اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶، ص ۱۶۲-۱۴۹

روش‌های مهندسی زیستی خاک استفاده‌شده در مدیریت آب و تثبیت شیب‌های تند

لیلا غلامی[1*]، نبیه کریمی[2]، عطاالله کاویان[3]

۱. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۲۰)

چکیده

مهندسی زیستی خاک علمی کاربردی و ترکیبی از مفاهیم ساختاری، بیولوژیکی و زیست‌محیطی به‌منظور کنترل فرسایش، رسوب و سیل است. تکنیک‌های مهندسی زیستی در دانش بیولوژیکی تکیه برای ساخت سازه‌های ژئوتکنیکی و هیدرولیکی دارند و برای تضمین دامنه و دیواره‌های ناپایدار به‌کار برده می‌شوند. بزرگ‌ترین افزایش در توسعهٔ روش‌های جدید مهندسی زیستی خاک در اروپا در طول دههٔ ۱۹۰۰ بود. مطالعات ثبت‌شده نشان داد اولین آزمایش‌های ثبت‌شده شامل گزارش‌ها و انتشارات در مناطقی از آلپ، آسیا، آلمان و سوئیس تولید شده است. مهندسی زیستی خاک استفاده از مواد گیاهی زنده است که در سازه‌های مهندسی استفاده می‌شود و برای درمان سایت‌هایی با مشکلاتی مانند ثبات خاک سطحی و فرسایش خاک استفاده می‌شود. در این تحقیق برخی روش‌های مهندسی زیستی در مدیریت آب از جمله زهکش‌های دسته‌ای زنده، نرده‌های لجنی زنده، لایه‌لایه قراردادن بوته، فنس‌های زنده، میخ چوبی زنده و... و تثبیت شیب‌های تند مانند حصارهای دیواره‌ای، لایه‌های بوته‌ای اصلاح‌شده، لایه‌های بوته‌ای زنده در یک شکاف و دیوار تخت زنده ارائه می‌شود. روش‌هایی مانند حصارهای دیواره‌ای و لایه‌های بوته‌ای اصلاح‌شده می‌توانند برای دامنه‌های ناپایدار و یا کاهش زاویهٔ شیب استفاده شوند و همچنین به استقرار پوشش گیاهی کمک می‌کنند.

کلیدواژگان: اراضی حاشیهٔ رودخانه، تثبیت‌کننده‌های خاک، حفاظت خاک، فرسایش خاک.

* نویسنده مسئول

Email: gholami@sanru.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

سالانه بودجهٔ شایان توجهی برای بهبود شرایط حواشی جاده‌ها و یا حتی کنار رودخانه‌ها هزینه می‌شود. از لحاظ تاریخی، مهندسان ابتدا از راه‌حل‌های سخت و یا «غیرزنده» برای تثبیت شیب و لغزش استفاده می‌کردند، اما با گذشت زمان مهندسان به فکر استفاده از روش‌های مناسب به‌عنوان مهندسی زیستی خاک افتادند. مهندسی زیستی خاک می‌تواند ابزاری مؤثر در اصلاح مناطقی باشد که دامنه‌های شیب‌دار و خاک‌های ناپایداری با مشکلات رویشی دارند. مهندسی زیستی خاک استفاده از مواد گیاهی زندگی برای انجام برخی عملکردهای مهندسی در مهار فرسایش‌های ساده با استفاده از چمن و بذر حبوبات و یا تثبیت شیب‌های پیچیده‌تر با استفاده از درختان بید و سایر گیاهان است [۱]. روش‌های مهندسی زیستی خاک می‌توانند برای رویش دوبارهٔ پوشش گیاهی در دامنه‌های شیب‌دار و کنترل فرسایش سطحی استفاده شوند [۲]. پروژه‌های مهندسی زیستی خاک ممکن است از اواخر پاییز، زمستان و حتی اوایل بهار نصب شوند و این بهترین زمان برای اجرای کارهای مهندسی زیستی است [۳]. مهندسی زیستی خاک با استفاده از مواد گیاهی زنده و تکنیک‌های مهندسی انعطاف‌پذیر برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی و دامنه‌های با مشکل فرسایشی زیاد و دیواره‌های رودخانه استفاده می‌شوند. مهندسی زیستی خاک ابزاری مهم برای اکوسیستم‌های آسیب‌دیده است که طراحی و بازسازی سیستم پوشش گیاهی، افزایش مقاومت برشی و محدودکردن حرکات ذرات خاک در دامنه با استفاده از تأثیرات سیستم‌های ریشه در ساختار خاک را دنبال می‌کند. با این‌حال، این روش نه‌تنها به تثبیت شیب و کنترل فرسایش خاک کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش ارزش زیبایی‌شناسی و ایجاد مکان تفریحی می‌شود [۴].

تاریخچهٔ روش‌های مهندسی زیستی خاک

تا قرن ۱۶ میلادی روش‌های مهندسی زیستی در رشته‌کوه‌های آلپ استفاده می‌شدند. سپس از آنجا به جزایر بریتانیا و سپس در سراسر اروپا منتقل شدند [۳]. یکی از نوشته‌های بازمانده با استفاده از روش مهندسی زیستی خاک، توسط والتمن، ۱۹۷۷ بود که با استفاده از قلمه‌های زنده به استقرار پوشش گیاهی و تثبیت دیواره‌های رودخانه کمک کردند [۵].

بزرگ‌ترین افزایش در توسعهٔ روش‌های جدید مهندسی زیستی خاک در اروپا یک نتیجه از تحولات سیاسی در طول دههٔ ۱۹۳۰ بود. در سال ۱۹۳۶، هیتلر یک مؤسسهٔ تحقیقاتی در مونیخ به‌منظور توسعهٔ روش‌های مهندسی زیستی خاک برای ساخت‌وساز جاده تأسیس کرد [۶]. جنگل‌بانی به‌نام ارثوروان کرودنر، ریاست این مؤسسه را به عهده گرفت و ایشان در مرکز اروپا به‌عنوان پدر مهندسی زیستی خاک شناخته شد. زمانی که آلمان مؤسسهٔ تحقیقات خود را ایجاد کرد، برخی از کارهای مهم مهندسی زیستی خاک در کالیفرنیا انجام شد. چالس کرابل، کارمند سرویس جنگل USDA، تکنیک "Contour Wattling" را برای برقراری ثبات در جاده‌ها توسعه داد. او از ترکیب تکنیک‌های مهندسی زیستی ازجمله فنس‌های زنده و پیوند گیاهان رویشی برای ایجاد ثبات دامنه در جنگل‌های ملی کالیفرنیای مرکزی و جنوبی استفاده کرد [۳] در سال ۱۹۳۸ سرویس حفاظت خاک، که در حال حاضر به‌عنوان سازمان حفاظت منابع طبیعی (NRCS) شناخته شده است، تکنیک‌های تثبیت‌کننده در امتداد سواحل دریاچهٔ میشیگان را مطالعه کرد [۷]. مهندسان زیستی خاک آلمانی و اتریشی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ کارهای خود را در این زمینه منتشر کردند و این گام مهمی در راه‌اندازی رویکرد ساختاری روش‌های یادشده بود که به توسعهٔ پایه و اساس حرفه‌ای روش‌های مهندسی زیستی خاک منجر شد. در ایالات متحده، دو پروژهٔ مهم در استفاده از روش‌های مهندسی زیستی خاک در سال‌های سال ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ انجام شد. این پروژه‌ها در حوضهٔ دریاچهٔ Tahoe طراحی‌شده توسط لیزر و همکارانش (۱۹۷۴) و در پارک ملی ردوود[1] توسط رید و Hektner (۱۹۸۱) انجام شد [۳]. در سال ۱۹۹۷، کتابی با عنوان *Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control* توسط اسچیچتل، منتشر شد که تا کنون، مهم‌ترین کار در مهندسی زیستی خاک به زبان انگلیسی است. در سال ۱۹۸۰، کتاب دیگری توسط اسچیچتل با عنوان *Land Reclamation and Conservation* را منتشر کرد. این ارائه، برای اولین‌بار به زبان انگلیسی بود که کار بسیاری از

