



بررسی اثرات ریشه درختان ساحلی (گز) در افزایش مقاومت برشی خاک

محبوبه اکرمیان^۱، محمد تقی دستورانی^{۲*}، محمد جنگجو برزل آباد^۳، احسان عبدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- استاد و دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[*dastorani@um.ac.ir](mailto:dastorani@um.ac.ir)

چکیده

ترکیب خاک و ریشه سبب افزایش مقاومت برشی خاک می شود. بنابراین درختان سبب افزایش پایداری شیب ساحل می شوند. پایدارسازی شیب‌ها به روش‌های بیومهندسی با توجه به دلایل اقتصادی و جنبه‌های مثبت زیست محیطی مورد توجه و استقبال زیادی می باشد. در این تحقیق نیز اثر ریشه‌های گونه گز در پایداری کناره های رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور نمونه‌هایی از خاک، همراه با ریشه و بدون ریشه از اطراف گیاه تهیه شد و به آزمایشگاه منتقل شد و سپس پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک توسط دستگاه برش مستقیم اندازه گیری شدند. آزمایشات بر روی درختچه های گز در حواشی رودخانه کشف انجام شد. در این آزمایشات ۳ نمونه از خاک حاوی ریشه های هر گیاه تحت بارهای قائم، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده ریشه های گز مقاومت برشی خاک و چسبندگی خاک را با تراکم ریشه ای ۱۹/۶۸٪ در سه نمونه به ترتیب تا ۱۱۲/۵ و ۸۵/۷ درصد افزایش دادند.

کلمات کلیدی: پایداری شیب ساحل، ریشه‌های گز، چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، دستگاه برش مستقیم

مقدمه:

رودخانه‌ها یکی از مهمترین منابع آبی دنیا به حساب می آیند. این منبع حیاتی به همان اندازه که در گذشته در ظهور تمدن‌های بشری موثر بوده است، امروزه نیز، دوام جوامع انسانی بیش از گذشته به آن وابسته است. بهره‌برداری بهینه از این منبع به همراه حفظ شرایط زیست محیطی آبراهه و به حداقل رساندن خرابی های ناشی از سیلاب ها به عنوان یکی از اهداف توسعه پایدار در مهندسی رودخانه تلقی می شود. پوشش گیاهی به روش های مختلفی می تواند در کنترل فرسایش خاک توسط آب و باد موثر باشد. برگ‌ها و ساقه‌های گیاه قسمتی از انرژی فرسایشی آب و باد را جذب کرده و باعث کاهش فرسایش سطحی خاک می گردند و ریشه‌های گیاه نیز باعث افزایش مقاومت مکانیکی خاک می شوند. روش‌های تثبیت سواحل را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: (۱) تقویت کناره‌ها (۲) کاهش نیروهای هیدرودینامیکی (پالون؛ ۲۰۰۷).

فرسایش کناره‌های رودخانه، معمولاً بصورت خطی و در طول نسبتاً زیادی از آبراهه‌ها اتفاق می افتد. حفاظت سازه ای، بدلیل بالا بودن هزینه‌ها تنها به صورت موضعی امکان پذیر است و با گذشت زمان و تغییر شرایط اولیه طراحی به سادگی در معرض تخریب قرار می‌گیرد. مدت‌ها است که تاثیر پوشش‌های گیاهی در افزایش مقاومت برشی و پایداری شیب‌ها پذیرفته شده است. پوشش‌های گیاهی از جمله درختان با داشتن اثرات هیدرولوژیکی و مکانیکی مختلف اثر قابل توجهی در افزایش مقاومت برشی خاک^۱ و در نتیجه افزایش ضریب پایداری شیب سواحل دارند (بیسجتی و همکاران؛ ۲۰۰۷، سیمون و همکاران؛ ۲۰۰۲، عبدی و



