

بررسی میزان مسلح‌سازی ریشه توسکا به‌منظور کاربرد در زیست‌مهندسی

صغری ملکی^{۱*}، رامین نقدی^۲، احسان عبدی^۳ و مهرداد نیکوی^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان

^۲دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان

^۳استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۴استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۲۰)

چکیده

ریشه گیاهان با افزایش مقاومت برشی و مسلح‌سازی خاک، موجب افزایش پایداری دامنه‌ها می‌شود. میزان مسلح‌سازی یک گونه، به ویژگی‌های زیست‌فنی از قبیل تراکم و مقاومت کششی ریشه‌ها بستگی دارد که این مطالعه به بررسی این ویژگی‌ها پرداخته است. به‌منظور تعیین نسبت سطح ریشه به خاک، از روش دیواره پروفیل استفاده شد و تعداد و قطر همه ریشه‌ها در هر افق اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه‌ها از دستگاه اینسترون استاندارد استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک، تعداد ریشه‌ها کاهش می‌یابد. روند تغییرات مقاومت کششی ریشه‌ها با افزایش قطر به صورت تابع توانی کاهشی و میانگین آن، $16/29$ مگاپاسکال بود. با استفاده از نتایج حاصل از خصوصیات زیست‌فنی و مدل Wu، مقدار مسلح‌سازی برآورد شد که کمینه و بیشینه آن به ترتیب $0/55$ و $110/76$ کیلوپاسکال بود. از نتایج حاصل، می‌توان در محاسبات مربوط به تثبیت دامنه‌ها به‌روش زیست‌مهندسی بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: زیست‌مهندسی، مسلح‌سازی خاک، مقاومت کششی ریشه، نسبت سطح ریشه به سطح خاک.

مقدمه و هدف

پوشش گیاهی در افزایش پایداری دامنه‌ها و بهبود شرایط هیدرولوژیک خاک مؤثر است. خاک‌های دارای پوشش گیاهی کمتر، در معرض خطر فرسایش توسط آب و حرکت‌های توده‌ای هستند (Greenway, 1987). خاک در مقابل فشار مقاوم است، ولی در برابر کشش ضعیف است. برخلاف خاک، ریشه در مقابل کشش مقاوم و در برابر فشار ضعیف است (Pollen, 2007). بنابراین وجود ریشه در خاک ماتریس مسلح‌شده را تشکیل می‌دهد که طی بارگذاری خاک تنش به ریشه‌ها منتقل می‌شود (Thorne, 1990). نقش ریشه در میزان مسلح‌سازی^۱ به ویژگی‌های سیستم ریشه مثل پراکنش و مقاومت کششی ریشه بستگی دارد (Normaniza and Barakbah, 2006). نسبت سطح ریشه به خاک شاخص پراکنش ریشه در خاک خوانده می‌شود (Bischetti *et al.*, 2005) و تحت تأثیر نوع خاک، آب‌وهوا و کاربری عرصه است (عبدی و همکاران، ۱۳۸۹). عامل‌های تأثیرگذار بر مقاومت کششی نیز عبارتند از: گونه، فصل، سن، تراکم خاک، انحراف ریشه، رطوبت ریشه و خاک، نگهداری ریشه، نوع آزمایش (آزمایشگاهی یا عرصه‌ای)، نوع و اندازه تجهیزات آزمایش، طریقه محکم کردن ریشه در دستگاه و سرعت آزمایش (Cofie and Koolen, 2001). با وجود مطالعات به نسبت زیادی که در زمینه زیست‌مهندسی در دنیا انجام گرفته است (Bischetti *et al.*, 2005; Genet *et al.*, 2005; Bibalani *et al.*, 2007; Tosi, 2007; Genet *et al.*, 2008; Abdi *et al.*, 2009, 2010; Vergani *et al.*, 2012; Tiwari *et al.*, 2013) به دلیل تنوع گونه و محیط، این نوع مطالعات مختص منطقه تحقیق بوده و بسیاری از نتایج در دیگر نقاط دنیا را نمی‌توان به وضعیت ایران تعمیم داد. بنابراین باید مطالعات زیادی در ایران انجام گیرد تا بتوان به نتایج تعمیم‌پذیر دست یافت. البته شایان ذکر است که در ایران نیز مطالعات معدودی در این زمینه انجام گرفته است (حبیبی بی-

بالانی، ۱۳۸۰، عبدی و همکاران، ۱۳۸۹)، اما تا رسیدن به نتایج دلخواه هنوز راه زیادی باقی است. نکته شایان توجه اینکه گونه توسکا از قدیم نیز توسط جنگلبانان برای تثبیت پیشنهاد می‌شد و به کار می‌رفت از این رو مطالعه‌ای مدون در مورد ویژگی‌های زیست‌مهندسی این گونه می‌تواند پشتوانه‌ای برای استفاده عملی و علمی آن باشد.

