

بررسی ویژگی‌های زیست فنی گونه انجیلی به منظور بهره‌گیری در زیست مهندسی (بررسی موردی: بخش پاتم، جنگل خیرود)

احسان عبدی^{۱*}، باریس مجنونیان^۲، حسن رحیمی^۳، محمود زبیری^۴ و قاسم حبیبی بی‌بالانی^۵

^۱ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۳ استاد دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران، ایران

^۴ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۵ دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۲، تاریخ تصویب: ۸۷/۱۱/۸)

چکیده

پوشش گیاهی با افزایش مقاومت برشی خاک، باعث مسلح سازی و در نتیجه افزایش پایداری دامنه می‌شود. میزان مسلح سازی ریشه‌ها به تراکم و مقاومت کششی نظام و ساختار ریشه گیاهان بستگی دارد. این پژوهش به بررسی ویژگی‌های زیست فنی نظام و ساختار ریشه انجیلی می‌پردازد. برای برآورد نسبت سطح ریشه به خاک و شمار و پراکنش ریشه‌ها در افق‌های مختلف، از روش دیواره نیمرخ بهره‌گیری و شمار و قطر کلیه ریشه‌ها در هر افق اندازه‌گیری شدند. سپس آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه ریشه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان دادند که به طور کلی تراکم و شمار ریشه‌ها با افزایش عمق کاهش می‌یابد. بیشترین شمار و نسبت سطح ریشه، در ۱۰ سانتیمتر اول خاک و بیشینه عمق آن‌ها ۶۵ سانتیمتر می‌باشد. مقاومت کششی ریشه‌ها با افزایش قطر به صورت تابع توانی کاهش می‌یابد و میانگین آن برابر با $1/5 \pm 29/34$ مگاپاسکال می‌باشد. در ادامه با بهره‌گیری از این نتایج، میزان مسلح سازی محاسبه شد. کمینه و بیشینه مسلح سازی به ترتیب ۱/۶۵ و ۴۴/۹۰ کیلوپاسکال برآورد شد. نتایج این پژوهش می‌تواند به منظور بهره‌گیری کاربردی در زیست مهندسی خاک مورد بهره‌گیری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زیست فنی، نسبت سطح ریشه، مقاومت کششی ریشه، مقاومت برشی، مسلح سازی خاک، زیست مهندسی

مقدمه

(Greenway, 1987; Schmidt et al., 2001)

مدل مسلح سازی ریشه وو (Wu et al., 1979) بر پایه معادله کولمب^۷ است که مقاومت برشی خاک (مقاومت خاک در برابر گسیختگی) با بهره‌گیری از چسبندگی^۸ و نیروهای اصطکاکی^۹ محاسبه می‌شود و تنها یک جزء چسبندگی اضافه شده در اثر حضور ریشه‌ها (C_r) برابر فرمول زیر به معادله اضافه می‌شود.

$$S = c + c_r + \sigma_N \tan \phi$$

که در آن: S مقاومت برشی خاک (کیلو پاسکال)، σ_N تنش معمول در صفحه برش، ϕ زاویه اصطکاک درونی ذرات خاک (°)، c چسبندگی (کیلو پاسکال)، C_r چسبندگی اضافه شده در اثر حضور ریشه (کیلو پاسکال) می‌باشند.

برای تحلیل پایداری دامنه‌های دارای پوشش گیاهی نیاز به کمی کردن نقش ریشه در افزایش مقاومت برشی است. از آنجا که این نقش بستگی به مقاومت کششی و تراکم گونه یا گونه‌های موردنظر دارد، آگاهی از ویژگی‌های مقاومت کششی و تراکم گونه‌ها داده‌های مفیدی برای تحلیل پایداری و نیز گزینش گونه‌های مناسب برای افزایش پایداری به دست می‌دهد. نسبت سطح مقطع ریشه به خاک به عنوان شاخص تراکم ریشه در خاک شناخته می‌شود (Bischetti et al., 2005) و تحت تاثیر نوع خاک، آب و هوا و کاربری عرصه می‌باشد. بنابراین در مورد یک گونه نیز در مناطق مختلف می‌تواند متفاوت باشد و به همین دلیل بررسی و بررسی آن حالت منطقه‌ای دارد و قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد (Watson & Marden 2004). به طور کلی سطح ریشه به خاک با افزایش عمق خاک و فاصله از تنه کاهش می‌یابد (Abernethy & Rutherford. 2000). با وجود انجام بررسی‌های فراوان در مورد ریشه‌ها (Danjon et al., 1999; Jackson et al., 1996;

