نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۶۷-۸۰
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18253.1884

مقایسه ویژگی‌های زیست فنی گونه‌های درختی بومی و غیربومی

امیر غلامی درمی[۱]، *حسن اکبری[۲]، مهران نصیری[۳] و محبوبه فسحت[۴]

[۱]کارشناسی‌ارشد مهندسی جنگل، گروه مهندسی جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۲]دانشیار گروه مهندسی جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۳]استادیار گروه مهندسی جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۴]دانشجوی دکتری گروه مهندسی جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: ریشه گیاهان به‌عنوان نوعی از مصالح زنده در حفظ و پایداری شیروانی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این‌که به حفظ و پایداری محیط‌زیست کمک می‌کند، قابلیت خودترمیمی داشته و فاقد اثرات منفی و مضر برای محیط‌زیست و هزینه‌های اضافی برای تثبیت شیروانی‌ها می‌باشد. پوشش گیاهی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای خود باعث ایجاد چسبندگی بین ذرات خاک می‌شود و تأثیر معنی‌داری در تثبیت دامنه دارد به همین دلیل ویژگی‌های زیستی گونه‌های مختلف اهمیت به‌سزایی دارد. میزان مسلح‌سازی یک‌گونه به ویژگی‌های زیست فنی مانند تراکم و مقاومت کششی ریشه‌ها بستگی دارد که در این مطالعه به بررسی این ویژگی‌ها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش دو توده غیربومی جنگل‌کاری شده کاج (*Pinus sylvesteres*) و اقاقیا (*Robinia peseudoacasia*) و دو توده طبیعی با گونه‌های بومی ممرز (*Carpinus betulus*) و توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata*) با شرایط رویشگاهی مشابه (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه، نوع خاک، زمین‌شناسی و غیره) در جنگل شهرستان نکا (طرح جنگلداری نکا- ظالم رود) انتخاب و از هرگونه ٦ پایه به روش تصادفی از بین پایه‌های سالم و سیلندری برای نمونه‌برداری انتخاب شدند و به بررسی نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی آن‌ها پرداخته شد. برای بررسی و مقایسه پراکنش ریشه‌ها، از روش حفر پروفیل استفاده شد. دیواره‌های پروفیل به افق‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم و قطر همه ریشه‌های بیرون زده اندازه‌گیری شد. سپس درصد نسبت سطح ریشه به سطح خاک در هر افق محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی، از دستگاه مقاومت کششی سنتام استفاده شد. نمونه‌های ریشه در سمت پایین (شیب ۳۰ درصد) درختان جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش عمق تراکم ریشه‌ها طبق تابع نمایی کاهش پیدا می‌کند و تراکم ریشه‌ها در گونه‌های غیربومی بیش‌تر از گونه‌های بومی می‌باشد که برای گونه‌های ممرز، توسکا، اقاقیا و کاج به‌ترتیب،

* مسئول مکاتبه: hassan_akbarivas@yahoo.com

۰/۰۰۲±۰/۰۳۳، ۰/۰۰۲±۰/۰۸۱، ۰/۰۱۸±۰/۰۲٦ و ۰/۰۱۵±۰/۱۷۷ درصد به‌دست آمده است. دامنه قطری ریشه‌های مورد آزمایش ۹-۲ میلی‌متر بود. در این مطالعه، میزان مقاومت کششی گونه‌های بومی بیش‌تر از گونه‌های غیربومی می‌باشد که برای ریشه گونه‌های ممرز، توسکا، اقاقیا و کاج به‌ترتیب (۱۰/۳±۳۱/۹۳، ٦/۹۸±۱۷/۵۷، ۲/٤۱±۱۸/٤ و ٥/٤٦ ± ۹/۷۷ مگاپاسکال) به‌دست‌آمده است. نتایج آزمایش‌های مقاومت نشان داد که با افزایش قطر، میزان مقاومت کششی طبق تابع توانی کاهش پیدا کرده و قطر ریشه و نیروی کششی از رابطه توانی مثبت پیروی کرده و گونه ممرز مقاومت کششی بیش‌تری دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که ریشه‌ها در لایه‌های سطحی خاک بیش‌ترین مقدار را دارند چسبندگی خاک را حتی در عمق‌های پایین‌تر نیز افزایش می‌دهند. این فرآیند با توجه به تراکم ریشه‌ها کنترل می‌شود که به قطر ریشه‌ها و درختان بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که باید تغییرات ویژگی‌های مکانیکی ریشه درختان در گونه‌های بومی و غیربومی، در مدل‌سازی‌های پایداری دامنه خاک در نظر گرفته شود. نتایج این پژوهش دانش ما را در استفاده آگاهانه از این گونه‌ها در زیست مهندسی و در رابطه با نقش گیاهان در پایدارسازی دامنه‌ها افزایش داده و سبب بهبود مدل‌سازی پایداری خاک در دامنه‌های ناپایدار جنگلی و درنتیجه مدیریت صحیح‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زیست مهندسی، گونه غیربومی، مقاومت ریشه، نسبت سطح ریشه به سطح خاک

مقدمه

جاده ازجمله ابزارهای مدیریتی است که به طبیعت اضافه شده است که همواره در معرض رانش و فرسایش قرار دارد. حفاظت از شبکه جاده جنگلی و نگهداری آن در شرایط مطلوب امر مهمی بوده و انجام به‌موقع عملیات تعمیر و نگهداری علاوه بر حفظ کیفیت و خدمات‌رسانی جاده، بر حفظ محیط‌زیست کمک می‌کند. شبکه جاده جنگلی[1] از اصلی‌ترین ارکان مدیریت جنگل‌ها و پیش‌نیاز اصلی مدیریت حفاظتی خواهد بود. جاده‌های جنگلی، هسته مرکزی جنگلداری مدرن‌اند و درعین‌حال که دسترسی آسان و پایدار به مناطق جنگلی برای مدیریت، حفاظت و گردشگری را فراهم می‌کنند، می‌توانند باعث ایجاد تغییر در خرد اقلیم، زیستگاه، ویژگی‌های خاک، حرکت آب‌های سطحی و زیرسطحی و میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز جنگلی هم شوند (۳). ساخت جاده به‌عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به شمار می‌آید که نگرانی‌ها در ارتباط با تأثیرات کوتاه و بلندمدت بر منابع طبیعی و محیط‌زیست را در سال‌های اخیر افزایش داده است (۱۳). از اثرات منفی عبور جاده در دامنه‌های ناپایدار و دامنه‌های خاکی مستعد فرسایش و رانش، افزایش وقوع پدیده زمین‌لغزش است. وقوع لغزش‌ها و رانش‌ها در جاده‌های جنگلی نه‌تنها سبب مسدود شدن جاده می‌شود بلکه ممکن است موجب تلفات جانی و مالی، کاهش ایمنی راه و اختلال در فعالیت‌های مدیریتی طرح جنگلداری شود؛ بنابراین باید جهت تثبیت دامنه‌های خاکی مستعد فرسایش و رانش اقدام نمود. دامنه‌های خاک‌ریزی به‌دلیل جابجایی خاک و برهم‌خوردگی و بدون پوشش بودن خاک در معرض فرسایش قرار دارند و نیازمند تثبیت می‌باشند. زیست مهندسی ابزار بسیار خوبی برای تثبیت خاک نواحی بی‌ثبات است. مقاومت مکانیکی

