

ارزیابی تاثیر سیستم ریشه‌ای کلهو در مقاومسازی خاک با استفاده از شاخص‌های RDR و RDDI

محسن شریعت‌جعفری^{۱*}، محمدهادی داودی^۲، مهرداد صفائی^۳ و افشین پرتوی^۴
^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ^۲ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ^۳ مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و ^۴ مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۱

چکیده

استقرار و توسعه گیاهان سریع‌الرشد با سیستم ریشه‌ای موثر اقدامی مثبت در کاهش فرسایش توده‌ای زمین در شیب‌های ناپایدار است. تاثیر سیستم‌های ریشه‌ای گونه‌های مختلف در مقاومسازی خاک‌ها و کاهش فرسایش تابع ویژگی‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی ریشه‌ها است. در پژوهش انجام شده بر روی یکی از گونه‌های غالب جنگل‌های شمال ایران به نام کلهو یا خرمندی (*Diospyros lotus*)، برای اولین بار تاثیر سیستم ریشه‌ای گونه مذکور در مقاومسازی خاک با انجام بررسی‌های میدانی، نمونه‌برداری از خاک مسلح با ریشه گیاه و انجام تست‌های آزمایشگاهی بررسی شد. بر اساس نتایج اخذ شده چسبندگی و مقاومت برشی خاک مسلح به ریشه در یک گونه، به‌طور عمده تابع تراکم و قطر ریشه‌ها است. ارزیابی نتایج آزمایشات انجام شده با دو شاخص RDR و RDDI نشان می‌دهد، سیستم ریشه‌ای گونه جنگلی کلهو باعث افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک به‌ترتیب به بیش از ۲۰۷ و ۳۵۰ درصد شده و این فرایند نقش موثری در مقاومسازی خاک و کنترل فرسایش توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌های کم عمق دارد.

واژه‌های کلیدی: خاک مسلح، زمین‌لغزش، گونه جنگلی، مقاومت برشی خاک، *Diospyros lotus*

مقدمه

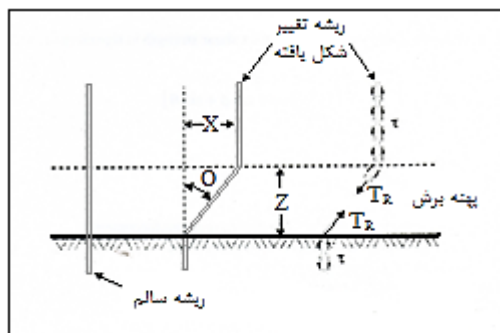
مختلف تابع ویژگی‌های مقاومتی، ژئومتری و دانسیته ریشه است. عوامل اکولوژیکی نیز بر مقاومت کششی ریشه‌ها تاثیر می‌گذارند. بر اساس نتایج پژوهش‌های Greenway (۱۹۸۷)، در یک خانواده گیاهی اختلاف مقاومت بین ریشه‌های همسان گونه‌های مختلف آن می‌تواند زیاد باشد. همچنین، برای قطعاتی با قطر مختلف از یک گونه، مقاومت کششی متفاوت خواهد بود.

در پژوهش‌های Nilaweera (۱۹۹۴)، مقاومت کششی ریشه درختان مختلف با افزایش قطر ریشه کاهش یافته است. نتایج پژوهش‌های دیگر محققین

مسلح‌کننده‌های خاک مانند ژئوسنتتیک‌ها شامل ژئوتکستایل‌ها، ژئونت‌ها، ژئوگریدها، ژئوکمپوزیت‌ها، ژئوپایپ‌ها، ژئوفوم‌ها و مجموعه تقویت‌کننده‌های طبیعی مانند سیستم‌های ریشه‌ای با بهبود خواص مکانیکی خاک باعث افزایش مقاومت خاک در برابر تنش‌های برشی می‌شوند. در بخش منابع طبیعی، در بین روش‌های متنوع بهسازی خاک، مقاومسازی خاک با استقرار و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه به دلایل فنی و زیست محیطی در اولویت قرار دارد. کیفیت تقویت‌کنندگی سیستم‌های ریشه‌ای در گونه‌های