1. Redwood

Archive of SID

www.SID.ir

مهندسان زیستی خاک مهم اروپا از جمله لورنز[1]، هاسنتوفل[2]، هافمن[3]، کورتوریر[4] و خود اسچیچتل در آن ارائه شده بود [۶]. ایوت و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در مقاله‌ای اشکال مختلف تکنیک‌های مهندسی زیستی خاک را در مدیریت رودخانه‌ها در اروپا بررسی کردند [۸]. لان و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای اثر تکنیک مهندسی زیستی حصیر بوته‌ای را بر کناره‌های رودخانه بررسی کردند و متوجه شدند که اثربخشی روش یادشده با زمان افزایش می‌یابد [۹]. دهیتال و تانگ در سال ۲۰۱۶ کاربرد تکنیک مهندسی زیستی خاک را در کاهش خطرات سیل در نپال بررسی کردند و مشخص شد که کاربرد تکنیک مهندسی زیستی خاک در مناطقی که بر اثر سیل آسیب دیده بودند موفقیت‌آمیز است [۱۰].

مواد گیاهی برای مهندسی زیستی خاک

پوشش گیاهی زنده به‌منظور کاهش فرسایش خاک، پایداری کناره‌ها و بستر رودخانه و تثبیت تپه‌های شنی و ماسه‌ای برای مدت‌زمان بسیار طولانی استفاده می‌شود [۱۱]. یکی از مزایای مهندسی زیستی در مقایسه با سایر مهندسی‌ها افزایش ظرفیت و مقاومت آن در طول زمان است چراکه گیاهان بخشی از این ساختار مهندسی را تشکیل می‌دهند [۱]. برخلاف دیگر فناوری‌ها که در آن گیاهان بیشتر جزء زیبایی برای اجرای پروژه‌ها هستند، در سیستم‌های مهندسی زیستی، گیاهان جزء مهمی از ساختار آنها محسوب می‌شود [۳]. گونه‌های چوبی پیشگام[5] اهمیت خاصی در توسعهٔ سیستم‌های مهندسی زیستی دارند. گونه‌های چوبی پیشگام موجب اصلاح طبیعی مناطق آسیب‌دیده مانند تثبیت‌کردن، حفاظت از فرسایش و حیات وحش را به‌عهده دارند. این گونه‌ها اغلب با ریزوبیوم همراه هستند که نیتروژن را در خاک تثبیت و در نتیجه وضعیت تغذیهٔ منطقهٔ تخریب‌یافته را اصلاح می‌کنند [۱۲]. قلمه‌های قطع‌شدهٔ بسیاری از گونه‌ها نیز می‌توانند در عملیات مهندسی زیستی استفاده شوند اگرچه درختان بید و چوب کتان مؤثرترند. قلمه‌های قطع‌شده باید زمان خواب گیاه جمع‌آوری شوند.

1. Lorenz
2. Hassenteufel
3. Hoffman
4. Courtorier
5. Pioneering Woody Species

سیستم‌های مهندسی زیستی خاک در مدیریت آب

در ادامه روش‌های مهندسی زیستی خاک در مدیریت آب که توسط گرای و همکارانش (۱۹۸۰)؛ اسچیچتل (۱۹۸۰)؛ سوتری و گری (۱۹۹۲)؛ لوایز و اوگگ (۱۹۹۳)؛ گری و سوتری (۱۹۹۶)؛ اسچیچتل و استرن (۱۹۹۷)، پولستر (۱۹۹۸) و لوایز (۲۰۰۰)؛ لی و همکارانش (۲۰۰۶)؛ ایوتو و همکارانش (۲۰۰۹)؛ لان و همکارانش (۲۰۱۲)؛ دهیتال و تانگ (۲۰۱۶) ارائه شده است بیان می‌شود [۸، ۱۸، ۳، ۱۷، ۱، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۷، ۱۰ و ۹].

۱. زهکش‌های دسته‌ای زنده[6]

زهکش‌های دسته‌ای زنده (شکل ۱) از بسته‌ای ساقه‌های قطع‌شده زندهٔ ساخته می‌شوند و برای تثبیت مناطقی به‌کار می‌روند که رطوبت خاک زیاد است و موجب بی‌ثباتی در خاک می‌شوند. این نوع از روش‌های حفاظتی زیست‌مهندسی در تراشه‌هایی با عمق کم قرار داده شده، به طریقی که همدیگر را قطع و رطوبت اضافی را نیز جذب کنند. سپس این بسته‌ها با مواد موجود در محل پوشانده می‌شوند. این بسته‌ها تمیزکردن دقیق نمی‌خواهند، اما به‌دلیل اینکه باید محکم بسته شوند، باید ترکه‌های دارای برگ را حذف کرد. الگوهای مختلفی برای قراردادن تخلیهٔ رواناب درون این بسته‌ها می‌توان استفاده کرد. یکی از این الگوها به شکل Y است، اما هدف در همهٔ این الگوها جمع‌آوری کل رطوبت برای رسیدن به تخلیه‌ای با بیشترین سرعت ممکن است.

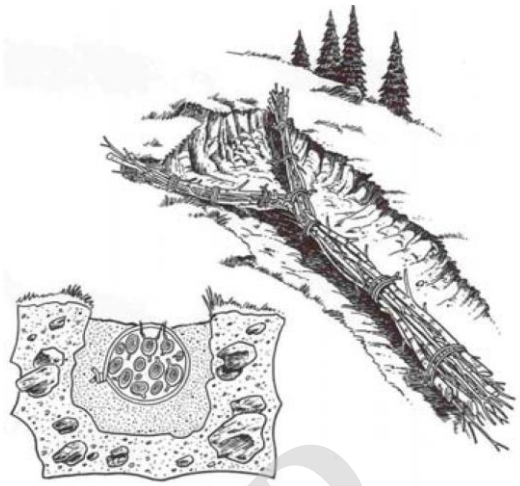
۲. نرده‌های لجنی زنده[7]

این روش به‌منظور کاهش حرکت رسوب در رودخانه‌هایی با شیب کم استفاده می‌شود. این نوع قلمه‌های زنده به‌صورت ردیفی در عرض آبراهه و در فواصل مشخص استفاده می‌شوند (شکل ۲). همچنین می‌توان از آنها در گالی‌های زنده در مناطق شیب زیاد آنها در آبراهه‌های فصلی، حفاظت از دیواره‌ها در آبراهه‌ها و رودخانه‌های بزرگ نیز استفاده کرد. نرده‌های لجنی زنده به‌صورت ردیفی در بستر آبراههٔ رودخانه کوبیده می‌شوند. از فواید روش یادشده این است که سبب کاهش سرعت آب و ته‌نشست رسوبات خواهد شد (شکل ۲).