شمار بلایای طبیعی مرتبط با ناپایداری دامنه‌ها در سالهای اخیر در سطح جهان افزایش یافته است (Watson & Marden 2004) و یکی از راه‌های جلوگیری از این پدیده‌ها بهره‌گیری از پوشش گیاهی می‌باشد. به دلیل وجود تفاوت جنس ریشه‌های گیاهان با خاک، باعث مسلح سازی^۱ خاک می‌شوند (Greenway, 1987). خاک در برابر فشار^۲ مقاوم ولی در مقابل کشش^۳ ضعیف است. برخلاف خاک، ریشه در برابر کشش مقاوم و در برابر فشار ضعیف است (Pollen, 2007). بنابراین حضور ریشه در خاک تشکیل یک ماتریس مسلح شده را می‌دهد که در طی بارگذاری خاک تنش به ریشه‌ها منتقل می‌شود (Thorne, 1990). عملکرد این ماتریس را می‌توان شبیه مسلح کردن بتون با میلگردهای فولادی در نظر گرفت. عوامل مختلفی از جمله تراکم و مقاومت کششی^۴ ریشه‌ها، می‌توانند میزان مسلح سازی ریشه‌ها را تحت تاثیر قرار دهند (Greenway, 1987). میزان مسلح سازی ریشه را می‌توان با مدل های عمودی ریشه مانند مدل وو^۵ (Wu et al., 1979) برآورد کرد. این مدل به طور گسترده‌ای در ارزیابی پایداری دامنه‌های پوشیده از پوشش گیاهی بکار می‌رود (Gray & Sotir 1996; Schmidt et al., 2001) و چسبندگی اضافی در اثر حضور ریشه‌ها را با توجه به مقاومت کششی (بیشینه نیروی لازم برای گسیختن ریشه تقسیم بر سطح مقطع) و نسبت سطح ریشه^۶ (نسبت مساحت ریشه‌ها به مساحت خاک در واحد سطح) به عنوان دو مشخصه مهم زیست فنی نظام و ساختار ریشه‌ها، محاسبه می‌کند

۱- Reinforcement

۲- Compression

۳- Tension

۴- Tensile strength

۵- Wu

۶- Root Area Ratio

۷- Coulomb equation

۸- Cohesive

۹- Frictional forces

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این بررسی در بخش پاتم از جنگل آموزشی، پژوهشی خیرود واقع در حوزه آبخیز ۴۵ از جنگل‌های شمال کشور و در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نوشهر انجام گرفت. هشت پایه از درختان انجیلی به صورت تصادفی گزینش شدند. سپس به منظور برآورد نسبت سطح ریشه به خاک، روش دیواره نیمرخ^۲ (Abernethy, & Rutherford, 2000; Bischetti et al., 2005; Burke, & Raynal 1994; Schmid, & Kazda 2001; Simon & Collison 2002; Sun et al., 2008) مورد بهره‌گیری قرار گرفت. در پیرامون هر درخت دو نیمرخ با فاصله یک متر در سمت بالا و پایین شیب تا بیشترین عمق ریشه دوانی گودبرداری شد. سپس روی دیواره‌های نزدیک به تنه درخت افق‌های ۱۰ سانتی‌متری مشخص و علامت گذاری شدند. در ادامه همه ریشه‌ها شمارش و قطر آنها با بهره‌گیری از کولیس اندازه‌گیری شد. مشخصه‌های مقاومت برشی خاک هر نمونه در جدول (۱) ملاحظه می‌گردد.

