بررسی مروری روش‌های زیست‌مهندسی تثبیت شیروانی‌های خاکی جاده‌های جنگلی

مقاله علمی – پژوهشی

زهره غلامی*، دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
آیدین پارساخو، دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
مجید لطفعلیان، استاد، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
ایوب رضایی مطلق، دانش آموخته دکتری، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ghlamyzhrh@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۱۹۴-۱۸۱

چکیده

جاده‌های جنگلی عامل اصلی افزایش نرخ فرسایش و برهم زننده پایداری دامنه‌های طبیعی هستند. فرسایشفرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکان دیگر حمل می‌شوند. این تحقیق به بررسی روش‌های زیست‌مهندسی تثبیت شیروانی‌های خاکی جاده‌های جنگلی می‌پردازد. با توجه به مروری بودن این مقاله از روش کتابخانه‌ای و اسنادی و با استفاده از موتورهای جستجوگر و سایت‌های مختلف برای دسترسی به مقالات مانند مگیران، جهاد دانشگاهی، گوگل اسکولار، ساینس دایرکت و ... مقالات مختلفی در زمینه فرسایش خاک، روش‌های تثبیت خاک با استفاده از تکنیک‌های زیست‌مهندسی و ... مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج به دست‌آمده عبارت است از: زیست‌مهندسی با شرایط زیست‌محیطی سازگار است. این روش علاوه بر کارکرد اصلی خود، باعث زیبایی منظر می‌شود. پروژه‌های مهندسی زیستی کمتر به تجهیزات و ماشین‌آلات سنگین نیاز دارند، بنابراین، در هزینه و اثرات منفی ناشی از استفاده این نوع تجهیزات صرفه‌جویی می‌شود. استفاده از گیاهان بومی موجب صرفه جویی در هزینه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تثبیت خاک، تکنیک‌های زیست‌مهندسی، جاده‌های جنگلی، زیست‌مهندسی، فرسایش خاک

۱-مقدمه

جاده‌های جنگلی عامل اصلی افزایش نرخ فرسایش و برهمزننده پایداری دامنه‌های طبیعی هستند. از طرفی، به دلیل تاثیر عوامل محیطی و ترافیک بر جاده، هر سال هزینه‌ای هنگفت برای تعمیر و نگهداری جاده‌ها صرف می‌شود (عبدی و مجنونیان، ۱۳۹۷). از طرف دیگر، جاده‌سازی بزرگترین مداخله و دست‌اندازی در طبیعت زنده و پویایی جنگل محسوب و با تغییر شکل طبیعی دامنه‌ها، قطع جریان‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش پوشش گیاهی و ایجاد فشردگی خاک در سطح جاده، باعث تشدید فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌های جنگلی می‌شود (Tague & Band,2001). آب و خاکبستر حیات به شمار می‌روند و فرسایش باعث هدر رفت آنها می‌شود. به همین دلیل مبارزه با فرسایش در سطح جهان موردتوجه قرار گرفته است. فرسایش فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکان دیگر حمل می‌شوند (رفاهی،۱۳۸۲). فرسایش خاک، مشکلی جهانی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. از این نظر، جلوگیری از فرسایش خاک به منظور حفظ ثروت‌های ارزشمند طبیعی

موضوعی مهم به شمار می‌رود (Morgan R.P, John Wiley & Sons, 2009). به طور سنتی، بیشتر مهندسان استفاده از مصالح بی‌جان (روش‌های سخت یا خاکستری) را برای پایدارسازی شیب و کنترل فرسایش انتخاب می‌کنند؛ اما امروزه روش‌های جایگزین استفاده از پوشش گیاهی به نام روش‌های زیست‌مهندسی نیز برای کنترل فرسایش خاک و پایدارسازی شیب مطرح است. به طور ساده، استفاده از هر نوع گیاه به صورت تک‌پایه یا مجموعه‌ای از گیاهان به عنوان مصالح زنده و برای اهداف مهندسی شامل پایدار سازی شیب و کنترل فرسایش، زیست‌مهندسی نامیده می‌شود (عبدی و مجنونیان، ۱۳۹۷).

از مزیت‌های یک تحقیق خوب برگزیدن روشی مناسب است. در این تحقیق، ابتدا اطلاعات لازم از طریق روش کتابخانه‌ای و اسنادی گردآوری شده، برای یافتن مستندات مرتبط با موضوع این مقاله در پایگاه داده‌های گوگل با استفاده از کلمات کلیدی و عبارات:فرسایش خاک،" Soil biological engineering"،"Bioengineering for slope stabilization"،"Slope management" Soil Biotechnical "،"bioengineering stabilization Soil stabilization "،"stabilization Effects of "،"bioengineering methods Erosion "،"vegetation on runoff generation Bioengineering for slope "،"Control techniques "Slope stabilization methods"،"stabilization

در پایگاه گوگل اسکولار، جهاد دانشگاهی، سیویلیکا، مگیران، ساینس دایرکت، اسپرینگر جستجو شد. جستجو در این پایگاه داده‌ها در بازه زمانی اول تا بیست و هشتم اسفند ماه ۱۳۹۹ انجام شد. در این بازه زمانی بیش از صد مقاله بررسی و طبق معیارهایی (که در ادامه به آنها اشاره می‌شود) موارد مربوطه استخراج شدند. برای انتخاب مستندات مورد استفاده ابتدا عناوین یافت شده توسط موتور جستجو از نظر ارتباط موضوعی بررسی شدند. مقالات پس از بررسی عنوان، در مرحله بعد از نظر ارتباط چکیده با هدف مورد نظر ارزیابی شدند. موارد منتخب به طور کامل مطالعه و نهایی شدند. مواردی که ارتباطی به موضوع موردنظر نداشتند از مطالعه حذف شد. مطالب جمع آوری شده در سه حیطه "تعریف فرسایش و انواع آن"، "عوامل موثر بر فرسایش"، "تعریف تکنیک‌های زیست‌مهندسی و انواع تکنیک‌های زیست‌مهندسی"تقسیم‌بندی و خلاصه سازی شد.

