نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۳۲۸-۳۳۵

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 2, 2019, Pages 328-335
DOI: 10.22092/ijwmse.2018.107217.1173

بررسی تأثیر ریشه گز در افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک کناره‌های رودخانه کشف‌رود

محبوبه اکرمیان[۱]، محمد تقی دستورانی*[۲]، محمد فرزام[۳] و احسان عبدی[۴]

[۱] کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲و۳] استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد و [۴] دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

پوشش گیاهی نقش قابل توجهی در کنترل لغزش‌های سطحی خاک از طریق اثرات مکانیکی و هیدرولوژیکی ایفا می‌کند. اما با توجه به پیچیدگی تعاملات گیاهان در خاک، کمی‌سازی اثرات مقاومت ریشه‌ها در خاک به‌عنوان یک چالش باقی مانده است. این مطالعه، به بررسی و کمی‌سازی اثرات حضور ریشه‌های گونه گز در افزایش مقاومت برشی خاک کناره‌های رودخانه کشف‌رود در استان خراسان رضوی می‌پردازد. به این منظور، بعد از بازدیدهای میدانی از منطقه، تعداد ۱۸ نمونه دست نخورده خاک حاوی ریشه‌های درختچه گز و سه نمونه خاک بدون ریشه به‌وسیله قالب‌های ۱۰×۱۰ سانتی‌متری از عرصه برداشت شد. این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و آزمایش برش مستقیم بر روی آن‌ها انجام شد و با رسم پوش گسیختگی موهر-کولمب، مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه به‌دست آمد و با نمونه‌های بدون ریشه مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که حضور ریشه‌ها در خاک باعث افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک به‌ترتیب تا ۲۱۶/۶ و ۴۱/۶۴ درصد می‌شود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شاخص‌های تراکم پوشش‌های گیاهی *RAR* و *RDR* چسبندگی و در نتیجه مقاومت برشی خاک نیز افزایش می‌یابد. بدیهی است این افزایش مقاومت برشی خاک باعث پایداری طبیعی کناره‌های رودخانه در مقابل فرسایش و تخریب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایداری کناره رودخانه، تست برش مستقیم، حفاظت سواحل رودخانه، شاخص‌های تراکم *RAR* و *RDR*

مقدمه

تأثیر پوشش‌های گیاهی در افزایش مقاومت برشی و پایداری شیب‌ها از گذشته‌ها پذیرفته شده است. پوشش‌های گیاهی از جمله درختان با داشتن اثرات مختلف هیدرولوژیکی و مکانیکی اثر قابل توجهی در افزایش مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ضریب پایداری شیب کناره‌های رودخانه و ساحل دارند (Bischetti، ۲۰۰۹؛ Abdi و همکاران، ۲۰۱۰؛ Simon و Collison، ۲۰۰۲). باران ربایی (ربایش تاجی) و تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش فشار آب منفذی از اثرات مثبت هیدرولوژیکی پوشش گیاهی در کنترل لغزش است. افزایش مقاومت برشی خاک و مسلح‌سازی شیب سواحل نیز از اثرات مثبت مکانیکی حضور ریشه‌ها به‌دلیل افزایش چسبندگی در خاک می‌باشد. لذا، وجود درختان و درختچه‌های ساحلی، احتمال گسیختگی توده‌های

* مسئول مکاتبات: dastorani@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

شیب در کناره‌های رودخانه را کاهش می‌دهد. این مسئله با مسلح‌سازی خاک به‌وسیله ریشه انجام می‌شود. خاک و ریشه یک ماده مرکب را تشکیل می‌دهند که ریشه به‌دلیل داشتن مقاومت کششی و چسبندگی نسبتاً بالا، سبب افزایش مقاومت برشی سامانه خاک-ریشه و افزایش ضریب پایداری شیب می‌شود (Watson و همکاران، ۲۰۰۴). البته مقاومت کششی ریشه به گونه درخت و شرایط محیطی رویشگاه بستگی دارد (Bischetti، ۲۰۰۹). پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد تأثیر مکانیکی ریشه‌ها در خاک انجام شده است. نتیجه این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار این تأثیر به سامانه و مقاومت کششی ریشه بستگی دارد. سامانه ریشه و مقاومت کششی نیز به ویژگی‌های ژنتیکی و شرایط محیطی (ساختمان خاک، هوادهی، رطوبت، درجه حرارت، رقابت با دیگر گیاهان، مواد غذایی، مدیریت و نگهداری و ...) بستگی دارد (Abernethy و همکاران، ۲۰۰۱). Nilaweera (۱۹۹۴) در پژوهش‌های خود نشان داد که مقاومت کششی ریشه‌های گونه‌های مختلف با افزایش قطر ریشه کاهش می‌یابد که تمام پژوهش‌های بعدی نیز این موضوع را تأئید کردند (Bischetti و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، نتایج سایر محققان نشان می‌دهد که از بین پارامترهای مختلف، دو پارامتر قطر و تراکم ریشه نقش مهمی را در مسلح‌سازی خاک دارند (Bischetti، ۲۰۰۹؛ Nilaweera، ۱۹۹۴؛ Shafaei Bajestan وSalimi Golshaikhi، ۲۰۰۳؛ Davoudi، ۲۰۰۶).