هدف از این پژوهش برآورد میزان مسلح‌سازی خاک توسط ریشه گونه توسکا در یک منطقه لغزشی است. این گونه دارای شرایط ایده‌آل ظاهری (تندرشد، نورپسند، بومی منطقه) به منظور کاربرد در زیست‌مهندسی^۲ است، اما تاکنون ویژگی‌های زیست‌فنی^۳ (توانایی گیاهان در تحمل نیروهای وارده) این گونه و حد تأثیر آن در پایداری دامنه‌ها در ایران بررسی نشده است. شایان ذکر است که حبیبی بی-بالانی (۱۳۸۰) تأثیر گونه توسکا بر زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک در منطقه رودسر را بررسی کرده است، اما پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تأثیر ریشه گیاهان در افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک ناچیز است (Normaniza *et al.*, 2008) و بیشترین تأثیر مربوط به افزایش چسبندگی است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سری یک جنگل‌های تنیان واقع در حومه شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان انجام گرفت. این منطقه دارای طول جغرافیایی "۴۵° ۴۹ تا ۴۸° ۴۹ و عرض جغرافیایی "۱۵۴۵° ۳۷ تا ۱۶'۱۶" است و در ارتفاع بین ۱۴۰۰-۱۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. مقدار بارندگی سالانه آن ۱۵۵۷ میلی‌متر، بیشینه دما در گرم‌ترین ماه سال ۳۱/۷ درجه سانتی‌گراد و کمینه دما در سردترین ماه سال ۲/۱ درجه سانتی‌گراد است. شیب منطقه معمولاً بین

¹ Reinforcement

² Bioengineering

³ Biotechnical

کنترل کرنش قرار گرفتند. برخی از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

۳۰ تا ۶۰ درصد است و گاهی لغزش‌های سطحی در منطقه رخ می‌دهد. به‌منظور تعیین مشخصه‌های مقاومتی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی)، نمونه‌های دست‌نخورده مورد آزمایش برش مستقیم با

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در محل نمونه‌برداری ریشه‌ها

نمونه	کلاسه خاک	رطوبت طبیعی (درصد)	چسبندگی خاک (kpa)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (°)
۱	CH	۴۲/۰۹	۲۳/۷۹	۳۴/۷۹
۲	CH	۳۳/۷۰	۲۶/۹۷	۳۶/۶۱
۳	CH	۳۳/۸۴	۱۶/۹۱	۴۱/۵۷
۴	CH	۳۴/۴۶	۱۸/۷۶	۴۱/۱۰
۵	CH	۳۱/۰۷	۱۶/۱۱	۵۲/۷۹
۶	CH	۲۹/۴۴	۲۶/۷۱	۲۷/۷۰
۷	CH	۳۱/۷۶	۲۵/۳۸	۲۰/۱۰
۸	CL	۲۹/۸۸	۲۳/۵۳	۴۱/۱۲

درخت، در عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری خاک (Cofie and Koolen, 2001) جمع‌آوری شدند. نمونه‌ها در محلول ۱۵ درصد الکل (Meyer and Goettsche, 1971) و در یخچال نگهداری شدند. آزمایش‌های کشش با دستگاه اینسترون^۳ استاندارد با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه (Bischetti *et al.*, 2005) انجام گرفتند. قبل از آزمایش، نمونه ریشه‌ها به طول ۱۰ سانتی‌متر بریده شد (Zhou *et al.*, 1999) و با اندازه‌گیری قطر در سه قسمت، قطر متوسط آنها به دست آمد. با تقسیم نیروی لازم برای گسیختن ریشه به سطح مقطع ریشه، مقاومت کششی ریشه‌ها محاسبه شد. نمونه‌هایی که گسیختگی از محل نزدیک فک دستگاه رخ می‌داد، قابل قبول نبوده و نتایج آنها حذف شد (Bischetti *et al.*, 2005; Pollen, 2007).

- نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)^۱
به‌منظور برداشت ویژگی‌های زیست‌فنی، ۸ پایه درخت توسکا به‌طور تصادفی انتخاب شد. در فاصله یک متر از درختان نمونه در قسمت شیب پایین، پروفیلی تا حداکثر عمق ریشه‌دوانی حفر شد. برای محاسبه پراکنش ریشه از روش دیواره پروفیل^۲ استفاده شد (Burke and Raynal, 1994; Abernethy and Rutherford, 2000; Schmid and Kazda, 2001; Simon and Collision, 2002; Bischetti *et al.*, 2005; Sun *et al.*, 2008). دیواره پروفیل به افق‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم شد. در هر افق قطر همه ریشه‌ها به‌وسیله کولیس اندازه‌گیری شد و نسبت سطح ریشه در هر افق به دست آمد.

- مقاومت کششی ریشه

برای اجرای آزمایش مقاومت کششی ریشه‌ها، نمونه‌ها در شهریور ۱۳۹۰ در پروفیل حفرشده نزدیک

¹ Root area ratio

² Profile trenching method

³ Instron

- میزان مسلح‌سازی ریشه

میزان مسلح‌سازی ریشه را می‌توان با مدل وو^۱ (Wu *et al.*, 1979) برآورد کرد. این مدل چسبندگی اضافی خاک در اثر حضور ریشه را با توجه به مقاومت کششی و نسبت سطح ریشه برآورد می‌کند (عبدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Schmidt *et al.*, 2001). مدل وو بر پایه معادله کولمب است^۲ که با استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک، مقاومت برشی خاک محاسبه می‌شود و فقط یک جزء، چسبندگی در اثر حضور ریشه (C_r) به آن اضافه می‌شود (رابطه ۱).

$$S = C + C_r + \sigma \tan \varphi \quad \text{رابطه ۱}$$

S مقاومت برشی خاک به کیلوپاسکال، C چسبندگی خاک به کیلوپاسکال، C_r چسبندگی اضافه‌شده به خاک در اثر حضور ریشه‌ها به کیلوپاسکال، σ تنش معمول در صفحه برش، φ زاویه اصطکاک درونی ذرات خاک به درجه است. چسبندگی اضافه‌شده در اثر حضور ریشه به کمک رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$C_r = k * t_R \quad \text{رابطه ۲}$$

C_r افزایش مقاومت برشی در اثر حضور ریشه (مسلح‌سازی ریشه)، K ضریبی است بین $1/3 - 1$ (Waldron, 1977; Wu *et al.*, 1979) و t_R مقاومت کششی بسیج‌شده ریشه^۳ در واحد سطح خاک است. t_R با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$t_R = T_r * a_r \quad \text{رابطه ۳}$$

T_r متوسط مقاومت کششی نظیر قطر و a_r نسبت سطح ریشه به سطح خاک است.

نتایج

- نسبت سطح ریشه به خاک و تعداد ریشه

نسبت سطح ریشه به خاک و تعداد ریشه با افزایش عمق کاهش یافتند (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین نسبت سطح ریشه و همچنین تعداد ریشه در عمق ۰/۱ متر بود. بیشینه و کمینه نسبت سطح ریشه به خاک به ترتیب ۰/۴۴۸ درصد و ۰/۰۰۰۲ درصد و بیشترین عمق نفوذ ریشه ۱۰۰ سانتی‌متر بود.