1- Forest road network

خاک درنتیجه مسلح‌سازی توسط ریشه‌ها با توجه به مقاومت کششی و خاصیت چسبندگی ریشه رخ می‌دهد. خاک در برابر فشار قوی و در برابر کشش ضعیف است. برعکس، ریشه‌های گیاه در مقابل فشار ضعیف، اما در برابر کشش قوی هستند (۲٤). بنابراین، ترکیب آن‌ها یک ماتریس مسلح را تولید می‌کند که مقاومت را از خاک یا ریشه به‌طور جداگانه است (۳٤).

یکی از روش‌های حفاظت از جاده‌های جنگلی استفاده از تکنیک‌های زیست‌مهندسی خاک می‌باشد. منظور از روش زیست‌مهندسی در بهبود و تثبیت خاک، استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان مصالح باهدف پایدارسازی شیب‌ها و کنترل فرسایش و حرکات توده‌ای است (۳). یکی از روش‌های زیست‌مهندسی خاک استفاده از ریشه گیاه به‌منظور تثبیت و تسلیح خاک می‌باشد. ریشه گیاه در خاک نفوذ کرده و تجمع ریشه‌ها در کنار هم و به‌صورت شبکه‌ای باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود. حضور ریشه‌ها در خاک منجر به افزایش مقاومت برشی خاک و درنتیجه افزایش پایداری خاک می‌شود. مقدار این افزایش به عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زیست فنی ریشه ازجمله نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی ریشه بستگی دارد (۱٦). یکی از عواملی که بر تثبیت خاک مؤثر هست، نسبت سطح ریشه به سطح خاک است (RAR)[1] که به‌شدت تحت‌تأثیر عمق و نوع خاک، گونه، رویشگاه، ژنتیک و آب‌وهوا می‌باشد. این شاخص با افزایش عمق کاهش می‌یابد (۱، ٦، ۷، ۱۹، ۲۷، ۳۱، ۳۳ و ۳٤) که این کاهش به‌علت کم‌تر شدن هوا، مواد غذایی، تراکم بیش‌تر خاک در لایه‌های پایین می‌باشد. با ایجاد پوشش درختی و درختچه‌ای و ریشه‌دوانی در خاک، عملیات تثبیت و تسلیح خاک انجام می‌شود. اگر مشخصه‌های سیستم ریشه‌ای که پایدارسازی خاک را کنترل می‌کنند بتوان به‌طور دقیق شناسایی کرد، استفاده از گونه‌های مناسب در دامنه‌های ناپایدار بهتر خواهد بود (۲۰). برای این‌که ریشه‌ها تأثیر درخور توجهی برجای گذارند باید از بین سطح گسیختگی زمین عبور کنند. برای پژوهشگران و مدیران منابع طبیعی، کمی‌سازی ویژگی‌های مکانیکی ریشه از مسائل مهم در مشکلات مربوط به پایداری و مدل‌سازی پایداری خاک است. به‌منظور بررسی تغییرات مسلح سازی ریشه در طول زمان، بررسی مقاومت کششی در سنین مختلف درختان ضروری به‌نظر می‌رسد (۱٦). در پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج کشور ثابت شده است که ریشه گیاهان با افزایش مقاومت برشی توانسته است سبب تثبیت و تسلیح خاک شود (۱، ۲۰ و ۲۳). ازآنجاکه میزان بارندگی در این منطقه زیاد بوده و هرساله دچار فرسایش شدید می‌شود اگر دامنه‌ها به‌صورت یکپارچه و کامل درخت‌کاری شود شاهد چنین خساراتی نخواهیم بود؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش اندازه‌گیری شاخص RAR و مقاومت کششی چهار گونه توسکا، ممرز، اقاقیا و کاج و تعیین گونه مناسب جهت جنگل‌کاری در منطقه موردنظر است.

ساخت جاده‌های جنگلی سبب ایجاد دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در اطراف جاده‌های جنگلی شده که بسته به نوع خاک، فاصله تا آبراهه، سنگ مادر، سطح سفره آب زیرزمینی و نوع پوشش گیاهی، شدت ناپایداری این دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی متفاوت است. ازجمله متداول‌ترین روش‌های پایدارسازی دامنه‌های جنگلی، به‌کارگیری تکنیک‌های زیست مهندسی با محوریت تثبیت دامنه‌ها توسط درختان است. مطالعات اندکی در داخل کشور بر روی تأثیر پوشش گیاهی بر روی پایدارسازی دامنه‌ها و کاهش خطرات ناشی از حرکات توده‌ای