شاخص تراکم ریشه (RAR) به‌وسیله Thomas و Burroughs در سال ۱۹۷۷ به‌عنوان نسبت مجموع سطح مقطع ریشه به سطح توده خاکی تعریف و به‌صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$RAR=\frac{A_r}{A_w}\times 100=\sum_{n}^{i}\frac{a_i}{A_W}\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، A_W سطح توده خاکی دارای ریشه در امتداد صفحه گسیختگی (مجموع مساحت خاک و ریشه)، A_r مساحت اشغال شده به‌وسیله ریشه (در امتداد سطح گسیختگی)، i تعداد ریشه‌های موجود و a_i سطح مقطع هر یک از ریشه‌هاست. *RAR* (نسبت بین مساحت اشغال شده به‌وسیله ریشه در واحد سطح خاک) به‌عنوان شاخص تراکم ریشه در مدل‌های پایداری به‌کار می‌رود و ارتباط زیادی با نوع گونه، ژنتیک، خاک و ویژگی‌های آب و هوا دارد و با عمق و افزایش فاصله افقی از پایه کاهش می‌یابد (Bischetti و همکاران، ۲۰۰۷). Shafaei Bajestan و Salimi Golshaikhi (۲۰۰۳) پس از انجام تحقیقی، رابطه مستقیم خطی بین افزایش مقاومت برشی خاک ریزدانه سواحل کارون و تراکم ریشه درختان گز و پده ارائه کردند. رابطه مشابهی نیز برای خاک‌های درشت دانه و درخت اقاقیا گزارش شده است که بر اساس آن آهنگ افزایش مقاومت برشی توده خاکی رابطه معکوس با رطوبت خاک دارد. تحقیقات انجام شده برای ریشه جو در خاک سیلتی رسی لوم و برای *Pinus cordata* در خاک ماسه‌ای رابطه مستقیم خطی بین تراکم ریشه و افزایش مقاومت برشی خاک ارائه کردند. به‌طورکلی نشان داده شده است که *RAR* با افزایش عمق خاک به‌دلیل افزایش میزان فشردگی خاک، کم‌بودن مواد غذایی و هوا کاهش می‌یابد (Simon و Collison، ۲۰۰۲؛ O'Loghlin، ۱۹۸۴).

شاخص قطر ریشه (*RDR*) در هر نمونه خاک مورد آزمایش عبارت است از (Davoudi، ۲۰۰۶).

$$RDR=d_{50}/d_{max}\times 100 \qquad (۲)$$

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 قطورترین ریشه موجود در نمونه خاک مورد آزمایش است. Abdi و همکاران (۲۰۱۰) مقاومت کششی ریشه سه گونه از درختان جنگلی شمال کشور با دامنه قطری ۰/۳ تا ۵/۶ میلی‌متر را بین ۱۰/۵۱ تا ۷۱/۳۳ مگاپاسکال گزارش کردند. Hosseini و Shafaee Bajestan (۲۰۱۶) سامانه ریشه درختان گز در جهت جریان رودخانه برای استفاده‌های کاربردی در پایداری شیب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در بخشی از رودخانه سیمره انجام شد و نتایج آن نشان داد که ریشه‌ها هم از نظر تعداد و هم قطر در ناحیه بالادست درخت (نسبت به جهت جریان) بیشتر از پایین‌دست است و مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در