آزمایش مقاومت کششی

ریشه‌های انجیلی برای انجام آزمایش در اردیبهشت ماه سال ۸۷ جمع‌آوری شدند. با گودبرداری نیمرخ خاک در نزدیکی درختان انجیلی نمونه‌های ریشه از عمق حدود ۳۰ سانتیمتری جمع‌آوری شدند (Cofie, & Koolen, 2001). برای جلوگیری از ایجاد پیش‌تنش، ریشه‌ها با یک سیم چین تیز بریده شدند و سپس در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و میزانی محلول الکل ۱۰٪ برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها به آنها اضافه شد (Cofie, & Koolen, 2001). در فاصله یک هفته پس از جمع‌آوری، آزمایش مقاومت کششی انجام گرفت (Bischetti et al., 2005). پیش از آزمایش ریشه‌ها به دقت بررسی شدند تا دارای شکستگی و یا پوسیدگی نباشند سپس

Keyes & Grier 1981; Kramer & Boyer (1995)، بیشتر این بررسی‌ها بر روی ویژگی‌های اکوفیزیولوژی متمرکز شده‌اند و بنابراین داده‌های مفیدی به منظور ارزیابی اثر مسلح‌سازی ریشه‌ها ندارند. بیشتر این بررسی‌ها در مورد ورود مواد غذایی و ماده آلی به خاک و ترسیب کربن می‌باشند و بنابراین تنها ریشه‌های کوچک (۲-۱ میلی‌متر) را در نظر می‌گیرند. به دلیل مشخص شدن نقش گیاهان در افزایش پایداری بررسی‌های مرتبط با این موضوع به شدت در حال افزایش می‌باشند (Abernethy, & Rutherford, 2000; Bischetti et al., 2005; Roering et al., 2003). از طرفی به دلیل پیچیدگی سازوکار مسلح‌سازی، تنوع گونه و محیط، این گونه بررسی‌ها به طور کامل مختص منطقه می‌باشند و هنوز داده‌های بسیار زیادی نیاز است تا این پدیده به طور عمومی تشریح شود. از اولین و محدود بررسی‌ها انجام گرفته در ایران می‌توان از بررسی‌های (Bibalani (2001 نام برد. وی تاثیر گونه‌های توسکا، لرگ، انجیلی، ممرز، لیلکی، افرا و بلوط در افزایش پایداری دامنه را بررسی نمود. وی ضریب ایمنی پایداری دامنه را یکبار بدون حضور و یکبار با حضور گیاهان محاسبه نمود. البته الگوی تغییرات نسبت به عمق مورد بررسی قرار نگرفت و نتایج به صورت کلی بیان شد. دیگر پژوهش‌های انجام گرفته از نوع درجا^۱ می‌باشند که ارتباطی با این پژوهش ندارند.

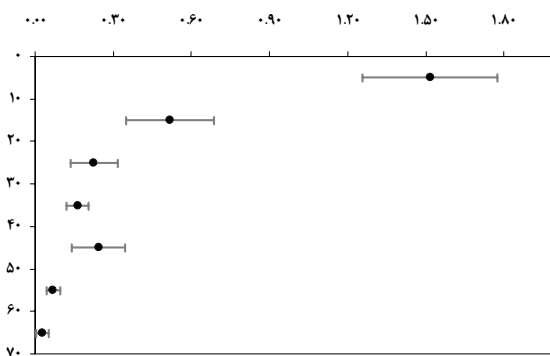
هدف از این پژوهش کمی کردن مقاومت کششی و تراکم ریشه‌ها به عنوان ویژگی‌های بارز زیست فنی و بهره‌گیری از آنها در ارزیابی میزان تاثیر گونه انجیلی در مسلح‌سازی خاک می‌باشد. قابل یادآوری است که پوشش گیاهی تاثیرات مثبت و منفی زیادی دارد ولی هدف این پژوهش تنها بررسی میزان و چگونگی تاثیر در افزایش مقاومت برشی می‌باشد.

^۲ - Profile trenching method

^۱ - In situ

نتایج

با وجود اینکه میزان نسبت سطح ریشه دارای تنوع زیادی بود، ولی با افزایش عمق این میزان کاهش می‌یافت (برابر شکل ۱). بیشترین میزان نسبت سطح ریشه در افق اول دیده می‌شود. به طور میانگین ۵۵٪ نسبت سطح ریشه در ۱۰ سانتیمتر اول و ۷۴٪ این نسبت در ۲۰ سانتیمتر اول قرار دارد. بیشترین عمق نفوذ نیز تا ۶۵ سانتیمتر اول محدود می‌شود. کمینه و بیشینه میزان نسبت سطح ریشه به ترتیب ۰/۰۰۲٪ و ۳/۵۴٪ می‌باشند.