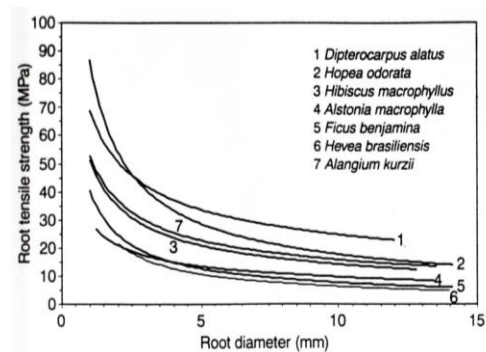
همکاران (۲۰۰۷)، Shafaeibajestan و همکاران Salimigolshaekhi (۲۰۰۳) و Shariatjafari و همکاران (۲۰۱۲) افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه را در گونه‌های مختلف گزارش نموده‌اند. یکی از منابع پایه و مرجع در این رابطه پژوهش‌های Wu و همکاران (۱۹۷۹) می‌باشد. آن‌ها تئوری شیب حدی را برای خاک مسلح شده با ریشه توسعه دادند. مدل Wu برای ارزیابی پایداری شیب‌ها در خاک‌های کم عمق در مناطق کوهستانی آلاسکا تدوین و مورد استفاده واقع شد. در مدل برشی Wu فرض شده است که یک ریشه یا فیبر انعطاف‌پذیر در بین لایه‌های یک خاک آماده گسیختگی، قرار گرفته است. در این مدل ریشه با تبدیل تنش‌های برشی موجود در خاک به مقاومت کششی، در برابر تغییر شکل و گسیختگی خاک مقاومت می‌کند (شکل ۲). در این شکل، Z ضخامت مقطع برشی، X جابه‌جایی افقی ریشه، θ زاویه اعوجاج برشی ریشه، T_R مقاومت کششی ریشه و τ اصطکاک سطح ریشه با خاک است. در استفاده از این مدل فرض بر این است که خاک از نوع ریزدانه و چسبنده است و زاویه اصطکاک داخلی ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.

مجموع نتایج پژوهش‌های انجام شده در دنیا بر افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه نسبت به خاک بدون پوشش دلالت دارند، اما کیفیت این افزایش مقاومت، تابع متغیرهای خاک، ریشه و شرایط محیطی حاکم بر این سیستم است. نتایج ارزیابی کمی تغییرات مکانیکی خاک در نتیجه حضور سیستم ریشه‌ای گیاه، بهبود فرایند تصمیم‌گیری در پروژه‌های زیست‌محیطی را به دنبال دارد.



شکل ۲- مدل مقاومت‌سازی خاک به وسیله ریشه

مانند Nilaweera و Nutalaya (۱۹۹۹)، نیز حاکی از این مسئله است (شکل ۱).



شکل ۱- ارتباط بین قطر و مقاومت کششی ریشه در گونه‌های مختلف

در بررسی‌های O'loughlin (۱۹۸۴)، ریشه‌هایی با قطر کمتر از ۲۰ میلی‌متر (ریز ریشه‌ها) نسبت به ریشه‌های قطورتر، تاثیر بیشتری در مسلح کردن و افزایش مقاومت برشی خاک دارند. بر اساس گزارشات منتشر شده محققین متعدد، از بین رفتن پوشش گیاهی بر اثر پدیده‌هایی مانند جنگل‌زدایی و حذف سیستم ریشه از محیط خاک منجر به کاهش چسبندگی و مقاومت برشی سیستم خاک مسلح شده با ریشه می‌شود. با قطع درختان مقاومت کششی ریز ریشه‌ها با نرخ متوسط ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلوپاسکال در ماه کاهش می‌یابد (O'loughlin و Zimer، ۱۹۸۳).

در بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی O'loughlin و همکاران (۱۹۸۲)، بر روی نمونه خاک‌های منطقه جنگلی راش (Beech) در New Zealand پس از سه سال از قطع درختان، چسبندگی خاک از ۶/۶ کیلوپاسکال در خاک مسلح با ریشه زنده راش به ۳/۳ کیلوپاسکال در نمونه خاک‌هایی با ریشه‌های پوسیده شده در بخش جنگل‌زدایی شده تقلیل یافته است. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در این مورد محسوس نبوده و لذا، مقاومت برشی خاک معادل با چسبندگی است. محققینی مانند Wu و همکاران (۱۹۸۸)، Tengbeh (۱۹۸۹)، Pollen (۲۰۰۷)، Comino و Marengo (۲۰۱۰)، Ji و همکاران (۲۰۱۲)، Giadrossich و همکاران (۲۰۰۹)، Bischetti و همکاران (۲۰۰۷)، Davoudi و Docker (۲۰۰۸)، Hubble و Davoudi (۲۰۰۸)