Archive of SID

www.SID.ir

ناحیه بالایی ۲۳ درصد بیشتر از مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه پایینی است. Siasar (۲۰۱۶)، مقاومت ریشه‌های برخی گونه‌های بومی از جمله گز، بید، صنوبر، اکالیپتوس و نی را در پایدارسازی کناره‌های رودخانه هلمند مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، مقاومت کششی ریشه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و این نتیجه حاصل شد که مقاومت کششی ریشه‌های درختان اکالیپتوس و گز بیشتر از بقیه گونه‌های مورد بررسی می‌باشد. Coulthard (۲۰۰۵) با بررسی تأثیر پوشش گیاهی در تغییرات الگوی رودخانه‌های شاخه شاخه نتیجه‌گیری کرد که پوشش گیاهی باعث پایدارتر شدن جزایر داخل رودخانه و کم‌شدن روند جابه‌جایی این جزایر می‌شود. Hosseini (۲۰۱۲)، طی یک تحقیق، تأثیر ریشه گز و پده را در پایداری شیب سواحل رودخانه سیمره مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، متوسط مقاومت کششی ریشه گونه‌های گز و پده، به‌ترتیب برابر ۱۹/۴ و ۲۵/۹ مگا پاسکال بود و مقدار افزایش مقاومت برشی خاک برای ریشه‌های با قطر یک تا ۲۰ میلی‌متر درختان گز و پده، به‌ترتیب ۱۲/۳ و ۲۴/۱۲ کیلو پاسکال به‌دست آمد. همچنین، اعلام شد که پایداری سواحل با خاک ماسه‌ای با شیب ۱:۴ تا ۱:۱ با وجود گونه‌های گز و پده به‌ترتیب ۱۹/۵-۷/۳ و ۴۴/۵-۱۳/۶ درصد افزایش می‌یابد. Keller (۲۰۱۴) اثرات از بین بردن درختان گز و نیز وقوع سیلاب در زیستگاه گونه‌های حساس ماهی در ایالت یوتای آمریکا مورد بررسی قرار داد. یکی از نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص کرد که از بین بردن درختچه‌های گز به‌ویژه در بخش خارجی قوس‌های رودخانه‌ای تغییرات و جابه‌جایی کناره‌های رودخانه در اثر فرسایش را افزایش می‌دهد.

مجموع نتایج پژوهش‌های انجام شده در دنیا بر افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه نسبت به خاک بدون ریشه دلالت دارند. اما کیفیت این افزایش مقاومت، تابع متغیرهای خاک، ریشه و شرایط محیطی حاکم بر این سامانه است. نتایج ارزیابی کمی تغییرات مکانیکی خاک در نتیجه حضور سامانه ریشه‌ای گیاه، بهبود فرایند تصمیم‌گیری در پروژه‌های زیست محیطی را به‌دنبال دارد. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تأثیر وجود ریشه‌های گیاه گز در تقویت چسبندگی خاک و نیز بهبود مقاومت برشی آن در کناره‌های رودخانه کشف‌رود در استان خراسان رضوی می‌باشد. بدیهی است، نتیجه این ارزیابی می‌تواند به استفاده علمی و مناسب از این گونه گیاهی در پایدارسازی کناره رودخانه‌های در حال فرسایش و تخریب کمک شایانی بنماید.