شکل ۱- نسبت سطح ریشه به خاک در افق‌های مختلف (میانگین ± اشتباه معیار)

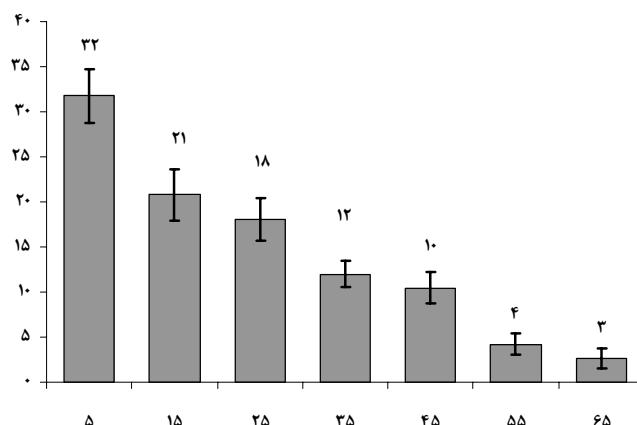
به طور کلی شمار ریشه‌ها با افزایش عمق کاهش می‌یابد (شکل ۲) که الگوی پراکنش آن تابع توانی است (۰/۵۸) و کمینه و بیشینه شمار ریشه به ترتیب در افق آخر و اول دیده شد. به طور میانگین ۳۲٪ شمار کل ریشه‌ها در ۱۰ سانتیمتر اول و ۵۳٪ شمار کل ریشه‌ها در ۲۰ سانتیمتر اول دیده شد.

نمونه ریشه‌های سالم به طول حدود ۱۵ سانتی متر بریده شدند (Cofie, & Koolen, 2001). پیش از آزمایش، قطر ریشه‌ها با اندازه‌گیری در پنج قسمت مختلف در قسمت وسط به دست آمد (Cofie, & Koolen, 2001). آزمایش مقاومت کششی با دستگاه اینسترون^۱ دارای لودسل ۵۰۰ کیلوگرم انجام شد. نمونه‌های ریشه به صورت عمودی در بین دو فک دستگاه قرار گرفتند. محکم کردن فک‌ها تا جایی انجام می‌گرفت که تنش حاصل از آن باعث گسیختن ریشه‌ها از محل فک نشود. آزمایش با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه (Bischetti et al., 2005) تا مرحله گسیختن ادامه یافت. در نهایت با تقسیم نیروی لازم برای گسیختن ریشه به سطح مقطع ریشه، مقاومت کششی نمونه‌ها محاسبه شد. آزمایش‌هایی که گسیختگی ریشه در نزدیکی محل فک‌ها رخ داد غیرقابل پذیرش بوده و نتایج آنها حذف شدند (Bischetti et al., 2005; Pollen, 2007). چون در این گونه نمونه‌ها گسیختگی به دلیل تنش حاصل از فشار فک‌ها رخ داده و میزان واقعی مقاومت کششی رخ نداده است.

جدول ۱- ویژگی‌های درختان نمونه و پارامترهای مقاومت برشی خاک در محل هر نمونه

زاویه اصطکاک داخلی (°)	چسبندگی (kPa)	نمونه
۲۷/۰	۳۲/۲	P1
۲۵/۷	۳۳/۵	P2
۲۱/۳	۳۷/۲	P3
۲۵/۸	۳۳/۴	P4
۲۶/۵	۳۳/۰	P5
۲۶/۱	۳۳/۳	P6
۲۱/۰	۳۹/۰	P7
۲۶/۵	۳۳/۱	P8

(kPa) کیلو پاسکال

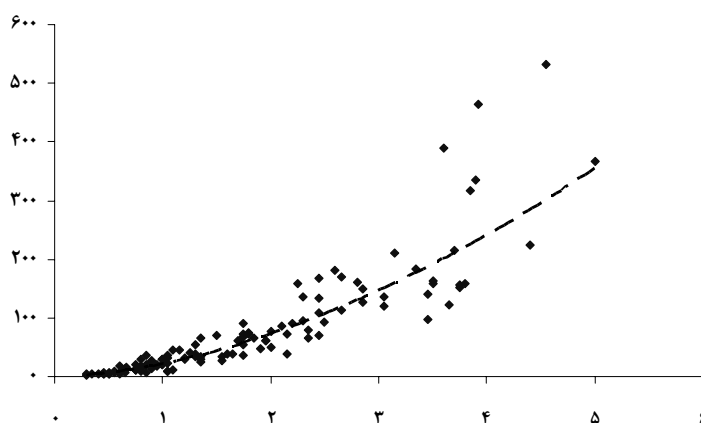


شکل ۲- در صد ریشه‌ها در هر افق نسبت به کل ریشه‌ها (میانگین \pm اشتباه معیار)

صورت آزمون و خطا، میزان نیروی گیرش مناسب به صورت تجربی مشخص شد. در آزمایش کشش، نیروی کششی (TF) با افزایش قطر ریشه افزایش یافت که این رابطه به خوبی با یک تابع توانی بیان شده است (شکل ۳).