1- Root area ratio

انجام گرفته که لازم است در آینده، این گونه مطالعات بیش‌تر انجام پذیرد تا بتوان گونه‌های درختی مناسب برای تثبیت و پایدار نمودن شیب‌ها و دامنه‌های جنگلی را شناسایی کرد. حضور ریشه در خاک باعث مسلح‌سازی خاک و درنتیجه باعث افزایش مقاومت دامنه‌ها می‌شود. میزان مسلح سازی ریشه‌ها به تراکم ریشه، میزان مقاومت کششی و ساختار ریشه بستگی دارد. میزان مقاومت کششی ریشه و نسبت سطح ریشه به سطح خاک به عواملی چون: آب‌وهوا، خاک منطقه، نوع گونه و ... بستگی دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق: منطقه موردمطالعه بخش ۷ حوزه ۷۲ طرح جنگلداری نکا- ظالم‌رود و فاصله مرکز بخش تا شهرستان نکا ۵۵ کیلومتر است. منطقه موردمطالعه در محدوده اداره کل منابع طبیعی ساری و حوزه استحفاظی استخرپشت قرار داد. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه موردنظر ٦۱۰ الی ۱۹۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه در عرضیات ″۲۷ ′۲۸ °۳٦- ″۱۹ ′۲۳ °۳٦ و طول شرقی ″۰۳ ′٤٤ °۵۳-″۵۸ ′۲۹ °۵۳ قرار داد. منطقه موردمطالعه از شمال به رودخانه چهارسو و جنگل‌های سری ٤ همین بخش، از شرق، به جنگل‌های سری ۲ بخش ۷، از غرب به جنگل‌های بخش ٦ و طرح جنگل‌داری تیرانکلی و از جنوب به طرح جنگل‌داری هفت‌خال متصل می‌باشد.

روش تحقیق: در ابتدا با جنگل گردشی منطقه پژوهش انتخاب شد. در این مطالعه گونه‌های بومی ممرز و توسکا ییلاقی و گونه‌های غیربومی اقاقیا و کاج سیلوستریس به‌منظور بررسی شاخص‌های زیست‌مهندسی موردمطالعه قرار گرفتند (شکل ۱).

شکل ۱- درختان و موقعیت آن‌ها نسبت به جاده.

Figure 1. Trees and their position toward to the road.

شرایط انجام آزمایش برای هر چهار گونه مانند قطر، شیب، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی و جنس خاک یکسان در نظر گرفته شد. از هرگونه ٦ پایه به روش تصادفی از بین پایه‌های سالم و سیلندری برای نمونه‌برداری انتخاب شدند و به بررسی نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی آن‌ها پرداخته شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات توده‌های موردپژوهش.

Table 1. The studied forest stands characteristics.

طبقه قطری (سانتی‌متر) Diameter class (cm)	شیب (درجه) Slope angle (degree)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	جهت جغرافیایی Aspect	جنس خاک Soil type
25	20	1740 m	جنوب غربی SW	Clay loam-silty Clay

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های ریشه از روش حفر پروفیل[1] استفاده شد (۸).

ازآنجاکه فشار وزن درخت در سمت پایین‌دست درخت بیش‌تر بود، مجموعاً ۲٤ عدد پروفیل در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از درخت در سمت پایین‌دست درخت، به طول ۱۰۰ سانتی‌متری و عرض ۵۰ سانتی‌متر در عمق ٦۰ سانتی‌متری نمونه گرفته شد، زیرا حداکثر عمق ریشه‌دوانی در منطقه موردنظر ٦۰ سانتی‌متر مشاهده شد (۲٤). سپس بر روی دیواره‌های نزدیک به درخت، افق‌های ۱۰ سانتی‌متری با استفاده از ریسمان مشخص و علامت‌گذاری شد (٦، ۱۰، ۳٤، ۳۵ و ۳۷). در هر یک از افق‌های ۱۰ سانتی‌متری قطر تمام ریشه‌های بیرون زده با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

شکل ۲- تقسیم‌بندی عمق پروفیل.

Figure 2. Profile depth division.

با اندازه‌گیری مساحت سطح مقطع ریشه در هر لایه ۱۰ سانتی‌متری از خاک و هم‌چنین تعیین مساحت خاک در همان لایه می‌توان میزان شاخص RAR را با استفاده از رابطه ۱ به دست آورد.

$$RAR = \sum_{i=1}^{n} \frac{A_{root}}{A_{soil}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\pi r^2}{A_{soil}} \qquad (۱)$$

که در آن، πr^2 مساحت ریشه در هر لایه به میلی‌متر مربع، A مساحت خاک در هر لایه به میلی‌مترمربع.

برای به دست آوردن مقاومت کششی ریشه، تعداد ۱۲۰ نمونه ریشه برداشت که برای هرگونه ۳۰ عدد انتخاب شد. ازآنجاکه برای انجام آزمایش مقاومت کششی به ریشه‌های نازک و قطور نیاز داشتیم ریشه‌ها از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک (۱۱) و حداکثر فاصله ۱ متر از تنه جمع‌آوری شدند (۱۱). قطر نمونه‌ها با توجه به شرایط موجود بین ۲ الی ۹ میلی‌متر انتخاب شد. مطالعات نشان داد تا یک هفته بعد از قطع ریشه، تغییری در مقاومت کششی آن صورت نمی‌گیرد (٦). در این آزمایش، از زمان جمع‌آوری نمونه تا انجام

1- Profile trenching

آزمایش حدود ٦ روز اختلاف زمانی وجود داشت. تیماری که به‌منظور نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌های ریشه استفاده شد، شامل شستشو و افشاندن محلول آب و ۱۵ درصد الکل روی ریشه‌ها و درنهایت قرار دادن آن‌ها در کیسه‌های پلاستیکی بود (۲۷). نمونه ریشه‌های سالم ابتدا با استفاده از خط‌کش به طول حدود ۱۵ سانتی‌متر به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از قیچی باغبانی جدا شد. قطر متوسط همه ریشه‌ها در قسمت‌های ابتدایی، وسط و انتهایی با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شده و سپس با گرفتن میانگین قطر در این قسمت‌ها قطر ریشه به‌دست آمد (٦). برای به دست آوردن مقاومت کششی ریشه از دستگاه سنتام (STM-20) استفاده شد. پس از بررسی اولیه ریشه‌ها، آن‌ها را روی فک‌های دستگاه قرار داده و با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه کشیده شده و تا مرحله گسیختگی ادامه پیدا کرد. نمونه‌هایی که گسیختگی ریشه از نزدیک فک دستگاه رخ داده است نامعتبر بوده و داده‌های مربوط به آن‌ها حذف شده و نمونه‌هایی که گسیختگی از محل نزدیک به وسط طول ریشه رخ می‌داد یادداشت و محاسبات بر مبنای آن‌ها انجام شد (۲) (شکل ۳).

شکل ۳- آزمایش موفق (سمت راست)، آزمایش ناموفق (سمت چپ).

Figure 3. Successful experiment (right), failed experiment (left).