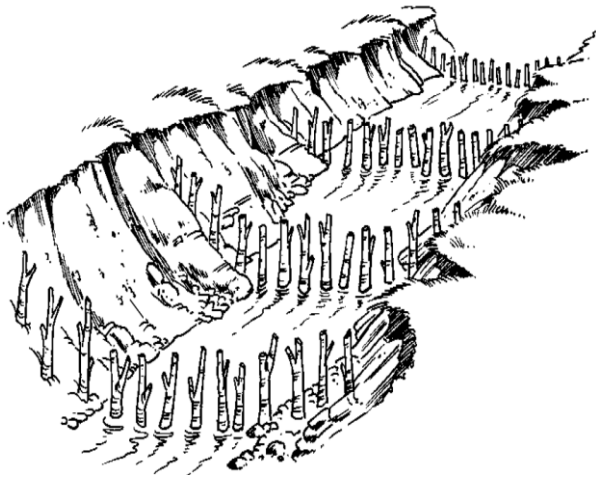
6. Live Pole Drains
7. Live Silt Fences

Archive of SID

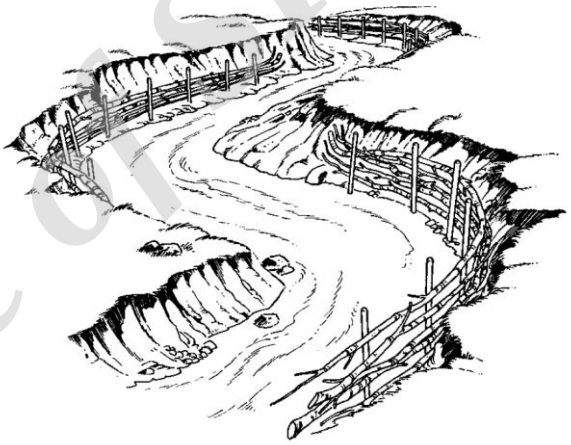
www.SID.ir



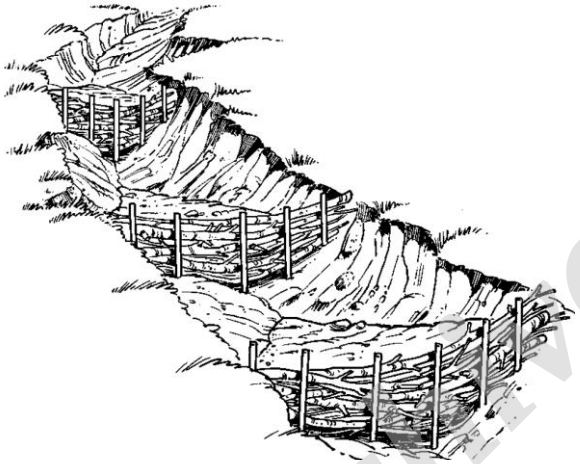
شکل ۱. نمایی از روش مهندسی زیستی **Live Pole Drains**



شکل ۲. نمایی از روش مهندسی زیستی **Live Silt Fences**



شکل ۳. نمایی از روش مهندسی زیستی **Live Bank Protection**



شکل ۴. نمایی از روش مهندسی زیستی **Live Gully Breaks**

۳. حفاظت کناره زنده[1]

از این روش برای تثبیت کناره‌های رودخانه که ممکن است به‌دلیل سیلاب‌های با مواد نخاله‌ای ناپایدار اشغال شده باشند استفاده می‌شود. روش یادشده در تثبیت خندق‌های کنار جاده‌ها می‌تواند بسیار مفید و کارا باشد. ساختار Live Bank Protection در انحناهای مسیر رودخانه به پایان می‌رسد و در مسیر رودخانهٔ بدون انحناهای مخالف یکدیگر، این روش اجرا می‌شود. انتهای آنها باید به‌درستی با پیچ‌های رودخانه مماس باشد تا از فرسایش بیشتر جلوگیری شود. فاصلهٔ بین سازه و دیوارهٔ رودخانه با مصالح محلی مانند تخته‌سنگ‌های بزرگ و یا لاستیک‌های بزرگ پر می‌شود (شکل ۳).

۴. شکاف‌های خندقی زنده[2]

این روش برای کنترل جریان در خندق‌ها به کار می‌رود که از بالادست آبراههٔ نقطهٔ آغاز آشفتگی‌های جریان (شروع خندق) شروع می‌شود. این روش در رویش مجدد گیاهان و تثبیت گالی‌ها می‌تواند مفید باشد (شکل ۴).

۵. میخ‌کوبی زنده[3]

میخ‌کوبی زنده شاید ساده‌ترین روش مهندسی زیستی باشد. در این روش می‌توان از قلمه‌های زندهٔ قطع‌شده برای

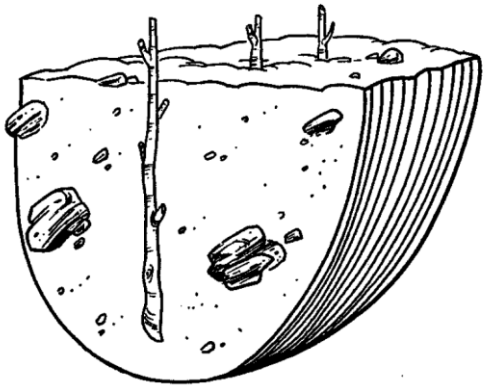
1. Live Bank Protection

2. Live Gully Breaks
3. Live Stacking

Archive of SID

www.SID.ir

تثبیت شیب‌ها استفاده کرد. این نوع روش در جریان‌های با مواد سیلتی زیاد مفید است چرا که با انباشت این مواد در پشت قلمه‌های کمک به استقرار ریشهٔ آنها می‌شود. قلمه‌ها باید نسبت ۳ به ۴ طول آنها در زیر زمین قرار گیرد و نیز حداقل ۴۰ سانتی‌متر از طول آنها در سطح خاک قرار داشته باشد. قلمه‌ها باید به‌صورت عمودی در زمین کاشته شوند؛ اما در برخی موارد نیز می‌توانند به‌صورت مورب نیز کاشته شوند. کمترین فاصلهٔ بین قلمه‌ها ۱۰ سانتی‌متر است، اما در جریان‌هایی با مواد سیلتی می‌تواند تا ۲۰ سانتی‌متر نیز باشد (شکل ۵).



شکل ۵. نمایی از روش مهندسی زیستی Live Stacking

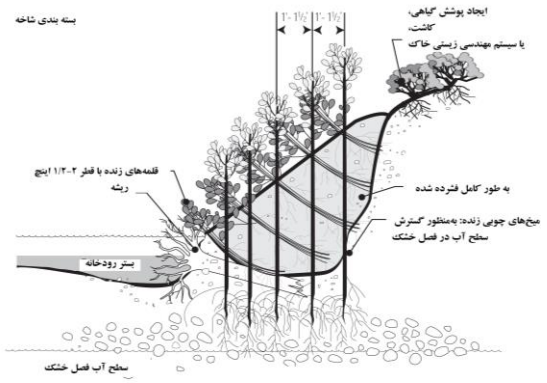
۶. بسته‌بندی شاخه[1]

بسته‌بندی شاخه‌ها برای تعمیرات کوچک، ریزش‌ها و حفره‌های موضعی در کناره‌های رودخانه استفاده می‌شود. در این روش که از لایه‌های متناوب شاخه‌های زنده و خاکریزهای فشرده تشکیل شده است. شاخه‌ها مانند تلهٔ رسوب‌گیر هستند که خاکریزها یا سوراخ موضعی را پر می‌کنند، در حالی که ریشه در سراسر خاکریز و زمین اطراف پخش و به‌صورت یک تودهٔ واحد و یکپارچه ظاهر می‌شود (شکل ۶). از کاربردهای این روش می‌توان به تعمیر ریزش‌ها و حفره‌های کناره‌های رودخانه با ارتفاع ۲ تا ۴ فوت و عمق ۴ فوت و از فواید آن می‌توان به‌تأخیرانداختن رواناب، کاهش فرسایش سطحی، تقویت خاک و شاخه‌های زندهٔ نصب‌شده اشاره کرد.

