

مقایسه ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه گونه‌های زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و نوئل (*Picea abies*) جنگلکاری شده

مرضیه اسماعیلی^۱، احسان عبدی^{۲*}، محمد جعفری^۳ و باریس مجنونیان^۴

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- استاد، گروه مهندسی احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۴- استاد، گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۸

چکیده

در این پژوهش دو توده جنگلکاری شده با گونه‌های زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و نوئل (*Picea abies*) با شرایط رویشگاهی مشابه انتخاب و از هر گونه، سه پایه به روش کاملاً تصادفی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. برای بررسی پراکنش ریشه‌ها، از روش حفر پروفیل و برای اندازه‌گیری مقاومت کششی، از دستگاه اینسترون استاندارد استفاده شد. این پژوهش نشان داد که در هر دو گونه، پراکنش ریشه‌ها و مقدار مسلح‌سازی خاک با افزایش عمق خاک طبق تابع لگاریتمی و مقاومت کششی ریشه با افزایش قطر ریشه طبق تابع توانی کاهش می‌یابند. به‌طور میانگین بیش از ۸۰ درصد از پراکنش ریشه‌ها در عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متر و در نتیجه آن بیش‌ترین مقدار مسلح‌سازی خاک در این عمق مشاهده شد. طبق نتایج، مقاومت کششی ریشه گونه نوئل ($۱۹/۳۱ \pm ۲/۶۴$ مگاپاسکال) با دامنه قطری $۰/۳۲$ تا $۴/۹۳$ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه زبان‌گنجشک ($۱۶/۹۸ \pm ۱/۰۱$ مگاپاسکال) با دامنه قطری $۰/۴۲$ تا $۴/۹۱$ میلی‌متر بود. همچنین مقدار مسلح‌سازی خاک توسط ریشه گونه نوئل ($۰/۰۰۸ \pm ۰/۰۳$ کیلوپاسکال) بیشتر از گونه زبان‌گنجشک ($۰/۰۲ \pm ۰/۰۰۵$ کیلوپاسکال) بوده است. نتایج این تحقیق ما را در استفاده آگاهانه از این گونه‌ها در زیست‌مهندسی یاری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پراکنش ریشه، زیست‌مهندسی، مسلح‌سازی خاک، مقاومت کششی ریشه.

مقدمه

(RAR) که نشان‌دهنده نسبت مجموع مساحت سطح مقطع ریشه به مساحت مقطع خاک است، تعیین کرد (Ji et al., Genet et al., 2008, Wu et al., 1979) (Zhang et al. 2014, 2012). این ویژگی‌ها که تعیین‌کننده نرخ افزایش مقاومت خاک می‌باشند، خود تحت تأثیر عواملی مانند ویژگی‌های ژنتیکی (Bischetti et al., 2005; Genet et al., 2008;) (Leung et al., 2015)، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی گونه گیاهی (Ji et al., 2012) و مشخصه‌های رویشگاهی مانند اقلیم منطقه، خاک، کاربری زمین و نوع توده (Genet et al., Bischetti et al., 2005) (Ji et al., 2012, Zhong et al., 2016, 2008) هستند. با تغییر در این عوامل، ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه گیاهان و مقدار مسلح‌سازی خاک تغییر می‌کند؛ بنابراین استفاده آگاهانه از فنون زیست‌مهندسی، نیازمند آگاهی نسبت به ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه گونه‌های مختلف و مقدار تأثیر آنها در مسلح‌سازی خاک در شرایط مختلف است.

تاکنون، پژوهش‌های متعددی به بررسی ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه گونه‌های مختلف سوزنی‌برگ (Bischetti et al., 2009; Genet et al.,) (Bischetti et al., 2012; Ji et al., 2008) و پهن‌برگ (Bischetti et al., 2012; Ji et al., 2009) و مقدار تأثیر آنها در مسلح‌سازی خاک پرداخته‌اند؛ اما پژوهش‌های فوق در شرایط رویشگاهی (مانند ویژگی‌های توده، خاک، شیب و جهت دامنه و زمین‌شناسی) مختلف صورت گرفته‌اند که همان‌طور که اشاره شد، ساختار درختان جنگل و سیستم ریشه آنها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شرایط رویشگاه است؛ بنابراین، ممکن است تفاوت مشاهده‌شده در مقدار تأثیرگذاری گونه‌های مختلف در مسلح‌سازی خاک در نتیجه تفاوت رویشگاه گونه‌های مورد مقایسه باشد و نه صرفاً

بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، مقاومت و پایداری خاک در دامنه‌ای با حضور پوشش گیاهی بسیار بیشتر از دامنه عاری از پوشش گیاهی است (Genet et al., 2014; Zhang et al., 2005). این‌گونه پژوهش‌ها نشان داده است که می‌توان از پوشش گیاهی برای پایداری و کنترل فرسایش خاک استفاده کرد که امروزه به‌عنوان روش زیست‌مهندسی مطرح می‌شود. پوشش گیاهی در حقیقت به‌عنوان یک لایه حفاظتی بین خاک و اتمسفر عمل می‌کند و در حفظ تعادل بین نیروهای مقاوم خاک و نیروهای ناپایداری ساز نقش بسزایی دارد (Morgan and Rickson, 2003). پوشش گیاهی با گسترش ریشه‌های خود در خاک موجب بهبود مقاومت خاک و مسلح‌سازی آن می‌شود. یکی از ویژگی‌های بارز ریشه گیاهان این است که ریشه در برابر کشش بسیار مقاوم بوده درحالی‌که خاک در برابر کشش بسیار ضعیف، ولی در مقابل فشار مقاوم است (De Beats et al., 2008; Abdi et al., 2010)؛ بنابراین با حضور ریشه گیاهان در خاک و ترکیب این دو، مقاومت خاک در برابر نیروهای رانشی به‌طور مطلوبی افزایش می‌یابد (Thorne, 1990). حضور ریشه گیاهان در خاک موجب افزایش چسبندگی خاک شده و بدین ترتیب موجب بهبود مقاومت خاک دامنه و مسلح‌سازی آن می‌شود. مقدار افزایش چسبندگی خاک، عمدتاً به ویژگی‌های زیست‌فنی یعنی پراکنش و مقاومت کششی سیستم ریشه بستگی دارد (Bischetti et al., 2014; Zhang et al., 2009). مقاومت کششی ریشه با تعیین نسبت حداکثر نیروی کششی لازم برای گسیختگی ریشه به سطح مقطع ریشه محاسبه می‌شود (Wu et al., 1979; Bischetti et al., 2009; Abdi et al., 2014). همچنین پراکنش ریشه را می‌توان با محاسبه شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک

با شرایط محیطی مشابه ولی با پوشش درختی متفاوت انتخاب شدند. توده‌های مورد بررسی شامل: (۱) جنگلکاری با گونه زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و (۲) جنگلکاری با گونه نوئل (*Picea abies*) هستند. هر دو توده مورد پژوهش در یک زمان جنگلکاری شده و سن این توده‌ها در زمان انجام این پژوهش حدود ۳۰ سال بوده است. جزئیات بیشتر در ارتباط با توده‌های مورد پژوهش در جدول ۱ آمده است. طبق آنالیز خاک صورت گرفته، نوع خاک بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید (Unified) در زیر توده زبان گنجشک و نوئل به ترتیب MH و ML است که بر روی سنگ مادر آهکی واقع شده است. با انجام آزمایش برش مستقیم با کنترل کرنش (ASTM D3080-72) شاخص‌های مقاومت برشی خاک شامل چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک داخلی خاک برای توده زبان گنجشک به ترتیب ۲/۶۱ کیلو پاسکال و ۱۹/۲۰ درجه و برای توده نوئل ۳/۲۵ کیلو پاسکال و ۲۱/۵۴ درجه است.

تفاوت نوع گونه؛ بنابراین مقایسه مقدار مسلح‌سازی گونه‌های مختلف گیاهی در رویشگاه‌های متفاوت مقایسه روشنی نخواهد بود.

بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه روشن‌تر قابلیت‌های گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در مسلح‌سازی خاک دامنه انجام شده که در آن دو توده مختلف (جنگلکاری گونه زبان گنجشک و نوئل) در مجاور هم با شرایط رویشگاهی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه، نوع خاک، زمین‌شناسی و غیره) مشابه انتخاب شده و با ثابت بودن شرایط رویشگاه، وضعیت پراکنش ریشه و مقاومت کششی ریشه هر یک از آنها مورد بررسی و مقدار مسلح‌سازی خاک توسط ریشه‌ها محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

پژوهش حاضر در بخش پاتم جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود واقع در شرق شهر نوشهر انجام شد. با جنگل گردشی‌های انجام شده، دو توده در مجاور هم

جدول ۱- خصوصیات توده‌های مورد پژوهش

Table 1. The studied forest stands characteristics

گونه	شیب (درجه) Slope angle (degree)	جهت Aspect	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	میانگین ارتفاع درخت ± اشتباه از معیار (متر) Mean tree height ± SE (m)	میانگین قطر برابر سینه درخت ± اشتباه از معیار (متر) Mean tree DBH ± SE (cm)
نوئل <i>Picea abies</i>	16	شمال غربی NW	750	11.24 ± 1.56	15.49 ± 0.56
زبان گنجشک <i>Fraxinus excelsior</i>	15	شمال غربی NW	750	17.57 ± 2.07	15.28 ± 0.66

روش پژوهش

هر یک از توده‌ها تعیین و سپس سه پایه از هر گونه به صورت تصادفی انتخاب شد. در فاصله ۵۰ سانتی-متری از هر پایه درختی، پروفیل‌هایی در بالادست و