در پایان، مقاومت کششی ریشه طبق رابطه ۲، از تقسیم حداکثر نیروی لازم برای گسیختگی ریشه به مساحت سطح مقطع ریشه در ناحیه شکست به‌دست آمد (۱).

$$T_{sr} = \frac{F_{max}}{\left(\frac{\pi}{4}\right)D^2} \qquad (۲)$$

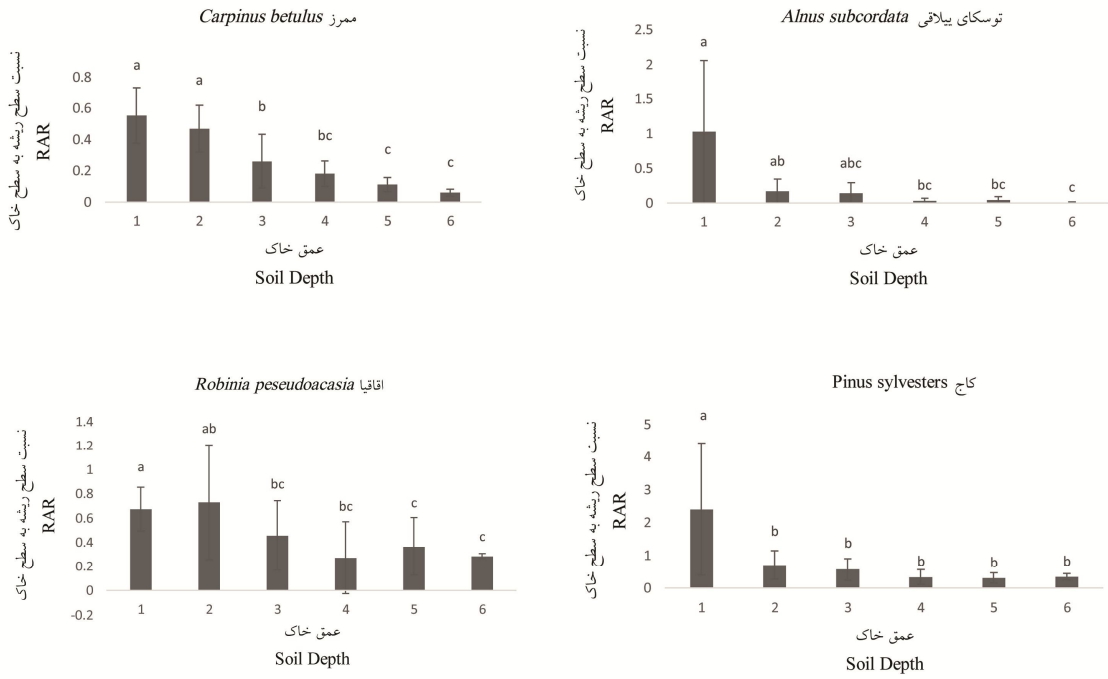
که در آن، Fmax حداکثر نیرو برای گسیختگی ریشه، D قطر ریشه در ناحیه شکست.

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف–اسمیرنوف بررسی و داده‌هایی که نرمال نبودند با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی نرمال شدند. سپس آنالیز مناسب برای بررسی داده‌ها انتخاب و اجرا شد. برای بررسی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک و وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقاومت کششی ریشه گونه‌ها از آزمون آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و جهت تعیین دقیق وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها از آزمون LSD استفاده شد. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌ها در این پژوهش در محیط نرم‌افزار R نسخه 4.0.2 انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج در هر ٤ گونه، شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک با افزایش عمق خاک طبق تابع نمایی کاهش می‌یابد (شکل ۱). شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در بین گونه‌های بومی ممرز و توسکا در همه افق‌ها جز در افق‌های ۱۰–۰ و ۲۰–۱۰ سانتی‌متری برای گونه ممرز بیش‌تر از گونه توسکا می‌باشد. هم‌چنین در بین گونه‌های غیربومی اقاقیا و کاج میزان RAR برای گونه کاج در افق‌های ۱۰–۰، ۲۰–۱۰ و ٦۰–۵۰ و در افق‌های ۳۰–۲۰، ٤۰–۳۰ و ۵۰–٤۰ برای گونه اقاقیا بیش‌تر می‌باشد. درمجموع مقایسات صورت گرفته بین گونه‌های بومی و غیربومی نشان داد که میزان شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک گونه‌های غیربومی بیش‌تر از گونه‌های بومی می‌باشد. کمینه و بیشینه مقدار شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک برای گونه ممرز به‌ترتیب ۰/۰۲۹۰ درصد و ۰/۷۳۳۹ درصد، برای گونه توسکا به‌ترتیب ۰/۰٤۵۵ درصد و ۲/۵۰٤۱ درصد، برای گونه اقاقیا به‌ترتیب ۰/۰٤۰۸ درصد و ۱/۳۱۱۷ درصد و برای گونه کاج به‌ترتیب ۰/۰٦۲۸ درصد و ۵/٦٤۱۰ درصد به‌دست آمد. در آنالیز صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار R در سطح ۵ درصد نشان داد که در عمق‌های ۰–۱۰، ۲۰–۳۰ و ۳۰–٤۰ سانتی‌متری دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. نتایج حاصل از آزمون آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین گونه کاج با سه گونه دیگر از نظر شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همان‌طور که در شکل ٤ نشان داده شده است میزان نسبت سطح ریشه به سطح خاک در گونه‌های غیربومی اقاقیا و کاج بیش‌تر از گونه‌های بومی ممرز و توسکا می‌باشد. عوامل محیطی، غذایی، آب‌وهوا و عوامل دیگری وجود دارند که می‌توانند در ایجاد الگوی پراکنش ریشه‌ها در گونه‌های مختلف اثرگذار باشند. دلایلی که می‌تواند باعث بیش‌تر بودن پراکنش ریشه گونه‌های غیربومی نسبت به بومی باشد این است که گونه‌های غیربومی برای سازگاری با محیط جدید و زنده ماندن در شرایط جدید تلاش برای ریشه دوانی می‌کنند و این امر منجر به ریشه دوانی بیش‌تر در واحد سطح می‌شود. در این پژوهش با افزایش عمق خاک پراکنش ریشه کاهش می‌یابد که (۵، ۱۹، ۲۷ و ۳۷) این نتیجه را ثابت کرده‌اند. عبدی و همکاران (۲۰۱۰) و مجنونیان و همکاران (۲۰۱٤) ملکی و همکاران (۲۰۱٤) در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق میزان نسبت سطح ریشه به سطح خاک کاهش می‌یابد که بیش‌ترین نسبت سطح ریشه به سطح خاک در ۱۰ سانتی‌متر اول می‌باشد (۱، ۲٦ و ۲۷). بیسچتی و همکاران (۲۰۰۵) حداکثر درصد نسبت سطح ریشه به سطح خاک را در