۷. لایه‌لایه قراردادن بوته[2]

این روش با قراردادن بوتهٔ گیاه روی یک سطح افقی به‌طوری ایجاد می‌شود که حد فاصل هر دو کنارهٔ رودخانه را پر کند. بوته‌ها بیشتر متمایل به شیب یا کمتر عمود بر جهت شیب هستند. بخشی از بوته که از جهت شیب بیرون زده باشند، سبب کاهش رواناب و فرسایش سطحی می‌شود (شکل ۷). از این روش می‌توان برای خشک‌کردن سایت‌های بیش از حد مرطوب، تقویت خاک، ریشه و ساقه و شکستن طول شیب به قسمت‌های کوتاه‌تر توسط ردیف شاخه‌ها استفاده کرد. از مزایا و فواید این تکنیک مقاومت در برابر لغزش و یا جابه‌جایی برشی، تنظیم میکروکلایمت[3] وکمک به جوانه‌زنی دانه است.

(ب)



(الف)

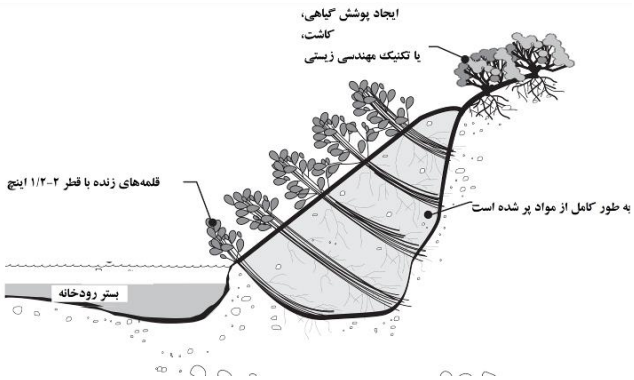
شکل ۶. نمایی از روش مهندسی زیستی Branch Packing (الف) و روش اجرای آن (ب)

1. Branch Packing
2. Brush Layering
3. Microclimate

Archive of SID

www.SID.ir

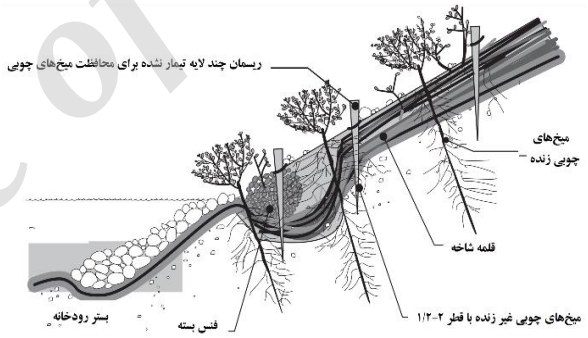
(ب)



(الف)

شکل ۷. نمایی از روش مهندسی زیستی Brush Layering (الف) و روش اجرای آن (ب)

(ب)



(الف)

شکل ۸. نمایی از روش مهندسی زیستی Brush Mattress (الف) و روش اجرای آن (ب)

۸. حصیر بوته[1]

حصیر بوته‌ای لایه‌ای از شاخه‌های خوابیده در کناره‌هاست، که می‌تواند یک پوشش فوری برای آنها فراهم کند. این روش در دریاچه‌ها نیز مؤثر است. به‌طور معمول، آن را با یک ثبات مانند سنگ، ریشهٔ کهنه، فنس، فیبر نارگیل و یا پوشش‌های درخت ثابت نگه می‌دارند. تأثیر آن در جریان تند و سریع به‌خوبی قابل مشاهده است. این روش شرایط را برای رشد گیاه مادری فراهم می‌کند، همچنین سبب فرم فوری و پوشش محافظ روی کنارهٔ رودخانه و تماس ساقه با خاک می‌شود.

۹. رول الیاف نارگیل[2]

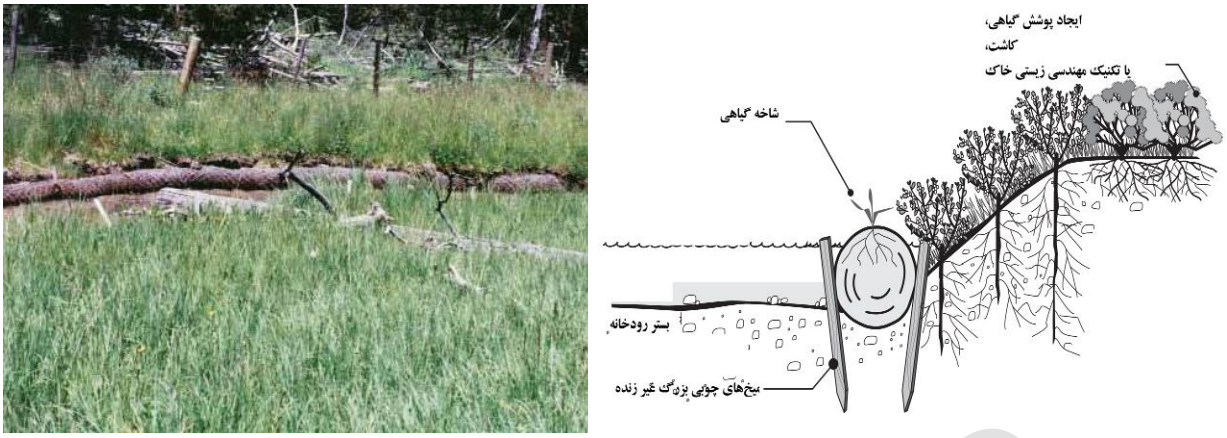
رول الیاف نارگیل برای محافظت از پنجهٔ کناره‌ها استفاده می‌شود، این روش ساختار استوانه‌ای دارد که متشکل از الیاف پوستهٔ نارگیل همراه با ریسمان چندلایه‌ای است و از فیبر نارگیل بافته شده است. قطر و طول آن ۲۰ فوت و طول عمر آنها حدود ۶ تا ۱۰ سال است (شکل ۹). از این روش به‌منظور محافظت دامنه از لنداسلایدهای کم‌عمق و یا ضعیف و تلهٔ رسوب‌گیر استفاده می‌شود.

1. Brush Mattress

2. Coconut Fiber Roll

Archive of SID

www.SID.ir



(ب) (الف)

شکل ۹. نمایی از روش مهندسی زیستی Coconut Fiber Roll (الف) و روش اجرای آن (ب)

(ب) (الف)

شکل ۱۰. نمایی از روش مهندسی زیستی Hay Bale Breakwater (الف) و روش اجرای آن (ب)

۱۰. های‌بال موج‌شکن[1]

های‌بال‌های استوانه‌ای، به موازات ساحل، در مخازن و دریاچه‌ها برای شکستن امواج و بهبود خط رویشی ساحلی ایجاد می‌شوند. وزن آنها هنگامی که خشک هستند ۱۸۰۰ پوند و زمانی که مرطوب هستند ۲۵۰۰ پوند است. قطر آنها ۷ فوت است و برای ساختشان نمی‌توان از نی استفاده کرد (شکل ۱۰). طول عمر آن حداقل ۵ سال است و از این روش برای محافظت آثار باستانی گران‌قیمت استفاده می‌شود.