مواد و روش‌ها

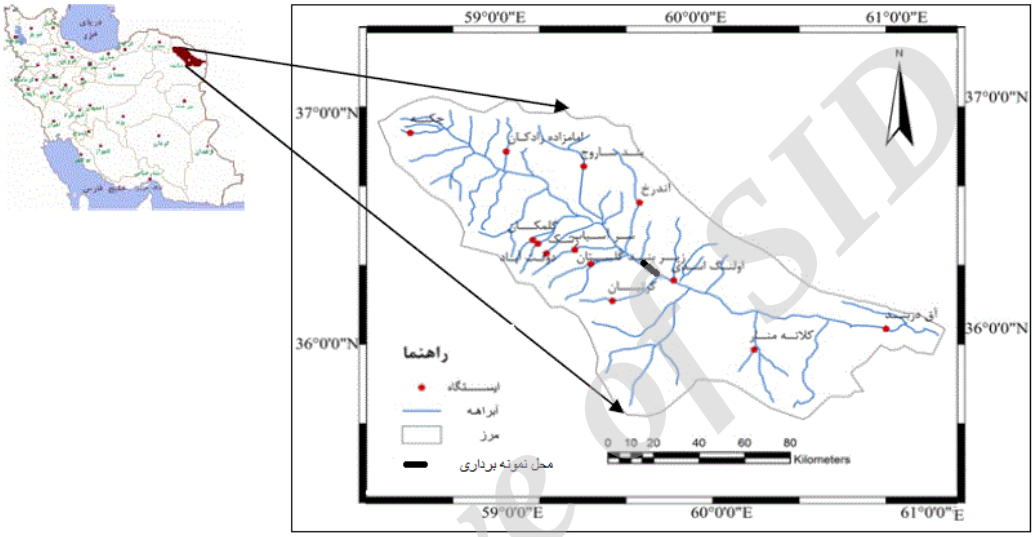
ویژگی‌های منطقه و گونه منتخب: حوزه آبخیز کشف‌رود در استان خراسان رضوی واقع است و دو رشته کوه هزارمسجد در شمال و بینالود در جنوب آن قرار دارد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۹۷۰ متر است. رودخانه کشف‌رود در هشت کیلومتری شمال شهر مشهد از شمال غرب به سمت شرق جریان دارد. شیب متوسط رودخانه کشف‌رود در حدود ۰/۵ درصد بوده، حجم آب سالانه آن در محل ایستگاه کشف‌رود-پل‌خاتون در طی دوره آماری ۱۹ ساله ۸۶/۹۴ میلیون متر مکعب گزارش شده است که البته در سال‌های مختلف بسیار متفاوت است. این حوزه آبخیز از مناطق کم بارش در ایران محسوب شده و دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد. بارندگی کم و پتانسیل تبخیر و تعرق بالا از ویژگی‌های این منطقه محسوب می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، بازه‌هایی از رودخانه کشف‌رود است. شکل ۱، موقعیت حوزه آبخیز کشف‌رود در ایران و همچنین، ایستگاه‌های موجود در سطح حوضه به‌همراه محل نمونه‌برداری‌ها را نشان می‌دهد.

گز (*Tamarix hispida*) از درختچه‌های مناطق بیابانی و شور می‌باشد. این گیاه اغلب در بستر آبراهه-ها و رودخانه‌های شور و قلیایی نواحی خشک رویش دارد. گیاهی است مقاوم به خشکی و سازگار با شرایط سخت بیابان، دارای گل‌هایی قرمز رنگ که در فصل بهار و پاییز در انتهای انشعابات و ساقه‌ها مشاهده می شود. اراضی شوری که خاک مرطوب داشته، یا تحت تأثیر جریانات فصلی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها قرار دارند، از جمله رویشگاه‌های درختچه گز محسوب می‌شوند. این گیاه در انواع خاک‌ها با بافت شنی-رسی، سنگریزه‌دار و دشت‌های سیلابی با خاک‌های رسوبی

Archive of SID

www.SID.ir

عمیق یا نیمه‌عمیق دیده می‌شود. دامنه ارتفاعی رویشگاه معمولا بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است. مناسب‌ترین محل برای رشد و زیاد شدن آن مناطق گرم و خشک بیابانی و خاک‌های شور است. این گیاه در برابر تغییر دمای هوا مقاومت زیادی دارد. به‌علاوه مناسب‌ترین خاک برای رشد گیاه گز، خاک لومی است. اراضی نزدیک دریا، شن‌های ساحلی و اطراف رودخانه‌ها جای مناسبی برای رشد گیاه گز هستند. همچنین، در کنار آبراهه‌های اراضی شور و شنی و گودال‌های مرطوب و بستر رودخانه‌ها این گیاه به‌خوبی رشد می‌کند. علاوه بر این‌ها، مقاومت خوبی در مقابل ضربات مکانیکی آب و قلوه‌سنگ و تخته‌سنگ‌های انتقالی دارد. در مجموع، این ویژگی‌ها گز را گونه‌ای مناسب برای تثبیت بیولوژیک مناطق تخریب‌شده یا در معرض تخریب به‌ویژه در کناره‌های رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

امکانات آزمایشگاهی: روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک ارائه شده است که مهمترین این روش‌ها عبارتند از آزمایش برش مستقیم یا جعبه برش مستقیم و تست سه محوری. روش جعبه برش مستقیم (Direct shear test) به‌دلیل سادگی کاربرد زیادی در تعیین مقاومت برشی خاک داشته که در این تحقیق نیز از این روش استفاده شده است.