برای بررسی خصوصیات سیستم ریشه در توده‌های مورد پژوهش، ابتدا قطعه‌ای با ابعاد ۵۰ در ۳۰ متر در

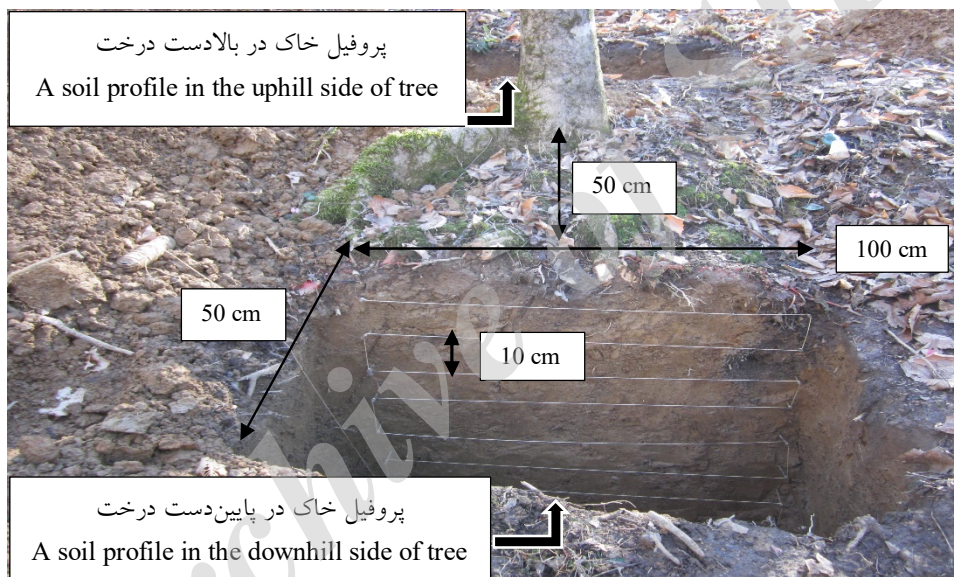
$$A_r = \sum_{i=1}^i \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن d_i قطر ریشه نام است. با تقسیم مساحت اشغال شده توسط ریشه‌ها (A_r) به مساحت خاک در هر لایه (A_s)، شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR) محاسبه شد (رابطه ۲)، (Wu et al., 1979; Genet et al., 2008; Zhang et al., 2014).

$$RAR = \frac{A_r}{A_s} \quad \text{رابطه (۲)}$$

پایین دست درخت (Bischetti et al., 2009; Ji et al., 2012) با ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ سانتی متر (Abdi et al., 2010) تا حداکثر عمق ریشه دوانی (Ji et al., 2012) حفر شدند (شکل ۱). روی دیواره هر پروفیل لایه‌های ۱۰ سانتی متری، مشخص و علامت گذاری شدند (شکل ۱) و قطر ریشه‌های بیرون زده از دیواره در هر لایه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد (Abdi et al., 2010).

سپس مساحت اشغال شده توسط ریشه‌ها در هر لایه خاک با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد:



شکل ۱- موقعیت و ابعاد پروفیل‌ها در بالا و پایین دست هر نمونه درخت و لایه‌های ۱۰ سانتی متری روی دیواره هر پروفیل
Figure 1. Location of soil profiles in the uphill and downhill sides of each tree sample and the 10 cm-interval soil layers on soil trench

متر بریده شدند (Abdi et al., 2009; Leung et al., 2015) و با اندازه‌گیری قطر در سه قسمت مختلف طول ریشه، قطر متوسط آنها به دست آمد (De Beats et al., 2008). آزمایش مقاومت کششی با استفاده از دستگاه اینسترون استاندارد ۴۴۸۶ ساخت کشور انگلستان، با سرعت ۱۰ میلی متر در دقیقه (Bischetti et al., 2005; Genet et al., 2008) انجام شد و آزمایش‌هایی که گسیختگی ریشه در میانه طول ریشه

برای محاسبه مقاومت کششی ریشه، نمونه ریشه-های درختان در عمق حدود ۳۰ سانتی متری خاک با سیم‌چین تیز بریده و جمع‌آوری شدند (Abdi et al., 2014) و تا زمان انجام آزمایش مقاومت کششی، در کیسه‌های پلاستیکی با تیمار ۱۵ درصد الکل در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Bischetti et al., 2005; Leung et al., 2015). نمونه ریشه‌های سالم و مناسب انتخاب و هر یک به طول ۱۵ سانتی-