۱۱. کاشت مشترک[2]

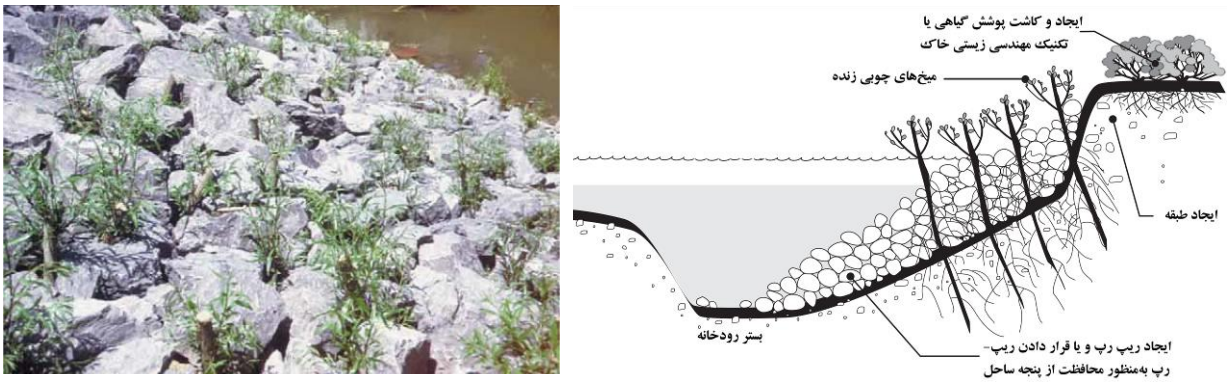
کاشت مشترک همراه با سنگ‌چینی ممکن است زیستگاه جدیدی فراهم کند. در این روش ریشه‌های گیاهان به نگهداری خاک در زیر سنگ‌چین‌ها کمک می‌کند که با قراردادن الوارهای زنده داخل مفاصل یا فضاهای باز بین سنگ‌های موجود و یا زمانی‌که سنگ در جهت شیب قرار می‌گیرد، ایجاد می‌شود (شکل ۱۱). این روش سبب حفاظت فوری و مؤثر و کاهش فرسایش در کناره‌ها و بهبود زهکشی با ازبین‌بردن رطوبت خاک و نیز موجب کاهش انرژی در طول مرحلهٔ سیل می‌شود.

1. Hay Bale Breakwater

2. Joint Planting

Archive of SID

www.SID.ir



(ب) (الف)

شکل ۱۱. نمایی از روش مهندسی زیستی Joint Planting (الف) و روش اجرای آن (ب)

(ب) (الف)

شکل ۱۲. نمایی از روش مهندسی زیستی Live Fascine (الف) و روش اجرای آن (ب)

۱۲. فنس‌های زنده[1]

فنس‌های زنده به کنترل فرسایش سطحی و جوانه‌زنی ریشه به‌منظور ایجاد ثبات کناره‌ها کمک می‌کند. فنس‌های استفاده‌شده یک بستهٔ بزرگ از بوته‌ها هستند که به صورت استوانه‌ای استفاده می‌شوند. فنس‌ها در خندق‌های کم‌عمق روی شیب خشک و در گوشه‌ها روی یک شیب مرطوب به‌منظور کاهش فرسایش و لغزش خاک قرار داده می‌شوند (شکل ۱۲). از این روش معمولاً به‌منظور نشانه‌گذاری سطح بالای آب و سطح پر مخزن به‌جز در مناطقی که زهکشی کوچک دارند، استفاده می‌شود. همچنین سبب محافظت دامنه‌ها از لغزش‌های کم‌عمق می‌شود.

۱۳. بسته‌های زنده[2]

بسته‌های زنده روش دیگری است که یک پوشش نفوذپذیر تشکیل می‌دهند و می‌توانند سرعت جریان و دلایل ایجاد رسوب در منطقهٔ حفاظت‌شده را کاهش دهند. در این روش ریشهٔ قلمه‌های زنده به ایجاد ثبات در کناره‌ها کمک می‌کند. بسته‌های زنده می‌توانند در حاشیهٔ بزرگراه‌ها و کناره‌های رودخانه در الگوهای مربع یا مثلثی ایجاد شوند (شکل ۱۳).

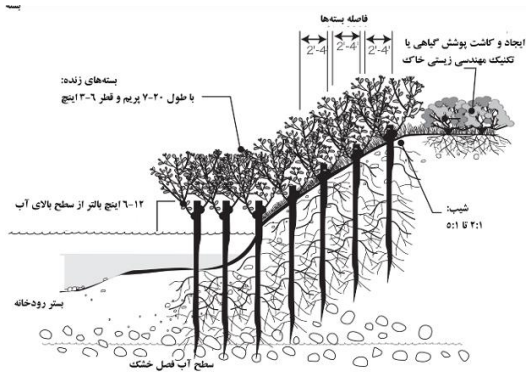
1. Live Fascine

2. Live Post

Archive of SID

www.SID.ir

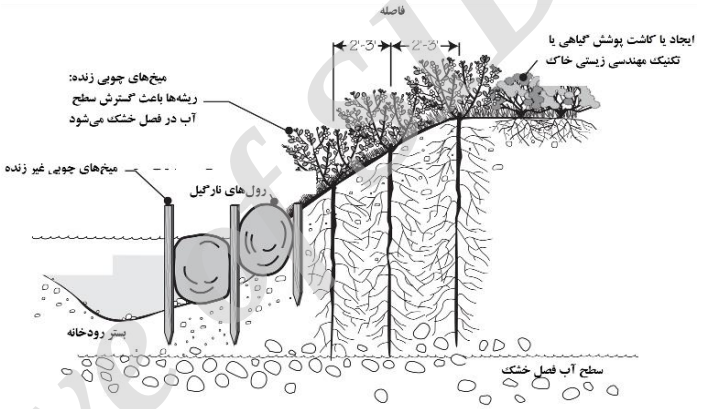
(ب)



(الف)

شکل ۱۳. نمایی از روش مهندسی زیستی Live Post (الف) و روش اجرای آن (ب)

(ب)



(الف)

شکل ۱۴. نمایی از روش مهندسی زیستی Live Stake (الف) و روش اجرای آن (ب)

۱۴. میخ چوبی زنده[1]

میخ چوبی زنده روشی است که از ریشه‌های زندهٔ درختان استفاده می‌کند. این ریشه‌های زنده با اتصال ذرات خاک به هم و با گرفتن رطوبت اضافی خاک، سبب تثبیت خاک در منطقهٔ استقرار می‌شوند. در این مورد استفاده از گونه‌های بید می‌تواند مفید باشد. بیشتر گونه‌های بید پس از نصب و راه‌اندازی، به‌سرعت ریشه دوانده و شروع به خشک‌کردن کناره‌های با رطوبت اضافی می‌کند. قلمه‌های ریشه‌دار داخل زمین مستقر و یا کوبیده می‌شوند، این روش اگر به‌درستی به‌کار گرفته شود، میخ‌های چوبی ریشه‌دار می‌شوند و رشد می‌کنند (شکل ۱۴).

۱۵. موج‌شکن کندهٔ درختی[2]

موج‌شکن کندهٔ درختی در دریاچه‌ها و مخازن به‌منظورکاهش امواج، انحراف نخاله‌ها و به‌دام‌اندازی رسوبات استفاده می‌شود. موج‌شکن کندهٔ درختی یا به‌صورت شناور ساخته می‌شود و یا به بستر دریاچه متصل است (شکل ۱۵). اگر این سازه به بستر دریاچه متصل باشد، سرعت تله‌اندازی رسوبات بیشتر است.