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه و گونه منتخب: گونه جنگلی کلهو یا خرمندی (*Diospyros lotus*) یک گونه سریع‌الرشد و متمایل به استقرار و تکثیر در پهنه‌های تخریب شده لغزشی، خزشی و نهشته‌های هیدرومورف با سیستم زهکشی درهم ریخته است. این گونه علاوه بر خاک‌های عمیق، در خاک‌های کم عمق روی دامنه‌ها و کوه‌رفت‌های مستعد لغزش به‌ویژه در شیب‌های شمالی به راحتی مستقر شده و تکثیر می‌یابد. بذر آن از مواد غذایی کافی برای استقرار ریشه برخوردار است و سیستم ریشه‌ای آن قابلیت جست‌دهی بسیار بالایی دارد، لذا به سرعت در این مناطق استقرار یافته، تکثیر شده و به خاک‌های خیلی غنی نیاز نداشته و در هر خاکی مستقر می‌شود. نسبت به رطوبت بالا در زمستان و شرایط خشک در تابستان بردبار است و به‌طور نسبی نسبت به دیگر گونه‌های مشابه، دارای بردباری بیشتری در مقابل خشکی است. تنش کم آبی را به خوبی تحمل نموده و در جذب آب توده که از عوامل اصلی ایجاد لغزش و ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد، بسیار فعال عمل می‌کند. بهترین شرایط رویش برای این گونه در خاک‌هایی با زهکش خوب و لومی با pH ۵/۸ تا ۶/۵ می‌باشد. این گونه نسبت به خاک‌های ماسه‌ای و رسی نیز بردبار است.

از لحاظ منظرسازی و سوددهی اقتصادی نیز مورد توجه بوده و این ویژگی در جلب مشارکت مردم و بخش خصوصی برای توسعه و نگهداری آن موثر است. در مجموع این ویژگی‌ها کلهو را گونه‌ای مناسب برای تثبیت بیولوژیک مناطق تخریب شده لغزشی قرار می‌دهد. کلهو در بسیاری از کشورها و در مناطق جنگلی واقع در دامنه‌های شمالی البرز در شمال ایران پراکنش دارد.

با توجه به این ویژگی‌ها گونه مذکور انتخاب و بررسی‌های میدانی و تهیه نمونه‌های خاک مسلح با ریشه کلهو با تمهیدات خاص در یک پهنه لغزشی متشکل از واحدهای ماری و ماسه‌سنگی و نهشته‌های کوه‌رفتی حاصل از فرسایش و جابه‌جایی این واحدها در حوضه بابل‌رود میانی (کد ۱۵۲۲۲ تماب) در استان مازندران انجام شد.

روش پژوهش: در هنگام جابه‌جایی خاک بر اثر خزش و یا لغزش زمین، نیروهای کششی وارد بر ریشه‌ها به مقاومت کششی تبدیل شده، مانع از گسیختگی خاک می‌شوند. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که امتداد ریشه‌ها موازی با سطح برش و گسیختگی خاک نباشند و با آن زاویه تشکیل دهند و در بهترین حالت عمود بر سطح برش باشند.

مدل تحلیل برشی خاک مسلح شده به‌وسیله ریشه که توسط Wu و همکاران در سال ۱۹۷۹ ارائه شد، از مبانی این پژوهش است که در مقدمه نیز به آن اشاره شد، تاثیر تقویت‌کنندگی ریشه در قالب افزایش مقاومت برشی خاک در مقابل تنش‌های برشی تحلیل می‌شود. در این مدل فرض بر این است که افزایش مقاومت برشی توده خاک مسلح تابع اصطکاک ایجاد شده بین خاک و ریشه می‌باشد. با توجه به مبانی فوق‌الذکر تهیه نمونه‌های خاک مسلح شده با ریشه در منطقه و عملیات آزمایشگاهی با توجه به تمهیدات زیر انجام پذیرفت.

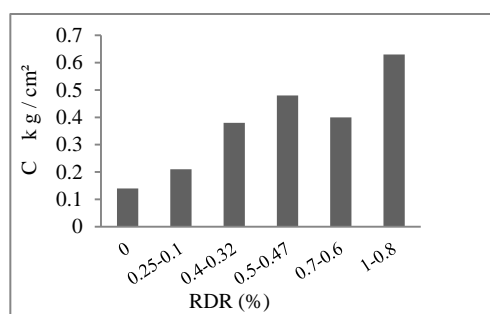
لازم است نمونه‌های دست‌نخورده خاک مسلح شده با ریشه، الزاما در برگزیده گستره‌ای از دانسیته ریشه‌ای متفاوت باشند و قطر ریزریشه‌ها بیشتر از پنج میلی‌متر نباشد. در هنگام تهیه نمونه دست‌نخورده از مقطع خاک به‌وسیله سیلندرهای استوانه‌ای، بافت خاک به هم نخورده و نمونه نشکند. زاویه قرارگیری سیلندر بر روی خاک باید به گونه‌ای باشد که به تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی با ریشه‌هایی تقریباً عمود بر جهت برش کمک نماید. رطوبت طبیعی خاک تا زمان آزمایش با روش مناسب حفظ شود.