آزمایش مقاومت کششی

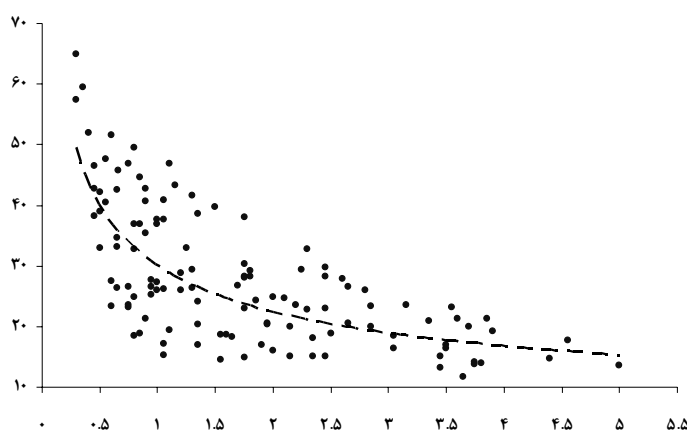
در طی آزمایش‌ها دیده شد که سرخوردن نمونه‌ها از درون فک‌ها به دلیل کم بودن نیروی گیرش فک و گسیختن از محل فک به دلیل زیاد بودن نیروی گیرش فک رخ می‌دهد. بنابراین با انجام شمار بسیاری آزمایش به



شکل ۳- نیروی کششی در لحظه گسیختگی در قطرهای مختلف. خط برازش نشان دهنده تابع توانی می‌باشد. ($r = 0/95$)

مقاومت کششی نمونه‌ها وجود داشت، ولی به طور کلی با افزایش قطر مقاومت کششی روند کاهشی داشت (شکل ۴).

۱۲۴ آزمایش موفق بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. دامنه قطر نمونه‌ها بین ۰/۳ تا ۵ میلی‌متر، میانگین مقاومت کششی $29/34 \pm 1/5$ و میزان‌های کمینه و بیشینه مقاومت به ترتیب ۱۱/۶۱ و ۶۵ مگاپاسکال بودند. تنوع زیادی در

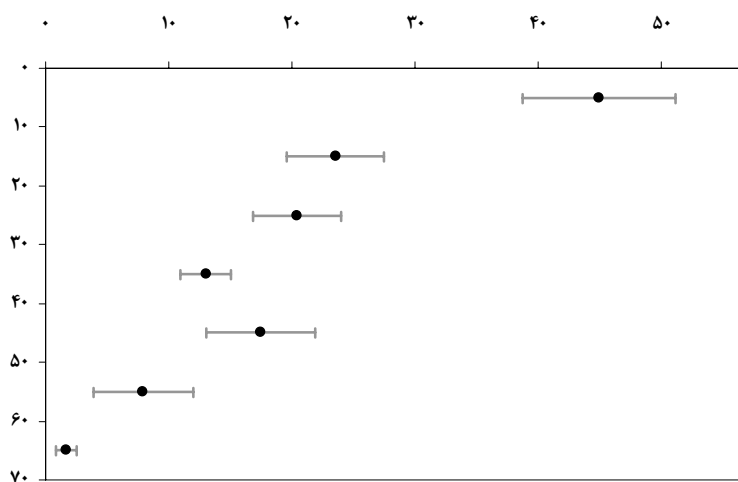


شکل ۴- رابطه بین مقاومت کششی و قطر ریشه و برآزش تابع توانی به داده‌ها. ($r^2 = 0.72$)

سازی نیز با افزایش عمق کاهش یافت. بیشترین میزان مسلح سازی در ۱۰ سانتیمتر اول و ۴۴/۹۰ کیلوپاسکال و کمترین آن در عمق ۶۵ سانتیمتری و ۱/۶۵ کیلوپاسکال برآورد شد (شکل ۵).

