۶۴/۹۲[a]	۰/۳۸[a]	۲۰/۱۳[a]	۴۵/۸۸[a]	۰/۵۰[b]
منطقه پایدار	۵۷/۸۵[b]	۰/۰۹[b]	۱۸/۱۰[a]	۱۹/۰۷[b]	۰/۵۶[a]

بر اساس آزمون توکی، حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتایج جدول ۴ نشان داد که درصد ذرات ریزدانه در اعماق خاک بیشتر از لایه‌های سطحی است. بدین‌ترتیب لایه‌های رس که در اعماق خاک به‌طور پراکنده وجود دارند، دارای رطوبت بیشتری بوده و از آن‌جایی که رس رطوبت خود را به کندی از دست می‌دهد، باعث ناپایداری خاک می‌شود. این یافته با نتایج تحقیقات ازم (۴) و داویدسون و گاردینر (۸) مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های احمدی و طالبی اسفندرانی (۱) ذرات رس و گاهی سیلت خاک، ویژگی‌های خمیری از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

خود بروز می‌دهند و ذرات شن و ماسه نقشی در ایجاد این پدیده ندارند، به همین دلیل در خاک‌هایی که مقدار رس از ۱۶ درصد کمتر است، حالت خمیری خاک مشاهده نمی‌شود. حسینی و همکاران (۱۳) با بررسی لغزش و رابطه آن با خواص مکانیکی خاک و از طریق آزمایش‌های خاک شامل حدود آتربرگ، بافت و دانه‌بندی در منطقه لغزشی در مقایسه با منطقه شاهد به این نتایج دست یافتند که خاک مناطق لغزشی دارای بافت SC و مناطق شاهد CL و CH هستند. به‌علت وجود ریزدانه در خاک مناطق لغزشی و جذب و نگهداری رطوبت توسط آن که از درصد بالای رطوبت طبیعی خاک منطقه مشخص است و همچنین نامناسب بودن جریان زهکشی خاک و انجام عملیات جاده‌سازی،منطقه دچار حرکت و لغزش شده است.

منابع

1. Ahmadi, H. and A. Talebi Esfandarany. 2001. Investigation of the Effective Factor in Mass Movement (Landslide), Case Study: Ardal region in Chaharmahal and Bakhtiari Province. Iranian Journal of Natural Resources, 54: 323-329 (In Persian).
2. Abedi, T., S.A. Hosseini and R. Naghdi. 2010. Study of Relationship between Soil Mechanical Characteristic and Landslide in Forest Road Route (Case Study: Chafroud Watershed Guilan Prov.). Journal of Watershed Management, 1(1): 17-29 (In Persian).
3. Al-Rawas, A.A., A.W. Hago and H. Al-Sarmi. 2005. Effect of Lime, Cement and Saroo (artificial pozzolan) on the Swelling Potential of an Expansive Soil from Oman. Building and Environment, 40(5): 681-687.
4. Azzam, W.R. 2014. Behavior of Modified Clay Microstructure Using Polymer Nanocomposites Technique. Alexandria Engineering Journal, 53(1): 143-150.
5. Atterberg, A. 1911. On the Investigation of the Physical Properties of Soils and on the Plasticity of Clays. Internationale Mitteilungenfür Bodenkunde, 1: 10-43 (In German).
6. Borga, M. 2005. Evaluating the Influence of Forest Road on Shallow Land Sliding.Ecological Modeling. 187: 85-98.
7. Coe, J.A. and W.L. Ellis. 2003. Seasonal Movement of the Slum Gullion Landslide Determined from Global Positioning System Surveys and Field Instrumentation. Engineering Geology, 68: 67-101.
8. Davidson, D.T. and W.F. Gardiner. 1949. Calculation of Standard Proctor Density and Optimum Moisture Content from Mechanical, Analysis, Shrinkage and Factors and Plasticity Index. Highway Research Board, 29(1): 447-481.
9. Felegari, M., A. Talebi and Y. Kiaoshkurian. 2013. Investigation of the Effect of Road Building on Landslide Occurrence Using the FLAC SLOPE Model (Case Study: Ilam Dam Watershed). Journal of Water and Soil Conservation, 20(1): 227-239.
10. Gorji Mojri M. and M. Sarikhani. 2003. Possibilities of Stabilizing Landslide and Mass Movement in Forest Roads (Case Study: Kheiroud-Kenar Forest as a Scientific Model). Iranian Journal of Natural Resources, 56: 29-38.
11. Galli, M., F. Ardizzone, M. Cardinali, F. Guzzetti and P. Reichenbach. 2008. Comparing landslide inventory maps. Geomorphology, 94: 268-289.
12. Habibi Bibalani, G. and B. Majnonian. 2005. Increased Stability of Landslide-prone Slopes from Iron-wood Trees (*Parrotia persica*). Environmental Sciences, 8: 21-28 (In Persian).
13. Hosseini, S.A., N. Sarikhani and B. Majnounian. 2004. Study of the Landslide and its Classification in Khyroudkenar Forest (Noushahr-Mazandaran Province). Caspian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 2: 32-39 (In Persian).
14. JamshidiKouhsari, A., B. Majnounian, G. Zahedi Amiri and S.A. Hosseini. 2009. Classification of Forest Soil in Order to Decrease Investigation Cost of Mechanical Capability for Road Construction and Transportation (Case study: Agh Mashhad Forest). Iranian Journal of Natural Resources, 61: 877-888 (In Persian).
15. King, J.G. 1981. Interim Report on Research: Horse Greek Administrative-Research Project. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 212 pp.
16. Krogstad, F. 2001. Incorporating Landslide Probability into Operations Planning. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, 71-77.
17. Kvalstad, T.R. and L. Anderson. 2005. The Storegga Slide: Evaluation of Triggering Sources and Slide Mechanics. Marine and Petroleum Geology, 22: 245-254.
18. Komak Panah, A. 1994. Analysis Methods in Evaluation of the Natural Slopes Stability. International Institute of earthquake science and earthquake engineering, 411 pp (In Persian).
19. Handbook of Forest Management Plan (HFMP). 1994. The natural resources general office of Mazandaran province, Plan of Stakhrposht region-Neka. Department of Forests and Rangelands, 380 pp (In Persian).
20. Mohammadi Savadkoohy, K. and S.A. Hosseini. 2012. Effects of Physical and Mechanical Properties of Soil on Existing Landslides at the Edge of Forest Roads (Case study: Tejen Watershed). Journal of Watershed Management Research, 4(8): 28-42 (In Persian).
21. Majnounian, B., A. Jamshidi Kouhsari, G. Zahedi Amiri and S.A. Hosseini. 2008. Investigation of the Mechanical Capability of Soil in Constructing Forest Road in Order to Applicable Usage. Iranian Journal of Natural Resources, 61: 123-132 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