آزمایشات برش مستقیم تحکیم یافته، زهکشی شده (CU) در آزمایشگاه بر روی ۳۴ نمونه خاک مسلح با دانسیته‌های مختلف از ریشه انجام شد. ابعاد نمونه‌های دست‌نخورده در تست برش مستقیم آزمایشگاهی در خاک‌های ریزدانه مسلح با ریز ریشه‌هایی با قطری کوچک‌تر از پنج میلی‌متر، ۶×۶ سانتی‌متر است. برای نمونه‌هایی با ریشه‌های قطور از تست برش صحرائی باید استفاده نمود و در هر مرحله پس از اتمام آزمایش و خروج نمونه از دستگاه، ریشه‌های موجود و برش خورده بر اثر جابه‌جایی شامل تعداد، طول، قطر و پس از آن وزن و حجم مجموع

ریشه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. از باقی‌مانده خاک هر قالب در تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک استفاده شد.

نتایج و بحث

تاثیر تراکم و قطر ریشه بر پارامترهای مقاومت برشی خاک: پارامترهای مقاومت برشی خاک شامل دو پارامتر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی (C و ϕ) می‌باشند که تحت تاثیر کیفیت حضور سیستم‌های ریشه‌ای گیاه تغییر می‌کنند. تنش‌های برشی موجود در خاک به‌وسیله ریشه‌های گیاه به مقاومت برشی منتهی می‌شوند. در نتیجه افزایش مقاومت برشی، فرایند گسیختگی و فرسایش خاک تعدیل می‌شود. نتایج برخی بررسی‌های موجود حاکی از آن است که آن بخش از سیستم ریشه‌ای گیاه که تاثیر مستقیم و موثر در فرایند افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک دارد، سیستم ریشه‌ای بهینه گیاه است و آن عبارت است از آن بخش از سیستم ریشه‌ای که حدوداً قطری معادل دو تا پنج میلی‌متر داشته باشد و آن را قطر بهینه ریشه (d_{opt}) می‌نامند.



شکل ۳- هیستوگرام تغییرات چسبندگی خاک (C) در مقابل شاخص قطر ریشه (RDR)

با استفاده از مقادیر شاخص قطر ریشه (RDR) نتایج حاصل از آزمایشات برش مستقیم نمونه‌های خاک مسلح شده به‌وسیله ریشه کلهو مرتب و دسته‌بندی شدند. شاخص قطر ریشه (Davoudi و همکاران، ۲۰۰۷) در هر نمونه خاک مورد آزمایش عبارت است از:

$$RDR = (d_{50}/d_{max}) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، d_{50} قطری است که ۵۰ درصد ریشه‌های موجود در نمونه برابر و یا کوچک‌تر از آن هستند و d_{max} قطر قشورترین ریشه موجود در نمونه خاک مورد آزمایش است. با توجه به اینکه در آزمایش برش مستقیم از نمونه‌های دست نخورده استفاده می‌شود، کنترل فراوانی درصد ریشه‌هایی با قطر مشخص در نمونه به‌طور کامل ممکن نیست و لذا در دسته‌بندی داده‌ها، نمونه‌های با مقادیر RDR نزدیک به هم در یک گروه قرار می‌گیرند.

مقادیر C و ϕ برای نمونه‌هایی واقع در کلاس‌هایی با RDR برابر با صفر (نمونه‌های بدون ریشه) و نمونه‌های خاک مسلح شده با ریشه گونه کلهو در کلاس‌های RDR برابر با ۰/۲۵-۰/۱، ۰/۴۰-۰/۳۲،

در شکل ۳، هیستوگرام با RDR برابر با صفر، نماد چسبندگی در خاک بدون ریشه است. بر اساس نتایج، حداکثر افزایش چسبندگی خاک مسلح شده به‌وسیله ریشه درخت کلهو (ΔC) مربوط به گروه ۱-۰/۸، است. افزایش چسبندگی خاک مسلح شده با ریشه درخت کلهو در این گروه نسبت به نمونه‌هایی فاقد ریشه از ۰/۱۴ به ۰/۶۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است. برای سایر گروه‌ها با مقادیر کمتر از یک درصد نتایج به شرح جدول ۱ می‌باشد.

افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک مسلح، پایداری خاک در برابر گسیختگی و فرسایش را به همراه دارد. با رسم هیستوگرام تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک ($\Delta\phi$) در مقابل شاخص RDR تاثیر قطر ریشه گونه کلهو بر مقدار پارامتر ϕ نیز بررسی شد (شکل ۴).

بر اساس منحنی‌های تغییرات پارامترهای مقاومت برشی در برابر شاخص RDR، (شکل ۴) عامل چسبندگی در خاک مسلح شده با ریزریشه‌های گونه کلهو نسبت به خاک بکر (بدون ریشه) حداکثر ۳۵۰

رفتاری عکس عامل چسبندگی دارد و تغییرات آن در مجموع بسیار کمتر از برد و دامنه تغییرات عامل چسبندگی است.