در این تحقیق، آزمایشات برش مستقیم آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های خاک مسلح شده با ریشه انجام شد و نتایج آن با نمونه‌های بدون ریشه مقایسه شد. برای انجام نمونه‌گیری در این روش، لازم است که نمونه‌ها به‌صورت دست‌نخورده همراه با دانسیته‌های مختلف ریشه برداشت شود. همچنین، می‌بایست قطر ریشه‌ها از پنج میلی‌متر بیشتر نباشد (برای ریشه‌های قطورتر می‌توان از آزمایشات برش مستقیم بزرگ‌تر یا به‌صورت برش برجا استفاده کرد) (Shariatjafari و همکاران، ۲۰۱۴). در هنگام تهیه نمونه‌ها از مقطع خاک به‌وسیله قالب‌های آزمایشگاهی که به این منظور تهیه شده‌اند، می‌بایست بافت خاک به هم نخورده و نمونه‌ها نشکند. با توجه به این شرایط، در تحقیق حاضر تعداد ۲۱ نمونه آزمایشی به‌وسیله قالب‌های ۱۰×۱۰ سانتی‌متر برداشت شد که از این تعداد سه نمونه فاقد ریشه بود (به‌عنوان شاهد). به‌منظور حفظ رطوبت خاک، نمونه‌ها بسته‌بندی شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. لازم به ذکر است که نمونه‌ها به‌صورت دست‌نخورده و با قالب‌های فلزی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و تا عمق ۱۰ سانتی‌متر برداشت شد. این نمونه‌ها از قسمت‌های مختلف با فواصل متفاوت نسبت به ساقه اصلی برداشت شدند که

Archive of SID

www.SID.ir

به تبع آن تراکم و قطر ریشه‌ها در آن‌ها متفاوت بوده است. آزمایشات برش مستقیم (UU) تحکیم نیافته و زهکشی نشده بر روی نمونه‌ها، در آزمایشگاه مکانیک خاک اداره راه و شهرسازی مشهد انجام شد. پس از اتمام هر برش، ریشه‌های موجود در سطح گسیختگی جمع‌آوری شدند و تعداد و قطر ریشه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شدند و از باقی‌مانده خاک هر قالب، در تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱، مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مجموع ۲۱ آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی تحت سربارهای ۰/۲، ۰/۵ و یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و با سرعت جابه‌حایی ۰/۵ میلی‌متر در دقیقه و دور تند انجام شد و در تمامی آزمایشات جابه‌جایی افقی نمونه به‌وسیله دو سنجشگر و با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

پس از پایان آزمایشات، تعداد و قطر تمام ریشه‌های موجود در صفحه گسیختگی اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج آزمایشات در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول، τ_{max} تنش برشی بیشینه، σ_n تنش نرمال، *RAR* تراکم ریشه یا به‌عبارت دیگر فراوانی ریشه در خاک و *RDR* شاخص قطر ریشه می‌باشد. همچنین، نتایج نمونه‌های خاک فاقد ریشه با مقادیر *RAR*=0 و *RDR*=0 آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنش برشی بیشینه خاک تابع سربار وارد شده بر آن است و با افزایش سربار وارد شده بر آن افزایش می‌یابد.

جدول ۱- مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه

طبقه خاک (یونیفاید)	تشریح خاک	چگالی خشک $\rho(gcm^{-3})$	رطوبت طبیعی w (٪)	حد روانی LL (٪)	شاخص خمیری IP (٪)
CL	Silt و Clay	۲/۵۹	۱۶/۹	۳۴	۱۲

جدول ۲- دسته‌بندی داده‌ها بر اساس مقادیر *RDR* و *RAR*

شماره نمونه	σ_n ($kgcm^{-2}$)	τ_{max} ($Kgcm^{-2}$)	*RAR* (درصد)	*RDR* (درصد)
۱	۰/۲	۰/۲۴	۰	۰
۲	۰/۵	۰/۳۳	۰	۰
۳	۱	۰/۶۲	۰	۰
۴	۰/۲	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۰۷
۵	۰/۵	۰/۵۲	۰/۲۲	۰/۰۸
۶	۱	۰/۷۹	۰/۲۸	۰/۰۹
۷	۰/۲	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۱۴
۸	۰/۵	۰/۵۹	۰/۳۳	۰/۱۰
۹	۱	۰/۶۹	۰/۲۹	۰/۱۷
۱۰	۰/۲	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۲۰
۱۱	۰/۵	۰/۶۱	۰/۳۵	۰/۲۵
۱۲	۱	۰/۷۵	۰/۳۸	۰/۲۸
۱۳	۰/۲	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۲۹
۱۴	۰/۵	۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۳۱
۱۵	۱	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۳۴
۱۶	۰/۲	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۸
۱۷	۰/۵	۰/۶۳	۰/۵۷	۰/۴۰
۱۸	۱	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۳۵
۱۹	۰/۲	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۷۰
۲۰	۰/۵	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۸
۲۱	۱	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۵۲