همکاران (۱۳۸۹). برگ‌آب^۲ و تبخیر و تعرق^۳ از اثرات مثبت هیدرولوژیکی است (حسینی و همکاران ۱۳۹۱). افزایش مقاومت برشی خاک و مسلح سازی^۴ شیب ساحل از اثرات مثبت مکانیکی حضور ریشه‌ها در خاک می باشد. وجود درختان ساحلی، احتمال گسیختگی توده‌های شیب را کاهش می‌دهد. این مسئله با مسلح سازی خاک بوسیله ریشه انجام می‌شود. خاک و ریشه یک ماده مرکب را تشکیل می‌دهند که ریشه به دلیل داشتن مقاومت کششی و چسبندگی نسبتا بالا، سبب افزایش مقاومت برشی سیستم خاک-ریشه و افزایش ضریب پایداری شیب می‌شود (واتسون و همکاران ۲۰۰۴). مقاومت کششی ریشه به گونه درخت و شرایط محیطی رویشگاه بستگی دارد (بیسجتی و همکاران ۲۰۰۷). به طور کلی، نظریه مسلح کردن خاک توسط ریشه به دو رویکرد عمده "مدل کشش" و "مدل برش" تقسیم می‌شود. مدل کشش خاک‌های ریشه مسلح توسط (Yarbrugh ۲۰۰۰) برای پادگانه های خاکی و شیروانی‌های پر شیب ارائه شده که به دلیل ریخت‌شناسی خاصشان به طور کامل یا بخشی از آنها تحت تنش کششی ناشی از نیروی گرانش بوده و ترک‌های کششی نقش مهمی در ناپایداری آنها دارند. در این مدل، مقاومت کششی ریشه به طور مستقیم در تحلیل پایداری توده به کار گرفته می‌شود. مدل برشی توده های ریشه مسلح سابقه طولانی تری داشته و در این زمینه تحقیقات آزمایشگاهی، صحرایی، شبیه سازی عددی و روش‌های تحلیلی فراوانی انجام شده است. در این مدل، بخشی از مقاومت کششی ریشه به صورت یک نیروی مقاوم برشی به مقاومت برشی توده خاکی اضافه شده و آن را در برابر نیروهای مهاجم برشی تقویت می‌کنند^{۳۳}.

والدرون (۱۹۷۷) با انجام آزمایش برش مستقیم صحرایی روی نمونه های خاکی که در آنها یکی از سه گیاه یونجه، جو و کاج زرد کاشته بود، نتیجه گرفت که مقاومت برشی افزوده شده به خاک، تابع نوع، جنس، پراکنش و تراکم ریشه خاک بوده و ریشه یونجه بیشترین تأثیر را در افزایش مقاومت برشی خاک دارد. نتایج محققان زیر نشان می‌دهد که از بین پارامترهای مؤثر، دو پارامتر قطر و تراکم ریشه نقش مهمی دارند (بیسجتی؛ ۲۰۰۹، نیلاورا؛ ۱۹۹۴، شفافی بجستان و همکاران ۲۰۰۲، داوودی و همکاران ۱۳۸۵، شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳).

تراکم ریشه^۱ (RAR) توسط (Burroughs & Thomas ۱۹۷۷) به عنوان نسبت مجموع سطح مقطع ریشه به سطح توده خاکی تعریف و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RAR = \frac{A_{RW}}{A_R} * 100 = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{A_{RW}} * 100 \quad (1)$$

در این رابطه A_{RW} سطح توده خاکی دارای ریشه در امتداد صفحه گسیختگی (مجموع مساحت خاک و ریشه)؛ A_R مساحت اشغال شده توسط ریشه (در امتداد سطح گسیختگی)؛ i تعداد ریشه های موجود و a_i سطح مقطع هر یک از ریشه ها ست. RAR (نسبت بین مساحت اشغال شده توسط ریشه در واحد سطح خاک) به عنوان شاخص تراکم ریشه در مدل‌های پایداری به کار می‌رود و ارتباط زیادی با نوع گونه، ژنتیک، خاک، ویژگی‌های آب و هوا دارد و با عمق کاهش می‌یابد (بیسجتی و همکاران ۲۰۰۷). شفافی بجستان و سلیمی گل شیخی (۱۳۸۱) رابطه مستقیم خطی بین افزایش مقاومت برشی خاک ریز دانه سواحل کارون و تراکم ریشه درختان "گز" و "پده" ارائه کردند. رابطه مشابهی نیز برای خاک‌های درشت دانه و درخت افاقیا گزارش شده است که بر اساس آن آهنگ افزایش مقاومت برشی توده خاکی رابطه معکوس با رطوبت خاک دارد (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳). والدرون (۱۹۷۴) برای ریشه جو در خاک سیلنتی رسی لوم و زانیر برای "Pinus cordata" در خاک ماسه ای رابطه مستقیم خطی بین تراکم ریشه و افزایش مقاومت برشی خاک ارائه کردند. به طور کلی نشان داده شده است که RAR با افزایش عمق