22. Majnounian, B., S. Safiari, H. Sobhani and E. Abdi. 2010. Investigation of the Forest Soil Mechanical Capability to Use in Harvesting and Road Construction. Journal of Forest and Wood products, 63: 65-75 (In Persian).
23. Moghimi, A., K. Alavi Panah and V. Jafari. 2009. Evaluation and Zoning of Effective Factors on Landslide Occurrence. Journal of Geographical Research, 64: 45-53 (In Persian).
24. Shojah, R., N. Majnounian and H. Sobhani. 2007. Determining the Mechanic of Forest Soil in Gorazbon District in Khyroud Kenar for Road Construction and Harvesting. Iranian Journal of Natural Resources, 60: 537-544 (In Persian).
25. Shanmugam, G. and Y. Wang. 2015. The Landslide Problem. Journal of Palaeogeography, 4(2): 109-166.
26. Sepúlveda, S.A., D.N. Petley, M.J. Brain and N. Tunstall. 2016. The effect of dynamic loading on the shear strength of pyroclastic Ash Deposits and implications for landslide hazard: The case of Pudahuel Ignimbrite, Chile. Engineering Geology, 205(29): 54-61.
27. Taherkhani, H. and M. Javanmard. 2015. Comparison of the Effects of Cement, Lime and CBR PLUS on Reducing the Swelling of Clay Soils. Geology Engineering Journal, 9(4): 3131-3150.
28. Wu, S., L. Shi, R. Wang and R. Xu. 2001. Zonation of the Landslide Hazard in the Foreservior Region. Engineering Geology, 59: 51-57.
29. Zobeiry, M. 2000. Forest Inventory (Measurement of tree and stand). 1st End., Tehran University Publication, Iran, ISBN: 964-03-4524-5.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]

Stability Analysis of Forest Roads Cutslope According to Mechanics Properties of Soil (Case Study: Stakhrposht Region-Neka)

Seyed Ataollah Hosseini[1], Marzieh Janzadeh Chenari[2], Aidin Parsakhoo[3] and Hasan Akbari[4]

1- Professor, Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
2- Graduated M.Sc. Student of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (Corresponding Author: Aidinparsakhoo@yahoo.com)
4- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: September 18, 2016 Accepted: August 16, 2017

Abstract

Slope instability and mass movement of soil are the most important concerns of road construction scientists and experts as well as environmentalists. Soil is the main material of forest road construction and forms the road bed. In this research in order to avoid time and cost waste in mechanic soil laboratory, the region was divided into same units based on landform in GIS software. 10 soil samples were taken through systematic randomize sampling method from 20 land units. Totally, 200 soil samples were taken and the soil moisture, bulk density and texture were analyzed. New homogenous units were produced using the classification of soil experiments results. Therefore, in optimizing process of sample numbers the sampling intensity dramatically decreased to 100 samples without changing accuracy and reliability. Atterberg and shearing resistance tests were done on these samples. Results showed that the percentage of *Fine*-Grained Soil at both depth (10-30 and 70-90 cm) of instable units was more than that of stable units. Liquid index in instable and stable units were 0.38 and 0.09, respectively. Plastic index in instable and stable unites was recorded as 45.88 and 19.07. Moreover, the mean of shear resistance of soil in instable units was lower than that of stable units. Drainage services are proposed for instable units with plastic properties.

Keywords: Road, Landform units, Samples optimization, Atterberg limits, Slope stability

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.16.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.145]