Archive of SID
www.SID.ir

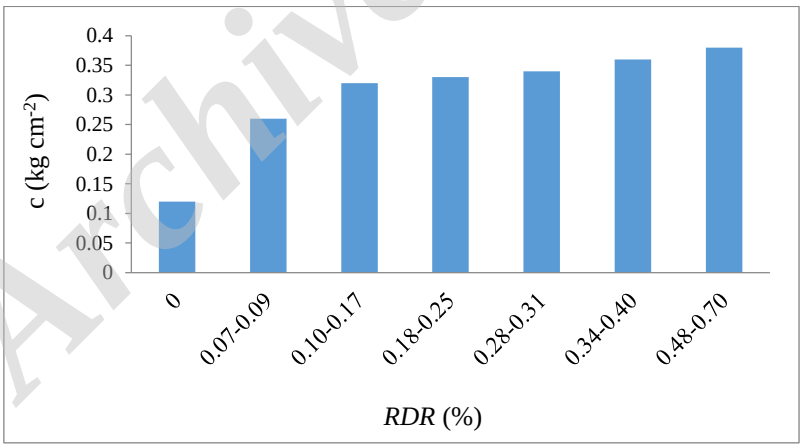
پارامترهای مقاومت برشی خاک شامل دو پارامتر چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (φ) هستند که تحت تأثیر کیفیت حضور سامانه‌های ریشه‌ای گیاه تغییر می‌کنند. تنش‌های برشی موجود در خاک به‌وسیله ریشه‌های گیاه به مقاومت برشی منتهی می‌شوند. در نتیجه افزایش مقاومت برشی، فرایند گسیختگی و فرسایش خاک تعدیل می‌شود (Shariatjafari و همکاران، ۲۰۱۴). با استفاده از داده‌های این جدول بلوک‌های خاک به هفت دسته تقسیم‌بندی شدند و مطابق تئوری آزمایش برش مستقیم پوش‌گسیختگی موهر-کولمب، رسم و مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی توده‌های خاکی محاسبه شدند.

جدول ۳، مقادیر چسبندگی را بر اساس شاخص *RDR* نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، وجود ریشه‌ها تغییرات چشم‌گیری را در مقاومت برشی خاک ایجاد کرده است که این تغییرات عمدتاً در مقدار چسبندگی خاک بوده، تا حدی بر زاویه اصطکاک داخلی خاک نیز تأثیر گذاشته است. البته تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک در مجموع بسیار کمتر از میزان تغییرات عامل چسبندگی است. به همین دلیل، هر چند کاهش زاویه اصطکاک داخلی در افزایش مقاومت برشی خاک مسلح موثر است، اما مقدار تأثیر آن نسبت به عامل افزایش چسبندگی بسیار اندک است. از این‌رو، افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه گیاه را صرف نظر از تأثیر نسبتا اندک Φ، تقریباً می‌توان معادل افزایش C دانست.

جدول ۳- مقادیر چسبندگی بر اساس مقادیر *RDR*

RDR (٪)	C ($Kgcm^{-2}$)
۰	۰/۱۲
۰/۰۷-۰/۰۹	۰/۲۶
۰/۱۰-۰/۱۷	۰/۳۲
۰/۱۸-۰/۲۵	۰/۳۳
۰/۲۸-۰/۳۱	۰/۳۴
۰/۳۴-۰/۴	۰/۳۶
۰/۴۸-۰/۷۰	۰/۳۸

با رسم هیستوگرام چسبندگی در مقابل شاخص *RDR* تأثیر فراوانی و قطر ریشه بر مقاومت برشی خاک مشخص می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- تغییرات چسبندگی خاک (C) در مقابل شاخص قطر ریشه (*RDR*)

بر اساس نتایج، بیشینه افزایش چسبندگی خاک مسلح شده به‌وسیله ریشه‌های مربوط به گروه ۰/۴۸- ۰/۷۰ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، چسبندگی خاک به‌وسیله ریشه‌ها از ۰/۱۲ به ۰/۳۸ افزایش پیدا کرده است. بیشینه مقدار تنش برشی 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 و به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود.