احداث جاده‌های جنگلی برای دسترسی به جنگل به منظور استفاده از خدمات مختلف آن، اجرای عملیات حفاظتی و حمل و نقلمحصولات چوبی و غیر چوبییک نیاز اساسی بوده و در درآمد ملی کشور نقش ویژه‌ای دارد (Majnounian et al., 2005). بیشتر جاده‌های جنگلی در مناطق کوهستانی احداث می‌شوندکه رسوب قابل توجهی را از طریق رواناب به جاده‌های جنگلی وارد کرده (Elliot et al., 2009; Bieschta, 1978) و منبع مهم آلوده‌کننده آب‌های سطحی به شمار می‌روند (Cornish, 2001؛ Patric, 1976). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که حدود ۹۰ درصد از رسوباتی که از یک منطقه جنگلی وارد رودخانه‌ها می‌شود، از جاده‌های جنگلی نشات می‌گیرند (Van Lear et al.,1985:Apelboom et al., 2002;Meghan, 1972). خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری جدی برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می‌آید. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته، حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند. فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه خسارت زیاد و جبران ناپذیری به جای می‌گذارد بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن سدهاو بنادر و کاهش ظرفیت آبگیری آنها نیز زیان‌های فراوانی را سبب می‌گردد. بنابراین نباید مساله حفاظت و حراست خاک را کوچک و کم اهمیت شمرد. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور می‌باشد (رفاهی،۱۳۷۸).

۲- فرسایش

فرسایش خاک یکی از مشکلات مهم قرن بیست ویکم، به‌خصوص در مناطق خشکبه شمار می‌رود که نتیجه آن عدم امنیت غذایی و پیامدهای متفاوت زیست‌مهندسی است (Field et al., 2009) فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش زیست‌محیطی به شمار می‌رود (Ekwue et al., 2009). فرسایش خاک یک چالش جهانی بوده که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (Qing Deng et al., 2008). فرسایش خاکیک فرآیند طبیعی استکه در اثر فعالیت‌های انسانی تشدید می‌شود. نتیجه فرسایش، کاهش حاصلخیزی خاک و از بین رفتن مواد آلی از

جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم است. کاهش پوشش جنگلی، کاهش تولیدات زراعی، افزایش سیلاب‌ها، کاهش تولید برق، کاهش کیفیت آب آشامیدنی و مانند آنها آثار مستقیم و غیر مستقیم فرسایش خاک هستند (عاقلی کهنه شهری و صادقی،۱۳۸٤).

فرسایش که به آلمانی Abtrag و به فرانسه و انگلیسیErosion گفته می‌شود، از کلمه لاتین Erodereگرفته می‌شود (کردوانی، ۱۳۷٦). فرسایش مجموعه فعالیت‌هایی است که در آن ماده خاک یا سنگ شسته، شل یاحل می‌گردد یا بخشی از زمین کنار برداشته شده و شامل فرآیندهای آبشویی، حلالیت و انتقال است (Herren et al., 1991). فرسایش ممکن است توسط فرآیندهای آب، باد یا یخچال و غیره صورت بگیرد (قدمی فیروز آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). فرآیند فرسایش شامل سه مرحله‌ی برداشت، حمل و رسوب‌گذاری است (Mayer et al.,1969). فرسایش به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا و به کمک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شوند؛ به طوری که بسته به نوع عامل انتقال، انواع فرسایش‌های آبی، بادی، یخچالی و فرسایش ناشی از نیروی ثقل وجود دارد (رفاهی،۱۳۹٤).

۲-۱-انواع فرسایش

فرسایش پاشمانی اولین مرحله در فرایند فرسایش شناخته شده که نتیجه بمباران سطح خاک توسط قطرات باران است(Qinjuan et al., 2008: Wuddivira et al, 2009). در ادامه فرسایش پاشمانی فرسایش ورقه‌ای اتفاق می‌افتد. در فرسایش ورقه‌ای، قطرات باران با شکستن خاکدانه‌ها و تشکیل سله ساختار خاک سطحی را تغییر می‌دهند. علاوه بر تغییر سطح خاک در اثر برخورد قطره‌ی باران، ذرات خاک را از محل پیدایش آنها جدا کرده و این ذرات در صورت وجود عوامل انتقال مثل رواناب تا مسافت بسیاری حمل می‌شوند (Qinjuan et al., 2008).

در ادامه فرسایش ورقه‌ای فرسایش بین شیاری اتفاق می‌افتد. در فرسایش بین شیاری، جدا شدن ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران و انتقال این ذرات از طریق پاشمان و جریان ورقه‌ای کم عمق اتفاق می‌افتد(Mahmoodabadi & Cerd,2013: Asadi &Rouhipour, 2007).

اگر فرسایش بین شیاری ادامه پیدا کند، فرسایش شیاری اتفاق می‌افتد. فرسایش شیاری عبارت از جدا شدن و انتقال رسوب به وسیله جریان متمرکز آب در کانالی باریک و فرسایشپذیر است. در زمین‌های شیب‌دار هنگامی که سرعت نفوذ آب به خاک به حد کمتر از شدت بارندگی برسد، جریان‌های سطحی پراکنده به وجود می‌آیند که با به‌هم‌پیوستن آن‌ها، جریان‌های متمرکز آب شکل می‌گیرند. در نقطه‌ای از مسیر جریان که نیروی برشی جریان از مقاومت خاک فزونی یافت، ذرات مسیر برداشته شده و انتقال می‌یابد. انتقال ذرات از بستر منجر به آشکار شدن شیارهایی در امتداد مسیر جریان می‌شود (Zhang et al.,2008). فرسایش خندقی حالت تکامل یافته فرسایش شیاری رواناب‌ها است (عابدینی ۱۳۸٤). یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی است که موجب بروز آسیب‌ها و زیان‌های زیادی می‌شود (Archibold, 1996). فرسایش خندقی زمانی اتفاق می‌افتد که فرسایندگی جریان آب و یا فرسایش پذیری رسوبات یا تشکیلات منطقه از آستانه ژئومورفولوژیک منطقه بالاتر برود (Imeson & Torri et al., :Zucca et al., 2006:Kwaad,1980 2012).

