مقایسه عملکرد بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در ساخت پروفیل عرضی استاندارد جاده‌های جنگلی در کلاسه‌های متفاوت شیب (سری لت‌تالار- استان مازندران)

آیدین پارساخو*، سید عطاءاله حسینی، مجید لطفعلیان و حمید جلیلوند[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۳)

چکیده

عملیات جاده‌سازی در جنگل باید در چارچوب مشخصات فنی و استانداردهای صادره از مراجع علمی و نظارتی انجام شود. امروزه علاوه بر بولدوزر، بیل‌هیدرولیکی نیز در اجرای عملیات خاکی در جاده‌های جنگلی نقش دارد. بنابراین لازم است توانایی این دو ماشین خاک‌برداری در ساخت پروفیل عرضی مورد مقایسه قرار گیرد. بدین منظور برای هر دستگاه ۶۰ نمونه پروفیل عرضی در چهار کلاسه شیب مشترک عملیاتی (۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰، ۵۰-۶۰ و۶۰-۷۰ درصد) جنگل‌های سری لت‌تالار که در جنوب شهرستان ساری واقع شده است، برداشت شد. این عمل به کمک دوربین نیو، شاخص و شیب‌سنج انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که بین مشخصات دیواره‌های خاکی جاده احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های مختلف شیب، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما عرض بستر پروفیل‌های مسیر احداث شده توسط بولدوزر در سطح احتمال ۱ درصد بیشتر از بیل‌هیدرولیکی بود. هم‌چنین بین عرض عملیات خاکی این دو ماشین در کلاسه‌های۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۰ درصد به ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت، ولی در سایر کلاسه‌ها این اختلاف معنی‌دار نبود. مقایسه مشخصات پروفیل‌های عرضی برداشت شده با استانداردهای موجود مشخص نمود که متوسط میزان استاندارد بودن پروفیل‌های عرضی ساخته شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر به ترتیب ۸۹/۹۶ درصد و۸۴/۸۱ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: جاده‌های جنگلی، پروفیل عرضی، بیل‌هیدرولیکی، بولدوزر، کلاسه‌های شیب، استاندارد راه‌ها

مقدمه

بهره‌گیری از معیارها و استانداردهای ملی و بین‌المللی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگه‌داری جاده‌های جنگلی با رویکرد کاهش هزینه، زمان، ارتقای کیفیت و ایمنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در نظام فنی و اجرایی طرح‌های جنگل‌داری مورد تأکید جدی قرار گرفته است (۷).

شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان یکی از مجریان طرح‌های جنگل‌داری و عظیم‌ترین کارخانه صنایع کاغذسازی کشور و خاورمیانه، از سال ۱۳۶۴ تاکنون قریب به ۶۶۲ کیلومتر جاده جنگلی احداث کرده و طبق برنامه‌های از قبل تعیین شده طرح و اجرای سالانه حدود ۶۰ کیلومتر از این راه‌ها را در دستور کار قرار داده است. مهم‌ترین ماشین‌آلات راه‌سازی مورد استفاده در این شرکت، بولدوزر، لودر چرخ لاستیکی، بیل‌هیدرولیکی، غلطک و گریدر می‌باشند که در این میان بولدوزرها و بیل‌های هیدرولیکی سهم به‌سزایی در انجام عملیات خاکی و ساخت پروفیل‌های عرضی

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: persian3064aidin@yahoo.com

جاده‌های جنگلی دارند (۵).

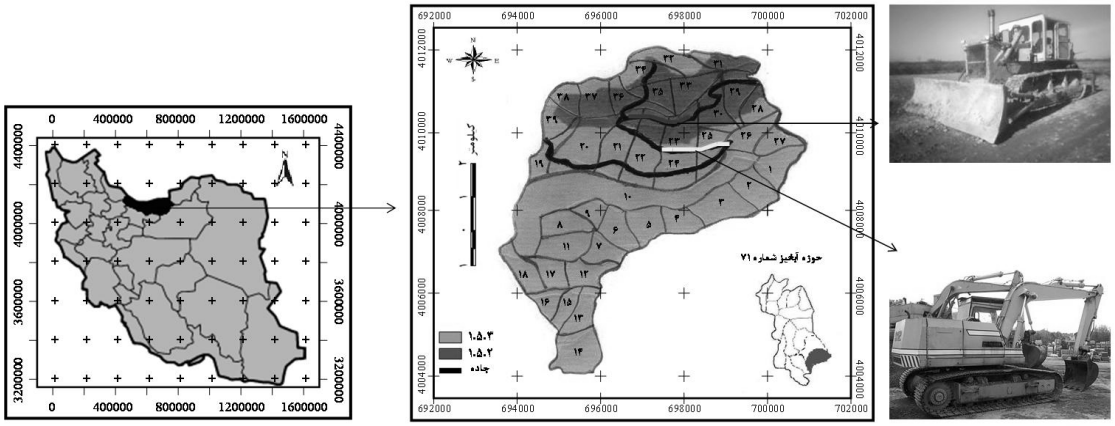
در عملیات راه‌سازی برای این‌که سطح پروژه مانند آنچه که در طرح اولیه در نظر گرفته شده به‌وجود آید، نیاز به انجام عملیات خاکی است. این کار در نهایت منجر به شکل‌گیری اجزاء اصلی پروفیل عرضی راه شامل عرض عملیات خاکی، عرض بستر و دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی می‌شود (۴ و ۱۴). در احداث پروفیل‌های عرضی برای جلوگیری از ریزش خاک، سطح پروژه با شیب‌های جانبی به زمین طبیعی متصل می‌شود. زاویه دیواره خاک‌برداری به‌طول آن و بافت خاک بستگی دارد و معمولاً حد متوسط آن بین ۲۶/۵ درجه برای خاک‌های ماسه‌ای نرم تا ۴۵ درجه برای خاک‌های رسی و شنی است (۴). یعنی هر چه ذرات خاک ریزتر و خواص آن خمیری‌تر باشد، شیب دیواره به زاویه ۴۵ درجه نزدیک‌تر خواهد بود. زاویه شیب طبیعی دیواره‌های خاک‌ریزی در زمین‌های معمولی (خاک‌های شن و ماسه‌دار) و ماسه مرطوب برابر با ۳۷ درجه، در زمین‌های رسی و شنی ۳۵ درجه و در زمین‌های ماسه‌ای خشک ۳۰ تا ۳۳/۶ درجه است (۲ و ۸). هم‌چنین در شیب عرضی بیشتر از ۷۵ درصد، به‌دلیل سر خوردن خاک روی دامنه، عملیات خاک‌ریزی مختل می‌شود (۱۱). عرض بستر استاندارد برای جاده‌های جنگلی درجه دو ۵/۵ متر است که یک متر به شانه‌های کناری، یک متر به جوی کناری و ۳/۵ متر به عرض عبور اختصاص می‌یابد (۱ و ۴).