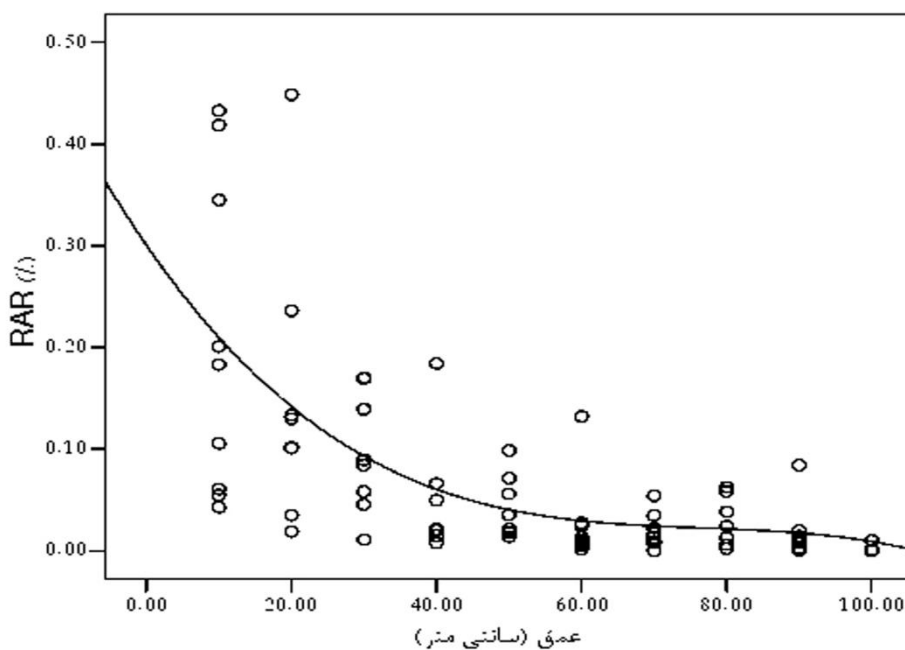
- مقاومت کششی

۳۹ آزمایش مقاومت کششی موفق ریشه روی نمونه‌های ریشه انجام گرفت. متوسط مقاومت کششی ۱۶/۲۹ و بیشینه و کمینه آن به ترتیب ۱۱۴/۴۸ و ۳/۳۲ مگاپاسکال به دست آمد. ارتباط بین قطر ریشه و مقاومت کششی آن در سطح ۹۵ درصد ($p < 0/05$) معنی‌دار است. شکل ۳ ارتباط قطر ریشه و مقاومت کششی ریشه را نشان می‌دهد که دارای یک تابع توانی است که معادله آن $Y = 11/36x^{-0/75}$ است. بنابراین ضرایب (β , α) این معادله توانی به ترتیب ۱۱/۳۶ و $-0/75$ به دست آمد. α و β ضرایب ثابت تجربی هستند که وابسته به گونه‌اند. α ضریب اندازه و β نرخ کاهش مقاومت کششی است. بنابراین گونه‌ای دارای مقاومت کششی بیشتر است که معادله آن دارای مقادیر α بزرگ‌تر و β کوچک‌تر باشد (Bischetti *et al.*, 2005).

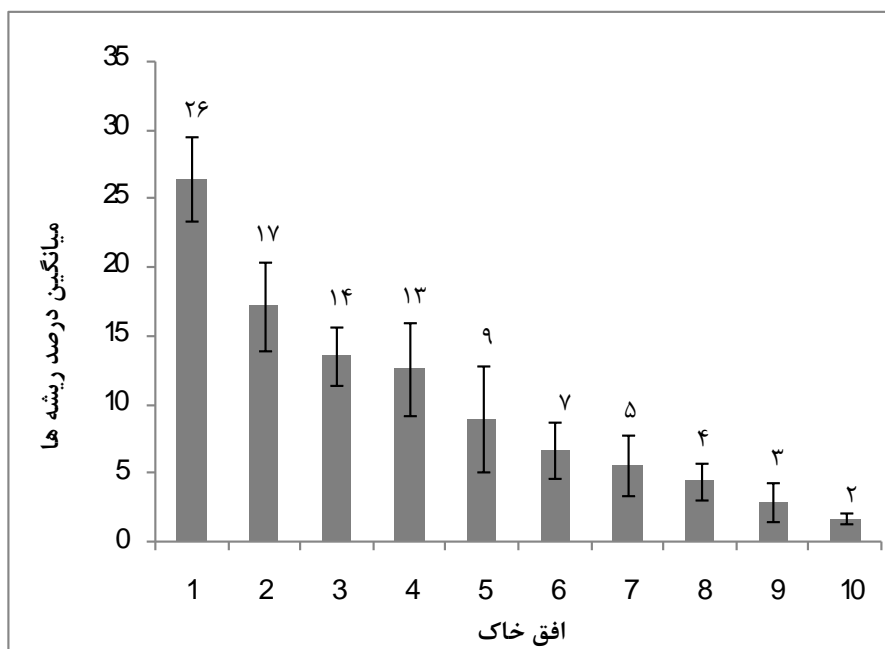
- مسلح‌سازی

با استفاده از داده‌های مقاومت کششی و نسبت سطح ریشه و با بهره‌گیری از مدل وو (Wu *et al.*, 1979)، میزان مسلح‌سازی خاک در اثر عملکرد ریشه‌های گونه توسکا به دست آمد. با توجه به نسبت سطح ریشه به خاک، مسلح‌سازی با افزایش عمق کاهش یافت که بیشترین میزان آن ۱۱۰/۷۶ کیلو پاسکال در ۱۰ سانتی‌متر و کمترین میزان آن ۰/۵۵ در ۱۰۰ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۴).