1-Shear strength
2-interception
3- Evapotranspiration
4- Reinforcement



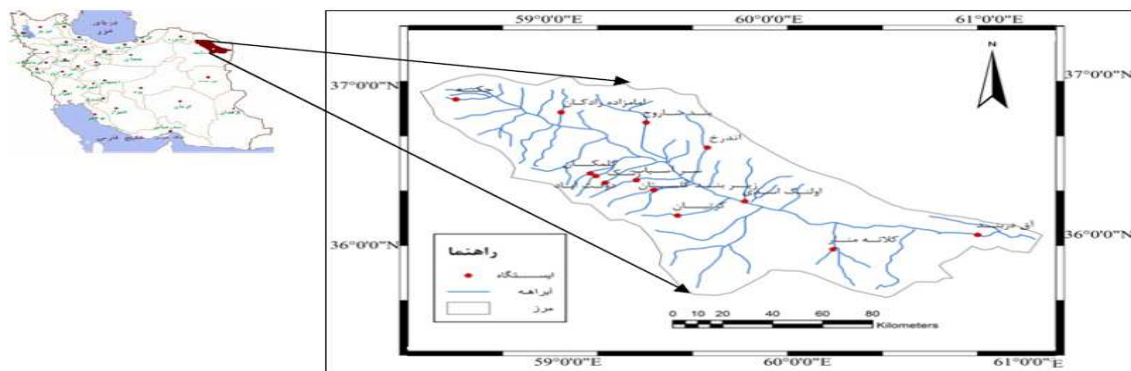
خاک به دلیل افزایش میزان فشردگی خاک، کم بودن مواد غذایی و هوا کاهش می‌یابد (سیمون و همکاران ۲۰۰۲، اولیقین ۱۹۸۴). عبدی (۱۳۸۸)، مقاومت کششی سه گونه از درختان جنگلی شمال با دامنه قطری ۰/۳ تا ۵/۶ میلیمتر را بین ۱۰/۵۱ تا ۷۱/۳۳ مگا پاسکال گزارش کرد.

در این پژوهش پیش بینی می‌شد که مقاومت کششی ریشه گونه گز قابل توجه و باعث افزایش ضریب پایداری شیب ساحل شود. بنابراین هدف اصلی از این تحقیق بررسی مقاومت برشی خاک همراه با ریشه درختچه‌های گز در حاشیه رودخانه کشف در استان خراسان رضوی، به منظور استفاده‌های کاربردی و دیگر مسائل فنی و مهندسی است. عدم آگاهی از ویژگی‌های مقاومت کششی و سیستم ریشه گونه‌های مختلف و خواص مکانیکی آن‌ها و مکانیزم مسلح‌سازی، از محدودیت‌های استفاده از روش‌های زیست مهندسی در حفاظت سواحل رودخانه‌هاست. از این رو، بررسی سیستم ریشه و مشخص کردن مقاومت کششی ریشه گونه‌های مختلف گیاهی، برای مشخص کردن گونه برتر و مقایسه گونه‌های مختلف از نظر مقدار افزایش مقاومت برشی خاک و افزایش پایداری شیب ساحل دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

ویژگی‌های منطقه و گونه منتخب:

حوزه آبخیز کشف رود در انتهای جنوبی دشت رسوبی توس واقع است و دو رشته کوه هزار مسجد در شمال و بینالود در جنوب آن قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۹۷۰ متر است، رودخانه کشف رود در ۸ کیلومتری شمال شهر مشهد از شمال غرب به سمت شرق جریان دارد. شیب متوسط رودخانه کشف رود در حدود ۰/۵ درصد بوده و حجم آب سالانه آن در محل ایستگاه کشف رود-پل‌خاتون در طی دوره آماری ۱۹ ساله ۸۶/۹۴ میلیون متر مکعب گزارش شده است. این حوزه آبخیز جز مناطق کم بارش در ایران محسوب می‌شود، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد می‌باشد. بارندگی کم، و پتانسیل تبخیر و تعرق بالا از ویژگی‌های این منطقه محسوب می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز کشف رود در ایران و همچنین ایستگاه‌های موجود در سطح حوزه را نشان می‌دهد. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق بازه‌هایی از رودخانه کشف رود می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