۱۶. حصیرهای گیاهی[3]

حصیر گیاهی روشی است که می‌تواند نوار فوری از پوشش علفی را در سطح خاک فراهم کند. از این تکنیک می‌توان در اطراف دریاچه و یا در امتداد جریان آرام استفاده کرد. شکل ۱۶ نمایی از روش حصیر گیاهی را نشان می‌دهد که

1. Live Stake

2. Log Breakwater
3. Plant Mat

Archive of SID

www.SID.ir

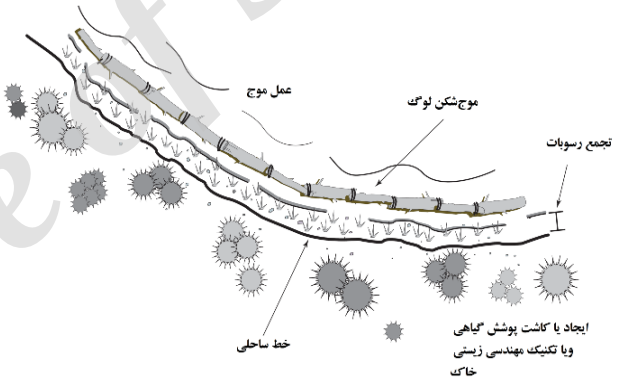
گیاه علفی، مانند جگن، روی یک حصیر هیدروپونیک رشد می‌کند و پس از آن به محل پروژه منتقل می‌شود. برخی شرکت‌ها دانه‌های وحشی را جمع‌آوری و به سایت منتقل می‌کنند، اما زمان زیادی برای جمع‌آوری و جوانه‌زدن دانه‌ها نیاز است. از مزایای این روش حمل‌ونقل آسان و وزن سبک آن است و از آن می‌توان به‌عنوان تلهٔ رسوب‌گیر بهره برد و از فرسایش سطحی جلوگیری کرد.

۱۷. رول‌های گیاهی[1]

در این روش پوشش گیاهی علفی در کنارهٔ رودخانه و یا ساحل دریاچه به‌منظور فراهم‌کردن ثبات ساختار آنها ایجاد می‌شود و در سایت‌های ساحلی برای تعمیر سریع نقاط آسیب‌دیده مفید است. در این روش انبوهی از گیاهان به حالت رول‌مانند همراه با کیسه‌های پارچه‌ای و ریسمان محکم قرار داده می‌شوند (شکل ۱۷). قطر این رول‌ها ۲ تا ۱۵ فوت است. آنها را می‌توان به‌تنهایی یا با استفاده روش‌های دیگر مانند در پایهٔ حصیرهای شاخه‌ای به جای فنس زنده استفاده کرد. از مزایای این روش فراهم‌کردن محیط زیستی مناسب، حفاظت فوری از فرسایش و ارزان‌بودن آن است.

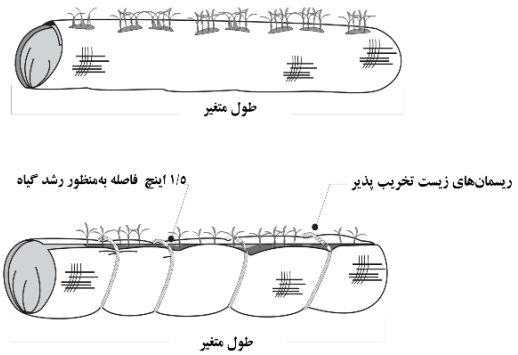
۱۸. ساقه‌های ریشه‌دار[2]

ساقه‌های ریشه‌دار روشی است که پوشش برگی فوری را فراهم می‌کند و زیستگاه را بهبود می‌بخشد. ساقه‌های ریشه‌دار یک درخت پیوندی، درختچه‌های چوبی، یا گیاه علفی است که با ریشه ایجاد شده است و می‌توان آن را با قلمهٔ ریشهٔ بسته‌بندی‌شده، ریشهٔ لخت، گیاهان کانتینری و یا چمن و یا جگن در نزدیکی محل پیوند زد. از این روش زمانی می‌توان استفاده کرد که جریان کمتر از ۳ فوت‌مکعب در ثانیه است. از تأثیرات این روش حفاظت فوری از کناره‌ها و فراهم‌کردن شرایط رشد برای گیاهان اطراف است.



شکل ۱۵. نمایی از روش مهندسی زیستی **Log Breakwater**

شکل ۱۶. نمایی از کاربرد روش مهندسی زیستی **Plant Mat**



شکل ۱۷. نمایی از روش مهندسی زیستی **Plant Roll**

شکل ۱۸. نمایی از روش مهندسی زیستی **Rooted Stock** بعد از مرحلهٔ اجرا

1. Plant Roll
2. Rooted Stock

Archive of SID

www.SID.ir

۱۹. تنه‌های ریشه‌ای[1]

تنه‌های ریشه‌ای روشی است که کناره‌های رودخانه را با نگه‌داشتن جریان کناره‌ها محافظت می‌کند. این روش در ترکیب با دیگر تکنیک‌های مهندسی زیستی خاک سبب ایجاد ثبات کناره‌ها استفاده می‌شود. همچنین این روش برای مبارزه با فرسایش بادی و موج در دریاچه‌ها استفاده می‌شود. طول عمر کاربرد این روش محدود است و برای ارتقا، ایجاد و بهبود پرورش ماهی و نیز زیستگاه تخم‌ریزی استفاده می‌شود.

۲۰. پوشش کنده و درخت[2]

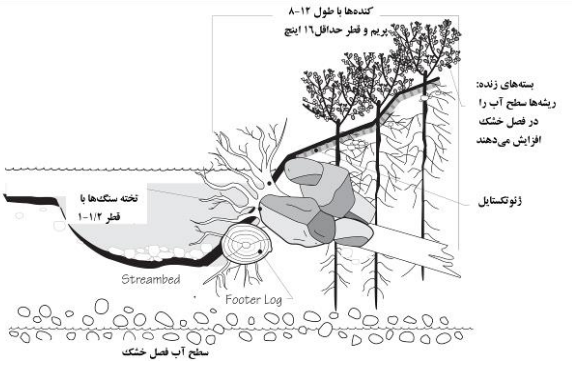
پوشش کنده و درخت نیز روشی است که در محافظت کناره‌ها استفاده می‌شود. در این روش شاخه‌ها حذف نمی‌شوند. در موارد خاص، ممکن است برخی شاخه‌ها حذف شوند، این امر انباشته‌شدن کنده‌ها را راحت‌تر می‌کند. شاخه‌ها سبب کاهش میزان جریان و گرفتن رسوب می‌شوند و همچنین زیستگاهی برای ماهی‌ها فراهم می‌کنند. این روش نباید در بالادست یا نزدیکی پل و یا سازه‌های دیگری استفاده شود که قابلیت زیادی برای آسیب‌رساندن به پایین‌دست دارند. از مزایای روش یادشده این است که استفاده از آن ارزان و مواد لازم برای ساخت آنها در دسترس است.

۲۱. بسته‌های خندقی یا چاله‌ای[3]

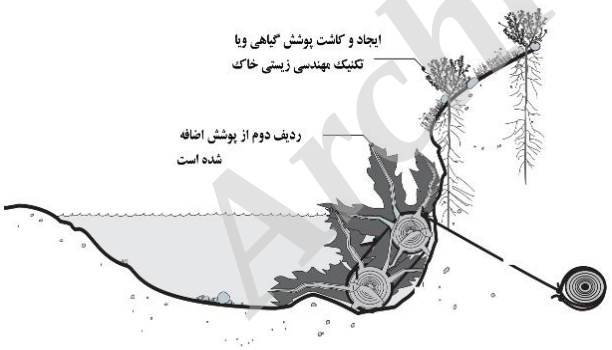
بسته‌های خندقی روشی است که برای شکستن نیروی آب در حال حرکت و به‌دام‌اندازی رسوب استفاده می‌شود و قلمه‌ها و یا شاخه به‌صورت عمودی در حفره‌ها قرار داده می‌شوند. در روش یادشده این نکته ضروری است که قلمه باید از همان منطقه، مثلاً ساحل و یا دشت سیلابی انتخاب شده باشد (شکل ۲۱). معمولاً در سطح بالای آب و یا سطح پر برای ایجاد ثبات در پنجه و فراهم‌کردن زیستگاه مناسب برای ماهی استفاده می‌شود.