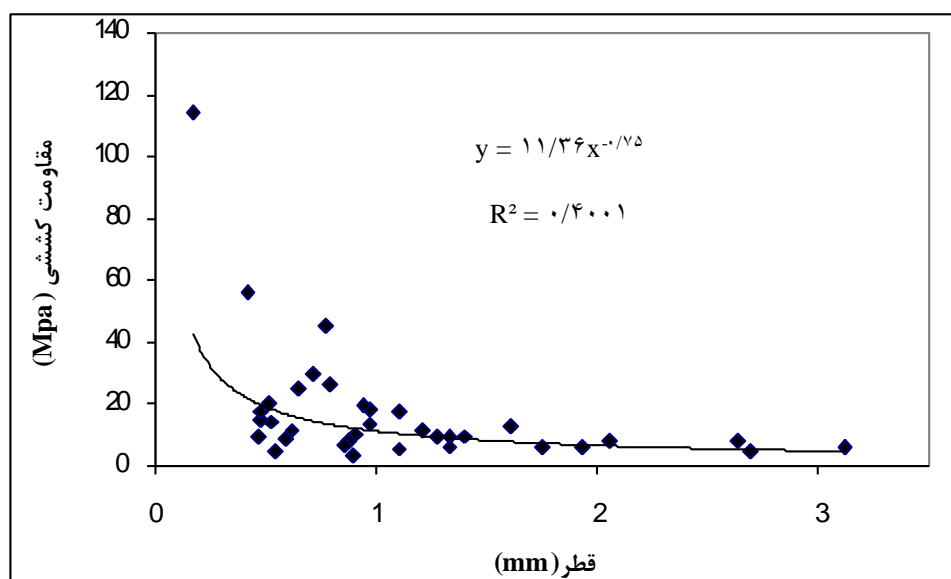
¹ Wu² Coulomb equation³ Mobilized root tensile strength



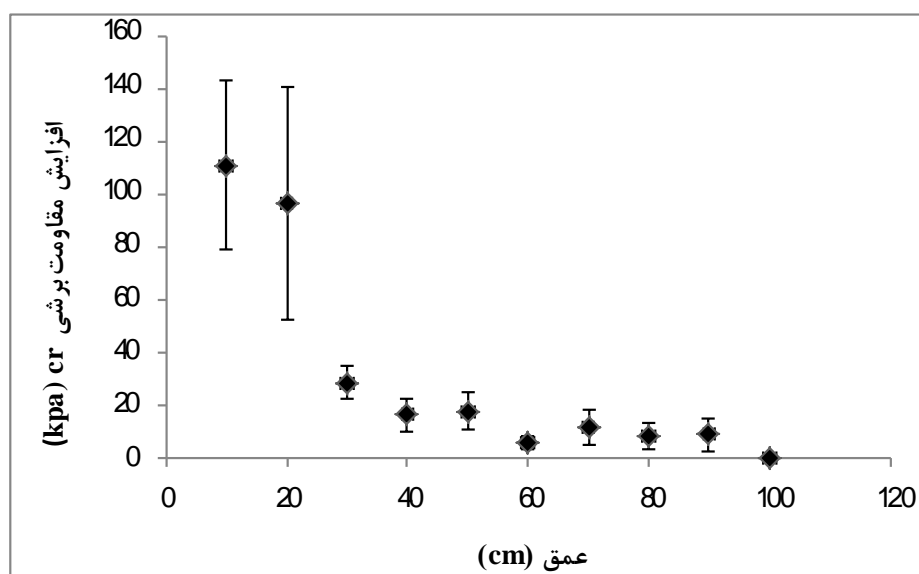
شکل ۱- نسبت سطح ریشه به خاک در ارتباط با عمق



شکل ۲- درصد تعداد ریشه‌ها در هر افق نسبت به کل ریشه‌ها (میانگین \pm اشتباه معیار)



شکل ۳- ارتباط بین قطر ریشه و مقاومت کششی ریشه توسکا



شکل ۴- افزایش مقاومت برشی در اثر حضور ریشه در عمق‌های مختلف (میانگین \pm اشتباه معیار)

این بررسی نیز کاهش نسبت سطح ریشه با افزایش عمق دیده شد. پژوهشگران دیگری نیز کاهش نسبت سطح ریشه با عمق را اثبات کرده‌اند (Green way, 1987; Nilaweerea, 1994; Schmid and Kazda, 2001). مقاومت کششی توسکا $16/29 \pm 3/10$ مگاپاسکال به دست آمد که با نتیجه Bischetti *et al.* (2005) در مورد گونه