که در آن K ضریبی است که با توجه به شرایط منطقه و زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک محاسبه می‌شود که بین $1/10$ تا $1/3$ در نظر گرفته می‌شود (Wu *et al.*, 1979)، T_r متوسط مقاومت کششی نظیر قطر متوسط و a_r شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک هستند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تمام تجزیه و تحلیل‌ها در این پژوهش در محیط نرم-افزار SPSS 21 انجام شد. با برازش توابع مختلف، نوع تابع موجود بین داده‌های شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک و چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه با عمق خاک و مقاومت کششی ریشه با قطر ریشه مورد بررسی قرار گرفت و تابع مناسب با توجه به ضریب تبیین بالا و اشتباه از معیار پایین انتخاب شد. به منظور بررسی معنی‌دار بودن رابطه‌ها از آنالیز واریانس استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و سپس آنالیز مناسب برای بررسی داده‌ها انتخاب و اجرا شد. برای بررسی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک و چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون غیر پارامتری من‌ویتنی بررسی شدند. برای نرمال‌سازی داده‌های مقاومت کششی ریشه‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد و برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی-دار بین مقاومت کششی ریشه گونه‌ها از آنالیز کوواریانس استفاده شد.

نتایج

بر اساس نتایج در هر دو گونه، شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک با افزایش عمق خاک طبق تابع لگاریتمی کاهش می‌یابد (شکل ۲). بیش‌ترین مقدار شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در افق اول

بین دو فک دستگاه رخ داده بود، در محاسبه‌ها و آنالیزهای نهایی مورد استفاده قرار گرفتند (Bischetti *et al.*, 2012; Ji *et al.*, 2005). با تقسیم حداکثر نیروی لازم برای گسیختن ریشه (F_{max}) به سطح مقطع (Cross sectional area) ریشه در محل گسیختگی، مقاومت کششی ریشه در محل گسیختگی (T_r) محاسبه شد (رابطه ۳)، (Bischetti *et al.*, 2005; Genet *et al.*, 2008; Leung *et al.*, 2015).

$$T_r = \frac{F_{max}}{CSA} \quad \text{رابطه (۳)}$$

سپس، مقدار مسلح‌سازی خاک توسط ریشه گونه‌های مورد بررسی با استفاده از مدل "وو" (۱۹۷۹) تعیین شد (Wu *et al.*, 1979). مدل مسلح-سازی ریشه "وو" یکی از آسان‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها برای کمی کردن مسلح‌سازی خاک توسط ریشه‌ها است که مبتنی بر معادله موه‌ر-کولمب بوده که بر اساس آن مقدار افزایش مقاومت برشی خاک در اثر حضور ریشه (T_{sr}) طبق رابطه ۴ تعیین می‌شود.

$$\tau_{sr} = C_s + C_r + \sigma \tan \varphi \quad \text{رابطه (۴)}$$

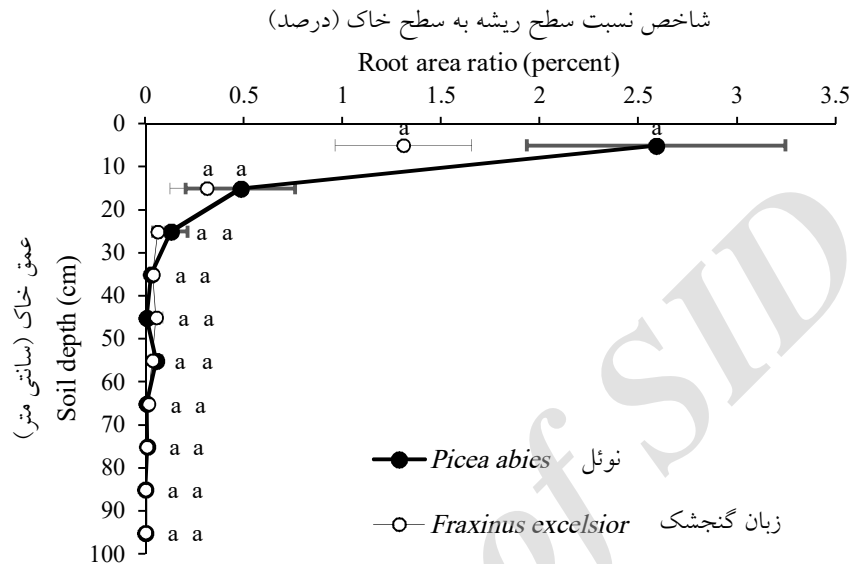
که در آن C_s چسبندگی خاک، C_r چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه، σ تنش معمول در صفحه برش و φ زاویه اصطکاک درونی ذرات خاک هستند.

از فرضیه‌های اولیه مدل این است که زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک (φ) با حضور ریشه گیاه تغییری نمی‌کند و به همین دلیل اثر حضور ریشه با توجه به چسبندگی اضافه‌شده به خاک (C_r) برآورد می‌شود (Pollen, 2007). مقدار چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه (C_r) با استفاده از دو ویژگی شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک و مقاومت کششی ریشه، از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$C_r = K(T_r a_r) \quad \text{رابطه (۵)}$$

نوئل ۰/۰۰۰۰۸۵ درصد و ۵/۰۴ درصد به دست آمد. نتایج حاصل از آزمون غیرپارامتری من ویتنی نشان داد که بین دو گونه از نظر شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک اختلاف معنی داری وجود ندارد (Asymp.Sig.(2-tailed) = ۰/۰۸, Z = -۱/۷۳).