تناسب زاویه شیب دیواره‌های خاکی با معیارهای استاندارد از این جهت حائز اهمیت است که این جزء از پروفیل وظیفه ارتباط هیدرولوژیکی جاده و عرصه جنگل، حسن هدایت جریان آب، پایداری خاک، تداوم کار و انجام وظیفه راه‌های جنگلی را بر عهده دارد (۱۰). لذا چنانچه از نظر فنی به فرم قابل قبول و مطابق با استانداردهای موجود ساخته نشود، می‌تواند باعث تشدید فرسایش، خرابی و بی‌نظمی در ساختمان و تعادل راه، نشست بدنه جاده در طرف دامنه خاک‌ریز و در نتیجه ایجاد اشکال در تردد شود (۴، ۶ و ۱۵). فاکتورهای ادافیکی، نوع ماشین‌آلات راه‌سازی و میزان فرسودگی آنها، ارگونومی، مهارت و تجربه راننده، شیب دامنه و شرایط اقلیمی بر تطابق عرض بستر و زاویه دیواره‌های خاکی با مقادیر استاندارد نقش دارند (۲، ۱۲، ۱۳ و ۱۶). از دیدگاه اسپریتر (۱۷) بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر بهترین ترکیب از ماشین‌آلات ساختمانی جهت اجرای امور راه‌سازی در جنگل هستند. ولی مطالعات نشان داده است که بولدوزر در شیب‌های تند، دیواره خاک‌برداری را تقریباً به‌صورت عمودی احداث کرده و این مسأله ضمن جلوگیری از استقرار طبیعی گیاهان، نرخ فرسایش‌پذیری دیواره‌ها را افزایش می‌دهد (۲۰). هم‌چنین عرض عملیات خاکی و صدمات وارد به عرصه در مسیر عملیاتی بولدوزر بیشتر از بیل‌هیدرولیکی است (۱۹).

تحقیقات گارتون (۱۱) در ارتباط با عملکرد بولدوزر در شیب‌های ۴۵،۶۰ و ۷۰ درصد نشان داده است که طی عملیات جاده‌سازی در این شیب‌ها، توده‌های خاک به ترتیب ۳/۵، ۱۲و۲۲ متر در سمت دامنه خاک‌ریز پراکنش یافته و هم‌چنین خاک انباشته شده روی شیب‌های بیشتر از ۷۵ درصد به‌صورت دیواره خاک‌ریز، قادر به پایداری نبود. بررسی‌های مشابهی نیز توسط زدلاک (۱۸) در کوهستان‌های اتریش انجام گرفت و به‌دنبال آن استانداردهایی برای ساخت پروفیل‌های عرضی جاده‌های جنگلی طرح‌ریزی شد. بر این اساس در شیب ۵۰ درصد، عرض بستر جاده می‌بایست ۵/۵ متر و عرض عملیات خاکی ۱۳ متر باشد.

آکای و همکاران (۹) با بررسی میزان رسوب تولید شده توسط شبکه جاده‌های جنگلی کشور ترکیه دریافتند که دیواره‌های خاک‌برداری مرتفع در دامنه‌های پرشیب مشرف به جاده به‌دلیل شستشو و ریزش‌های سطحی خاک، رسوب بیشتری را وارد رودخانه‌های پایین دست جاده کردند. هم‌چنین آنها متوسط ارتفاع دیواره‌های خاک‌برداری در کلاسه‌های شیب ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد را به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ متر براورد نمودند.

در این تحقیق ضمن مقایسه مشخصات پروفیل‌های عرضی



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (سری لت‌تالار) و جاده‌های ساخته شده با بولدوزر و بیل‌هیدورولیکی

جدول ۱. مشخصات فنی ماشین‌آلات خاک‌برداری چرخ زنجیری به‌کار رفته در عملیات جاده‌سازی سری لت‌تالار

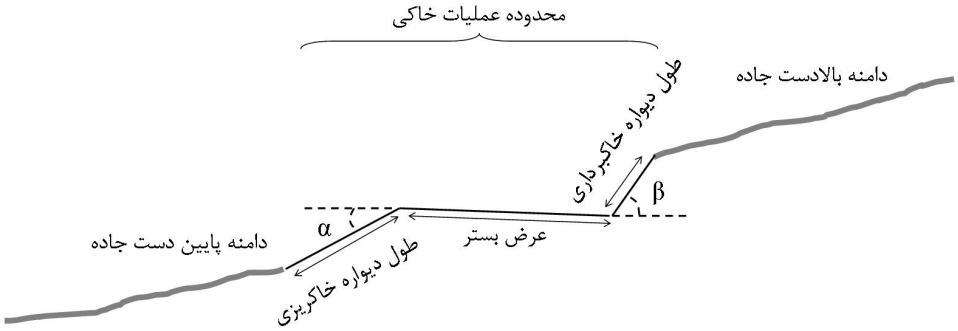
مشخصات فنی / نوع دستگاه	وزن (تن)	ظرفیت باکت (مترمکعب)	عرض دستگاه با کفشک و تیغه (متر)	طول دستگاه بدون تجهیزات (متر)	تجربه راننده (سال)
بولدوزر کوماتسو ۶۰	۱۷	۵	۳/۹۵	۵/۹	۱۰
بیل‌هیدرولیکی لیپر ۹۱۲	۱۷/۷	۱/۴	۲/۶	۳/۸	۱۰

ساخته شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر با یک‌دیگر، میزان تطابق آنها با استانداردهای موجود نیز مورد بررسی قرار گرفت. فرضیه اصلی این است که بین مشخصات پروفیل‌های عرضی مسیرهای احداث شده با بیل هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های شیب مشترک عملیاتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد، ضمن آنکه پروفیل‌های عرضی ساخته شده با بیل هیدرولیکی نسبت به بولدوزر از استاندارد بالاتری برخوردار هستند.