۲-۲-عوامل موثر بر فرسایش

Vrieling et al(2008)، خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی را از عوامل بسیار موثر در میزان فرسایش آبی می‌دانند. Bodoque et al(2005)، با بررسی عوامل مختلف محیطی، عامل‌های شیب، جهت و بافت خاک را مهم‌ترین عامل موثر در فرسایش می‌دانند. Fox et al(2008)، پیشنهاد می‌کنند که توپوگرافی (شیب و جهت)، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی از عوامل بسیار مهم در فرسایش پذیری خاک‌ها بوده و باید در برآورد فرسایش خاک مدنظر قرار گیرند. Mayer et al(2009)، جنس سنگ و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را موثر در فرسایش آبی می‌دانند. به طور کلی دو دسته عوامل محیطی و مدیریتی بر شدت وقوع فرسایش آبی اثر دارند (Vrielinget al., 2008: García, 2010).

۲-۳-تکنیک‌های پایدارسازی انواع دامنه (زنده یا غیرزنده)

به لحاظ تاریخی مهندسان از روش‌های سخت و غیرزنده برای تثبیت شیب‌ها و لغزش‌ها استفاده می‌کردند اما با گذشت زمان مهندسان به فکر تکنیک‌های زیست‌مهندسی افتادند و از مواد گیاهی برای مهار فرسایش‌ها و ناپایداری‌ها استفاده کردند، در این بین از گونه‌های مختلفی هم استفاده شد: از چمن، بذر حبوبات، گونه‌های منحصر به‌فردی مثل بید و سایر گیاهان (Schiechtl & Stern,1997). رویکردهای معمول مورد استفاده در افزایش پایداری شیب، کاهش زاویه شیب، تراس بندی و انشعاب، بهبود زهکشی شیب، استفاده از پیچ و مهره‌های سنگی و ساخت دیواره‌های نگهدارنده است در حالی که از کابل‌های سیم و نرده‌های سیم برای به حداقل رساندن سقوطسنگ استفاده می‌شود (Wyille, 2014).

علاوه بر این، روش فعلی اتکا به مواد مهندسی یا سازه‌هایی مانند مش‌های سیم، دیواره‌های نگهدارنده، بتن و نرده‌ها، پرهزینه تر، سازگار با محیط زیست نیست، در طول زمان بی اثر است با تغییر شیب تغییر نمی‌کند، زیرا پویا نیستند، در حالی که نیاز به تعمیر و نگهداری ثابت دارند (Aimee & Normaniza, 2014). به طور سنتی، بیشتر مهندسان استفاده از مصالح بی‌جان (روش‌های سخت یا خاکستری) را برای پایدارسازی شیب و کنترل فرسایش انتخاب می‌کنند؛ اما امروزه روش‌های جایگزین استفاده از پوشش گیاهی به نام روش‌های زیست‌مهندسی نیز برای کنترل فرسایش خاک و پایدارسازی شیب مطرح است (عبدی و مجنونیان،۱۳۹۷).

۳-تعریف زیست‌مهندسی

به طور ساده، استفاده از هر نوع گیاه به صورت تک‌پایه یا مجموعه‌ای از گیاهان به عنوان مصالح زنده و برای اهداف مهندسی شامل پایدارسازی شیب و کنترل فرسایش، زیست‌مهندسی نامیده می‌شود (عبدی و مجنونیان،۱۳۹۷). این شیوه‌های مهندسی همراه با اصول زیست‌محیطی یکپارچه، با استفاده از پوشش گیاهی زنده و سایر مواد گیاهی غیر زنده برای تثبیت دامنه‌ها (دامنه‌های تپه‌ها، حاشیه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، خطوط ساحلی) استفاده می‌شود (Gray & Sotir, 1996). در ایران زیست‌مهندسی در سال ۱۳۷۳ به صورت استفاده از مصالح زیستی برای اهداف عمرانی مانند تثبیت دامنه‌ها، کنترل فرسایش یا حرکت توده‌ای تعریف شد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی،۱۳۹۰). در سال‌های اخیر از تکنیک‌های مهندسی زیستی خاک به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن، انعطاف‌پذیری و قابل استفاده در مناطق دور افتاده با استفاده از مواد موجود به صورت گسترده استفاده می‌شود و به دلیل این که در مقایسه با کارهای مهندسی عمران، نیروی کم‌هزینه‌تر احتیاج دارند (Li & Eddleman, 2002: Wu & Feng, 2006: Li et al., 2006: Evette et al., 2009:Rey & Burylo, 2014). پروژه‌های مهندسی زیستی خاک ممکن است از اواخر پاییز، زمستان و حتی اوایل بهار نصب شوند و این بهترین زمان برای انجام کارهای مهندسی زیستی است(Lewise,2000). زیست‌مهندسی خاک با استفاده از مواد گیاهی زنده و تکنیک‌های مهندسی انعطاف‌پذیر برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی و دامنه‌های با مشکلات فرسایشی زیاد و دیواره‌های رودخانه استفاده می‌شوند. مهندسی زیستی خاک ابزاری مهم برای اکوسیستم‌های آسیب دیده است که طراحی و بازسازی سیستم پوشش گیاهی، افزایش مقاومت برشی و محدود کردن حرکات ذرات خاک در دامنه با استفاده از تاثیرات سیستم‌های ریشه در ساختار خاک را دنبال می‌کند. با این حال، این روش نه تنها به تثبیت شیب و کنترل فرسایش خاک کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش ارزش زیبایی‌شناسی و ایجاد مکان تفریحی می‌شود (Li & Eddleman,2002).

۳-۱-تکنیک‌هایی که در رابطه با امور زیست‌مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد

در ادامه به برخی از تکنیک‌های زیست‌مهندسی که مورد استفاده قرار می‌گیرد به طور خلاصه اشاره می‌شود.

فنس زنده Live Fancines

از دسته‌ای از شاخه‌های زنده که قابلیت ریشه‌زایی دارند ساخته می‌شود. از این روش علاوه بر پایدار کردن دیواره‌های خاکبرداری پر شیب و مرطوب، در پرکردن گودال‌ها و کانال‌ها نیز کاربرد دارد (Shrestha et al, 2012).