یا عمق صفر تا ۱۰ سانتی متر و به طور میانگین بیش از ۸۰ درصد از این شاخص در عمق کمتر از ۲۰ سانتی متر مشاهده شد. کمینه و بیشینه مقدار شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک برای گونه زبان گنجشک به ترتیب ۰/۰۰۰۰۱۷ درصد و ۴/۰۳ درصد و برای گونه

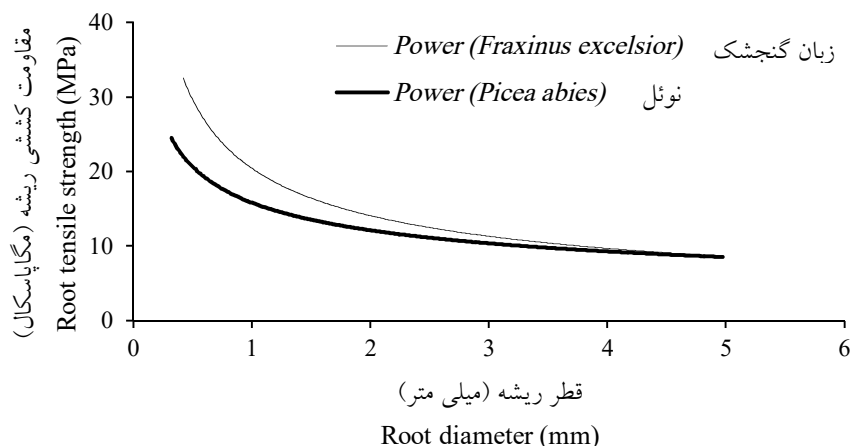


شکل ۲- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک (میانگین \pm اشتباه از معیار) برای گونه های زبان گنجشک و نوئل در عمق های مختلف خاک (در هر عمق، حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است ($P > ۰/۰۵$))

Figure 2. Root area ratio (mean \pm SE) for the *Fraxinus excelsior* and *Picea abies* species at different soil depths (At each depth, same letters showing not significantly different ($P > 0.05$))

گنجشک ۰/۴۲ تا ۴/۹۱ میلی متر و در نمونه های نوئل ۰/۳۲ تا ۴/۹۳ میلی متر بود. کمینه و بیشینه مقاومت کششی ریشه برای گونه زبان گنجشک به ترتیب ۲/۰۸ و ۱۴۹/۹۴ مگا پاسکال و برای گونه نوئل به ترتیب ۱/۸۹ و ۴۲۴/۰۵ مگا پاسکال به دست آمد. نتایج آنالیز کوواریانس نشان داد که میانگین مقاومت کششی ریشه برای گونه زبان گنجشک ($۱۶/۹۸ \pm ۱/۰۱$ مگا پاسکال) به طور معنی داری بیشتر از گونه نوئل ($۱۹/۳۱ \pm ۲/۶۴$ مگا پاسکال) است ($P < ۰/۰۵$, $F_{1,4,6} = ۵/۶۵$).

در آزمایش مقاومت کششی ریشه برای گونه زبان گنجشک از ۲۴۰ نمونه ریشه مورد آزمایش ۲۰۹ نمونه ریشه و برای گونه نوئل از ۲۴۰ نمونه ریشه مورد آزمایش ۲۰۱ نمونه ریشه، گسیختگی در میانه طول ریشه بین دو فک دستگاه رخ داد که در محاسبه ها و آنالیزها مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در هر دو گونه با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی ریشه بر اساس تابع توانی منفی کاهش می یابد (شکل ۳). دامنه قطری ریشه ها در نمونه های زبان-