مسلح سازی خاک

با جمع‌بندی داده‌های مقاومت کششی و نسبت سطح ریشه با بهره‌گیری از مدل وو (Wu et al., 1979)، برآوردی از مسلح سازی خاک در اثر حضور گونه انجیلی محاسبه شد. با توجه به نسبت سطح ریشه، اثر مسلح



شکل ۵- افزایش مقاومت برشی در اثر حضور ریشه در عمق‌های مختلف (میانگین ± اشتباه معیار).

دلیل کاهش مواد مغذی، هوا و نیز افزایش تراکم خاک، با افزایش عمق کاهش می‌یابد (Bischetti et al., 2005). در این بررسی نیز الگوی نسبت سطح ریشه در

بحث و نتیجه‌گیری

نسبت سطح ریشه به شدت تحت تاثیر ساختار ژنی گونه، گیاه و محیط قرار دارد. به طور کلی این نسبت به

نتیجه به وسیله شمار بسیاری از پژوهشگران (Bischetti et al., 2005; Burroughs & Thomas 1977; Gray & Sotir 1996) گزارش شده است و با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. البته (Bibalani, 2001) در مورد لیلکی و افرا به این نتیجه رسیده که با افزایش قطر، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. البته وی در مورد دیگر گونه‌های مورد بررسی خود به نتیجه‌ای همانند با دیگر پژوهشگران رسیده است. (Nilaweera, 1994) دامنه تغییر ضرایب ثابت معادله توانی (β, α) را برای گونه‌های درختی پهن برگ تایلند به صورت: $0.87 < \alpha < 2.91$ و $-0.14 < \beta < -0.18$ -تعریف کرد. در این بررسی ضریب‌های معادله توانی مربوط به مقاومت کششی در این دامنه قرار می‌گیرد و با نتایج این پژوهشگر همخوانی ندارد ($X^{-3.6} \times Y = 2.9/67$). این تناقض با نتایج (Bischetti et al., 2005) که راش اروپایی را بررسی نمود همخوانی دارد چون در آن پژوهش نیز اعداد در دامنه مورد نظر (Nilaweera, 1994) قرار نگرفت.

نتایج برآورد میزان مسلح سازی خاک در حضور ریشه‌های انجیلی نشان داد که با افزایش عمق این میزان کاهش می‌یابد. (Mattia et al., 2005) نیز چنین نتیجه‌ای را گزارش و بیان می‌کند که الگوی این کاهش همانند کاهش نسبت سطح ریشه می‌باشد. با توجه به اعداد مربوط به چسبندگی خاک در جدول ۱ ($3.9/0$ - $3.2/2$) می‌توان در یافت که اثر چسبندگی اضافه شده در اثر وجود ریشه‌ها در افق اول ($4.4/90$ کیلو پاسکال) میزان قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و با افزایش عمق این میزان نسبت به چسبندگی خود خاک ناچیز ($1/65$) می‌شود و تاثیر قابل ملاحظه‌ای نخواهد داشت. از فرضیه‌های اولیه مدل این است که زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک (ϕ)، با حضور ریشه گیاه تغییری نمی‌کند و به همین دلیل اثر ریشه با چسبندگی اضافه شده (Mattia et al., 2005; Pollen, 2007) برآورد می‌شود. با این وجود، (Bibalani, 2001) با بهره‌گیری از مدل وو (Wu et al., 1979) تاثیر پوشش گیاهی را محاسبه نمود. برای اینکار ϕ متغیر فرض شده و در حالت وجود پوشش

رابطه با عمق به صورت کاهش به دست آمد. کاهش تراکم ریشه با افزایش عمق به وسیله بسیاری از پژوهشگران (Greenway, 1987; Keyes, & Grier 1981; Schmid & Kazda 2001; Schmidt et al., 2001) گزارش شده است. از طرفی میزان نسبت سطح ریشه به دست آمده در این بررسی نسبت به نتایج دیگر پژوهشگران در جنگل‌های پهن برگ از جمله (Greenway, 1987; Shields & Gray 1993) تا اندازه‌ای بزرگتر است که این اختلاف به دلیل در نظر گرفتن دامنه‌های قطری مختلف می‌باشد به طوری که با حذف ریشه‌های قطور در این بررسی، نتایج با یکدیگر همخوانی خواهند داشت.