درصد افزایش نشان می‌دهد و در مقابل زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌های خاک مسلح به‌طور متوسط با ۲۹ درصد کاهش نسبت به خاک بدون ریشه،

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه خاک‌های گروه‌بندی شده بر اساس مقادیر شاخص قطر ریشه (RDR)

$\Delta\phi$ (درصد)	Δc (درصد)	رطوبت (درصد)	پارامترهای مقاومت برشی		گروه‌بندی خاک بر اساس شاخص RDR (درصد)
			ϕ (درجه)	C (kg/cm ²)	
-	-	۳۵/۴	۳۳/۸	۰/۱۴	۰
-۹	۵۰	۴۲	۳۱	۰/۲۱	۰/۱-۰/۳۵
-۴۳	۱۷۰	۴۰/۱	۲۳/۵	۰/۳۸	۰/۳۲-۰/۴
-۴۳	۲۴۰	۳۵/۶	۲۳/۵	۰/۴۸	۰/۴۷-۰/۵
۵/۶	۱۸۵	۳۲	۳۵/۷	۰/۴۰	۰/۶-۰/۷
-۲۱	۳۵۰	۳۲/۳	۲۷/۹	۰/۶۳	۰/۸-۱

می‌گذارد. حداکثر مقدار تنش برشی (τ) که خاک می‌تواند تحمل کند، بدون این‌که در راستای نیروی افقی وارده برش پیدا کند را مقاومت برشی خاک می‌نامند.

مقاومت برشی خاک اغلب با استفاده از مدل موهر-کلمب (معادله ۲) محاسبه می‌شود.

$$\tau = C + \sigma_n \times \tan \phi \quad (2)$$

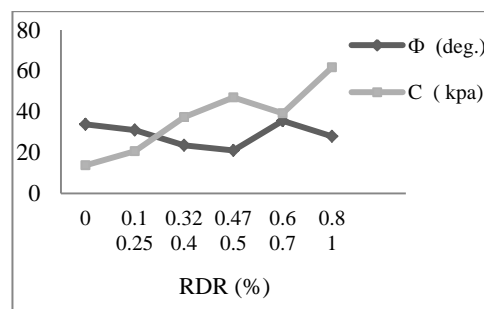
که در آن، τ مقاومت برشی خاک (کیلوپاسکال)، C چسبندگی خاک (کیلوپاسکال)، σ_n تنش نرمال (کیلوپاسکال) و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه) است. در خاک مسلح شده با ریشه گیاه، تغییرات مقاومتی ایجاد شده ($\Delta\tau$) از رابطه (۳) قابل بررسی است.

$$\Delta\tau = \Delta C + \sigma_n \times \tan \phi \quad (3)$$

در این رابطه با توجه به ثابت بودن بار قائم (σ_n)، از آن‌جا که دامنه تغییرات تانژانت زاویه اصطکاک داخلی بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۴ بسیار کمتر از تغییرات چسبندگی خاک مسلح شده با ریشه درخت کلهو است، بنابراین تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح، عموماً تابع تغییرات چسبندگی خاک خواهد بود و کمتر از ϕ تاثیر می‌پذیرد و لذا با اغماض از تغییرات کم ϕ نسبت به C رابطه زیر می‌تواند برقرار باشد.

$$\Delta\tau = f(\Delta C) \quad (4)$$

به همین دلیل هر چند کاهش زاویه اصطکاک داخلی در افزایش مقاومت برشی خاک مسلح موثر است، اما برد تاثیر آن نسبت به عامل افزایش چسبندگی بسیار اندک است و از این‌رو افزایش مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه گیاه را صرف نظر از تاثیر نسبی اندک ϕ تقریباً می‌توان معادل افزایش C دانست. براین‌د تغییر این دو متغیر در مجموع افزایش قابل توجه مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریزریشه‌های درخت کلهو را به دنبال داشته است.



شکل ۴- نرخ و روند تغییر پارامترهای مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه کلهو در برابر شاخص RDR

مقدار زاویه اصطکاک داخلی از قطر ریشه‌ها تاثیر می‌پذیرد و در دو نمونه خاک با دانسیته ریشه یکسان ولی متفاوت از لحاظ قطر ریشه‌ها، زاویه اصطکاک داخلی متفاوت خواهد بود. تغییر شاخص قطر ریشه (RDR) در نمونه‌های خاک مسلح با ریشه درخت کلهو همچنین، بر حداکثر تنش برشی خاک تاثیر