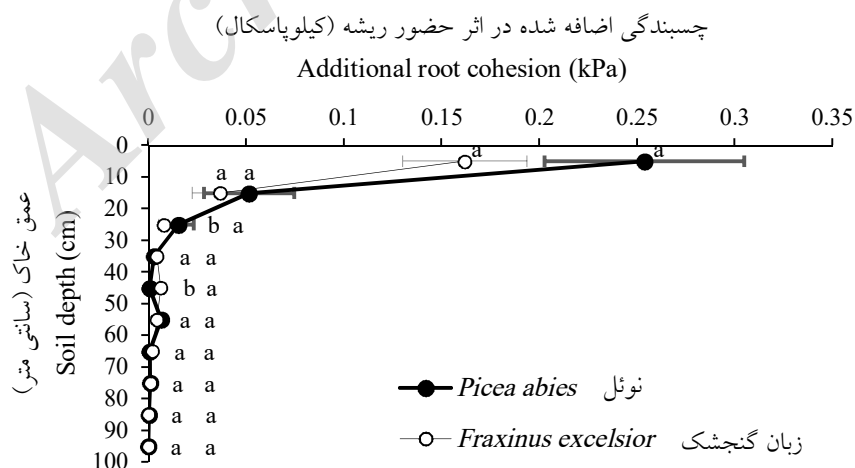


شکل ۳- رابطه مقاومت کششی ریشه با قطر ریشه

Figure 3. The relationship between root tensile strength and root diameter

حضور ریشه برای گونه زبان گنجشک به ترتیب ۰/۰۰۵ و ۰/۰۴ کیلو پاسکال و برای گونه نوئل ۰/۰۰۸ و ۰/۰۷ کیلو پاسکال به دست آمد. نتایج حاصل از آزمون غیرپارامتری من‌ویتنی نشان داد که چسبندگی اضافه شده در اثر حضور ریشه گونه نوئل (0.03 ± 0.008 کیلو پاسکال) به طور معنی داری بیشتر از گونه زبان گنجشک (0.02 ± 0.005 کیلو پاسکال) است (Asymp.Sig.(2-tailed) = ۰/۰۰, $Z = -۲/۹۷$).

در هر دو گونه مقدار چسبندگی اضافه شده به خاک در اثر حضور ریشه با افزایش عمق خاک، همانند تغییرات شاخص سطح ریشه به سطح خاک، طبق تابع لگاریتمی کاهش می‌یابد (شکل ۴). به طور کلی، بیشترین چسبندگی اضافه شده به خاک در اثر حضور ریشه در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متر بوده که بیشترین پراکنش ریشه نیز در این لایه مشاهده شد. کمینه و بیشینه مقدار چسبندگی اضافه شده در اثر



شکل ۴- چسبندگی اضافه شده به خاک در اثر حضور ریشه (میانگین \pm اشتباه از معیار) برای گونه‌های زبان گنجشک و نوئل در عمق‌های مختلف خاک (در هر عمق، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است ($P > 0.05$))

Figure 4. Additional root cohesion (mean \pm SE) for the *Fraxinus excelsior* and *Picea abies* species at different soil depths (At each depth, same letters showing not significantly different ($P > 0.05$))

بحث

داد (Genet *et al.*, 2005; Abdi *et al.*, 2014) که البته این موضوع نیازمند بررسی‌های جداگانه است که خارج از بحث این پژوهش است. (Schiechl (1980 و Bischetti و همکاران (2005) در پژوهشی جداگانه، مقاومت کششی ریشه گونه نونل را به ترتیب ۲۷/۲۶ مگا پاسکال و ۳۸/۹۴ مگا پاسکال برای دامنه قطری ۰/۱۲ تا ۰/۸۴ میلی‌متر برآورد کرده‌اند (Bischetti *et al.* 2005; Norris and Greenwood (2006) مقاومت کششی را برای ریشه گونه نونل ۲۸/۰۰ مگا پاسکال و گونه زبان‌گنجشک ۲۶/۰۰ مگا پاسکال گزارش کرده‌اند (Norris and Greenwood, 2006). در این پژوهش میانگین مقاومت کششی ریشه برای گونه زبان‌گنجشک ۱/۰۱ ± ۱۶/۹۸ مگا پاسکال برای دامنه قطری ۰/۴۲ تا ۰/۹۱ میلی‌متر و برای گونه نونل ۲/۶۴ ± ۱۹/۳۱ مگا پاسکال برای دامنه قطری ۰/۳۲ تا ۰/۹۳ میلی‌متر به دست آمد. تفاوت‌های مشاهده‌شده در اعداد گزارش شده را می‌توان به شرایط محیطی مختلف و یا در نظر گرفتن دامنه‌های قطری مختلف توسط پژوهشگران نسبت داد.

بیش‌ترین چسبندگی اضافه‌شده به خاک در اثر حضور ریشه در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر که بیش‌ترین پراکنش ریشه وجود دارد، مشاهده شد و با افزایش عمق خاک همانند الگوی نسبت سطح ریشه به سطح خاک کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد چسبندگی اضافه‌شده به خاک توسط ریشه گونه نونل (۰/۰۸ ± ۰/۰۳ کیلو پاسکال) به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه زبان‌گنجشک (۰/۰۵ ± ۰/۰۲ کیلو پاسکال) بوده است که نشان‌دهنده قابلیت بیشتر گونه نونل در مسلح‌سازی خاک است. از آنجایی‌که بین دو گونه از نظر پراکنش ریشه اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و از نظر مقاومت کششی ریشه اختلاف معنی‌دار وجود دارد، دلیل بیشتر