شکل ۱. دیواره گهواره‌ای زنده Timber Crib

دیوارهای گهواره‌ای زنده شکل خاصی از ساختارهای نگهدارنده جاذبه ساخته شده از مواد پرکننده محل، الوارها و لایه‌های قلمه‌های شاخه زنده با هدف ایجاد تثبیت خطی یا شیب مکانی است (Morgan & Rickson, 1995: Schiechtl & Stern, 1992: Stangl, 2007). وظیفه اصلی آن‌ها ایجاد ثبات در کرانه‌های شیب‌دار و محافظت از آنها در برابر زیر برش است، اما آن‌ها همچنین یک راه‌حل انعطاف‌پذیر در رابطه با تثبیت شیب در اثر حرکات و سکونت‌گاه‌های جزئی در نظر گرفته می‌شوند (Gray & Sotir, 1996). ساختار اصلی با استفاده از چوب و تشکیل یک چارچوب مانند دیوار ساخته می‌شود، سپس قلمه‌ها یا شاخه‌های زنده را به عنوان سازه در ساختار کاشته می‌شود (Morgan & Rickson, 1995: Gray & Sotir, 1996). اخیرا، این روش با استفاده از بامبو به عنوان جایگزین چوب درختان دیگر، مانند بید یا شاه بلوط، به طور فزاینده‌ای در نپال مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا مردم محلی می‌توانند آن‌ها را به‌راحتی در محل پیدا کنند (Lammeranner et al., 2005: Florineth et al., 2002).

شکل ۲. مواد زنده Live Material

در این روش از شاخه زنده به قطر ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر و پیکه چوبی به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود.

پیکه‌های چوبی به صورت عمودی در دیواره‌ها و دامنه به فاصله نیم‌متری مستقر می‌شوند، به طوری که نصف پیکه در داخل خاک و نصف دیگر آن بیرون باشد، سپس شاخه‌ها در فضای داخلی آنها به‌کارگرفته می‌شوند (Eubanks & Meadows, 2002).

شکل ۳. لایه لایه قرار دادن شاخه‌هاBrush Layering

از این روش جهت پایداری دیواره‌های کم شیب استفاده می‌شود. دیواره شیب‌دار به صورت ترانسکت در می‌آید سپس شاخه‌های درخت به صورت موازی و با تراکم مناسب روی ترانسکت قرار داده می‌شود و سپس یک رول کنفی روی آن قرار گرفته به صورتی که نصف آن را بپوشاند، این روش این مزیت را دارد که رول کنفی به دلیل خاصیت جذب آب سبب ایجاد رطوبت کافی برای قلمه‌های زیر و رشد آنها شده و سبب استقرار سریع پوشش و پایداری و کنترل فرسایش دیواره‌ها می‌شود (Shrestha et al, 2012).

شکل ٤. حصیر شاخه Brush mattress

در این روش از شاخه درختان به صورت لایه‌های خوابیده در سطح دیواره جاده استفاده می‌شود. این روش باعث ایجاد یک پوشش فوری در سطح می‌شود، جهت ثابت نگه‌داشتن این پوشش از سنگ یا کنده موجود در محیط می‌توان استفاده کرد. بیشترین کاربرد این نوع پوشش در مناطقی است که سرعت جریان آب در دامنه‌ها زیاد است (Shrestha et al, 2012).

شکل ۵. لایه لایه قراردادن قلمه‌ها

این روش شامل شاخه‌های برش خورده به صورت قلمه و گیاهان ریشه‌دار است که به صورت لایه‌های در تراس حفر شده در دیواره جاده قرار گرفته فشرده پر می‌شوند. از آنجایی که لایه قلمه‌ها دارای ساختار خطی هستند می‌توان از ترکیب آن‌ها از بذر گیاهان مختلف به صورت ترکیبی استفاده نمود. قلمه مورد استفاده باید ۵۰ سانتی‌متر طول و ۲ تا ٤ سانتی‌متر قطر داشته باشند و نوک قلمه‌ها باید ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر از شیب گسترده باشد، تعداد قلمه ۲۰ عدد در هر متر خطی می‌باشد. گونه مورد استفاده در این روش بید می‌باشد. یک طرف قلمه در انتهای تراس و طرف دیگر خارج از سطح شیب‌دار قرار می‌گیرد، سمت خارجی قلمه موقع بارندگی باعث کاهش رواناب و به دام انداختن رسوب می‌شود و طرف دیگر قلمه با ریشه زدن در خاک سبب افزایش مقاومت کششی خاک و در نتیجه پایداری دامنه می‌شود (Eubanks & Meadows, 2002).

تور جوت یک روش مفید برای تثبیت شیب‌های تند (۸۰ درصد –۳۵ درصد) که استقرار گیاه در آن دشوار است استفاده می‌شود. این تور به صورت نوعی زره‌پوش روی دیواره‌های شیب‌دار نصب و از طریق سوراخ روی آن بذر چمن و گونه دیگر پاشیده می‌شود. از مزایای این روش جلوگیری از فرسایش، افزایش نفوذپذیری، استقرار گیاه و حفظ رطوبت خاک می‌باشد (Shrestha et al, 2012).

شکل ٦. تور جوت (شبکه کنفی)

شکل ۷. چپربندی palisades

حصار یا دیواری است که از ستون چوبی و تنه‌های زنده ساخته شده است. ستون چوبی به‌کاررفته در این روش دارای قطر ۵–۳ سانتی‌متری و طول ۵۰–۳۰ سانتی‌متر می‌باشند. ستون چوبی به صورت عمودی در جهت شیب و تنه‌ها به صورت افقی در بین آنها مستقر می‌شوند(Shrestha et al, 2012).

شکل ۸ واتل زندهWattle Fance

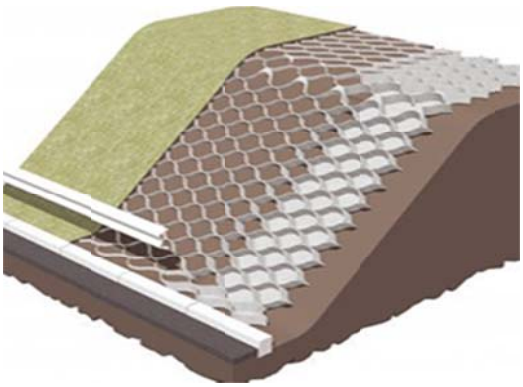
دیواره واتل از به هم بافتن شاخه‌های زنده انعطاف‌پذیر که قابلیت ریشه‌زایی (انگور- بید) دارند در بین ستون‌ها ساخته می‌شود. هدف اصلی از ساخت این دیواره‌ها به دام انداختن رسوباتی است که از دیواره بر پایین شیب در حال حرکت هستند (Shrestha et al, 2012).