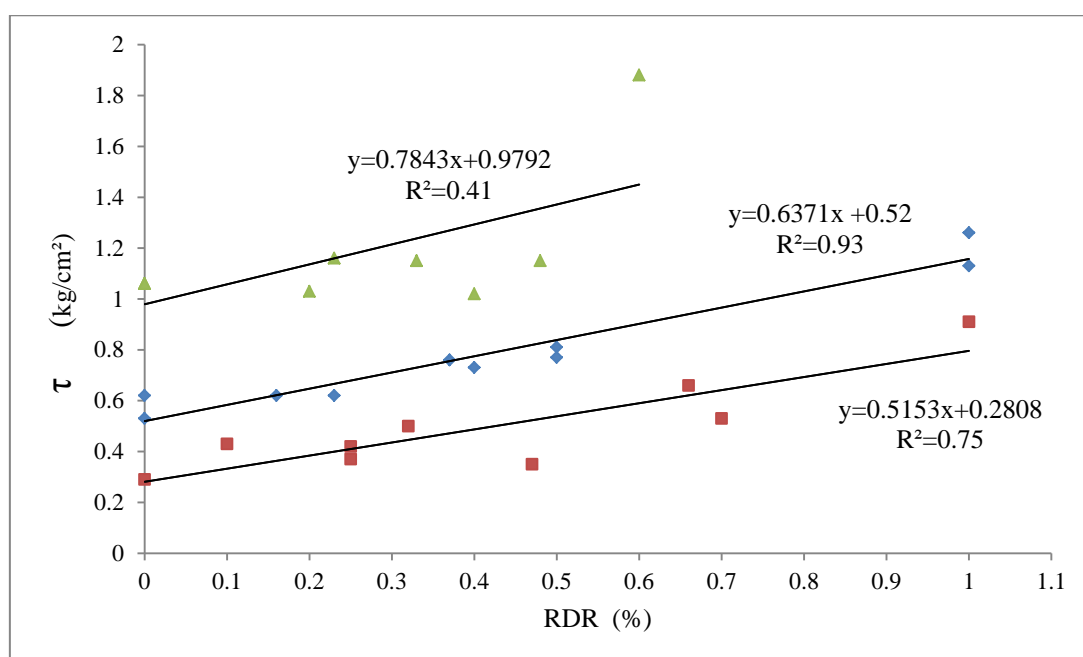
در شکل ۵، برای سه سربار مختلف ۱۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم، تغییرات مقاومت برشی خاک در مقابل شاخص RDR در نمونه خاک‌های مسلح شده با ریزریشه‌های درخت کلهو (ریشه‌هایی با قطر کوچک‌تر از پنج میلی‌متر) ترسیم شد. روند تغییرات مقاومت برشی خاک همانند پارامتر چسبندگی در هر سه منحنی مربوط به سربارهای ۱۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم، افزایشی است. با رسم مقادیر (τ) در برابر مقادیر RDR، روابط خطی (۵) الی (۷) به ترتیب با ضریب همبستگی 0.75 (برای سربار ۱۰ کیلوگرم)، 0.93

(برای سربار ۳۰ کیلوگرم) و 0.41 (برای سربار ۵۰ کیلوگرم) به دست می‌آید. در مواردی مانند رابطه (۷) با ضریب همبستگی نسبتاً پائین با حذف برخی داده‌هایی که هم‌خوانی کمتری با سایر داده‌ها دارند، می‌توان ضریب همبستگی را بهبود بخشید و دقت پیش‌بینی مدل ریاضی ارائه شده را افزایش داد.

$$\tau = 0.51(RDR) + 0.28 \quad (۵)$$

$$\tau = 0.63(RDR) + 0.52 \quad (۶)$$

$$\tau = 0.78(RDR) + 0.97 \quad (۷)$$



شکل ۵- تغییرات مقاومت برشی خاک با تغییر شاخص قطر ریشه (RDR) در نمونه خاک‌های مسلح شده با ریزریشه‌های درخت کلهو

تغییرات مقاومت برشی خاک در مقابل شاخص RDDI برای سربارهای ۱۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم، شکل‌های ۶ الی ۸ ترسیم شد.

با رسم مقادیر (τ) در برابر شاخص RDDI، رابطه خطی (۸) با ضریب همبستگی ۰/۷۶ (برای سربار ۱۰ کیلوگرم)، رابطه خطی (۹) با ضریب همبستگی ۰/۵۲ (برای سربار ۳۰ کیلوگرم) و رابطه خطی (۱۰) با ضریب همبستگی ۰/۷۴ (برای سربار ۵۰ کیلوگرم) به دست آمد.