۲۲. شبکه‌بندی رویش‌یافته[4]

شبکه‌بندی رویش‌یافته روشی است که برای بازسازی کنارهٔ رودخانه استفاده می‌شود. این روش شبیه روش لایه‌لایه قراردادن بوته است با این تفاوت که منسوجات زیستی[5] کنترل فرسایش در اطراف هر طبقهٔ خاک پیچیده هستند (شکل ۲۲). در این روش قلمه‌های شاخهٔ زنده بین لایه‌های مختلف خاک گذاشته می‌شوند، اما باید توجه داشت که کاربرد این روش فقط در شرایط جریان کم ممکن است.



شکل ۱۹. نمایی از روش مهندسی زیستی Root Wad

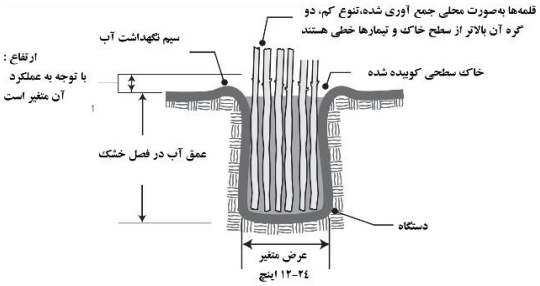


شکل ۲۰. نمایی از روش مهندسی زیستی Tree and Log Revetment

1. Root Wad
2. Tree and Log Revetment
3 .Trench Packs
4. Vegetated Geogrids
5. Geotextiles

Archive of SID

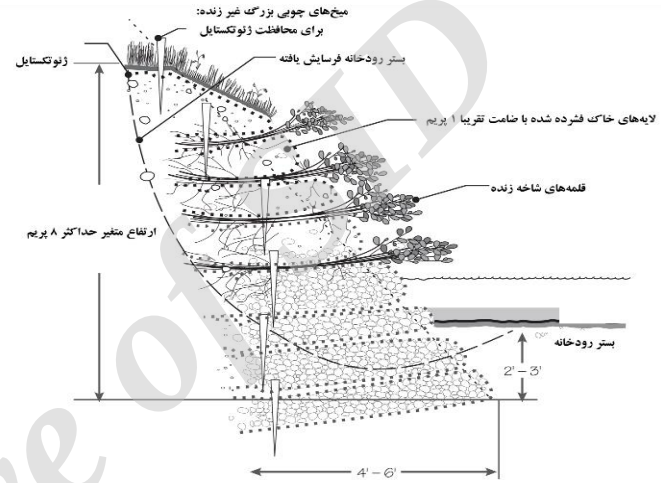
www.SID.ir



(الف)

(ب)

شکل ۲۱. نمایی از روش مهندسی زیستی Trench Packs (الف) و روش اجرای آن (ب)



(الف)

(ب)

شکل ۲۲. نمایی از روش مهندسی زیستی Vegetated Geogrids (الف) و روش اجرای آن (ب)

سیستم‌های مهندسی زیستی خاک در شیب‌های تند

در ادامه روش‌های مهندسی زیستی خاک در مدیریت آب که توسط گرای و همکارانش (۱۹۸۰)؛ اسچیچتل (۱۹۸۰)؛ سوتری و گری (۱۹۹۲)؛ لوایز و اوگگ (۱۹۹۳)؛ گری و سوتری (۱۹۹۶)؛ اسچیچتل و استرن (۱۹۹۷)، پولستر (۱۹۹۸) و لوایز (۲۰۰۰)؛ لی و همکارانش (۲۰۰۶)؛ ایوت و همکارانش (۲۰۰۹)؛ لان و همکارانش (۲۰۱۲)؛ دهیتال و تانگ (۲۰۱۶) ارائه شده است بیان می‌شود [۸، ۱۸، ۳، ۱۷، ۱، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۷، ۱۰، ۹].

۱. حصارهای دیواره‌ای[1]

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. این روش در مکان‌هایی استفاده می‌شود که شرایط رطوبت منطقه به استقرار قلمه‌های زنده اجازه دهد. سایت‌هایی مناسب هستند که در آن خاک بافت خوبی برای تأمین رطوبت کافی در تابستان دارد و یا نشت از آب‌های زیرزمینی به‌منظور تأمین رطوبت مناسب برای نصب و راه‌اندازی حصارهای دیواره‌ای وجود داشته باشد. (شکل ۶).

۲. لایه‌های بوته‌ای اصلاح‌شده[2]

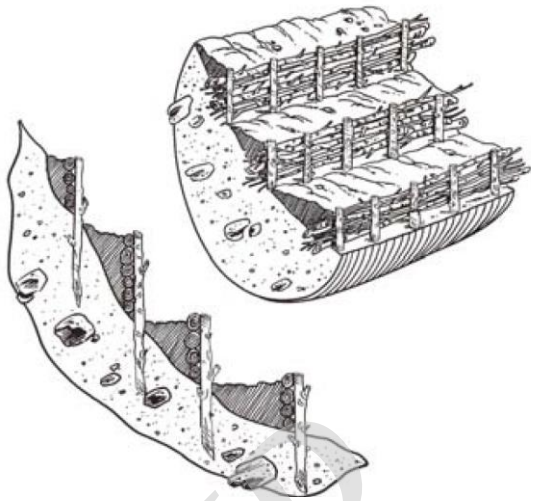
این روش از تنه‌های درختان و یا تخته‌های کوچک (با طول حداکثر ۲ متر) ساخته می‌شوند. استفاده از تنه‌های درختان و یا تخته‌هایی برای حمایت از لایهٔ بوته‌ای مزیتی است برای تراس‌های کوچک ایجادشده که می‌تواند سنگ‌های افتاده‌شده را جمع‌آوری و از افتادن آنها به پایین شیب جلوگیری کند و در نهایت مانع تخریب پوشش گیاهی شود (شکل ۷).