شکل ۹. کیسه جذب آب (بالشتک‌های حائل)

بالشتک‌های حائل دیواره‌های موقتی پیوسته‌ای هستند که به منظور منحرف کردن جریان رواناب احداث می‌شوند. برای ساختن این سازه، پارچه‌های از جنس الیاف مصنوعی را از خاک، شن، ماسه انباشته می‌کنند. بالشتک‌های حائل ضمن منحرف نمودن جریان رواناب، سرعت و قدرت فرسایندگی آن را نیز کاهش می‌دهند. از بالشتک‌های حائل بیشتر در جاده‌های شهری، بین شهری، روستایی و مواصلاتی میان‌گذر جنگل استفاده شده است. به منظور تصفیه رواناب، می‌توان نسبت به احداث بالشتک‌هایی از جنس کاه و یا علف‌های خشک، در پای خاکریز اقدام نمود (پارساخو، ۱۳۹٤).

ژئوتکستایل‌ها مواد نفوذپذیری هستند که به عنوان مکمل برخی از پروژه‌ها در رابطه با خاک، سنگ یا هر ماده مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرند (John, 1987). به طور کلی، ژئوتکستایل‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ساختار اصلی بافته‌شده، ساختار اصلی غیربافته‌شده. آنها از الیاف مصنوعی (به عنوان مثال، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌آمید و غیره) یا الیاف طبیعی (به عنوان مثال، شاهدانه، الیاف نارگیل، ترانشه‌های چوب، کاه برنج، برگ خرما و غیره) ساخته شده‌اند. در طرح‌های مختلف، آنها از نظر اندازه و شکل باتوجه به توابع و نیازهای آن‌ها ساخته می‌شوند (Rickson, 2006). ژئوتکستایل‌ها با ساختارهای اصلی غیربافته‌شده به دلیل حجم زیاد و فضای خالی نسبتاً زیاد از خصوصیات فیلتر بهتری برخوردار هستند.

شکل ۱۰. تثبیت سلولی (ژئوتکستایل)

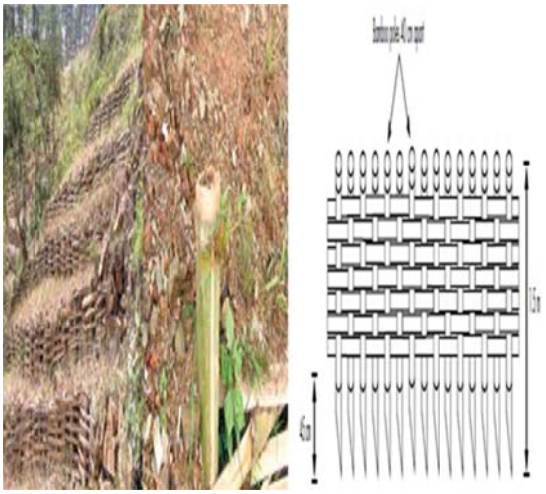


شکل ۱۱. چپر مرده

نرده‌های چوبی قسمت‌های مرده درختان یا بوته‌ها هستند. برای ساختن این سازه ابتدا تراس افقی با عرض کم ایجاد می‌کنند، سپس شاخه‌ها مانندمیخ به صورت عمودی در خاک کوبیده می‌شود به طوری که ۰/٤ متر از شاخه‌ها درون خاک قرار می‌گیرد. قطر این شاخه‌ها ۱۰-۵ سانتی‌متر بوده و فاصله بین آنها ۱ –۰/۸ متر است. پس از آن شاخه‌ها به صورت افقی (قطر ٤ سانتی متر) با میخ بدون فاصله بین آنها قرار داده می‌شوند. هنگامی که طول شاخه‌ها از طول حصار کوچکتر است، اتحاد بین آنها باید با سایر میخ‌ها انجام شود. طول ساختمان باید حفاظت از شیب در برابر فرسایش را تضمین کند و باید هر ۵ متر شکسته شود تا از فروپاشی کل ساختمان جلوگیری شود (Georgi & Stathakopoulos, 2006).

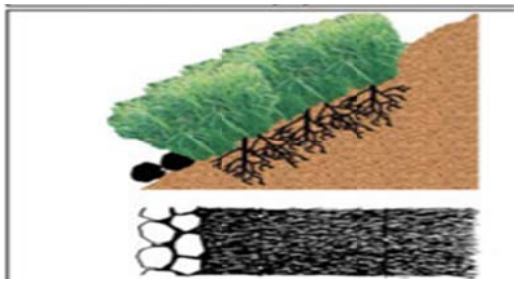
شکل ۱۲. دیواره بامبوBambo Fancing

از این سازه‌ها جهت جلوگیری از خزش خاک و فرسایش سطحی در دیواره خاکبرداری استفاده می‌شود. اگر بامبوها به صورت میخ‌کوبی زنده در سطح دیواره کاشته شوند، ضمن توسعه سیستم ریشه‌ای خود، به نگهداری خاک کمک می‌نمایند. ساختار این سازه‌ها به این صورت است که قلمه بامبو به صورت ردیفی در خلاف جهت خطوط تراز با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از هم به صورت عمودی در زمین نصب می‌شود، سپس بامبوهای شاخه‌دار بین تیرها بافته می‌شوند (Shrestha et al, 2012).



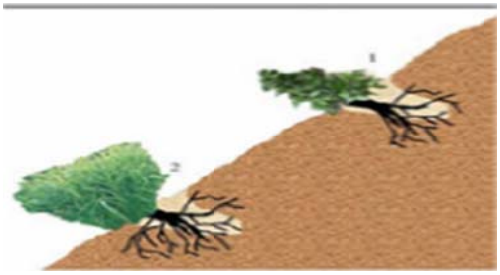
شکل ۱۳. بامبوها به صورت میخ‌کوبی زنده در سطح دیواره

ساخت و ساز تشک: در این روش، قلمه‌های زنده شاخه‌ها یا ساقه گیاه (که می‌توانند از طریق قلمه‌ها جوانه بزنند) در سرتاسر شیب پخش شده و انتهای آن با استفاده از گیره‌های چوبی، میله‌ها محکم می‌شوند. از یک لایه خاک برای پوشاندن شاخه‌ها استفاده می‌شود تا جوانه‌زنی آنها امکان‌پذیر باشد (Punetha et al., 2019).