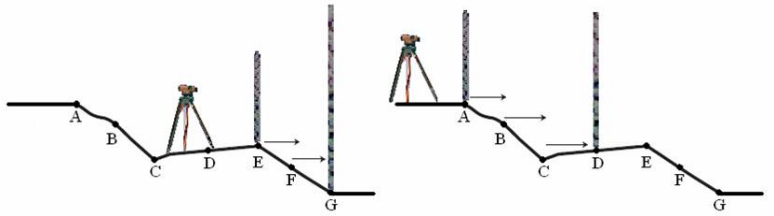
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه و ماشین‌آلات مورد مطالعه

جاده‌های جنگلی مورد مطالعه، در سری لت‌تالار و در حوزه آبخیز شماره ۷۱ رودخانه تجن قرار دارد. این سری با مساحت ۲۰۲۰ هکتار، بین طول شرقی ″۴۰ ′۹ °۵۳ تا ″۵۵ ′۱۳ °۵۳ و عرض شمالی″۵۵ ′۱۲ °۳۶ تا ″۴۵ ′۱۵ °۳۶ واقع شده و سری چهار از بخش دو جنگل‌های حوزه چوب و کاغذ مازندران را تشکیل می‌دهد. حداقل ارتفاع جنگل‌های لت‌تالار از سطح دریا ۷۰۰ متر و حداکثر آن ۱۲۲۰ متر و متوسط ریزش‌های جوی سالیانه ۶۳۵ میلی‌متر است (۵). بافت خاک قطعات مورد بررسی غالباً لومی و با متوسط عمق ۵۰ سانتی‌متر است. سنگ بستر منطقه مارن با آهک مارنی و آهک می‌باشد. جاده‌های اصلی موجود در سری از نوع درجه دو جنگلی بوده و ضمن انشعاب از جاده‌های عمومی با گسترش در جنگل به مسیرهای فرعی درجه سه ختم می‌شوند (شکل ۱). ۱۳ کیلومتر از این جاده‌ها با بولدوزر کوماتسو و حدود ۲/۵ کیلومتر از جاده‌های موجود در قطعات ۲۱، ۲۲، ۲۴ و ۲۵ با بیل‌هیدرولیکی لیپر (Liebherr) احداث شدند (جدول ۱). بین سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ حدود ۵ کیلومتر (۲/۵ کیلومتر توسط هر ماشین) جاده جنگلی درجه دو در جهت شمالی دامنه (تحت شرایط یکسان بافت خاک و سنگ بستر) ساخت شد که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.



شکل۲. اجزای پروفیل عرضی و نحوه تعیین متوسط شیب دامنه



شکل۳. ترازیابی پروفیل عرضی با استفاده از دوربین نیو و شاخص ۶ متری

نحوه انتخاب نمونه پروفیل‌های عرضی

در این پژوهش ابتدا نقشه‌های پروفیل طولی و عرضی مسیرهای عملیاتی بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر که قبلاً توسط شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه شده بودند، گرداوری شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. بررسی‌های مقدماتی بر روی نقشه‌ها نشان داد که پروفیل‌های عرضی متعادل با عدد پروژه کمتر از ۵۰± سانتی‌متر بیشترین سهم از انواع پروفیل‌های عرضی را به خود اختصاص داده‌اند. این نوع از پروفیل‌ها بر روی نقشه شماره‌گذاری شده و سپس نسبت به انتخاب تصادفی ۱۵ عدد از آنها برای هر کلاسه شیب اقدام شد. لازم به توضیح است که مناطق عملیاتی بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر غالباً در دامنه‌های با شیب ۳۰ تا ۷۰ درصد قرار داشتند، لذا کلاسه‌بندی شیب به‌صورت ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰، ۵۰-۶۰ و ۶۰-۷۰ انجام گرفت. در نهایت برای هر دستگاه ۶۰ نمونه و در کل ۱۲۰ نمونه پروفیل عرضی برای هر دو دستگاه انتخاب شد.

روش ترازیابی پروفیل‌های عرضی

پس از بازیابی مکان پروفیل‌های عرضی انتخابی بر روی مسیرهای احداث شده با بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر، متوسط شیب دامنه در محل برداشت پروفیل‌ها، از طریق نشانه‌روی با شیب‌سنج به ارتفاع برابر چشم شاخص‌های مستقر در دامنه‌های پایین‌دست و بالادست جاده تعیین شد. مقادیر عرض بستر، عرض عملیات خاکی، زاویه و طول دیواره‌های خاکی پروفیل‌های عرضی (شکل۲) در کلاسه‌های متفاوت شیب پس از ترازیابی با دوربین نیو و ترسیم آنها روی کاغذ شطرنجی به‌دست آمد. بدین ترتیب که ابتدا دوربین را در دامنه بالادست و عمود بر محور جاده روی سه پایه فلزی مستقر نموده و در مرحله بعد شاخص به‌طور قائم روی نقاط A تا G قرار داده شد. پس از نشانه‌روی، عدد روی شاخص قرائت و یادداشت شد (شکل۳).

در مرحله آخر، تیپ و بافت خاک مسیرهای مورد مطالعه با رجوع به کتابچه طرح سری لت‌تالار مشخص و استانداردهای

پروفیل عرضی بر مبنای بافت خاک و شیب دامنه و با استناد به منابع تعیین شد (۲، ۳، ۴ و ۸).

طرح آماری

تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با دو تیمار بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر و چهار بلوک (کلاسه‌های شیب) در نرم افزار SAS به اجرا درآمد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون SNK در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. در هر یک از کلاسه‌ها، به‌منظور مقایسه میانگین مشخصات پروفیل‌های عرضی ساخته شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر از آزمون لورد دو طرفه (LORD-Test) و برای مقایسه با مقادیر استاندارد از One sample t test استفاده شد. هم‌بستگی بین متغیرهای پروفیل عرضی به کمک آزمون اسپیرمن (Spierman) بررسی شد.

نتایج

اثر ماشین‌آلات خاک‌برداری و شیب دامنه بر مشخصات پروفیل‌های عرضی

نتایج نشان داد که اثر ماشین‌آلات خاک‌برداری بر عرض بستر و عرض عملیات خاکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بین بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در ساخت طول و زاویه دیواره‌های خاکی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اثر شیب دامنه بر طول دیواره‌های خاکی، عرض بستر و عرض عملیات خاکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر معنی‌داری از سوی شیب دامنه بر زاویه دیواره‌های خاکی دیده نشد. اما زاویه دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در کلاسه شیب ۶۰-۷۰ درصد بیشتر از سایر کلاسه‌ها بود. اثر متقابل شیب و ماشین بر زاویه دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی و عرض بستر ساخته شده با بولدوزر معنی‌دار نبود ولی در رابطه با سایر مشخصات، تفاوت معنی‌داری بین ارقام وجود داشت (جدول۲).

مقایسه عملکرد بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های مختلف شیب

نتایج آزمون لورد نشان داد که بین عرض بستر مسیرهای احداث شده با بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های مختلف شیب، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. هم‌چنین بین عرض عملیات خاکی در کلاسه‌های ۳۰- ۴۰ و ۴۰- ۵۰ درصد، به ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد تفاوت معنی‌دار دیده شد. در کلاسه شیب ۳۰- ۴۰ درصد، زاویه دیواره خاک‌ریزی مسیر احداث شده با بیل‌هیدرولیکی در سطح احتمال ۵ درصد بیشتر از بولدوزر بود. عملکرد بیل‌هیدرولیکی در ساخت سایر مشخصات پروفیل‌های عرضی موجود در کلاسه‌های مختلف شیب، مشابه بولدوزر بود (جداول ۳، ۴ و ۵).