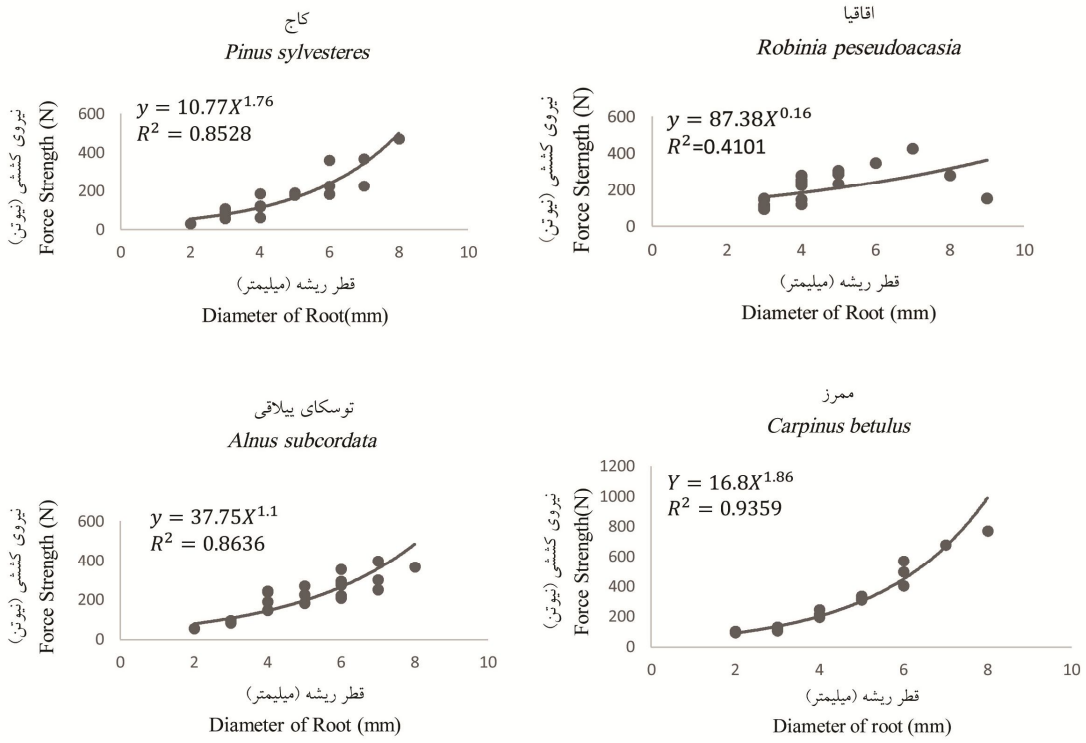
عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری از سطح زمین به‌دست آورده‌اند (٦). مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر روی سیستم ریشه دوانی، عمق ریشه دوانی و شکل توزیع ریشه‌هاست که بیش‌ترین تأثیر را بر پایداری دامنه‌ها و کاهش احتمال ناشی از حرکات توده‌ای دارد (۱۵ و ۳۳). به‌طورکلی شاخص RAR با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد که این کاهش به‌علت کم‌تر شدن مواد غذایی، هوا و تراکم بیش‌تر خاک در لایه‌های پایینی است (٦).



شکل ٤- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در عمق‌های مختلف.

Figure 4. Ratio of root area to soil surface at different soil depth.

نتایج آزمایش مقاومت کششی ریشه نشان داد که بین قطر و نیروی کششی ریشه رابطه توانی مثبت برقرار است (شکل ٥). میانگین میزان نیروی کششی ریشه برای گونه ممرز، توسکا، اقاقیا و کاج به‌ترتیب ۳۸٦/۲۰، ۲۱۹/٤٤، ۲٦۱/٥۸ و ۲۰٦/٤٤ به‌دست‌آمده است. ازآن‌جاکه ریشه گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ آناتومی متفاوتی دارند میزان نیروی کششی نیز در آنها متفاوت است به‌طوری‌که پهن‌برگان سلول‌های بزرگ‌تر و دیواره سلولی نازک‌تری دارند (۳٦).

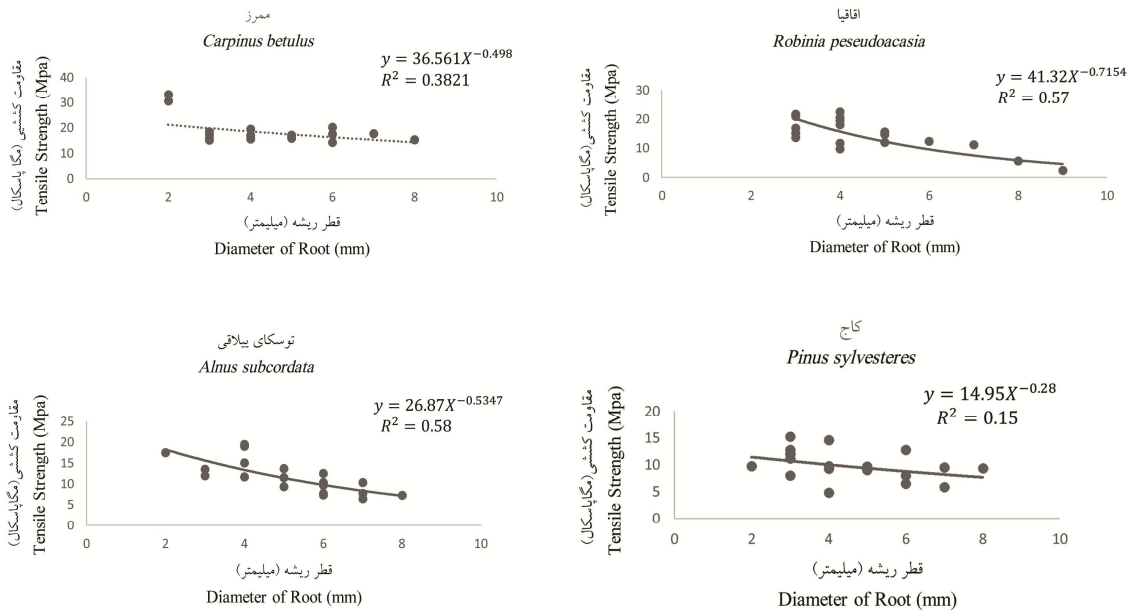


شکل ۵- رابطه نیروی کششی و قطر ریشه در گونه‌های مختلف.