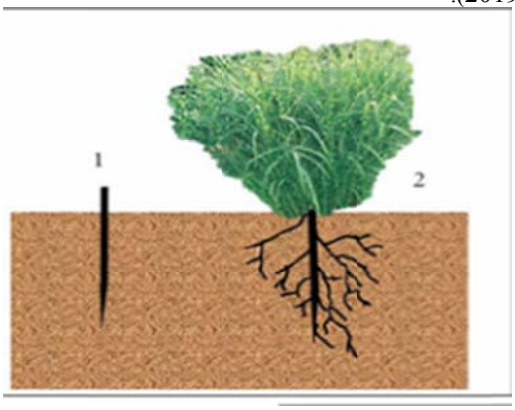
شکل ۱۴. قلمه‌های زنده شاخه‌ها

ساخت لایه پرچین: در این روش تراس ساخته می‌شود، گیاهان ریشه زنده روی تراس‌ها کنار هم قرار می‌گیرند. سپس گیاهان تا حدود دو سوم طول آن‌ها با خاک پوشانده می‌شود (Punetha et al., 2019).



شکل ۱۵. لایه پرچین

قرار دادن قلمه‌ها، کاشت‌های مشترک دیوار، دیوارهای سنگی و گیاهان سنگی: این روش شامل قرار دادن قلمه‌های زنده گیاهان به صورت عمودی در خاک یا به تنهایی یا در ترکیب با دیواره‌های سنگی است به طوری که یک چهارم قسمت قلمه‌ها از سطح خارج می‌شود(Punetha et al., 2019).



شکل ۱۶. قرار دادن قلمه‌ها، کاشت‌های مشترک دیوار، دیوارهای سنگی و گیاهان سنگی

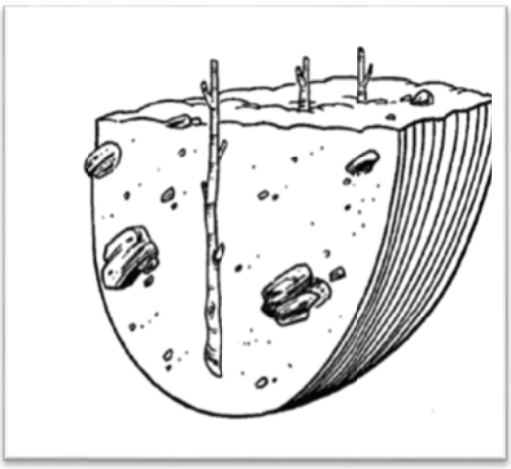
گابیون‌های گیاهی: در این روش قلمه‌های زنده در حین ساخت داخل و بین جعبه‌های گابیون وارد می‌شوند. قلمه‌های زنده پس از مدتی ریشه ایجاد می‌کنند و پایداری را افزایش می‌دهند(Punetha et al., 2019).

شکل ۱۷. گابیون‌های گیاهی

زهکش‌های دسته‌ای زنده: از بسته ساقه‌های قطع شده زنده گیاهان استفاده می‌شود و برای تثبیت مناطقی به کار می‌رود که رطوبت خاک در آن مناطق خیلی زیاد باشد و موجب بی‌ثباتی در خاکدراثر رطوبت زیادشود (غلامی و همکاران، ۱۳۹۵).

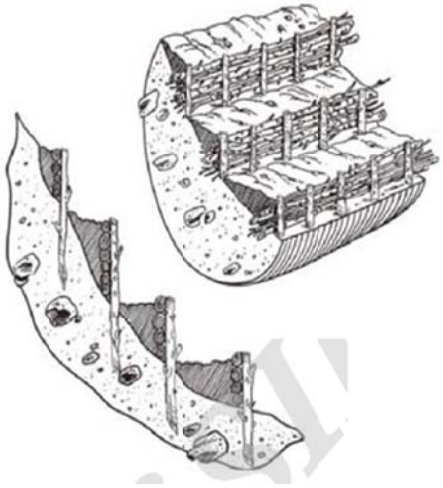
شکل ۱۸. زهکش‌های دسته‌ای زنده

میخ‌کوبی زنده: ساده‌ترین روش زیست‌مهندسی. در این روش می‌توان از قلمه‌های زنده قطع شده برای تثبیت شیب‌ها استفاده کرد. این نوع روش در جریان‌هایی با مواد سیلتی می‌تواند مفید واقع شود چرا که انباشت این نوع مواد در پشت قلمه‌ها خودش می‌تواند به استقرار ریشه قلمه‌ها کمک کند، قلمه‌ها باید نسبت ۳ به ٤ از نظر طول آن‌ها در زیر زمین قرار بگیرد و نیز حداقل ٤٠سانتی‌متر از طول آن‌ها در سطح خاک قرار داشته باشد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۵).



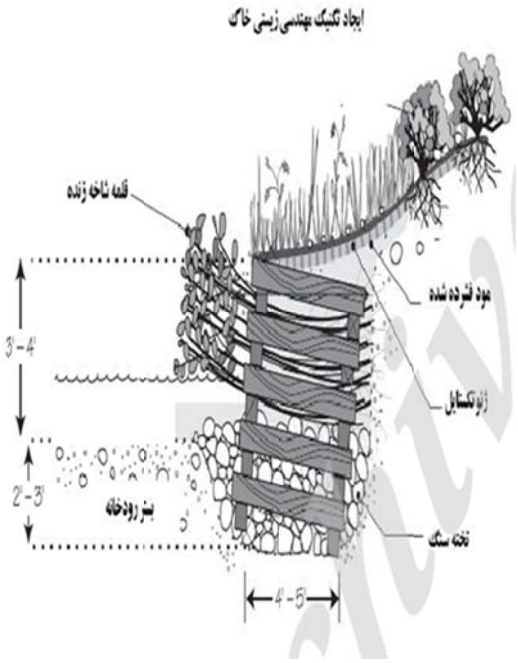
شکل ۱۹. میخ‌کوبی زنده

حصارهای دیواره‌ای: حصارهای دیواره‌ای، دیوارهای حائل کوتاهی هستند که از قلمه‌های زنده ساخته شده‌اند و بعد از گذشت زمان قلمه‌ها جوانه می‌زنند، رشد می‌کنند و سبب تقویت بیشتر ساختار این دیواره‌ها می‌شوند (غلامی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۲۰. حصارهای دیواره‌ای