مقایسه عملکرد بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر با مقایر استاندارد

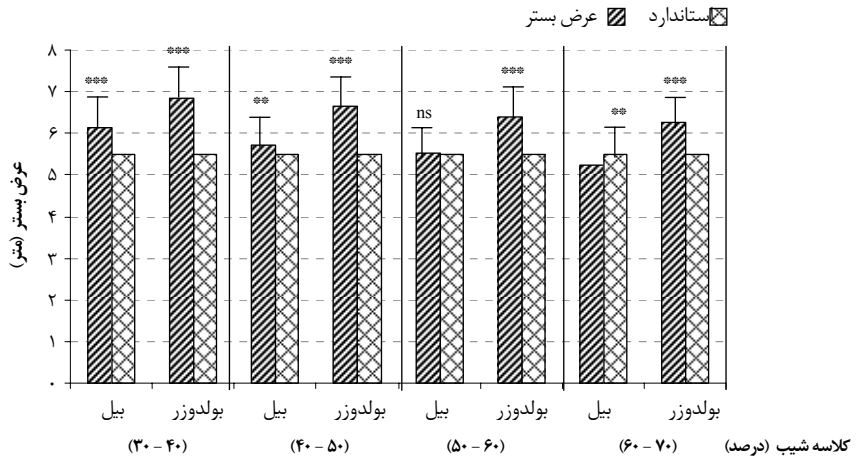
در این تحقیق، بافت خاک دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی بر اساس طبقه‌بندی USCS، شنی همراه با سیلت و رس (Gm-Gc) بود. لذا با استناد به استانداردهای راه‌سازی مدنظر شرکت و منابع موجود (۲، ۳، ۴ و ۸)، زاویه استاندارد دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در تمامی کلاسه‌های شیب، به ترتیب ۴۵ و ۳۵ درجه و عرض بستر ۵/۵ متر، در نظر گرفته شد (جدول ۶).

نتایج آزمون t نشان داد که عرض بستر جاده‌های احداث شده با بولدوزر در تمامی کلاسه‌های شیب بیشتر از حد استاندارد ۵/۵ متر بود (سطح احتمال ۰/۱ درصد). این مسأله در مورد بیل‌هیدرولیکی تنها در کلاسه‌های شیب۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۰ درصد مشاهده شد. در کلاسه شیب۵۰-۶۰ درصد، عرض بستر مسیر احداث شده توسط بیل هیدرولیکی در محدوده استاندارد قرار داشت (معنی‌داری نیست) و در کلاسه شیب۶۰-۷۰ درصد در سطح احتمال ۱ درصد کمتر از عرض استاندارد بود (شکل۴). زاویه دیواره خاک‌برداری در کلاسه‌های مختلف شیب بیشتر از رقم استاندارد به‌دست آمد

جدول۲. اثر ماشین‌آلات خاک‌برداری و شیب دامنه بر مشخصات پروفیل‌های عرضی

تیمار	مشخصات پروفیل عرضی					
	طول دیواره خاک‌برداری (متر)	طول دیواره خاک‌ریزی (متر)	زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	زاویه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	عرض بستر (متر)	عرض عملیات خاکی (متر)
ماشین‌آلات						
بیل‌هیدرولیکی	۲/۹۰ a	۴/۷۶ a	۵۵/۳۰ a	۳۴/۳۸ a	۵/۶۵ b	۱۱/۲۳ b
بولدوزر	۲/۸۰ a	۴/۷۹ a	۵۴/۵۸ a	۳۳/۶۰ a	۶/۵۴ a	۱۲/۱۱ a
شیب دامنه						
۳۰- ۴۰ درصد	۲/۱۳ d	۲/۷۷ d	۵۳/۵۳ b	۳۳/۲۰ b	۶/۴۹ a	۱۰/۰۹ d
۴۰- ۵۰ درصد	۲/۵۴ c	۳/۷۲ c	۵۴/۴۷ ab	۳۳/۰۰ b	۶/۱۸ b	۱۰/۷۸ c
۵۰- ۶۰ درصد	۲/۹۹ b	۵/۳۲ b	۵۴/۷۰ ab	۳۴/۳۷ ab	۵/۹۶ cb	۱۲/۰۴ b
۶۰- ۷۰ درصد	۳/۷۳ a	۷/۳۱ a	۵۷/۰۷ a	۳۵/۴۰ a	۵/۷۶ c	۱۳/۷۸ a
بیل‌هیدرولیکی و شیب دامنه						
۳۰- ۴۰ درصد	۲/۰۳ c	۲/۳۲ d	۵۴/۶۷ a	۳۴/۲۷ a	۶/۱۴ a	۹/۲۷ c
۴۰- ۵۰ درصد	۲/۵۸ bc	۳/۵۰ c	۵۵/۳۳ a	۳۳/۲۷ a	۵/۷۲ b	۱۰/۱۳ c
۵۰- ۶۰ درصد	۲/۹۹ b	۵/۴۷ b	۵۵/۴۷ a	۳۵/۲۰ a	۵/۵۲ bc	۱۱/۶۲ b
۶۰- ۷۰ درصد	۳/۹۸ a	۷/۷۶ a	۵۵/۷۳ a	۳۴/۸۰ a	۵/۲۴ c	۱۳/۹۲ a
بولدوزر و شیب دامنه						
۳۰- ۴۰ درصد	۲/۲۳ c	۳/۲۲ c	۵۲/۴۰ b	۳۲/۱۳ b	۶/۸۴ a	۱۰/۹۲ c
۴۰- ۵۰ درصد	۲/۵۰ c	۳/۹۴ c	۵۳/۶۰ b	۳۲/۷۳ b	۶/۶۴ a	۱۱/۴۲ bc
۵۰- ۶۰ درصد	۲/۹۹ b	۵/۱۷ b	۵۳/۹۳ b	۳۳/۵۳ b	۶/۳۹ a	۱۲/۴۷ b
۶۰- ۷۰ درصد	۳/۴۹ a	۶/۸۵ a	۵۸/۴۰ a	۳۶/۰۰ a	۶/۲۸ a	۱۳/۶۵ a

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون بر اساس آزمون SNK در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند.