مقاومت کششی انجیلی ($2.9/34 \pm 1/5$ مگاپاسکال) همسان گونه‌های آلپی مانند توسکا (۳۲ مگاپاسکال)، کاج (۳۲ مگاپاسکال)، نوئل (۲۷ مگاپاسکال) و بلوط (۳۱ مگاپاسکال) می‌باشد. همچنین با نتایج (Watson & Marden 2004) در مورد گونه‌های نیوزیلند مانند کوهوها (۲۹ مگاپاسکال) و پنچ انگشت ($2.8/16$ مگاپاسکال) قابل مقایسه است. (Morgan, & Rickson 1995) دامنه مقاومت کششی را برای شماری از گونه‌ها به صورت زیر گزارش داده اند: بید ۳۶-۹ مگاپاسکال، صنوبر ۳۸-۵ مگاپاسکال، توسکا ۷۴-۴ مگاپاسکال و افرا ۳۰-۱۵ مگاپاسکال. (Bibalani, 2001) نیز مقاومت کششی (مربوط به کلاسه ۴-۰ میلی‌متر) شماری از گونه‌های جنگل‌های شمال مانند: لیلکی $2.4/8$ ، مرز $3.0/9$ ، توسکا $2.9/2$ ، لرگ 2.8 ، بلوط $3.3/7$ ، افرا $2.8/3$ و انجیلی $5.9/1$ مگاپاسکال را گزارش کرد. اختلاف در اعداد مقاومت کششی یک گونه می‌تواند به دلیل شرایط محیطی مختلف و یا در نظر گرفتن دامنه‌های مختلف قطری توسط پژوهشگران باشد ولی اختلاف اعداد مربوط به انجیلی در این دو بررسی بسیار زیاد (حدود ۱۰۰٪) می‌باشد. تنها توجیهی که می‌توان برای این اختلاف ارائه داد تفاوت در دستگاه‌های اندازه‌گیری و دقت آنها می‌باشد. نتایج آزمایش مقاومت کششی نشان داد که با افزایش قطر مقاومت به صورت تابعی توانی کاهش می‌یابد. این

فنی زیست مهندسی خاک می‌باشد. به طور کلی این پژوهش وجود رابطه کاهش بین عمق و نسبت سطح ریشه، عمق و قدرت مسلح سازی و نیز رابطه عکس بین مقاومت کششی و قطر را به عنوان ویژگی‌های زیست فنی گونه انجیلی همراه با ارقام مربوط را نشان داد.

گیاهی Φ_2 محاسبه شده و با بهره‌گیری از آن تاثیر پوشش گیاهی برآورد شده است. نتایج این پژوهش آگاهی در مورد ویژگی‌های زیست فنی نظام و ساختار ریشه گونه انجیلی را بهبود می‌بخشد. قابل یادآوری است که نبود دانش در مورد ویژگی‌های زیست فنی گونه‌ها یکی از عوامل مهم محدودیت ساز روش‌های

منابع

- 1- Bibalani, G, 2001. Protective role of forest and non forest species. PhD Thesis. Islamic Azad University, Tehran, Iran. 149 p.
- 2- Abernethy, B., & IAN D. Rutherford. 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surf. Process. Landforms* 25: 921- 937.
- 3- Bischetti, G.B., Chiaradia. E.A., Simonato. T., Speziali. B., Vitali. B., Vullo. P., & Antonio Zocco. 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*: 278:11–22.
- 4- Burke, M.K., & Raynal, D.J. 1994. Fine root growth phenology, production and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant Soil* 162, 135–146.
- 5- Burroughs, E.R., & Thomas, B.R. 1977. Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability USDA Forest Service Research Paper INT-190, 27 p.
- 6- Cofie, P., & 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.
- 7- Danjon, F., Bert, D., Godin, C. & Trichet, P. 1999. Structural root architecture of 5-year-old Pinus pinaster measured by 3D digitising and analysed with AMAPmod. *Plant Soil* 217, 49–63.
- 8- Gray, D.H., & Sotir, R.B. 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. J. Wiley, Chichester.
- 9- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and slope stability. In *Slope Stability*. Eds. M G Anderson and K S Richards. J Wiley & Sons Ltd.
- 10- Greenwood, J.R., Norris. J.R. & J. Wint. 2006. Site investigation for the effects of vegetation on ground stability. *Geotechnical and Geological Engineering* 24: 467–481
- 11- Jackson, R.B., Canadell, J. Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. & Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108, 389–411.
- 12- Keyes, M.R., & Grier, C.C. 1981. Above and below ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Can. J. For. Res.* 11, 599–605.
- 13- Kramer, J.P., & Boyer, S.J. 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, San Diego, USA.
- 14- Mattia, C., Bischetti, G.B., & Gentile, F. 2005. Biotechnical characteristics of root system of typical Mediterranean species. *Plant and Soil*. 278: 23-32.
- 15- Morgan, R.P., & R.J. Rickson. 1995. *Slope Stabilization and Erosion Control-A Bioengineering Approach*. Chapman and Hall, University Press, Cambridge.