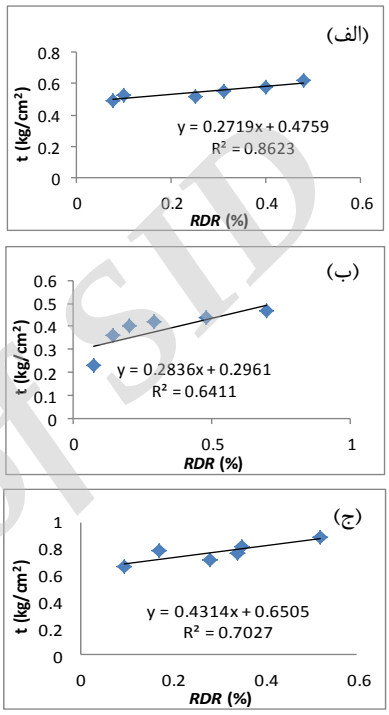
$$t_f = c + \sigma \tan\varphi \qquad (۳)$$

که در آن، τ_f مقاومت برشی، c چسبندگی، φ زاویه اصطکاک داخلی و σ تنش قائم می‌باشد. افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک مسلح، پایداری خاک در برابر گسیختگی و فرسایش را به همراه دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

عامل چسبندگی در خاک مسلح شده با ریزریشه‌های گز نسبت به خاک بکر (بدون ریشه) ۲۶۰ درصد افزایش پیدا کرده است. برای سه سربار مختلف ۰/۲، ۰/۵ و یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، تغییرات مقاومت برشی خاک در مقابل شاخص *RDR* در نمونه خاک‌های مسلح شده با ریزریشه‌های درخت‌گز در شکل ۳ ترسیم شده است.



شکل ۳- تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه گز در مقابل شاخص *RDR*، (الف- با σ_n=0.2، ب- با σ_n=0.5 و ج- با σ_n=1

با رسم مقادیر (τ) در برابر مقادیر *RDR* روابط خطی (۵) تا (۷) به‌ترتیب با ضریب تعیین ۰/۶۴ (برای سربار ۰/۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)، ۰/۸۶ (برای سربار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) و ۰/۷ (برای سربار یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) به‌دست می‌آید.

$$t = 0.283(RDR) + 0.296 \quad (s_n = 0.2) \qquad (۴)$$

$$t = 0.271(RDR) + 0.475 \quad (s_n = 0.5) \qquad (۵)$$

$$t = 0.431(RDR) + 0.650 \quad (s_n = 1) \qquad (۶)$$

بررسی اثر توام قطر و تراکم ریشه‌های گز در مقاومت برشی خاک: به‌منظور بررسی اثر توام قطر و تراکم ریشه بر مقاومت برشی خاک، Davoudi (۲۰۰۶) پارامتر بدون بعدی به‌عنوان شاخص قطر- تراکم ریشه را ارائه نمود که با علامت اختصاری *RDDI* نشان داده می‌شود و بر اساس رابطه (۷) تعریف می‌شود.

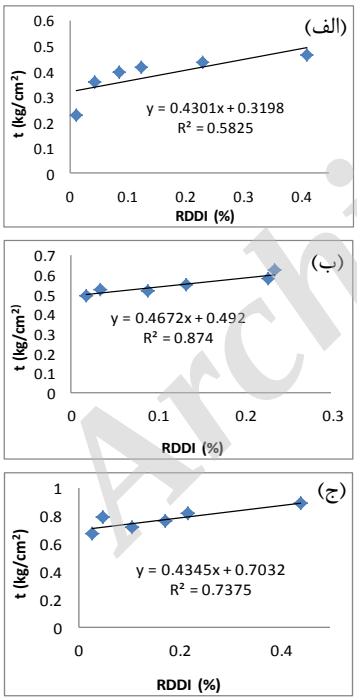
$$RDDI = RAR \times RDR \qquad (۷)$$

به‌منظور بررسی تغییرات مقاومت برشی خاک در مقابل شاخص *RDDI* برای سربارهای ۰/۲، ۰/۵ و یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، نمودارهای شکل ۴ ترسیم شد. با رسم مقادیر (τ) در برابر مقادیر *RDDI* روابط خطی (۸) تا (۱۰) به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۸ (برای سربار ۰/۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) ۰/۸۷ (برای سربار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) و ۰/۷۳ (برای سربار یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) به‌دست می‌آید.

$$t = 0.43(RDDI) + 0.319 \quad (s_n = 0.2) \qquad (۸)$$

$$t = 0.467(RDDI) + 0.492 \quad (s_n = 0.5) \qquad (۹)$$

$$t = 0.434(RDDI) + 0.703 \quad (s_n = 1) \qquad (۱۰)$$



شکل ۴- تغییرات مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه گز در مقابل شاخص *RDDI* (الف- با σ_n=0.2، ب- با σ_n=0.5 و ج- با σ_n=1