شکل۴. مقایسه عرض بستر مسیرهای احداث شده با مقادیر استاندارد

جدول۳. مقایسه مشخصات پروفیل‌های عرضی احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های شیب ۳۰- ۴۰ و ۴۰- ۵۰ درصد

پروفیل عرضی	نوع ماشین	کلاسه شیب (درصد) ۳۰- ۴۰		۴۰- ۵۰	
		اشتباه معیار ± میانگین	U	اشتباه معیار ± میانگین	U
طول دیواره خاک‌برداری (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۲/۰۳ ± ۰/۱۷	۰/۰۹۶ns	۲/۵۸ ± ۰/۱۶	۰/۰۴۷ns
	بولدوزر	۲/۲۳ ± ۰/۱۳		۲/۵۰ ± ۰/۱۰	
طول دیواره خاک‌ریزی (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۲/۳۲ ± ۰/۲۴	۰/۱۹۹ns	۳/۵۰ ± ۰/۲۶	۰/۱۶۴ ns
	بولدوزر	۳/۲۲ ± ۰/۳۸		۳/۹۴ ± ۰/۱۴	
زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	بیل‌هیدرولیکی	۵۴/۶۷ ± ۱/۶۹	۰/۱۴۶ns	۵۵/۳۳ ± ۱/۶۵	۰/۰۸۹ns
	بولدوزر	۵۲/۴۰ ± ۰/۷۹		۵۳/۶۰ ± ۱/۴۰	
زاویه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	بیل‌هیدرولیکی	۳۴/۲۷ ± ۰/۶۱	۰/۲۲۴×	۳۳/۲۷ ± ۰/۸۵	۰/۰۶۰ ns
	بولدوزر	۳۲/۱۳ ± ۰/۸۹		۳۲/۷۳ ± ۰/۶۲	
عرض بستر (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۶/۱۴ ± ۰/۱۴	۰/۳۵۴××	۵/۷۲ ± ۰/۰۶	۰/۷۰۸××
	بولدوزر	۶/۸۴ ± ۰/۲۰		۶/۶۴ ± ۰/۱۷	
عرض عملیات خاکی (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۹/۲۷ ± ۰/۳۴	۰/۲۸۹×	۱۰/۱۳ ± ۰/۲۴	۰/۳۶۱××
	بولدوزر	۱۰/۹۲ ± ۰/۴۷		۱۱/۴۲ ± ۰/۲۸	

جدول۴. مقایسه مشخصات پروفیل‌های عرضی احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در کلاسه‌های شیب ۵۰- ۶۰ و ۶۰- ۷۰ درصد

پروفیل عرضی	نوع ماشین	کلاسه شیب (درصد) ۵۰- ۶۰		۶۰- ۷۰	
		اشتباه معیار ± میانگین	U	اشتباه معیار ± میانگین	U
طول دیواره خاک‌برداری (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۲/۹۹ ± ۰/۲۱	۰/۰۰ns	۳/۹۸ ± ۰/۲۸	۰/۱۸۷ ns
	بولدوزر	۲/۹۹ ± ۰/۱۲		۳/۴۹ ± ۰/۱۶	
طول دیواره خاک‌ریزی (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۵/۴۷ ± ۰/۴۰	۰/۰۷۱ ns	۷/۷۳ ± ۰/۵۵	۰/۱۳۸ ns
	بولدوزر	۶/۱۷ ± ۰/۲۷		۹/۸۵ ± ۰/۴۱	
زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	بیل‌هیدرولیکی	۵۵/۴۷ ± ۱/۵۴	۰/۰۸۵ ns	۵۵/۷۳ ± ۱/۸۶	۰/۱۱۹ ns
	بولدوزر	۵۳/۹۳ ± ۱/۱۷		۵۸/۴۰ ± ۰/۹۱	
زاویه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	بیل‌هیدرولیکی	۳۵/۲۰ ± ۰/۷۲	۰/۱۸۶ ns	۳۴/۸۰ ± ۰/۴۹	۰/۱۶۰ns
	بولدوزر	۳۳/۵۳ ± ۰/۷۱		۳۶/۰۰ ± ۰/۶۵	
عرض بستر (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۵/۵۲ ± ۰/۱۳	۰/۴۲۴**	۵/۲۴ ± ۰/۰۸	۰/۶۰۳**
	بولدوزر	۶/۳۹ ± ۰/۱۸		۶/۲۸ ± ۰/۱۵	
عرض عملیات خاکی (متر)	بیل‌هیدرولیکی	۱۱/۶۲ ± ۰/۴۴	۰/۱۷۸ns	۱۳/۹۲ ± ۰/۶۳	۰/۰۳۶ ns
	بولدوزر	۱۲/۴۷ ± ۰/۳۴		۱۳/۶۵ ± ۰/۵۱	

ns : معنی‌دار نیست. ***، ** و * : به ترتیب در سطوح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد معنی‌دار هستند.

جدول ۵. ضرایب هم‌بستگی اسپیرمن بین مشخصات پروفیل‌های عرضی

کد	پارامتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	ماشین	۱							
۲	شیب	-۰/۰۴ ns	۱						
۳	طول دیواره خاک‌برداری	-۰/۰۵ ns	۰/۶۶***	۱					
۴	طول دیواره خاک‌ریزی	۰/۰۱ ns	۰/۷۴***	۰/۷۲***	۱				
۵	زاویه دیواره خاک‌برداری	-۰/۰۶ ns	۰/۲۲×	-۰/۱۷ ns	۰/۰۲ ns	۱			
۶	زاویه دیواره خاک‌ریزی	-۰/۱۳ ns	۰/۳۳**	۰/۱۹*	۰/۱۷ ns	۰/۰۶ ns	۱		
۷	عرض بستر	۰/۵۹***	-۰/۴۱***	-۰/۱۸*	-۰/۲۰*	-۰/۲۱*	-۰/۲۰*	۱	
۸	عرض عملیات خاکی	۰/۲۰*	۰/۵۷***	۰/۷۸***	۰/۹۱***	-۰/۲۴*	۰/۰۶ ns	۰/۱۶ ns	۱