دیوار تخت زنده: دیوار تخت زنده روشی است که در بازسازی کناره برای دامنه‌های تقریبا عمودی استفاده می‌شود که از سنگ‌های جعبه‌ای بهم پیوسته و یا چوب تشکیل شده است. این روش در یک فضای محدود قابل اجرا است و می‌تواند به کنترل فرسایش آب‌کندی حاشیه رودخانه‌ها هم کمک بکند و برای حاشیه جاده‌ها هم می‌تواند یک زیبایی منظر واقعی را ایجاد کند (غلامی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۲۱. دیوار تخت زنده

۵-نتیجه‌گیری

زیست‌مهندسی با شرایط زیست‌محیطی سازگار است. با توجه به اینکه در زیست‌مهندسی از خود گیاهان به عنوان سازه استفاده می‌شود، در صورت صدمه دیدن، توانایی خودتجدیدی دارند. این روش علاوه بر کارکرد اصلی خود در تثبیت شیب‌ها و حفاظت از شیروانی‌های خاکی و کنترل فرسایش خاک، باعث زیبایی منظر می‌شود. پروژه‌های مهندسی زیستی کمتر به تجهیزات و ماشین آلات سنگین نیاز دارند، بنابراین در هزینه و اثرات منفی ناشی از استفاده این نوع تجهیزات صرفه‌جویی می‌شود. استفاده از گیاهان بومی موجب صرفه‌جویی در هزینه می‌شود.

٦- مراجع

-پارساخو، آیدین (۱۳۹٤). ساخت و نگهداری جاده‌های جنگلی. *انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، ۲٤۳-۲٤۲.

-رفاهی، ح. (۱۳۷۸). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ دوم، *انتشارات دانشگاه تهران*.

-رفاهی، ح. (۱۳۸۲). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ چهارم، تهران : *انتشارات دانشگاه تهران*، ۷۰۱-۷۰۰.

-رفاهی، ح. (۱۳۹٤). فرسایش آبی و کنترل آن. تک جلدی، چاپ هفتم، تهران، *انتشارات دانشگاه تهران*، ٦۷۱-٦۷۰.

-عابدینی، م. (۱۳۸٤). پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی شهر (شمال غرب آذربایجان شرقی) از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲، ۱۱۰-۹۷.

-عاقلی کهنه شهری، ل. و صادقی، ح. (۱۳۸٤). برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*: شماره ۱۵، ۱۸۵-۱۷۵.

-عبدی، ا. مجنونیان، ب. (۱۳۹۷). تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی. تهران : *انتشارات دانشگاه تهران*، ۱٤۵.

-غلامی، ل، کریمی، ن. کاویان، ع.ا. (۱۳۹۵). روش‌های مهندسی زیستی خاک استفاده شده در مدیریت آب و تثبیت شیب‌های تند. *اکوهیدرولوژی*، ٤(۱)، ۱٦۹-۱٤۲.

-قدمی فیروز آبادی، ع. و شمسایی، ا. (۱۳۸۵). برآورد شاخص فرسایش زایی از مقدار بارندگی روزانه (مطالعه موردی: شهر تهران)، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۳(۱)، ۳۸-۳۱.

-کردوانی، پ. (۱۳۷٦). حفاظت خاک. *چاپ ششم*، تهران، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۲٦٤.

-معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. (۱۳۹۰). راهنمای طرح، اجرا و بهره برداری راه‌های جنگلی، نشریه ۱۳۱. *دفتر نظام فنی اجرایی*، ۱۵۹.

-Eubanks, C., & Meadows, D. (2002). A soil bioengineering guide for streambank and lakeshore stabilization. *US Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program,* 1, 18-24.

-Evette, A., Labonne, S., Rey, F., Liebault, F., Jancke, O., & Girel, J. (2009). History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe. *Environmental Management*, *43*(6), 972-984.

-Field, J.P., Breshears, D.D., Whicker, J.J., (2009). Toward a more holistic perspective of soil erosion: why aeolian research needs to explicitly consider fluvial processes and interactions. *Aeolian Research,* 1 (1–2), 9–17.

-Florineth, F., Rauch, H. P., Staffler, H. (2002).Stabilization of landslides with bio-engineering measures in South Tyrol/Italy and Thankot/Nepal. In *International Congress,* 1, 827-837.

-Fox, D.M., Maselli, F: Carrega, P. (2008). Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk. *Catena 75*, 326–335.

-García-Ruiz, J.M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena, 81*(1), 1-11.

-Georgi, J., Stathakopoulos, I. (2006). Bioengineering techniques for soil erosion protection and slope stabilization. 46th Congress of the European Regional Science Association, *Enlargement, Southern Europe and the Mediterranean,* August 30th - September 3rd, 2006, Volos, Greece.

-Gray, D.H., Sotir, R. (1996). Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. *John Wiley & Sons,* New York.

-Herren, R.V., Donahue, R.L. (1991). The agricultural Dictionary. *Delmar publications Inc.,* 160-161.

-Imeson. A. C., Kwaad, F. J. (1980). Gully types and gully prediction, *Geogr. Tijdschr*, 14, 430-441.

-Aimee, H., Normaniza, O. (2014). Physiological responses of Melastoma malabathricum at different slope orientations. *Journal of Tropical Plant Physiology,* 6,10–22.

-Appelboom, T.W., Chescheir, G.M., Skaggs, R.W. and Hesterberg, D.L. (2002). Management practices for sediment reduction from forest roads in the coastal plains. *Transactions of the Asae*, 45(2), 337-344.

-Archibold, Q.W. (1996). A Device for measuring Gully headwall morphology. *Earth surface processes and landforms*, 21, 1001-1005.

-Asadi, H., Rouhanipour, H. (2007). The dynamic of sheet erosion. *In Proceedings of the 10 Iranian Soil Science Congress,* 22, 1256-1257. (In Persian)

-Beischta, R.L. (1978). Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range. *Water Resources Research*, 14(6), 1011-1016.

-Bodoque, J. M., Díez-Herrero, A., Martín-Duque, J. F., Rubiales, J. M., Godfrey, A., Pedraza, J. ... & Sanz, M. A. (2005). Sheet erosion rates determined by using dendro geomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain. *Catena*, *64*(1), 81-102.

Cornish, P.M. (2001). The effects of rodding, harvesting and forest regeneration on stream water turbidity levels in a moist eucalypt forest. *Forest Ecology and Management,* 152, 293-312.

-Ekwue, E. I., Bharat, C., & Samaroo, K. (2009). Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems engineering*, *102*(2), 236-243.