$$\tau = 7.26(RDDI) + 0.31 \quad (۸)$$

$$\tau = 1.74(RDDI) + 0.64 \quad (۹)$$

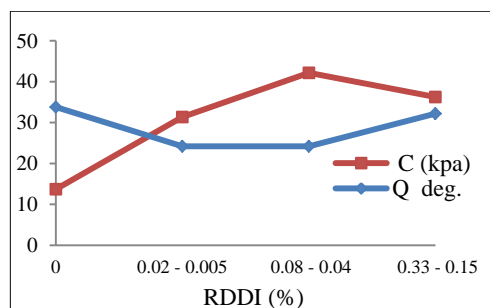
$$\tau = 1.67(RDDI) + 0.97 \quad (۱۰)$$

بررسی اثر توام قطر و تراکم ریشه درخت کلهو

بر مقاومت برشی خاک: بررسی‌های انجام شده توسط محققین مختلف بر تاثیرپذیری مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه گونه‌های مختلف گیاهی از دو عامل قطر و تراکم ریشه حکایت دارد. البته کیفیت این تاثیرپذیری تا حدودی متفاوت و متاثر از نوع گونه است. در این رابطه Davoudi و همکاران (۱۳۸۵)، شاخص $RDDI^1$ را معرفی نمودند. این شاخص حاصل ضرب دو شاخص RAR و RDR است. بر اساس نتایج منظم شده آزمایشات برش مستقیم نمونه خاک‌های مسلح شده با ریزریشه‌های درخت کلهو،

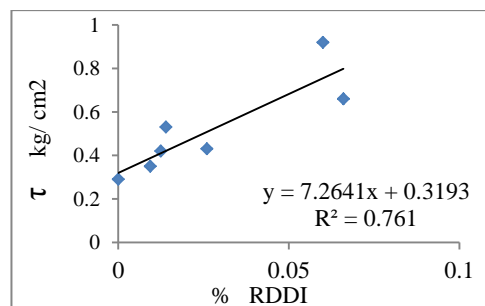
¹ Root Diameter and Density Index

ریزیشه‌های گونه کلهو شامل چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مقابل شاخص RDDI به شرح ارائه شده در شکل ۹ می‌باشد. در مجموع با افزایش همگام فراوانی و قطر ریزیشه‌های گونه جنگلی کلهو (شاخص RDDI)، عامل چسبندگی خاک مسلح (C) نسبت به خاک بکر (بدون ریشه) روندی افزایشی نشان می‌دهد. در مقابل زاویه اصطکاک داخلی خاک، رفتاری عکس عامل چسبندگی دارد، با این تفاوت که نرخ تغییرات آن و تاثیرگذاری آن بر افزایش مقاومت برشی بسیار کمتر از چسبندگی است. به بیان دیگر، تاثیرپذیری زاویه اصطکاک داخلی خاک از شاخص RDDI نسبت به C از حساسیت کمتری برخوردار است.

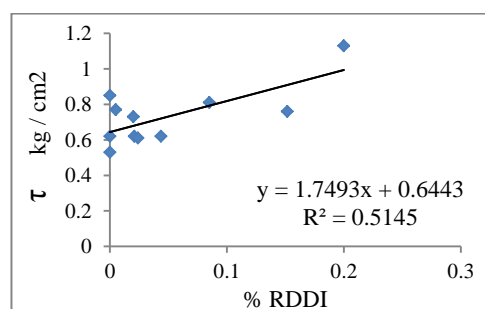


شکل ۹- منحنی تغییرات پارامترهای مقاومت برشی خاک بدون ریشه و خاک مسلح شده با ریزیشه‌های گونه کلهو در برابر شاخص RDDI

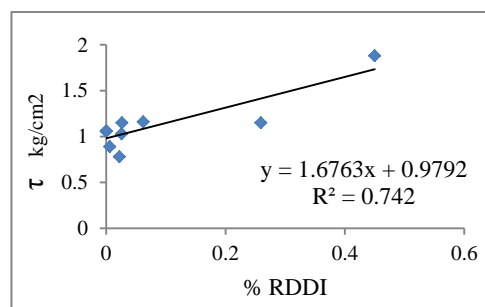
بر اساس منحنی تغییرات پارامترهای مقاومت برشی در برابر شاخص RDDI عامل چسبندگی در خاک مسلح شده با ریزیشه‌های گونه کلهو نسبت به خاک بکر (بدون ریشه) ۲۰۷ درصد افزایش یافته، در حالی که زاویه اصطکاک داخلی حداکثر ۲۹ درصد کاهش داشته است. براینده تغییر این دو متغیر در مجموع، افزایش قابل توجه مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریزیشه‌های درخت کلهو را به دنبال داشته است.



شکل ۶- تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه کلهو با $\sigma_n=10$ در مقابل شاخص RDDI



شکل ۷- تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه کلهو با $\sigma_n=30$ در مقابل شاخص RDDI



شکل ۸- تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه کلهو با $\sigma_n=50$ در مقابل شاخص RDDI

نتایج نشان می‌دهد که مقاومت برشی نمونه‌ها رابطه مستقیم با شاخص RDDI دارد و تابع سربار وارد بر آن‌ها است.