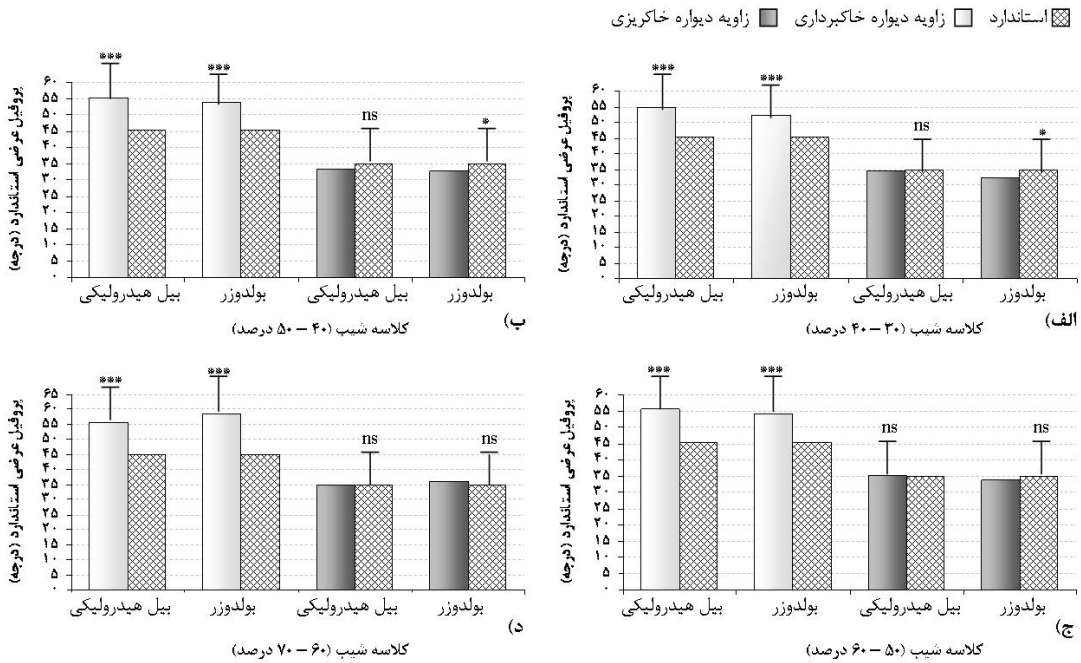
ns: هم‌بستگی معنی‌دار نیست. ***، **، * : به ترتیب در سطوح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد معنی‌دار هستند.

جدول۶. زاویه استاندارد دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در خاک‌های مختلف (۲، ۳، ۴ و ۸)

بافت خاک / دیواره‌های خاکی	شنی همراه با سیلت و رس	ماسه نرم و مرطوب	ماسه درشت همراه با لای	شن متراکم	لای و رس خشک	سنگریزه
حداکثر زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	۴۵	۳۰	۳۵	۴۵	۴۵	۴۵
حداکثر زوایه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	۳۵	۳۷	۳۰	۳۵	۳۵	۴۵

(سطح احتمال ۰/۱ درصد). اما زاویه دیواره خاک‌ریزی در تمامی کلاسه‌های شیب به غیر از کلاسه‌های ۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۰ درصد مسیرهای احداث شده توسط بولدوزر (در سطح احتمال ۵ درصد)، در حد استاندارد ۳۵ درجه قرار داشت (معنی‌داری نیست) (شکل۵- الف، ب، ج، د).

پس از نسبت‌گیری و محاسبه درصد انطباق مشخصات پروفیل‌های عرضی احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر با مقادیر استاندارد مشخص شد که بیشترین درصد تطابق برای بیل‌هیدرولیکی در کلاسه شیب۵۰-۶۰ درصد قرار داشت. به‌طوری که در این کلاسه، متوسط درصد انطباق عرض بستر و زاویه دیواره‌های خاکی با مقادیر استاندارد ۹۱/۹۳ درصد به‌دست آمد. زاویه دیواره خاک‌ریزی مسیر احداث شده با بیل‌هیدرولیکی نسبت به سایر مشخصات از استاندارد بالاتری برخوردار بود (۹۷/۹۵ درصد) (جدول۷). در مورد بولدوزر نیز مناسب‌ترین پروفیل‌ها در کلاسه شیب۵۰-۶۰ درصد با ۸۶/۶۰ درصد انطباق با مقادیر استاندارد قرار داشتند. زاویه



شکل۵. مقایسه مشخصات پروفیل‌های عرضی برداشت شده با مقادیر استاندارد

جدول۷. درصد انطباق پروفیل‌های عرضی ساخته شده توسط بیل‌هیدرولیکی با مقادیر استاندارد در کلاسه‌های مختلف شیب

متغیر / شیب	زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	زاویه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	عرض بستر (متر)	مقدار متوسط (درصد)
۳۰– ۴۰ (درصد)	۷۸/۵۱	۹۷/۹۰	۸۸/۳۶	۸۸/۲۶
۴۰– ۵۰ (درصد)	۷۷/۰۵	۹۵/۰۵	۹۶	۸۹/۳۷
۵۰– ۶۰ (درصد)	۷۶/۷۳	۹۹/۴۳	۹۹/۶۴	۹۱/۹۳
۶۰– ۷۰ (درصد)	۷۶/۱۶	۹۹/۴۳	۹۵/۲۷	۹۰/۲۹
مقدارمتوسط (درصد)	۷۷/۱۱	۹۷/۹۵	۹۴/۸۲	۸۹/۹۶×

دیواره خاک‌ریزی مسیر احداث شده با بولدوزر ۹۴/۵۷ درصد استاندارد بود (جدول۸).

بحث

افزایش ضریب ایمنی در راه‌های جنگلی ارتباط تنگاتنگی با نحوه طراحی پروفیل‌های عرضی و انطباق آنها با معیارهای استاندارد دارد. البته مشخصاتی مانند طول دیواره خاک‌ریزی و خاک‌برداری و زاویه شیب آنها ممکن است تحت تأثیر شرایط جوی و رویشگاهی قرار گرفته و به مرور زمان تغییر یابند که این موضوع اهمیت نگه‌داری و صیانت از جاده‌های جنگلی را دو چندان می‌کند. بررسی و مقایسه عملکرد بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در ساخت اجزای پروفیل‌های عرضی نشان می‌دهد که با به‌کارگیری بولدوزر، عرض بستر و عرض عملیات خاکی پروفیل‌های عرضی به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۸ متر نسبت به بیل‌هیدرولیکی افزایش یافت. هم‌چنین عملکرد معنی‌داری از سوی شیب دامنه بر زاویه دیواره‌های خاکی دیده نشد. ولی

جدول۸. درصد انطباق پروفیل‌های عرضی ساخته شده توسط بولدوزر با مقادیر استاندارد در کلاسه‌های مختلف شیب

متغیر / شیب	زاویه دیواره خاک‌برداری (درجه)	زاویه دیواره خاک‌ریزی (درجه)	عرض بستر (متر)	مقدار متوسط (درصد)
۳۰- ۴۰ (درصد)	۸۳/۵۶	۹۱/۸۱	۷۵/۶۴	۸۳/۶۷
۴۰- ۵۰ (درصد)	۸۰/۸۹	۹۳/۵۲	۷۹/۲۷	۸۴/۵۶
۵۰- ۶۰ (درصد)	۸۰/۱۶	۹۵/۸۱	۸۳/۸۲	۸۶/۶۰
۶۰- ۷۰ (درصد)	۷۰/۲۲	۹۷/۱۴	۸۵/۸۲	۸۴/۳۹
مقدارمتوسط (درصد)	۷۸/۷۱	۹۴/۵۷	۸۱/۱۴	۸۴/۸۱*

*: متوسط کل درصد تطابق در تمامی کلاسه‌های شیب

زاویه دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در کلاسه شیب ۶۰-۷۰ درصد بیشتر از سایر کلاسه‌ها بود (جدول۲).