گز (*Tamarix hispida*) از درختچه‌های مناطق بیابانی و شور می‌باشد. این گیاه اغلب در بستر آبراهه‌ها 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 می‌شود. اراضی شوری که خاک مرطوب داشته و یا تحت



تاثیر جریان‌های فصلی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها قرار دارند، از جمله رویشگاه‌های درختچه گز محسوب می‌شود. این گیاه در انواع خاک‌ها با بافت شنی-رسی، سنگریزه دار و دشت‌های سیلابی با خاک‌های رسوبی عمیق یا نیمه عمیق دیده می‌شود. دامنه ارتفاعی رویشگاه بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است. مناسب‌ترین محل برای رشد و زیاد شدن آن منطقه‌های گرم و خشک بیابانی و خاک‌های شور است. این گیاه در برابر تغییر دمای هوا مقاومت زیادی دارد. به علاوه مناسب‌ترین خاک برای رشد گیاه گز، خاک لومی است. نزدیک دریا، شن‌های ساحلی و اطراف رودخانه‌ها جای مناسبی برای رشد گیاه گز هستند. همچنین در کنار نهرهای زمین‌های شور و شنی و گودال‌های مرطوب و بستر رودخانه‌ها این گیاه به خوبی رشد می‌کند. علاوه بر این‌ها مقاومت خوبی در مقابل ضربات مکانیکی آب و قلوله سنگ و تخته سنگ‌های انتقالی دارد. در مجموع این ویژگی‌ها گز را گونه‌ای مناسب برای تثبیت بیولوژیک مناطق تخریب شده لغزشی قرار می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک ارائه شده است که مهم‌ترین این روش‌ها عبارتند از تست‌برش مستقیم یا جعبه برش و تست سه محوری. روش جعبه برش مستقیم (direct shear testing) بدلیل سادگی و آسان بودن کار کاربرد زیادی در تعیین مقاومت برش خاک داشته است و در این تحقیق نیز از روش جعبه برش استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- دستگاه برش مستقیم استاندارد ۳۰*۳۰

جهت تهیه نمونه دست نخورده از قالب‌های فلزی با ابعاد ۳۰*۳۰ سانتی متر که به صورت ویژه برای این تحقیق ساخته شدند استفاده شد. قالب‌ها به صورت چهارگوش دارای ضلع ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵/۸ سانتی‌متر و ضخامت ۴ میلی‌متر می‌باشد و لبه آن‌ها برای اینکه به راحتی در خاک فرو رود در آهنگری تیز شده و صیقل داده شد. این ابعاد با توجه به سایز قالب دستگاه برش مستقیم به دست آمدند و با توجه به آن قالب‌ها در آهنگری ساخته شد. همچنین به منظور تخلیه خاک در داخل دستگاه به صورت دست نخورده گوشه‌های قالب به صورت پیچ و مهره ای ساخته شد تا نمونه‌های خاک به راحتی در داخل قالب دستگاه جای بگیرند. برای تهیه نمونه ابتدا درختچه‌های گز را که تا سطح یقه برش داده شده، و سپس قالب درون خاک قرار داده می‌شود، با چکش بر روی آن ضربه زده تا به خوبی در داخل خاک حاوی ریشه فرورود و سپس خاک اطراف قالب را تخلیه کرده و توسط یک صفحه برش فلزی از زیر سعی می‌شود تا قالب، از خاک زیرین آن جدا شده و سپس از زمین خارج می‌گردد. نمونه تهیه شده داخل قالب را توسط پلاستیک جهت حفظ درصد رطوبت بسته بندی شده و به آزمایشگاه منتقل می‌گردد (شکل ۳).