این پژوهش نشان داد که پراکنش ریشه با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد که با پژوهش‌های گذشته (Bischetti *et al.*, 2005; Genet *et al.*, 2008; Ji *et al.*, 2016; Zhong *et al.*, 2012) هم‌خوانی دارد. دلیل این کاهش را می‌توان کاهش مواد غذایی و هوا و افزایش تراکم خاک در لایه‌های پایین خاک دانست (Jourgholami *et al.*, 2017). در این پژوهش تغییرات شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک با عمق خاک از تابع لگاریتمی تبعیت می‌کند که در پژوهش‌های دیگر تابع گاما (Bischetti *et al.*, 2005) و نمایی (Abdi *et al.*, 2009) برای این تغییرات گزارش شده است. دلیل این تفاوت‌ها را می‌توان به نوع گونه مورد بررسی و شرایط محیطی و خصوصیات خاک نسبت داد.

نتایج مربوط به آزمایش مقاومت کششی ریشه نشان داد که با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی ریشه بر اساس تابع توانی منفی کاهش می‌یابد (شکل ۳) که این نتیجه برای دیگر گونه‌ها نیز در پژوهش‌های گذشته (Bischetti *et al.*, Norris *et al.*, 2008, Genet *et al.*, 2005, De Beats *et al.*, 2008, 2009, Zhong *et al.*, 2016, Ji *et al.*, 2012, 2008) گزارش شده است. Genet و همکاران (2005) بالاتر بودن درصد سلولز در ریشه‌های نازک و مقاومت بیشتر سلولز در برابر کشش نسبت به لیگنین را برای توجیه این پدیده ذکر کرده‌اند (Genet *et al.*, 2005). مقاومت کششی ریشه بسته به ویژگی‌های ژنتیکی گونه گیاهی و مشخصه‌های رویشگاهی متغیر است و از آنجایی‌که شرایط محیطی تقریباً یکسانی بین دو توده وجود دارد، بنابراین می‌توان دلیل اختلاف معنی‌دار مقاومت کششی ریشه بین دو گونه را به عامل‌های ژنتیکی از قبیل ترکیبات ساختار شیمیایی ریشه نسبت

ریشه گونه زبان گنجشک می‌شود. از آنجایی که شرایط محیطی تقریباً یکسانی بین دو گونه وجود دارد، بنابراین می‌توان دلیل این اختلاف را به عامل‌های ژنتیکی که بر مقاومت کششی ریشه‌ها تأثیر می‌گذارد، نسبت داد. این نتایج شناخت ما را از ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه این دو گونه و قابلیت‌های آنها در مسلح‌سازی خاک دامنه بیشتر می‌کند و ما را در استفاده آگاهانه از این گونه‌ها در زیست‌مهندسی یاری می‌کند.

تشکر و قدردانی

از کارکنان محترم جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود و آزمایشگاه مکانیک چوب دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران که ما را در اجرای این پژوهش یاری دادند، قدردانی می‌کنیم.

References

- Abdi, E., B. Majnounian, H. Rahimi & M. Zobeiri, 2009. Distribution and tensile strength of Hornbeam (*Carpinus betulus*) roots growing on slopes of Caspian Forests, *Iran, Journal of Forestry Research*, 20(2): 105-110.
- Abdi, E., B. Majnounian, M. Genet & H. Rahimi, 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.
- Abdi, E., F. Azhdari, A. Abdulkhani & H. Soofi Marvi, 2014. Tensile strength and cellulose content of Persian ironwood (*Parrotia persica*) roots as bioengineering material, *Journal of Forest Science*, 60(10): 425-430.
- Bischetti, G. B., E. A. Chiaradia, T. Epis & E. Morlotti, 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps, *Plant and Soil*, 324(1-2): 71-89.
- Bischetti, G. B., E. A. Chiaradia, T. Simonato, B. Speziali, B. Vitali, P. Vullo & A. Zocco, 2005. Root strength and root area ratio of

بودن چسبندگی اضافه‌شده به خاک توسط ریشه گونه نونل را، مقاومت کششی بیشتر ریشه این گونه دانست. مقادیر چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه در این پژوهش، کمتر از مقادیری است که دیگر پژوهش‌ها برای جنگل‌های طبیعی (Abdi et al., 2010)، گزارش کرده‌اند. همچنین Schmidt و همکاران (2001) نشان دادند که چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه در جنگل‌های طبیعی بیشتر از جنگلکاری‌ها است (Schmidt et al., 2001)؛ بنابراین، ممکن است دلیل اختلاف مشاهده‌شده در نتایج این پژوهش با پژوهش‌هایی که در جنگل‌های طبیعی صورت گرفته‌اند را به تفاوت در ویژگی‌های زیست-فنی سیستم ریشه گونه‌ها در شرایط محیطی مختلف، مانند نوع تجدید حیات، نسبت داد.