بین متوسط طول دیواره خاک‌برداری مسیرهای احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در هر یک از کلاسه‌های شیب مشترک عملیاتی، تفاوت معنی‌داری دیده نشد. این نتیجه در رابطه با زاویه دیواره‌های خاکی و طول دیواره خاک‌ریزی نیز صادق است (جداول۳ و ۴). تشابه عملکرد ماشین‌آلات، شیب دامنه، بافت و احتمالاً رفتار خاک در شیب‌های مشترک عملیاتی عوامل اصلی گرایش دیواره‌ها به سمت زاویه و طول هم‌اندازه می‌باشند. هم‌چنین عرض بستر و عرض عملیات خاکی جاده‌های ساخته شده با بولدوزر بیشتر از بیل‌هیدرولیکی بود (جداول۳ و ۴). دلیل این موضوع را می‌توان ناشی از تفاوت در ماهیت عملکرد و مشخصه‌های فنی بولدوزر نسبت به بیل هیدرولیکی دانست. زیرا همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود ابعاد و ظرفیت حجمی باکت بولدوزر بیشتر از بیل‌هیدرولیکی است و این موضوع باعث می‌شود تا جاده‌های احداث شده با بولدوزر از عرض بستر و عرض عملیات خاکی بیشتری برخوردار باشند (۲). این یافته با نتایج تحقیق تونی و ملیمز (۱۹) در جنگل‌های پر شیب کشور ترکیه مطابقت دارد. آنها عرض عملیات خاکی جاده‌های احداث شده با بولدوزر را تقریباً دو برابر بیل‌هیدرولیکی عنوان نموده و دریافتند که خاک‌ریز ایجاد شده توسط بولدوزر و بیل‌هیدرولیکی به ترتیب به ۵۵ و ۳۱ درصد درختان موجود در عرصه آسیب رساند.

نتایج آنالیز هم‌بستگی نشان می‌دهد که با افزایش شیب دامنه، عرض عملیات خاکی و طول دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی افزایش یافته است (جدول۵). این موضوع به این دلیل است که در دامنه‌های پر شیب، رعایت عدد پروژه و عرض بستر استاندارد (۵/۵ متر) مستلزم برداشت حجم خاک بیشتر از سمت دامنه خاک‌برداری می‌باشد. بنابراین بدیهی است که طول دیواره خاک‌برداری و متعاقب آن طول خاک‌ریز و عرض عملیات خاکی افزایش می‌یابد. افزایش عرض عملیات خاکی منجر به اختصاص یافتن سطح بیشتری از رویشگاه به محدوده ساختمانی شده که این مسأله در اراضی پرشیب باعث وارد آمدن آسیب به زادآوری (مدفون شدن، خمیدگی و شکستگی) می‌شود. گارتون (۱۱) در تأیید وجود هم‌بستگی مثبت بین طول دیواره خاک‌ریزی و شیب دامنه گزارش کرد که طی عملیات جاده‌سازی با بولدوزر در شیب‌های ۴۵، ۶۰ و ۷۰ درصد، توده‌های خاک به ترتیب ۳/۵، ۱۲ و۲۲ متر در سمت دامنه خاک‌ریز پراکنش می‌یابد و هم‌چنین خاک انباشته شده بر روی شیب‌های بالاتر از ۷۵ درصد به‌صورت دیواره خاک‌ریز، قادر به پایداری نیست. گلمائی (۶) در مطالعه خود نشان داد که انجام برش‌های مرتفع و بی‌رویه در سمت دامنه خاک‌برداری باعث به هم خوردن جریان زه‌کشی آب زیرزمینی شده و پایداری دیواره‌ها و ضریب ایمنی خاک در برابر لغزش را کاهش می‌دهد.

نتایج تحقیق آکای و همکاران (۹) روی میزان رسوب تولید

شده توسط شبکه جاده‌های جنگلی نیز با نتایج حاصل از این تحقیق مشابهت دارد. آنها هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را بین شیب دامنه و ارتفاع دیواره خاک‌برداری گزارش کردند. هم‌بستگی منفی و معنی‌دار عرض بستر جاده‌ها با تغییرات شیب دامنه (جدول ۵)، ممکن است به‌دلیل اهمال مجریان در انجام عملیات خاک‌برداری به‌دلیل حجم بالای خاک، هزینه ساعتی زیاد، راندمان کم ماشین‌آلات و عدم ثبات خاک‌ریز در شیب‌های تند باشد (۱۲). عرض بستر ایدآل برای جاده‌های جنگلی درجه دو ۵/۵ متر است (۴)، در حالی که این عرض در پروفیل‌های عرضی احداث شده با بولدوزر، از حد استاندارد تجاوز نمود (شکل۴). عرض بستر مسیر احداث شده توسط بیل هیدرولیکی در کلاسه شیب ۵۰- ۶۰ درصد در حد استاندارد و در کلاسه شیب ۶۰- ۷۰ درصد کمتر از حد استاندارد بود. توضیحات ارائه شده در خصوص تفاوت عرض بستر مسیر احداث شده توسط بیل هیدرولیکی و بولدوزر در این مورد نیز صادق است.