برای بررسی رفتار مقاومت برشی خاک تحت تأثیر ریشه درخت گز از دو شاخص *RDR* و *RAR* استفاده شد. به این منظور، تعداد ۲۱ آزمایش برش مستقیم در

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایشگاه بر روی نمونه‌های دست‌نخورده انجام شد. نتایج حاکی از آن است که حضور ریشه‌ها در خاک باعث افزایش چسبندگی و مقاومت‌برشی خاک به‌ترتیب تا ۲۱۶/۶ و ۴۱/۶۴ درصد می‌شود. به‌دلیل غالب بودن اثر تغییرات چسبندگی ظاهری بر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت برشی توده خاکی ریشه مسلح با افزایش *RDR* افزایش می‌یابد. به‌منظور بررسی اثر توام قطر و تراکم ریشه‌ها در مقاومت‌برشی خاک از شاخص قطر-تراکم ریشه (*RDDI*) استفاده شد. این شاخص علاوه بر تراکم ریشه در ناحیه برشی نمایانگر پراکنش قطر ریشه‌ها بوده و از حاصل‌ضرب تراکم ریشه در نسبت قطر میانه به قطر بیشینه ریشه-ها به‌دست می‌آید. با افزایش *RDDI* مقاومت برشی خاک در ناحیه برشی افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, E., B. Majnounian, H. Rahimi, M. Zobeiri and Gh. Habibi Bibalani. 2010. Investigation of biotechnical properties of Parottia Persica in order to use in bioengineering, case study: Patom district of Kheyrud Forest. Journal of Natural Environmental (Iranian Journal of Natural Resources), 63(1): 53-62 (in Persian).
2. Abernethy, B. and I.D. Rutherford. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. Hydrological Processes, 15: 63–79.
3. Bischetti, G.B. 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps. Plant and Soil, 324: 71-89.
4. 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.
5. Coulthard, T.J. 2005. Effects of vegetation on braided stream pattern and dynamics. Water Resources Research, 41(4): 12-34.
6. Davoudi, M.H. 2006. Effects of tree root diameter on cohesion and internal friction angle of soil. Journal of Agricultural Engineering Research, 7(28): 53-68 (in Persian).
7. Hosseini, A. 2012. Investigating the impact of riparian tree roots on riverbank slope stability (Simereh River). PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, 126 pages (in Persian).
8. Hosseini, A.R. and M. Shafaee Bajestan. 2016. Evaluation of Tamarix trees root system based of river flow direction for slope stability applications. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(1): 35-41 (in Persian).
9. Keller, D.L., B.G. Laub, P. Birdsey and D.J. Dean. 2014. Effects of flooding and Tamarisk removal on habitat for sensitive fish species in the San Rafael River, Utah: Implication for fish habitat enhancement and future restoration efforts. Journal of Environmental Management, 54: 465-478.
10. Nilaweera, N.S. 1994. Influence of hardwood roots on soil shear strength and slope stability in southern Thailand. PhD Dissertation, Asian Institute of Technology, Bankok, 234 pages.
11. O'Loghlin, C.L. 1984. Effects of introduced forest vegetation for protecting against Landslides and erosion in New Zealand steep lands. Paper presented to Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability, Honolulu, Hawaii.
12. Shafaei Bajestan, M. and M. Salimi Golshaikhi. 2003. Investigation of the effects of tree roots on shear strength of the Karoon banks. Journal of Water and Soil Sciences (Isfahan University of Technology), 6(4): 27-40 (in Persian).
13. Shariatjafari, M., M.H. Davoudi, M. Safaee and A. Partovi. 2014. Assessment of soil reinforcement by Diospyros lotus roots using RDR and RDDI indexes. Journal of Watershed Engineering and Management, 6(2): 107-114 (in Persian).
14. Siasar, H. 2016. A study on the resistance of roots of plant species used in stabilizing Helmand riverbanks. Foreign Agricultural Economic Report, ISSN: 0429-0577, European Science Publishing Ltd (www.europeansp.org).
15. Simon, A. and A.J.C. Collison. 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on stream bank stability. Earth Surface Processes and Landforms, 27(5): 527–546.
16. Watson, A.J. and M. Marden. 2004. Live root-wood tensile strengths of some common New Zealand indigenous and plantation tree species. New Zealand Journal of Forestry Science, 34(3): 344-353.

Archive of SID

www.SID.ir