این پژوهش ثابت کرد که ریشه گونه نونل موجب افزایش بیشتر مسلح‌سازی خاک دامنه نسبت به

- forest species in Lombardy (Northern Italy), *Plant and Soil*, 278(1): 11-22.
- De Baets, S., J. Poesen, B. Reubens, K. Wemans, J. De Baerdemaeker & B. Muys, 2008. Root tensile strength and root distribution of typical mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength, *Plant and Soil*, 305(1-2): 207-226.
- Genet, M., A. Stokes, F. Salin, S. B. Mickovski, T. Fourcaud, J. F. Dumail & R. Van Beek, 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots, *Plant and Soil*, 278(1): 1-9.
- Genet, M., N. Kokutse, A. Stokes, T. Fourcaud, X. Cai, J. Ji & S. Mickovski, 2008. Root reinforcement in plantations of *Cryptomeria japonica* D. Don: effect of tree age and stand structure on slope stability, *Forest Ecology and Management*, 256(8): 1517-1526.
- Ji, J., N. Kokutse, M. Genet, T. Fourcaud & Z. Zhang, 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.
- Jourgholami, M., A. Deljouei, E. S. Hosseini Ala & Gh. Zahedi-Amiri, 2017. Effect of soil compaction on functional equilibrium and biomass allocation of *Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis*, *Journal of Forest Research and Development*, 3(2): 91-106. (In Persian)
 - Leung, F. T. Y., W. M. Yan, B. C. H. Hau & L. G. Tham, 2015. Root systems of native shrubs and trees in Hong Kong and their effects on enhancing slope stability, *Catena*, 125: 102-110.
 - Morgan, R. P. C. & R. J. Rickson, 2003. Slope Stabilization and Erosion Control, A Bioengineering Approach, Taylor & Francis, 306 p.
 - Norris, J. E. & J. R. Greenwood, 2006. Assessing the role of vegetation on soil slopes in urban areas. In: Proceedings of the 10th IAEG International Congress, Nottingham, United Kingdom, 12 p.
 - Norris, J. E., A. Stokes, S. B. Mickovski, E. Cammeraat, R. Van Beek, B. C. Nicoll & A. Achim, 2008. Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions, Springer Science & Business Media, 287 p.
 - Pollen, N., 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: accounting for soil shear strength and moisture, *Catena*, 69(3): 197-205.
 - Schiechtl, H. M., 1980. Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. The University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.
 - Schmidt, K. M., J. J. Roering, J. D. Stock, W. E. Dietrich, D. R. Montgomery & T. Schaub, 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range, *Canadian Geotechnical Journal*, 38(5): 995-1024.
 - Thorne, C., 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. In: Thornes J. B., (Ed.), *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*. John Wiley & Sons, pp. 125-144.
 - Wu, T. H., W. P. McKinell & D. N. Swanston, 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, 16(1): 19-33.
 - Zhang, C., L. Chen & J. Jiang, 2014. Vertical root distribution and root cohesion of typical tree species on the Loess Plateau, *China, Journal of Arid Land*, 6(5): 601-611.
 - Zhong, R., X. He, Y. Bao, Q. Tang, J. Gao, D. Yan, M. Wang & Y. Li, 2016. Estimation of soil reinforcement by the roots of four postdam prevailing grass species in the riparian zone of Three Gorges Reservoir, China, *Journal of Mountain Science*, 13(3): 508-521.

Comparison of biotechnical characteristics of root in two forest plantations of *Fraxinus excelsior* and *Picea abies*

M. Esmaili¹, E. Abdi^{*2}, M. Jafary³ and B. Majnounian⁴

1- M.Sc. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

3- Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

4- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

Received: 08.05.2017

Accepted: 23.11.2017

Abstract

In this research two forest plantations (*Picea abies* and *Fraxinus excelsior*) with similar site conditions were selected in the near vicinity of each other. Three trees of each species were randomly selected for later analysis. Profile trenching method was then used to analyze and compare their root distribution. Root samples of each species were collected to test their tensile strength using a standard Instron. The results showed that, RAR values and additional root cohesion tend to decrease with soil depth following a logarithmic function for both forest species. Also for both studied species, root tensile strength tend to decrease with increasing root diameter following a power function. According to the results, over 80 percent of roots were found to be within the top 20 cm of soil profile, indicating the highest reinforcing contribution within this layer. The results revealed that the root tensile strength of *Picea abies* (19.31 ± 2.64 MPa) with roots diameter ranging from 0.32 to 4.93 mm were greater than that of *Fraxinus excelsior* (16.98 ± 1.01 MPa) with roots diameter ranging from 0.42 to 4.91. Also, the additional root cohesion from *Picea abies* (0.03 ± 0.008 kPa) was found to be significantly greater than that from *Fraxinus excelsior* (0.02 ± 0.005 kPa). The results of this work may help us when applying an efficient bioengineering technique.

Keywords: Bioengineering, Root distribution, Root tensile strength, Soil reinforcement.

* Corresponding author:

Email: abdie@ut.ac.ir

Archive of SID