Figure 5. Relationship between tensile force and root diameter in different species.

در آزمایش مقاومت کششی ریشه نتایج نشان داد که در هر ٤ گونه با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی ریشه بر اساس تابع توانی منفی کاهش می‌یابد (شکل ٦). دامنه قطری ریشه‌ها در نمونه‌های ممرز، اقاقیا، توسکا و کاج به ترتیب ۲ تا ۸، ۳ تا ۹ و ۲ تا ۸ میلی‌متر بود. کمینه و بیشینه مقاومت کششی ریشه برای گونه‌های ممرز، اقاقیا، توسکا و کاج به ترتیب ۱۵/۳۷ و ۳۱/۹۲۵ مگاپاسکال، ۲/٤۱ و ۱۷/٤۹ مگاپاسکال، ۷/۳۲ و ۱۷/۵۷ مگاپاسکال، ۷/۷۲۵ و ۱۱/۸۰ مگاپاسکال به‌دست آمد. نتایج آنالیز آزمایش‌های انجام‌شده در مقاومت کششی گونه‌های موردنظر نشان داد که مقاومت کششی ریشه گونه ممرز و توسکا در اکثر دامنه‌های قطری بیش‌تر از گونه‌های اقاقیا و کاج می‌باشد و ریشه‌های قطور دارای مقاومت کم‌تری نسبت به ریشه‌های داری قطر کم‌تر می‌باشند و با کاهش قطر میزان مقاومت کششی افزایش می‌یابد. از نظر مقاومت کششی بین ممرز و سه گونه دیگر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و بین سه گونه توسکا ییلاقی، اقاقیا و کاج اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. میانگین میزان مقاومت کششی ریشه برای گونه ممرز، توسکا، اقاقیا و کاج به‌ترتیب ۱۸/۲۳، ٤۱/ ۱۲/۳۱،۱۱ و ۹/۸۲ به‌دست‌آمده است. بیسچتی و همکاران (۲۰۰۵) برای گونه توسکا در منطقه Valdorena بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت کششی را ۳٦/۷٦ و ۰/٦۹ مگاپاسکال (٦)، ملکی و همکاران (۲۰۱٤) میانگین مقاومت کششی برای گونه توسکا در جنگل تنیان واقع در استان گیلان را ۱٦ مگاپاسکال (۲٦) و عبدی و همکاران (۲۰۱۰) برای انجیلی در جنگل هیرکانی ۲۹/٦۷ و ۰/۳٦ مگاپاسکال (۱)، نوریس (۲۰۰۵) برای درختان ولیک و بلوط

بیش‌ترین مقاومت را به‌ترتیب ۱۵/۵ و ۸/۱ و کم‌ترین مقاومت را ٦/۸ و ٦/٤ مگاپاسکال به‌دست آوردند (۲۸). ونگ و همکاران (۲۰۱۹) بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مقاومت کششی برای گونه اقاقیا را ۵/۵٤ و ۱۵/۹۷ به‌دست آوردند (۳۵) که دلیل تفاوت این مقادیر با مطالعه حاضر را می‌توان در پاسخ‌های متفاوت گیاهان به شرایط محیطی متفاوت (انعطاف‌پذیری) برای کاهش استرس‌های زیستی و غیر زیستی دانست (۹). مقاومت کششی ریشه گونه ممرز و توسکا در اکثر دامنه‌های قطری بیش‌تر از گونه‌های اقاقیا و کاج می‌باشد و هم‌چنین ریشه‌های قطور دارای مقاومت کم‌تری نسبت به ریشه‌های داری قطر کم‌تر می‌باشند و با کاهش قطر میزان مقاومت کششی افزایش می‌یابد که با نتایج گری و سوتیر (۱۹۹٦)، بوروگز و توماس (۱۹۹۷)، بیسچتی و همکاران (۲۰۰۵) هم‌خوانی داشته است (۲۳ و ٦). وجود پوست در ریشه‌های قطور (۲۸) و بالاتر بودن درصد سلولز در ریشه‌های نازک (۱۵، ٦ و ۲۸) به‌عنوان عامل اصلی برای درستی این اتفاق بیان شد. سلولز به‌دلیل ساختار متفاوت خود نسبت به لیگنین، مقاومت بیش‌تری در برابر کشش ایجاد می‌کند. نوریس (۲۰۰۵) نیز تغییرات مقاومت کششی را مربوط به تغییر نسبت لیگنین به سلولز، تحت‌تأثیر فصل و عوامل غیرزنده مانند استرس‌های مکانیکی دانسته است (۲۸) و یا ممکن است به‌دلیل تفاوت در دامنه قطری مورد آزمایش باشد (۱٤). ارتباط بین نیروی کششی و قطر ریشه و مقاومت کششی و قطر ریشه به ترکیبات شیمیایی بافت ریشه بستگی دارد به‌طوری‌که نیروی کششی ارتباط منفی با میزان سلولز و همی‌سلولز داشته و ارتباط مثبت با میزان لیگنین و نسبت لیگنین به سلولز دارد (۳٦).



شکل ٦- رابطه مقاومت کششی و قطر ریشه در گونه‌های مختلف.