بحث

نسبت سطح ریشه به خاک به شدت تحت تأثیر عمق، گونه، رویشگاه، ژنتیک، آب‌وهوا و نوع خاک است (Bischetti *et al.*, 2005). به‌طور کلی این شاخص با افزایش عمق کاهش می‌یابد که این کاهش به علت کمتر شدن مواد غذایی، هوا و تراکم بیشتر خاک در لایه‌های پایینی است (Bischetti *et al.*, 2005). در

سطحی ایفا کند. دامنه تغییرات افزایش مقاومت برشی خاک در اثر حضور ریشه‌ها ۱۵۰-۱ کیلوپاسکال گزارش شده‌است (Abernethy and Rutherford, 2001; Schmidt et al., 2001; Bischetti et al., 2005, 2009; Genet et al., 2008; Hales et al., 2009) که به نوع پوشش گیاهی، عوامل محیطی و عمق خاک بستگی دارد (Vergani et al., 2012). کمینه مسلح‌سازی در بررسی حاضر از دامنه گزارش شده پیروی نمی‌کند. زیرا این مقدار برای ۱۰ سانتی‌متر آخر که دارای تعداد ریشه بسیار کم و قابل چشم‌پوشی داشت برآورد شده است و کم بودن آن طبیعی به نظر می‌رسد.

نتایج بررسی حاضر باید با احتیاط تحلیل شود، زیرا برای آسانی کار، محاسبه مسلح‌سازی برحسب یک مدل استاتیک عمودی (مدل وو) صورت گرفته است و یکی از فرضیه‌های مهم این است که وقتی خاک دچار تنش برشی می‌شود، همه ریشه‌ها بسیج می‌شوند و در زمان واحد، قبل از گسیخته شدن به حداکثر مقاومت کششی خود می‌رسند. این مدل حداکثر مسلح‌سازی بالقوه ریشه را نتیجه می‌دهد و چسبندگی اضافه شده به خاک در اثر حضور ریشه را زیاد برآورد می‌کند (Operstein and Frydman, 2000; Pollen and Simon, 2005; Mickovski et al., 2009). بنابراین مقدار مسلح‌سازی خاک محاسبه شده باید به عنوان یک مقدار نسبی که اجازه مقایسه گونه‌ها را با توجه به کارایی آنها در مسلح‌سازی خاک می‌دهد، لحاظ شود، نه به عنوان یک مقدار مطلق.

به طور کلی می‌توان گفت میزان مسلح‌سازی یک گونه به خصوصیات زیست‌فنی آن گونه بستگی دارد. با توجه به مطالعات انجام گرفته، بین گونه‌ها از نظر این خصوصیات اختلاف معنی دار وجود دارد. بنابراین برای شناسایی بهترین گونه‌ها به منظور تثبیت دامنه‌های ناپایدار ناچار از بررسی این خصوصیات هستیم. این تحقیق آگاهی ما را در مورد خصوصیات زیست‌فنی و میزان مسلح‌سازی گونه توسکا افزایش می‌دهد.

Alnus Viridis با مقاومت کششی ۲۰/۴۲ مگاپاسکال قابل مقایسه است. (Morgan and Rickson (1995) دامنه مقاومت کششی برای این گونه را ۴-۷۴ مگاپاسکال گزارش دادند. تغییرات مقاومت کششی ممکن است مربوط به تغییر نسبت لیگنین/سلولز، تحت تأثیر فصل و عوامل غیرزنده مثل استرس‌های مکانیکی باشد (Plomion et al., 2001) یا به دلیل تفاوت دامنه قطری مورد آزمایش باشد (Comino and Marengo, 2010). آزمایش مقاومت کششی نشان داد که با افزایش قطر ریشه‌ها، مقاومت کششی به صورت تابع توانی کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج تحقیق بسیاری از پژوهشگران (Gray and Sotir, 1996; Burroughs and Thomas, 1997; Bischetti et al., 2005) همخوانی دارد. در این بررسی، ضریب α به دست آمده از دامنه پیشنهاد شده توسط Nilaweera (1994) برای گونه‌های درختی پهن برگ کشور تایلند که به صورت $0.8 < \beta < 0.4$ و $29/1 < \alpha < 87/0$ است پیروی نمی‌کند، در حالی که مقدار β در دامنه قرار دارد. (Bischetti et al. (2005) برای گونه توسکا در منطقه Valdorena α ۳۴/۷۶ و β ۰/۶۹، -، عبدی و همکاران (۱۳۸۹) برای گونه انجیلی در منطقه هیرکانی α را ۲۹/۶۷ و β را ۰/۳۶- و (Vergani et al. (2012) دامنه α و β برای پنج گونه پهن برگ در منطقه آلپ را بین ۱۴/۸۳ تا ۲۶/۳۹ و ۰/۴۶- تا ۰/۲- به دست آوردند. این اختلافات لزوم بررسی بیشتر در آینده را نشان می‌دهد. میزان مسلح‌سازی خاک در اثر حضور ریشه با افزایش عمق روند کاهشی داشت که (Mattia et al. (2005) و عبدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز به همین نتیجه رسیدند. بیشترین میزان مسلح‌سازی در افق اول که بیشترین تراکم ریشه را داشت اتفاق افتاد. با توجه به خصوصیات مکانیکی خاک منطقه (جدول ۱) میزان افزایش چسبندگی در اثر ریشه این گونه به ویژه در افق‌های بالایی می‌تواند نقش بسزایی در افزایش مقاومت برشی خاک و پیشگیری از ناپایداری‌های