1. Wattle Fences

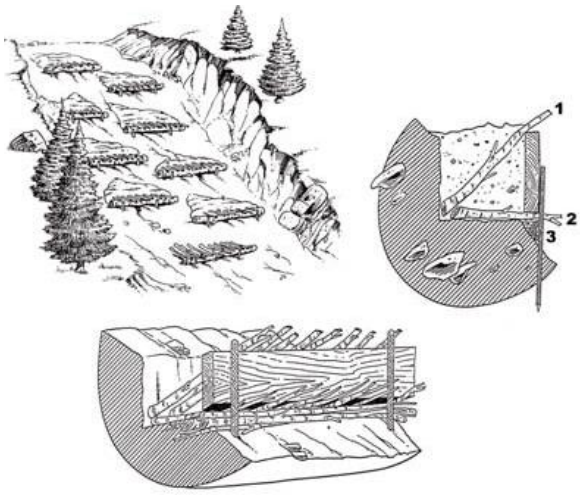
2. Modified Brush Layers

Archive of SID

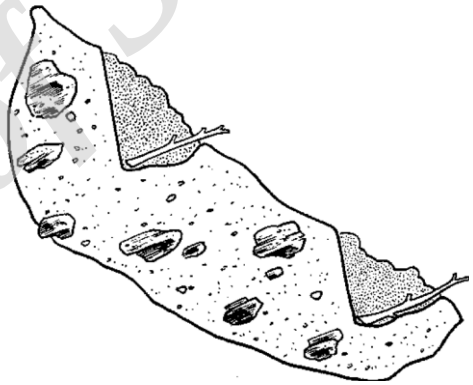
www.SID.ir



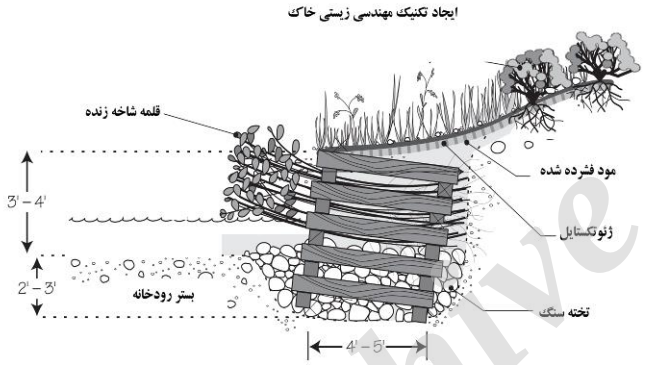
شکل ۲۳. نمایی از روش مهندسی زیستی Wattle Fences



شکل ۲۴. نمایی از روش مهندسی زیستی Modified Brush Layers



شکل ۲۵. نمایی از روش مهندسی زیستی Brush Layers in a Cut



شکل ۲۶. نمایی از روش مهندسی زیستی Live Cribwall

۲. لایه‌های بوته‌ای زنده در یک شکاف[1]

لایه‌های بوته‌ای زنده در یک شکاف، ردیف‌هایی از قلمه‌های زنده هستند که به‌صورت افقی با طول ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در درون شکاف با استفاده از مواد منطقه دفن می‌شوند (شکل ۸). این لایه‌ها با ایجاد سکوهایی روی شیب و قراردادن قلمه‌ها به نسبت ۷ به ۸ در زیر زمین احداث می‌شوند.

۳. دیوار تخت زنده[2]

دیوار تخت زنده روشی است که در بازسازی کناره برای دامنه‌های تقریباً عمودی استفاده می‌شود که از سنگ‌های جعبه‌ای به‌هم‌پیوسته و یا چوب تشکیل شده است. لایه‌هایی از قلمه‌های زندهٔ درختان داخل ساختار موجود ریشه‌دوانی می‌کند و در جهت شیب گسترش می‌یابد. این روش برای شیب‌هایی مناسب است که دیوارهٔ پایینشان نیاز به ثبات یا کاهش شیب داشته باشد. در ضمن این روش به فضای محدودی نیاز دارد و برای کنترل فرسایش کناره‌ها بر اثر جریان سریع مفید است (شکل ۱۲).

نتیجه‌گیری

مهندسی زیستی خاک ابزاری عالی برای تثبیت خاک نامناسب است، اما این روش‌ها نباید به‌عنوان تنها راه‌حل درمان بسیاری از مشکلات فرسایش خاک مشاهده شوند. مهندسی زیستی خاک تنها ابزار مناسب و منحصربه‌فرد برای همهٔ مناطق مناسب نیست. برای مثال، در برخی مناطق با فرسایش سطحی، توزیع چمن و مخلوط دانه‌گراس‌ها و

1. Brush Layers in a Cut
2. Live Cribwall

Archive of SID

www.SID.ir

فورب‌ها، مالچ‌پاشی آبی و یا گسترش یک لایهٔ محافظ از نی عاری از علف هرز ممکن است رضایت‌بخش و کم‌هزینه‌تر از استفاده از روش‌های مهندسی زیستی باشد [۳]. پروژه‌های مهندسی زیستی معمولاً نیاز کمتری به تجهیزاتی مانند بیل مکانیکی دارد. نصب و راه‌اندازی سیستم‌های مهندسی زیستی خاک در حالی که مشکل مناطق از نظر فرسایش کم باشد، موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود و تأثیرات آن بر جاده و مناطق مجاور آن در کمترین مقدار خود خواهد بود [۳]. استفاده از مواد گیاهی بومی و بذرهای بومی موجود در منطقه می‌تواند با توجه به موجودیت آسان و نیز سازگاری با شرایط آب و هوا و خاک منطقه هزینه‌ها را کاهش دهد. روش‌های مهندسی زیستی خاک اغلب در سایت‌های با حساسیت زیاد به فرسایش و یا شیب‌دار که در آن امکان تردد ماشین‌آلات سنگین امکان‌پذیر نیست، کاربردی است. مهندسی زیستی خاک همچنین می‌تواند چشم‌انداز زیبایی را فراهم کند و ارزش تفرجگاهی منطقه را بهبود بخشد [۳].

منابع

[1]. Schiechtl HM, Stern R. Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. Blackwell Science Publications. ISBN: 0-632-04061-0. 1997.

[2]. Gray DR, Leiser AT. Biotechnical slope protection and erosion control. New York: Van Nostrand Reinhold Company. New York. 1982..

[3]. Lewise L, 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. 2000; 44 p.

[4].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.

[5]. Finney KP. Bioengineering solutions, A tool for education. Eugene OR: University of Oregon. Thesis. 1993.

[6].Stiles R Engineering with vegetation. Landscape Design. 1988 172:57–61.

[7]. Gray DH, Leiser TA, White CA. Combined vegetative structural slope stabilization civil engineering. 1980; 50(1):82-85.

[8].Evette A, Labonne S, Rey F, Liebault F, Jancke O, Girel J. History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe. Environmental Management (2009): 43,972–984.

[9].Lan G, Jiarong G, Kaili G, Ye K, Xiaobo Z, Bing W. Brush Mattress – A Soil Bioengineering Technique for Ecological Riverbank Construction. Environmental and Biological Sciences (2012): 13-14

[10].Dhital Y, Tang Q. Soil bioengineering application for flood hazard minimization in the foothills of Siwaliks, Nepal. Ecological Engineering 74 (2015): 458–462.

[11] .Schlu¨ter U, Zur Geschichte der Ingenieurbiologie. Landschaft Stadt, (1984) 16:2–9.

[12]. Binkley D, Cormack KJ, Fredriksen, RL. Nitrogen accretion and availabilityin some snowbush ecosystems. Forest Sci. 1982; 28(4):720-724.

[13]. Schiechtl H. Bioengineering for land reclamation and conservation. Edmonton, Canada. The University of Alberta Press. 1980.

[14]. Sotir RB, Gray DH. Soil bioengineering for upland slope protection and erosion reduction. Engineering Field Handbook. Soil Conservation Service. Chapter 18. 1992.

[15]. Lewis EA, Ogg LW. Soil bioengineering project descriptions. Unpublished report for Olympic National Forest, Hood Canal Hanger District. 1993.

[16]. Gray DR, Sotir RB. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization. John Wiley andSons, Inc. 1996.

[17]. Polster Environmental Services. Soil bioengineering for forest land reclamation and stabilization. British Columbia Ministry of Forests. 1998.

[18].Li X, Zhang L, Zhang Z. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. Ecological Engineering 26 (2006): 304–314.

[19]. Leiser AT, Nussbaum JJ, Kay B, Paul J, Thornhill W. Revegetation of disturbed soils in the tahoe basin. California Department of Transportation, Sacramento, California. 1974.

Archive of SID

www.SID.ir