Figure 6. Relationship between tensile strength and root diameter in different species.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بیش‌ترین تراکم ریشه در لایه‌های بالایی خاک است و با افزایش عمق خاک میزان تراکم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر این پژوهش نشان داد که گونه‌های غیربومی ریشه‌های بیش‌تری داشته که در پایداری خاک نقش به‌سزایی دارند. درواقع حضور ریشه درختان در خاک پایداری خاک را افزایش می‌دهد و مقدار پایداری با تراکم ریشه‌ها رابطه مستقیم دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بومی یا غیربومی بودن گونه‌ها بر نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه آن‌ها تأثیرگذار است. هم‌چنین در خصوص مقاومت کششی بین قطر ریشه و مقاومت کششی ریشه رابطه منفی وجود دارد که همانند دیگر منابع نیز ثابت شده است. ازآن‌جاکه میزان مقاومت کششی در گونه ممرز بیش‌تر از سایر گونه‌ها می‌باشد و شرایط محیطی تقریباً یکسانی بین چهار گونه وجود دارد، بنابراین می‌توان دلیل این اختلاف را به عامل‌های ژنتیکی که بر مقاومت کششی ریشه‌ها تأثیر می‌گذارد نسبت داد.

نتایج این آزمایش باعث افزایش شناخت در مورد گونه‌های انتخاب‌شده و هم‌چنین انتخاب گونه مناسب‌تر، بین گونه‌های بومی و غیربومی موردنظر جهت تثبیت شیروانی‌ها شده است. در بین گونه‌های بومی و غیربومی، گونه‌های بومی مناسب‌تر هستند، زیرا علاوه بر این‌که دارای مقاومت بهتری در برابر کشش هستند، بومی بوده و تهدیدی برای جنگل محسوب نمی‌شود. از بین دو گونه ممرز و توسکا گونه ممرز پیشنهاد می‌شود چون مقاومت کششی بیش‌تری دارد. ازآن‌جاکه یکی از کاربردهای مقاومت کششی، پیش‌بینی و برآورد مکانی مسلح‌سازی حاصل از ریشه‌ها است، این اطلاعات می‌تواند در پهنه‌بندی مسلح‌سازی خاک مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب یک‌گونه در یک منطقه می‌تواند باعث تغییراتی در مسلح‌سازی خاک و پایداری شیب شود. درک ارتباط بین گونه درختی و زیست مهندسی خاک برای مدیریت جنگل و انتخاب گونه‌های مناسب برای پروژه‌های جنگل‌کاری مفید خواهد بود (۱۸). هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که بررسی تغییرات ویژگی‌های مکانیکی ریشه درختان گونه‌های بومی و غیربومی در مدل‌سازی‌های پایداری دامنه خاک در نظر گرفته شود.

منابع

1. Abdi, E., Majnounian, B., Genet, M., and Rahimi, H. 2010. Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability: a case study: hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran. Ecological Engineering. 36: 10. 1409-1416.
2. Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H., Zobeiri, M., and Habibi Bibalani, Gh. 2011. Intraspecies variations of tree root tensile strength as eco-engineering materials in local scale (Case study: Kheyrud Forest). J. of Natural Environment, Iranian J. of Natural Resources. 64: 2. 137-144. (In Persian)
3. Abdi, E., and Majnounian, B. 2018. Forest road maintenance. University of Tehran Press Inc, 327p. (In Persian)
4. Abdi, E. 2014. Effect of oriental beech root reinforcement on slope stability (Hyrcanian Forest, Iran). J. of Forest Science. 60: 4. 166-173.
5. Abernethy, B., and Rutherford, I.D. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. Hydrological Processes. 15: 63-79.
6. Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Simonato, T., Spezialia, B., Vitali, B., Vullo, P., and Zocco, A. 2005. Root strength and root area ratio of forest

species in Lombardy (Northern Italy). Plant and soil. 278: 11-22.
7. Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Epis, T., and Morlotti, E. 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps. Plant and Soil. 324: 1-2. 71-89.
8. Bohm, W. 1979. Methods of studying root systems. In: ecological studies. Springer, Berlin, Germany, 188p.
9. Boldrin, D., Leung, A.K., and Bengough, A.G. 2017. Root biomechanical properties during the establishment of woody perennials. Ecological Engineering. 109: 196-206.
10. Burke, M.K., and Raynal, D.J. 1994. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. Plant and Soil. 162: 135-146.
11. Cofie, P., and Koolen, A.J. 2001. Test speed and other factors affecting the measurements of tree root properties used in soil reinforcement models. Soil and Tillage Research. 63: 51-56.
12. Cole, D., and Landres, P.B. 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. Ecological Applications. 6: 168-184.
13. Comino, E., and Marengo, P. 2010. Root tensile strength of three shrub species: *Rosa canina*, *Cotoneaster dammeri,* and *Juniperus horizontalis*. Soil reinforcement estimation by laboratory tests. Catena. 82: 227-235.
14. De Baets, S., Poeson, Reubens, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker, J., and Muys, B. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant and Soil. 305: 8. 207-226.
15. Deljouei, A., Abdi, E., Majnounian, B., and Schwarz, M. 2018. Comparing roots mechanical characteristics of hornbeam trees in different diameter at breast height classes. Forest and Wood Products. 71: 3. 199-207. (In Persian)
16. Deljouei, A., Abdi, E., Majnounian, B., and Schwarz, M. 2019. Roots spatial distribution of *Carpinus betulus* in lowland Hyrcanian forests (Kheyrud forest, Nowshahr). J. of Forest Research and Development. 4: 4. 477-488. (In Persian)
17. Deljouei, A., Abdi, E., Schwarz, M., Majnounian, B., Sohrabi, H., and Dumroese, R.K. 2020. Mechanical characteristics of the fine roots of two broadleaved tree species from the temperate Caspian Hyrcanian ecoregion. Forests. 345: 11. 2-19.
18. Esmaiili, M., Abdi, E., Jafary, M., and Majnounian, B. 2017. Comparison of biotechnical characteristics of root in two forest plantations of *Fraxinus excelsior* and *Picea abies*, J. of Forest Research and Development. 3: 3. 237-247. (In Persian)
19. Leung, T., Yan, W., Hau, B., and Tham, L. 2015. Root systems of native shrubs and trees in Hong Kong and their effects on enhancing slope stability. CATENA. 125: 102-110.
20. Genet, M., Stokes, A., Slain, F., Mickovski, S., Forced, T., Domain, J.F., and Van Beek, R. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. Plant and Soil. 258: 1-9.
21. Genet, M., Kokutse, N., Stokes, A., Fourcaud, T., Cain, X., Ji, J., and Mickovski, S. 2008. Root reinforcement in plantations of *Cryptomeria japonica*. Forest Ecology and Management. 256: 1517-1526.
22. Gray, D.H., and Sotir, R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control. John Wiley, Chichester, 400p.
23. Ji, J., Kokutse, N., Genet, M., Fourcaud, T., and Zhang, Z. 2012. Effects 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 Loess Plateau, China. Catena. 92: 139-154.
24. Keybondori, S., Majnounian, B., Abdi, E., Yousefzadeh, H., and Deljouei, A. 2018. Assessing spatial changes of roots tensile strength of *Salix purpurea* L. in the riparian zone of Karun (Case study: Susan plain in Khuzestan province).