منابع

- Burke, M.K. and D.J. Raynal, 1994. Fine root growth phenology, production and turnover in a northern hardwood forest ecosystem, *Plant and Soil*, 162: 135–146.
- Burroughs, E.R. and B.R. Thomas, 1977. Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability, USDA Forest Service Research Paper INT, 190, 27 p.
- Cofie, P and A.J. Koolen, 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.
- Comino, E and P. Marengo, 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.
- Genet, M., A. Stokes., F. Salin., S. Mickovski., T. Fourcaud., J.F. Dumail and R. VanBeek, 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots, *Plant and Soil*, 258: 1-9.
- Genet, M., N. Kokutse., A. Stokes., T. Fourcaud., X. Cai., J. Ji and 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: 1517–1526.
- Gray, D.H and R.B. Sotir, 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*, John Wiley, Chichester, 400pp.
- Greenway, D.R, 1987. Vegetation and slope stability. In: Anderson, M.G., Richards, K.S. (Eds.), *Slope Stability*, John Wiley and Sons, Ltd, New York, 187–230.
- Hales, T.C., C.R. Ford., T. Hwang., J.Vose and L.E. Mand Band, 2009. Topographic and ecologic controls on root reinforcement, *Journal of Geophysical Research*, 114, F03013.
- Mattia, C., G.B. Bischetti and F. Gentile, 2005. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species, *Plant and Soil*, 278: 23–32.
- Meyer, F.H and D. Goettsche, 1971. Distribution of root tips and tender roots of beech. In *Ecological Studies, Analysis and Synthesis*, Eds. H Ellenberg. pp. 47–52. Vol. 2 Springer- Verlag, Berlin.
- حبیبی بی‌بالانی، قاسم، ۱۳۸۰. نقش حفاظتی و حمایتی گونه‌های درختی جنگلی و غیر جنگلی، رساله دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران، ۱۴۹ ص.
- عبدی، احسان، باریس مجنونیان، حسن رحیمی، محمود زبیری و قاسم حبیبی بی‌بالانی، ۱۳۸۹. بررسی ویژگی‌های زیست‌فنی گونه انجیلی به‌منظور بهره‌گیری در زیست-مهندسی، بررسی موردی: بخش پاتم، جنگل خیرود، نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۳ (۱): ۵۳–۶۲.
- Abdi, E., B. Majnounian., H. Rahimi and 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 and 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: 1409–1416.
- Abernethy, B and I.D. Rutherford, 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks, *Earth Surf Process Landforms*, 25: 921–937.
- Abernethy, B and I. Rutherford, 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement, *Hydrological Processes*, 15: 63–79.
- Bibalani, G.H., B. Majnounian., E. Adeli and H. Sani, 2007. Protection roles of forest and non-forest woody species on slopes in Iran, In: Stokes, A., Spannos, I., Norris, J., Cammeraat, E. (Eds.), *Eco- and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability*, Springer, 73–79.
- Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia, T. Simonato, B. Speziali, B. Vitali, P. Vullo and A. Zocco, 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy), *Plant and Soil*, 278: 11–22.
- Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia., T. Epis and E. Morlotti, 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps, *Plant Soil*. 324: 71–89.