شکل ۳- نمونه برداری به وسیله قالب

در این مرحله از تحقیق حاضر به منظور بررسی مقاومت برشی خاک تحت تاثیر ریشه های گز در مجموع ۳ نمونه خاک دست نخورده حاوی ریشه و ۳ نمونه خاک دست نخورده بدون ریشه تهیه گردید. لذا در مجموع ۶ آزمایش برش مستقیم (shear direct) با دستگاه برش مستقیم استاندارد ۳۰*۳۰ سانتیمتر در آزمایشگاه مکانیک خاک اداره راه و شهرسازی مشهد تحت بارهای قائم ۰/۵، ۱/۵ و ۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با سرعت ثابت ۱ میلیمتر در دقیقه و دور تند انجام گردید.

نتایج و بحث:

پس از انجام آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های خاک و جمع‌آوری داده‌ها، به بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته شد که به شرح زیر می باشد:

تاثیر ریشه بر پارامترهای مقاومت برشی خاک:

پارامترهای مقاومت برشی خاک شامل دو پارامتر چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) می باشند که تحت تاثیر کیفیت حضور سیستم های ریشه‌های گیاه تغییر می کنند (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳). تنش‌های برشی موجود در خاک به وسیله ریشه‌های گیاه به مقاومت‌های برشی منتهی می‌شوند. در نتیجه افزایش مقاومت برشی، فرایند گسیختگی و فرسایش خاک تعدیل می شود. نتایج برخی بررسی - های موجود حاکی از آن است که آن بخش از سیستم ریشه‌های گیاه که تاثیر مستقیم و موثر در فرایند افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک دارد، سیستم ریشه‌های 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}) می نامند (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳).

شاخص قطر ریشه (داوودی و همکاران ۱۳۸۵) در هر نمونه خاک مورد آزمایش عبارت است از:

$$RDR = d_{50} / d_{max} * 100 \quad (2)$$

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. برای توصیف تراکم ریشه و یا به عبارت دیگر فراوانی ریشه در خاک از پارامتر RAR استفاده می شود. که به صورت زیر تعریف می‌شود:



$$RAR = \frac{A_W}{A_R} * 100 = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{A_W} * 100 \quad (3)$$

در این رابطه A_W سطح توده خاکی دارای ریشه در امتداد صفحه گسیختگی (مجموع مساحت خاک و ریشه)؛ A_R مساحت اشغال شده توسط ریشه (در امتداد سطح گسیختگی)؛ i تعداد ریشه‌های موجود و a_i سطح مقطع هر یک از ریشه‌ها است. نتایج مربوط به مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی بر حسب مقدار RDR و RAR در جدول ۱ و ۲ برای نمونه‌های باریشه و بدون ریشه مربوط به تحقیق حاضر نشان داده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های خاک بر اساس مقادیر RDR و RAR برای نمونه‌های ریشه دار

ضرایب مقاومت خاک		تنش برشی در لحظه شکست	فشار عمودی	مقادیر RDR (درصد)	مقادیر RAR (درصد)
ϕ	C	τ	σ^n		
(درجه)	Kg/cm ₃	Kg/cm ³	Kg/cm ³		
		۰/۴۳	۰/۵	۲/۹۱	٪۶/۸
۲۸	۰/۱۳	۰/۷۳۸	۱	۲/۱۱	٪۶/۸۸
		۱/۰۳۴	۱/۵	۲/۹۹	٪۶/۰۷

جدول ۲: ویژگی‌های خاک برای نمونه‌های بدون ریشه

ضرایب مقاومت خاک		تنش برشی در لحظه شکست	فشار عمودی	مقادیر RDR (درصد)	مقادیر RAR (درصد)
ϕ	C	t	σ^n		
(درجه)	Kg/cm ³	Kg/cm ³	Kg/cm ³		
		۰/۳۷	۰/۵	.	.
۳۱	۰/۰۷	۰/۵۴	۱	.	.
		۰/۹۱	۱/۵	.	.