Iranian J. of Forest and Poplar Research. 26: 1. 70-80. (In Persian)
25. Majnounian, B., Abdi, E., Foshat, M., and Sufi Mariv, H. 2014. Determination of biomechanical properties of Tabrizi species for use in soil biomechanics. J. of Forest and Wood Products (Iranian J. of Natural Resources). 67: 1. 13-19. (In Persian)
26. Maleki, S., Naghdi, R., Abdi, E., and Nikooy, M. 2014. Investigating the amount of reinforcement of Alnussubcordata root in order to use in bioengineering. Iranian J. of Forest. 6: 1. 49-58. (In Persian)
27. Meyer, F.H., and ttsche, D.G. 1971. Distribution of root tips and tender roots of beech. In Ecological Studies, Analysis and Synthesis. Eds. H Ellenberg. 2: 47-52.
28. Nilaweera, N.S., and Nutalaya, P. 1999. Role of tree roots in slope stabilization. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 57: 337-342.
29. Norris, J. 2005. Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England. Plant and Soil. 278: 43-53.
30. Pollen-Bankhead, N., Simon, A., and Thomas, R.E. 2013. The reinforcement of soil by roots: recent advances and directions for future research. Ecogeomorphology. 12: 107-12426.
31. Pourmalekshah, A.A.M.A., Moayeri, M.H., and Parsakhoo, A. 2019. Effect of the root biotechnical characteristics of *Alnus subcordata*, *Paulownia fortunei* and *Populus deltoids* on the soil mechanics. J. of Forest Science. 65: 7. 283-290.
32. Preti, F., and Giadrossich, F. 2009. Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (*Spartium junceum* L.). Hydrology and Earth System Sciences. 13: 9. 1713-1726.
33. Schmidt, K.M., Roering, J.J., Stock, J.D., Dietrich, W.E., Montgomery, D.R., and Schaub, T. 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow susceptibility in the Oregon Coast Range. Canadian Geotechnical J. 38: 995-1024.
34. Simon, A., and Collison, A.J.C. 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. Earth Surface Processes and Landforms. 27: 527-546.
35. Stokes, A., and Mattheck, C. 1996. Variation of wood strength in tree roots. J. of Experimental Botany. 47: 5. 693-699.
36. Sun, H.L., Li, S.C., Xiong, W.L., Yang, Z.R., Cui, B.S., and Yang, T. 2008. Influence of slope on root system anchorage of *Pinus yunnanensis*. Ecological Engineering. 32: 60-67.
37. Wang, X., Hong, M.M., Huang, Z., Zhao, Y.F., Ou, Y.S., Jia, H.X., and Li, J. 2019. Biomechanical properties of plant root systems and their ability to stabilize slopes in geohazard-prone regions. Soil and Tillage Research. 189: 148-157.
38. Ye, C., Guo, Z., Li, Z., and Cai, C. 2017. The effect of Bahiagrass roots on soil erosion resistance of Aquults in subtropical China. Geomorphology. 285: 82-93.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 27 (4), 2021
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18253.1884

Comparison of bioengineering characteristics of native and non-native tree species

A. Gholami Derami[1], *H. Akbari[2], M. Nasiri[3] and M. Foshat[4]
[1]M.Sc. of Forest Engineering, Dept. of Forestry Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,
[2]Associate Prof., Dept. of Forestry Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,
[3]Assistant Prof., Dept. of Forestry Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,
[4]Ph.D. Student, Dept. of Forestry Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Received: 08.17.2020; Accepted: 10.12.2020

Abstract

Background and Objectives: The roots of the plants are used as a kind of material in slope preservation and resistance. Because in addition to help for preserving and resisting the environment, it has recovery ability and has no harmful and negative effects on the environment, and has no additional costs too. Plant cover causes pastiness between soil particles for having root system and has a significant impact on slope stabilization, for this reason, the biological characteristics of different species have great importance. The quantity of reinforcement depends on root biotechnical characteristics such as root density and tensile strength. This study assessed these biotechnical properties.

Materials and Methods: In this study, two non-native afforested stands of pine (*Pinus sylvesteres*) and acacia (*Robinia peseudoacasia*) and two natural stands with native species of hornbeam (*Carpinus betulus*) and Caucasian alder (*Alnus subcordata*) with similar habitat conditions (altitude, slope and slope aspect, soil type, geology, etc.) in the forest of Neka city (Neka-Zalamrud forestry plan) were chosen and six trees of each species were randomly selected for later analysis. The Root Area Ratio and tensile strength were investigated. The profile trenching method was used to analyze and compare their root distribution. The walls of the profile are divided into 10 cm horizons. The number and diameter of protruded roots in each depth were measured. Finally, the percentage of Root Area Ratio in each horizon was calculated. Standard Santam was used to determine the tensile strength of roots. Root samples were collected at the bottom (30% slope) of trees.

Results: The results indicated that the Root Area Ratio was decreased with increasing depth according to the exponential function. The Root Area Ratio in non-native species is higher than in native species. Which has obtained for *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata*, *Robinia peseudoacasia,* and *Pinus sylvesteres* 0.033±0.002, 0.081±0.002, 0.026±0.018, 0.177±0.015 percent, respectively. The diameter range of the tested roots was 2-9 mm. The results of tensile strength tests showed that with increasing diameter, the amount of tensile strength according to the exponential function decreased. There is a positive power relationship between root diameter and tensile force.

Conclusion: In this research tensile strength of native species was more than non-native species that has obtained for *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata*, *Robinia peseudoacasia,* and *Pinus sylvesteres* 31.93±10.3, 17.57±6.98, 18.4±2.41, 9.77±5.46 Mpa, respectively. The results of this work may help us when applying an efficient bioengineering technique.

Keywords: Bioengineering, Non-native species, Root Area Ratio, Root tensile strength

*Corresponding author: hassan_akbarivas@yahoo.com