در این تحقیق زاویه ایده‌آل برای دیواره‌های خاک‌برداری با توجه به بافت خاک شنی همراه با سیلت و رس منطقه، ۴۵ درجه تعیین شد (جدول۶). در حالی که زاویه دیواره‌های خاک‌برداری مسیرهای احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر بیشتر از ۴۵ درجه بود (شکل۵- الف، ب، ج، د). در همین ارتباط لی و همکاران (۱۵) با آنالیز پایداری دیواره‌های خاک‌برداری در بندر تیانجین کشور چین، نشان دادند که جنس خاک در محل احداث پروفیل‌های عرضی و هم‌چنین زاویه دیواره‌های خاکی، نقش مهمی در وقوع ریزش‌های سطحی دامنه دارند. هم‌چنین بررسی‌های وینکلر (۲۰) درباره آثار زیست‌محیطی عملیات جاده‌سازی در مناطق کوهستانی آمریکا نشان داد که بولدوزر در شیب‌های تند، دیواره‌های خاک‌برداری را تقریباً به‌صورت عمودی طراحی نموده و این مسأله ضمن جلوگیری از استقرار طبیعی گیاهان، نرخ فرسایش‌پذیری دیواره‌ها را نیز افزایش داد. در تحقیق حاضر، زاویه دیواره خاک‌ریزی در کلیه کلاسه‌های شیب به‌جز کلاسه‌های شیب۳۰-۴۰ درصد و ۴۰-۵۰ درصد مسیرهای احداث شده توسط بولدوزر، در حد استاندارد ۳۵ درجه قرار داشت (شکل۵- الف، ب، ج، د). این مطلب نشان‌دهنده آن است که خاک هدایت شده در سمت دامنه خاک‌ریز به‌سوی زاویه طبیعی یا آرامش خود میل کرد. این مطلب با نتایج یافته‌های لوید و سویفت (۱۶) مطابقت دارد. آنها عوامل جوی را در هدایت خاک به‌سوی زاویه طبیعی مؤثر دانستند. پس از محاسبه نسبت بین داده‌های مشخصات پروفیل‌های عرضی و مقادیر استاندارد مشخص شد که در مجموع پروفیل‌های عرضی احداث شده توسط بیل‌هیدرولیکی به میزان ۸۹/۹۶ درصد با مقادیر استاندارد تطابق داشتند (جدول۷). حال آنکه این رقم برای بولدوزر ۸۴/۸۱ درصد بود (جدول۸). هم‌چنین درصد تطابق پروفیل‌های عرضی ساخته شده با بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر با مقادیر استاندارد در کلاسه شیب ۵۰- ۶۰ درصد بیشتر از سایر کلاسه‌ها بود (جداول ۷ و ۸). شاید این موضوع به‌دلیل رفتار خاک و تسلط بیشتر راننده ماشین خاک‌برداری بر مقطع عرضی زمین هنگام ساخت جاده در این کلاسه شیب باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اگرچه تفاوت عملکرد بیل‌هیدرولیکی و بولدوزر در ساخت پروفیل عرضی استاندارد جاده‌های جنگلی چندان زیاد نیست، اما در مقیاس کلان شبکه جاده‌ها، همین اختلاف جزئی (۵/۱۵ درصد) می‌تواند مسائل زیست محیطی، ایمنی جاده‌ها، میزان استهلاک وسایل نقلیه، هزینه حفاظت و نگهداشت راه‌های جنگلی و هزینه حمل و نقل ثانویه چوب آلات را تحت تأثیر خود قرار دهد. بدین ترتیب، برگزار نمودن کلاس‌های آموزشی- تخصصی برای مجریان پروژه‌های راه‌سازی جهت آشنایی بیشتر با استانداردهای طرح هندسی جاده‌های جنگلی و اهمیت رعایت آنها و هم‌چنین نظارت مستمر بر عملکرد ماشین‌آلات ساختمانی می‌تواند در دستیابی به جاده‌های جنگلی مطلوب و استاندارد مفید واقع شود.

سپاسگزاری

در پایان از کلیه کارکنان بخش راه‌سازی و نظارت شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران آقایان مهندس ذلیکانی، مهندس حبیبی، مهندس کمال‌الدین کشیری و مرحوم مهندس مقصود رئیسی که در راستای اجرای این تحقیق همکاری لازم را نمودند و هم‌چنین از آقای دکتر محمدرضا پورمجیدیان به‌خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان، تشکر و سپاس‌گزاری به‌عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

۱. امینی، م. ۱۳۷۱. بررسی عملکرد شبکه‌بندی جاده‌های جنگلی در رابطه با اهداف جنگل‌شناسی و جنگل‌داری در طرح جنگل‌داری نکا- ظالمرود. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲. توران، ع. ۱۳۸۵. *مدیریت ماشین‌های راه‌سازی*. نشر دنیای نو، تهران.

۳. ذوالفقاری، م. ۱۳۸۴. *نقشه‌برداری*. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۴. ساریخانی، ن. و ب. مجنونیان. ۱۳۷۳. راهنمای طرح، اجرا و بهره‌برداری راه‌های جنگلی. انتشارات سازمان برنامه و بودجه، شماره ۱۳۱، ۱۷۰ صفحه.

۵. کتابچه طرح جنگل‌داری سری لت‌تالار. ۱۳۷۵. دفتر فنی جنگل‌داری، اداره کل منابع طبیعی ساری، ۲۷۲ صفحه.

۶. گلمائی، س.ح. ۱۳۸۰. بررسی زمین شناسی مهندسی و مهندسی ژئوتکنیکی علل رویداد زمین لغزش در ارتفاعات البرز، مازندران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۲: ۱۵- ۲۵.

۷. مشخصات فنی عمومی راهداری. ۱۳۸۳. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۲۰۸، ۳۶۵ صفحه.

۸. نریمانی، گ. ۱۳۸۱. *طرح هندسی راه*. انتشارات دانشگاه تهران.

9. Akay, A.E., O. Erdas, R. Mahmut and A. Yuksel. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. Build Environ. 43(5): 687-695.
10. Cerdà, A. 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. Sci. Total Environ. 378: 151-155.
11. Gorton, F. 1985. Praxis und Kosten einer landschaftsschonenden Bauausführung von Forst- strassen. Allgemeine Forstzeitung. Wien. 96 (9): 241-244.
12. IUFRO. 1995. Forest Work Study. Nomenclature, International Union of Forestry Research Organizations. Swedish Univ., Sweden.
13. Johansson, J. 1995. Excavators as base machines in logging operations. J. For. Eng. 7(1): 7-17.
14. Johansson, B. 2002. Use of Labour-based Works Technology in the Smallholder Development Project. Asian Development Bank.
15. Li, S., Z.Q. Yue, L.G. Tham, C.F. Lee and S.W. Yan. 2005. Slope failure in under consolidated soft soils during the development of a port in Tianjin, China. NRC Canada. 42: 166-183.
16. Lloyd, W. and J. Swift. 1984. Soil Losses from Roadbeds and Cut and Fill Slopes in the Southern Appalachian Mountains. South J. Appl. For. 8(4): 209 - 215.
17. Spreiter, T. 1992. Redwood National Park watershed restoration manual. Redwood National Park watershed restoration program.
18. Sedlak, O. 1985. Forest road planning, location and construction techniques on steep terrain. Logging and transport in steep terrain. FAO Forestry Paper 14: 37-54.
19. Tunay, M. and K. Melemez. 2004. Environmental effects of forest road construction on steep slope. CAB Abs. 13(52): 33-37.
20. Winkler, N. 1998. Environmentally Sound Road Construction in Mountainous Terrain. FAO Forest Harvesting Case-Study.