-Elliot, W.J., Foltz, R.B. and Robichaud, P.R. (2009). Recent findings related to measuring and modelling forest road erosion. *In: Proc. 18th World IMAC/MODSIM Congress Cairns, Australia*: 4078-4084.

-Morgan, R. P. C. (2009). *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons.

Morgan, R. P. C. Rickson, R. J. (Eds). (1995). Slope Stabilization and Erosion Control: a Bioengineering Approach. *E. F. N. Spon*, London.

-Patric, D. (1976). Designing and locating logging roads to control sediment. *Journal of Forest Science,* 13(1), 101-104.

-Punetha, P., Samanta, M., Sarkar, S. (2019). Bioengineering as an effective and ecofriendly soil slope stabilization method: A review. *Landslides: Theory, practice and modeling*, 201-224.

-Qing Deng, Z. Q., de Lima, J. L., Jung, H. S. (2008). Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soilerosion. *Catena*, *76*(1), 54-62.

-Qinjuan, C., Qiangguo, C., Wenjun, M. (2008). Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China, *Chin Geogray Science* 18(2):155-161.

-Rey, F., Burylo, M. (2014). Can Bioengineering Structures made of willow cuttings trap sediment in eroded marly gullies in a Mediterranean mountainous climate? *Geomorphology,* 204, 564-572.

-Rickson, R. J. (2006). Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. Earth Surface Processes and Landforms*: The Journal of the British Geomorphological Research Group,* 31(5), 550-560.

-Schiechtl, H.M., Stern, R. (1997).Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. *Blackwell Science Publications.* ISBN: 0-632-04061-0.

-Schiechtl, H.M: Stern R. (1992). Handbuch fur naturnahen Erdbau. *Osterreichischer Agrarverlag Wien.* 90, 108 153-154.

-Shrestha, A. B., Ezee, G. C., Adhikary, R. P., & Rai, S. K. (2012). Resource manual on flash flood risk management. *Module 3: structural*

-John, N.W.M. (1987). Geotextiles. Blackie and Son, *Glasgow*, New York, USA, ISBN: 0216919959, 347-375.

-Lammeranner, W., Rauch, HP; Laaha, G., 2005. Implementation and monitoring of soil bioengineering measures at a landslide in the middle mountains of Nepal. *Plant and Soil,* 278, 159–170.

-Lewise L. (2000). Soil bioengineering an alternative for roadside management.A practical guide. Technical Report 0077-1801-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, *Forest Service, San Dimas Technology and Development Center*, 44-45.

-Li, M.H., Eddleman, K.E. (2002). Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: a biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape Urban Plan.* 60, 225–242.

-Li, X., Zhang, L., Zhang, Z. (2006). Soil Bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town Shanghai, China. *Ecol. Eng.* 26, 304-314.

-Mahmoodabadi, M., Cerda, A. (2013).WEPP calibration for improved predictions of inter rill erosion in semi-arid to arid environments. *Geoderma,* 205, 75-83.

-Majnounian, B., Nikooy, M., Mahdavi, M. (2005). Cross drainage design of forest road in shafarood basin. *Iranian Journal of Natural Research,* 58(2), 339-350.

-Mayer, L.D, Wischmeier, W.H. (1969).Mathematical Simulation of Processes of Soil Erosion by Water. *Trans. Am. Soc. Agric. Engric,* 12 (6), 754-758.

-Mayor, A.G., Bautista, S., Bellot, J. (2009). Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the micro scale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surface Processes and Landforms 34*, 1702-1711.

-Megahan, W.F. (1972). Logging, erosion, sedimentation: Are they dirty words? *J. Forestry,* 70(5), 403-407.

Journal of Applied Earth Observation and Geoin formation, *10*(3), 267-281.

-Wu, H.L., Feng, Z. (2006). Ecological engineering methods for soil and water conservation in Taiwan. *Ecol. Eng. 28*, 333-344.

-Wuddivira, M.N: Stone, R.J. Ekwue, E.I. (2009). Clay, organic matter and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. *Soil Science Society of America Journal 73(1)*, 226-232.

-Wyllie, D. C. (2014). Calibration of rock fall modeling parameters. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *67*, 170-180.

-Zhang, Q: Lei, T., Zhao, J. (2008). Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma,* 147, 8-15.

-Zucca, C: Canu, A., Della Peruta, R. (2006), Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy), *Catena,* 68, 87-95.

measures. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).

-Stangl, R. (2007). Hedge brush layers and live crib walls—stand development and benefits. In Eco-and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability, *Springer, Dordrecht.* 287-296.

-Tague, C., Band, L. (2001). Simulating the impact of road construction a forest harvesting on hydrological response. *Earth Surface Process Landforms,* 26, 131-151.

-Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., Bryan, R., Rossi, M. (2012). Spatial variation of bed roughness in eroding rills and gullies, *Catena*, 90, 76-78.

-Van Lear, D.H., Douglass, J.E., Cox, S.K., Augspurger, M.K. (1985). Sediment and nutrient export in runoff from burned and harvested pine watersheds in the South Carolina Piedmont. *Journal of Environment Qual*., 14(2), 169-174.

-Vrieling, A., de Jong, S. M., Sterk, G., Rodrigues, S. C. (2008). Timing of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International*

A Review of Bioengineering Methods for Stabilizing Earthen Slopes of Forest Roads

Zohreh Gholami, Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Aidin Parsakhoo, Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Majid Lotfalian, Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Aiub Rezaei Motlagh, Ph.D. Graduated Student, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

E-mail:ghlamyzhrh@gmail.com

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

Forest roads are a major factor in increasing erosion rates and disrupting the stability of natural slopes. Erosion is the process by which soil particles are separated from their original bed and transported to another location by a transport agent.This study investigates the bioengineering methods of stabilizing earthen slopes of forest roads. Due to the fact that this article is a review of library and documentary methods and using search engines and various sites to access articles such as learners, academic jihad, Google scholar, Science Direct, etc., various articles on soil erosion, methods Soil stabilization was studied and analysed using bioengineering techniques, etc., and the results are: bioengineering is compatible with environmental conditions. This method, in addition to its main function, makes the landscape beautiful. Bioengineering projects require less heavy equipment and machinery, thus saving costs and the negative effects of using this type of equipment. Using native plants saves money.

Keywords: Soil Stabilization, Bioengineering Techniques, Forest Roads, Bioengineering, Soil Erosion