- 16- 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.
- 17- Phillips, C.J., Watson, A.J. 1994. Structural tree root research in New Zealand. Manaaki Whenua Press, Lincoln, Landcare Research Science Series No. 7. 71 p.
- 18- Pollen, N. 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of stream banks: Accounting for soil shear strength and moisture. *Catena*. 69: 197-205.
- 19- Roering, J.J. Schmidt, K.M., Stock, J.D. Dietrich, W.E. & Montgomery, D.R. 2003. Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range. *Can. Geotech. J.* 40, 237–253.
- 20- Schiechl, H.M. 1980. Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.
- 21- Schmid, I. & Kazda M. 2001. Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. *Can. J. Forest. Res.* 31, 539–548.
- 22- Schmidt, K.M., Roering, J.J., Stock, J.D., Dietrich, W.E., Montgomery, D.R. & Schaub, T. 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Can. Geotech. J.* 38, 995–1024.
- 23- Shields, F.D, & Gray, D. H. 1993. Effects of woody vegetation on the structural integrity of sandy levees. *Water Resour. Bull.* 28(5), 917–931.
- 24- Simon, A., & Collison, A. J. C. 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surf. Process. Landforms* 27: 527–546
- 25- Sun, H.L., Li, S.C., Xiong, W.L., Yang, Z.R., Cui, B.S., & Yang, T. 2008. Influence of slope on root system anchorage of *Pinus yunnanensis*. *ecological engineering* 32: 60–67
- 26- 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.
- 27- Watson, A.J., & Marden, M. 2004. Live root-wood tensile strengths of some common New Zealand indigenous and plantation tree species. *New Zealand journal of forestry science* 34(3): 344-353.
- 28- Wu, T.H. 1976. Investigation of Landslides on Prince of Wales Island. *Geotech. Eng. Rep.* 5 Civil Eng. Dep. Ohio State Univ. Columbus Ohio, USA.

Investigation of Biotechnical Properties of *Parottia persica* in Order to Use in Bioengineering (Case Study: Patom district of Kheyroud Forest)

E. Abdi^{*1}, B. Majnounian², H. Rahimi³, M. Zobeiri⁴ and Gh. Habibi Bibalani⁵

¹ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

² Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

³ Professor, Faculty of Soil and Water Engineering, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

⁴ Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

⁵ Associate Professor, Islamic Azad University of Shabestar, Shabestar, I.R. Iran

(Received: 13 October 2008, Accepted: 27 January 2009)

Abstract

Vegetation is known to increase hillslope stability by reinforcing soil shear resistance. This reinforcement depends on the density and tensile strength of the root systems. This paper presents the results of research carried out in order to evaluate the biotechnical characteristics of the root system of *Parrotia Persica*. The profile trenching methods was used to obtaining root area ratio (RAR) and number of roots in each depth and RAR and numbers were counted. Single root specimens were sampled and tested for tensile strength measurement. The findings indicated that the general behavior of root density and number of roots is to decrease with depth. Maximum RAR values and number of roots were located within the first 0.1 m, with maximum rooting depth at about 0.60 m. In general root tensile strength tends to decrease with diameter according to a power law, with an average of 29.34 ± 1.5 MPa. The resulting data have been used to calculate the reinforcing effect in terms of increased shear strength of the soil. The results show that root reinforcement exerted by *Parrotia Persica* is about 44.90 kPa in upper layers and 1.65 kPa in deeper horizons. The results presented in this paper can be used in practical bioengineering.

Keywords: Biotechnical, Root Area Ratio, Root tensile strength, Shear strength, Soil reinforcement, Bioengineering