- Mickovski, S.B., P.D. Hallett., M.F. Bransby, M.C.R. Davies, R. Sonnenberg and A.G. Bengough, 2009. Mechanical reinforcement of soil by willow roots: impacts of root properties and root failure mechanism, *Soil Science Society*, 73: 1276–1285.
- Morgan, R.P and R.J. Rickson, 1995. Slope Stabilization and Erosion Control-A Bioengineering Approach. Chapman and Hall, University Press, Cambridge, 274pp.
- 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, Thesis submitted in partial fulfillment of requirement for degree of doctor of technical science, Asian institute of technology, Bangkok, Thailand.
- Normaniza, Q and S.S. Barakbah, 2006. Parameters to predict slope stability-soil water and root profile, *Ecological Engineering*, 28: 90-95.
- Normaniza, Q., H.A. Faisal., S.S. Barakbah, 2008. Engineering properties of *Leucaena Leucocephala* for prevention of slope failure, *Ecological Engineering*, 32: 215-221.
- Operstein, V and S. Frydman, 2000. The influence of vegetation on soil strength, *Proceedings of the ICE - Ground Improvement*, 4(2): 81–89
- Plomion, C., G. Leprovost and A. Stokes, 2001. Wood formation in trees, *Journal of Plant Physiology*, 127: 1513–1533.
- Pollen, N, 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of stream banks: Accounting for soil shear strength and moisture, *Catena*, 69: 197-205.
- Pollen, N and A. Simon, 2005. Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on streambank stability using a fiber bundle model, *Water Resources Research*, 41: 1–11.
- Schmid, I and M. Kazda, 2001. Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*, *Canadian Journal of Forest research*, 31:539–548.
- Schmidt, K.M., J.J. Roering., J.D. Stock., W.E. Dietrich., D.R. Montgomery and T. Schaub, 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow susceptibility in the Oregon Coast Range, *Canadian Geotechnical Journal*, 38: 995–1024.
- Simon, A and A.J.C. Collison, 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability, *Earth Surf Process Landforms*, 27: 527–546.
- Sun, H.L., S.C. Li., W.L. Xiong., Z.R. Yang., B.S. Cui and T. Yang, 2008. Influence of slope on root system anchorage of *Pinus yunnanensis*, *Ecological Engineering*, 32: 60–67.
- Thorne, C.R, 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability, In: Thornes, J.B. (Ed.), *Vegetation and Erosion*, John Wiley and Sons Inc, Chichester, pp. 125–143.
- Tiwari, R.C., N.P. Bhandary., R. Yatabe and R.D. Bhat, 2013. New numerical scheme in the finite element method for evaluating root reinforcement effect on soil slope stability, *Geotechnique*, 63:2, 129 - 139.
- Tosi, M, 2007. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy), *Geomorphology*, 87: 268–283.
- Vergani, C.E., A. Chiaradia and G.B. Bischetti, 2012. Variability in the tensile resistance of roots in Alpine forest tree species, *Ecological Engineering*, 46: 43-56.
- Waldron, L.J, 1977. The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil, *Soil Science Society*, 41: 843–849.
- Wu, T.H., W.P. McKinnell III and D.N. Swantson, 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, 16: 19–33.
- Zhou, Y., X.P. Chen., Y.H. Li., H.S. Luo and Q. Xue, 1999. Preliminary study of tractive effect of lateral roots of *Pinus yunnanensis* on shallow soil mass, *Acta Phytoecol Jeobot Sinica*, 23 (5): 458–465.

Investigating the amount of reinforcement of *Alnus subcordata* root in order to use in bioengineering

S. Maleki^{*1}, R. Naghdi², E. Abdi³, and M. Nikooy⁴

¹M.Sc. Graduated, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I.R. Iran

²Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I.R. Iran

³Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

⁴Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I.R. Iran

(Received: 8 September 2012, Accepted: 11 December 2013)

Abstract

The root of vegetation is known to increase the hill-slope stability by reinforcing soil shear strength. The amount of reinforcement depends on density and tensile strength of roots therefore this study assessed these biotechnical properties. The profile trenching methods was used to obtain root area ratio (RAR) and number and diameter of roots in each depth were measured. Standard Instron was used to determine the tensile strength of roots. The results indicated that the root density and number of root were decreased with increasing depth. Tensile strength is decreased with diameter of roots following power function with an average of 16.29 MPa. Using the results of biotechnical characteristics and *Wu* model, the reinforcement effect was calculated and minimum and maximum of reinforcement were 0.55 KPa and 110.76 KPa, respectively. The results presented in this paper can be used for hill-slope stability with bioengineering method.

Keywords: Bioengineering, Root Area Ratio, Root tensile strength, Soil reinforcement, Soil shear strength.

* Corresponding author

Tel: +989119881325

Email: maleki.soghra@gmail.com