تغییرات پارامترهای C و ϕ در مقایسه با هم نسبت به شاخص RDDI: روند و نرخ تغییرات پارامترهای مقاومت برشی خاک مسلح شده با

منابع مورد استفاده

- Comino, E. and P. Marengo. 2010. Root tensile strength of three shrub species: Rosa canina, Contoneaster dammeri and Juniperus horizontalis: Soil reinforcement estimation by laboratory tests. Catena, 82(2010): 227-235.
- Davoudi, M.H., D. Nikkami and R. Emamjomeh. 2007. Influence of willow root density on shear resistance parameters in fine grain soils using in situ direct shear tests. Final report project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, 155 pages (in Persian).

3. Docker, B.B. and T.C.T. Hubble. 2008. Quantifying root-reinforcement of river bank soils four Australian tree species. *Geomorphology*, 100(3-4): 401-418.
4. Greenway, D.R. 1987. *Vegetation and slope stability*. John Wiley and Sons, Chi Chester, pages 187-230.
5. Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia, T. Simonato, B. Speziali, B. Vitali and A. Zocco. 2007. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Developments in Plant and Soil Sciences*, 103(2007): 31-41.
6. Ji, Jinnan, N. Kokutse, M. Gent, T. Fourcaud and Z. Zhang. 2012. Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability, a case study on black locust (*Robinia pseudoacacia*) and *Arborvitae* (*Platycladus orientalis*) stands on the Loass Plateau, China. *Catena*, 92(2012): 139-154.
7. Pollen, N. 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of stream banks: Accounting for soil shear strength and moisture. *Science Direct, Catena*, 69(2007): 197-205.
8. Nilaweera, N.S. 1994. Influence of hardwood roots on soil shear strength and slope stability in southern Thailand. PhD Dissertation, Asian Institute of Technology, Bangkok.
9. Nilaweera, N.S. and P. Nutalaya. 1999. Role of tree roots in slope stabilization. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(1999): 337-342.
10. O'loughlin, C.L. 1984. Effective of introduced forest vegetation for protecting against landslides and erosion in New Zealand steep Lands. *Symposium on Effects of Forest Land use on Erosion and Slope Stability*, Honolulu, Hawaii.
11. O'loughlin, C.L. and R.R. Zimer. 1983. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steep land forests. *New Zealand Forest Service, Book Issue 1570*.
12. O'loughlin, C.L., L.K. Rowe and A.J. Pearce. 1982. Exeptional storm influences on slope erosion and sediment yields in small forest catchments, North Westland, New Zealand. *Proceedings of National Symposium on Forest Hydrology*. Melbourne, Australia, May 1982.
13. Preti, F. and F. Giadrossich. 2009. Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish broom (*Spartium junceum* L.). *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1713-1726.
14. Shariatjafari, M., J. Ghauomiyan, M. Safaei, A. Partovi and M.H. Davoudi. 2012. Role of tree root system in soil reinforcement and slope stabilization. Final report project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, 63 pages (in Persian).
15. Shafaeibajestan M. and M. Salimigolshaekhi. 2003. Influence of willow root on shear resistance. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 6(4): 27-40 (in Persian).
16. Tengbeh, G.T. 1989. The effect of grass covers on bank erosion. PhD Thesis, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology, 167 pages.
17. Wu, T.H., W.P. Mckinnell and D.N. Swanston. 1979. Strength of tree roots and landslides on prince of Wales Island, Alaska. *Canadian Journal of Geotechnical Research*, 16(1): 19-33.
18. Wu, T.H., R.M. McOmber, R.T. Erb and P.E. Beal. 1988. Study of soil-root interactions. *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)*, 114(12): 1351-1375.

Assessment of soil reinforcement by *Diospyros lotus* roots using RDR and RDDI indexes

Mohsen Shariatjafari^{*1}, Mohammad Hadi davoudi², Mehrdad Safaee³, Afshin Partovi⁴

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ² Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ³ Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Researches Center, Mazandaran, Iran ⁴ Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 02 September 2013

Accepted: 09 October 2013

Abstract

The establishment and development of fast-growing trees with effective root systems and avoidance of deforestation are effective ways for slope stability and to reduce landslides. Soil reinforcement and reduction of erosion by tree root systems are influenced by physiological and ecological characteristics of roots. In this research, root reinforcement of *Diospyros lotus*, one of dominant species in the forests of northern Iran, was investigated by reinforced soil sampling and laboratory testing. Based on the results, shear strength of reinforced soil is related to two factors of root density and diameter. Evaluating test results by RDR and RDDI indexes showed that soil cohesion and shear strength of reinforced soil by *Diospyros lotus* roots increased by 207 and 350 percent respectively compared to unreinforced soil and this process has an effective role in Soil reinforcement and massive erosion control, especially in shallow landslides.

Key words: *Diospyros lotus*, Forest species, Landslide, Shear strength, Soil reinforcement

* Corresponding author: mshariat22@gmail.com