حداکثر 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 به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (4)$$

که در آن c چسبندگی؛ τ_f مقاومت برشی؛ ϕ زاویه اصطکاک داخلی و σ تنش قائم می‌باشد. 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 این رو افزایش مقاومت برشی خاک مسلح با ریشه گیاه را صرف نظر از تاثیر نسبی اندک ϕ تقریباً می‌توان معادل



افزایش C دانست (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳، داوودی و همکاران ۱۳۸۵). برآیند تغییر این دو متغیر در مجموع افزایش قابل توجه مقاومت برشی خاک مسلح شده با ریشه را به دنبال دارد. 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 (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری:

ریشه با انتقال تنش برشی توسعه یافته در بافت خاک به مقاومت کششی در ریشه‌ها، باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شوند. در این تحقیق جهت بررسی مقاومت برشی خاک تحت تاثیر ریشه گز، از خاک حاوی ریشه سه نمونه دست نخورده به همراه سه نمونه شاهد تهیه گردید و بر روی هر نمونه ۳ آزمایش برش مستقیم تحت بارهای قائم ۱/۵، ۲، ۲/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بعمل آمد. نتیجه گیری نهایی تحقیق را می‌توان به صورت ذیل خلاصه نمود:

- ۱- حضور ریشه‌های گز در خاک به ترتیب باعث افزایش ۱۱۲/۵ و ۸۵/۷ درصد در مقاومت برشی و چسبندگی خاک شد.
- ۲- با توجه به اینکه افزایش چسبندگی بیشتر از کاهش زاویه اصطکاک داخلی می‌باشد، در مجموع حضور ریشه در خاک موجب افزایش مقاومت برشی خاک می‌گردد.
- ۳- با توجه به اینکه نمونه‌ها به صورت دست نخورده تهیه شده بودند برای هر نمونه امکان برش تنها برای یک سربار میسر بود و بنابراین امکان انجام آزمایش‌های مربوط به قطر و تراکم ریشه میسر نگردید.
- ۴- با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از گز در کناره‌های رودخانه و آبراهه‌های در معرض فرسایش به عنوان یک روش زیست محیطی و سازگار با محیط زیست جهت افزایش پایداری کناره‌ها قابل توصیه است

منابع:

- استیری، غ. (۱۳۷۵)، استفاده از روش بیومهندسی در تثبیت شیبها (بررسی موردی استفاده از درخت افاقیا در پارک ارغوان تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ص ۱۷۶.
- حسینی، ع. ر. شفاعی، م. موسوی، ح. رحیمی، ح. سایه میری، ک. (۱۳۹۱)، بررسی مقاومت کششی زیشه درختان ساحلی جهت کاربردهای زیست مهندسی (درخت گز). نهمین سمینار مهندسی رودخانه اهواز.
- داودی، م. ه.، فاطمی عقدا، م.، نوذری، ح.، شاه علیپور، غ.، ر. (۱۳۸۳)، بررسی اثر قطر ریشه درخت بر مقاومت برشی خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ص ۱۵۳-۱۶۰.
- داوودی، م. ه. (۱۳۸۵)، بررسی اثر قطر ریشه درخت بر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی جلد ۷ شماره ۲۸، ص ۵۳-۶۱.
- شریعت جعفری، م. داوودی، م. ه. صفایی، م. پرتوی، ا. (۱۳۹۳)، ارزیابی تاثیر سیستم ریشه ای کلهو در مقاوم سازی خاک با استفاده از شاخص های RDR و RDDI. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶ شماره ۲، ص ۱۰۷-۱۱۴.
- شفاعی بجستان، م. و سلیمی گل شیخی، م. (۱۳۸۱)، تعیین اثر ریشه درختان پده و گز بر مقاومت برشی خاک ساحل کارون در محل. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره چهارم، ص ۲۷-۴۰.
- عبدی، ا. مجنونیان، ب. رحیمی، ح. زبیری، م. حبیبی بی‌بالانی، ق. (۱۳۸۹)، بررسی ویژگی های زیست فنی گونه انجیلی به منظور بهره‌گیری در زیست مهندسی (بررسی موردی: بخش پاتم - جنگل خیررود). نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۳ شماره ۱، صفحه ۵۳-۶۲.



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.

Nilaweera, N.S. 1994. Effects of tree roots on slope stability: the case of Khao Luang Mountain area, So Thailand. Dissert. No. Gt-93-2.

O'Loughlin 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.

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.

Simon A., and. Collison. A. J. C., 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on stream bank stability. *Earth Surface Processes and landforms*, 4:527-546.

Simon A., and. Collison. A. J. C., 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on stream bank stability. *Earth Surface Processes and landforms*, 4:527-546.

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