

بررسی تنوع درون گونه ای مقاومت کششی ریشه به عنوان مصالح بوم مهندسی (مطالعه موردی: بخش پاتم، جنگل خیرود)

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

۱- استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲ و ۴- استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه آبیاری، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران

۵- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر

(// : // :)

چکیده:

گیاهان به عنوان نوعی از مصالح بوم مهندسی علاوه بر داشتن قابلیت خود تجدیدی و خود ترمیمی، بر خلاف مصالح مصنوعی فاقد اثرات منفی بر محیط زیست نیز می باشند. تاثیر گیاهان بر افزایش پایداری دامنه ها و کاهش فرسایش به مقدار زیادی وابسته به مقاومت کششی ریشه است و تعیین مقاومت کششی ریشه، اطلاعات مورد نیاز در تحلیل رابطه ریشه- خاک را فراهم می سازد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات درون گونه ای مقاومت کششی ریشه سه گونه راش، ممرز و انجیلی در مقیاس منطقه ای می باشد. به این منظور نمونه های ریشه سه گونه مورد نظر از سمت بالا و پایین شیب، جمع آوری و مقاومت کششی آنها با استفاده از یک دستگاه اینسترون استاندارد اندازه گیری شد. تعداد آزمایش مقاومت کششی موفق روی نمونه ریشه های مربوط به سه گونه مورد نظر و نیز پروفیل بالا و پایین هر گونه، انجام گرفت. دامنه قطری ریشه ها ۵-۰/۳-۰/۳ میلیمتر و دامنه مقاومت کششی نمونه ها ۷۰/۳۳-۰/۵۱ مگاپاسکال بود. نتایج آنالیز کوواریانس نشان داد که قطر ریشه به عنوان عامل کوواریت در همه تیمارها معنی دار است. همچنین با توجه به آنالیز کوواریانس، به جز در مورد پروفیل های بالای انجیلی در بقیه موارد نتایج حاکی از معنی دار بودن اثر پایه های مختلف درختی بر میزان مقاومت کششی و در واقع معنی دار بودن تفاوت های درون گونه ای می باشد. قابل ذکر است که با افزایش نگرانی ها در مورد محیط زیست، روش های بوم مهندسی از گزینه های مناسب برای جایگزینی روش های سنتی ناسازگار با محیط زیست محسوب می شود و پژوهش در این مورد از اولویت های اصلی آینده است.

واژه های کلیدی: تغییرات درون گونه، اینسترون، مقاومت کششی، آنالیز کوواریانس، بوم مهندسی

مقدمه

در سال های اخیر واژه تازه ای تحت عنوان بوم مهندسی^۱ متداول ده که به معنای استفاده از راهبردهای بوم شناختی برای مدیریت بوم سازگان ها در برابر مخاطرات طبیعی و انسان ساخت است (Stokes et al., 2008). از مهمترین کاربردهای بوم مهندسی، پایدارسازی دامنه های طبیعی در مقیاس وسیع و با مدیریت بلند مدت می باشد (Norris & Greenwood, 2008). بنابراین استفاده از گیاهان به عنوان مصالح بوم مهندسی و بخشی از بوم سازگان، در پایداری دامنه های جنگلی راهکاری مناسب، خصوصاً با در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی است. ریشه ها یکی از مهمترین اجزای گیاهان در بوم مهندسی است که به طور خاص در افزایش پایداری شیب و کنترل فرسایش نقش مهمی دارد (Watson & Warden, 2004). بطور کلی خاک در مقابل نیروهای فشاری دارای مقاومت بیشتر و در مقابل نیروهای کششی دارای مقاومت کمتری است. از طرف دیگر ریشه در مقابل فشار مقاومت کم ولی در برابر کشش مقاومت بیشتری دارد. در نتیجه حضور ریشه در خاک، ماتریس مسلح شده ای تشکیل می دهد که در فرآیند بارگذاری خاک تنش کششی را به ریشه ها منتقل می سازد (Pollen, 2007). بنابراین تاثیر گیاهان بر افزایش مقاومت برشی خاک به مقدار زیادی وابسته به مقاومت کششی ریشه است و برخی پژوهشگران از مقاومت کششی به عنوان مهمترین فاکتور کنترل کننده پایداری خاک نام می برند (Stokes, 2002). تعیین مقاومت کششی ریشه، اطلاعات مورد نیاز در تحلیل رابطه ریشه- خاک را فراهم می نماید. حداکثر نیروی لازم برای گسیختن ریشه به عنوان مقاومت آن در نظر گرفته می شود و با تقسیم نیرو بر سطح مقطع ریشه، مقاومت کششی آن به دست می آید (Watson & Warden, 2004). تاکنون پژوهش های زیادی در مورد مقاومت کششی ریشه گونه های مختلف گیاهی انجام گرفته و مقاومت آنها از هزاران تا میلیون ها پاسکال گزارش شده است. بررسی های مختلف، تفاوت های قابل ملاحظه ای در مورد مقاومت کششی نشان داده و مقاومت کششی را تابع شرایط رویشگاه، آب و هوا، فصل سال، گونه و قطر ریشه دانسته است (Bischetti et al., 2005). مقاومت کششی

ریشه در شرایط تجدید حیات طبیعی بیشتر از تجدید حیات مصنوعی و در زمستان نسبت به تابستان بیشتر گزارش شده است (Genet et al., 2005) به طوری که مقاومت کششی در ماه های آذر و دی حداکثر و در ماه های تیر و مرداد حداقل گزارش شد (Watson & Warden, 2004). همچنین ریشه درختان سوزنی برگ در یک قطر ثابت نسبت به پهن برگان مقاومت کششی کمتری دارد (Cofie et al., 2000). Stokes (2002) منشأ تفاوت های مقاومت کششی را به دلیل ایفای کارکردهای مکانیکی مختلف ریشه ها و Genet و همکاران (2005) به دلیل تفاوت نسبت سلولز و لیگنین می دانند. علاوه بر موارد ذکر شده Bischetti و همکاران (2005) و Simon و Collison (2002) تفاوت های درون گونه ای مقاومت کششی را محتمل می دانند. Genet و همکاران (2005) بیان داشتند که با توجه به اینکه مرفولوژی ریشه ها تحت تاثیر شرایط محلی^۲ قرار دارد و از طرفی ترکیب شیمیایی ریشه، بر مبنای مرفولوژی متفاوت می باشد ممکن است شرایط محیط محلی بر میزان سلولز هم تاثیر داشته باشد. در نتیجه ممکن است در یک رویشگاه نیز پایه های مختلف یک گونه دارای مقاومت های مختلف باشد. این پژوهشگران مطالعه مقاومت کششی گونه ها در یک محیط ثابت را برای اثبات این فرضیه پیشنهاد دادند و تاکید نمودند که تاکنون این فرضیه از لحاظ آماری به اثبات نرسیده است. بنابراین با توجه به نکات ذکر شده، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تغییرات درون گونه ای مقاومت کششی سه گونه راش، ممرز و انجیلی در مقیاس منطقه ای می باشد.

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در بخش پاتم از جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود واقع در حوزه آبخیز ۴۵ از جنگل های شمال کشور و در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نوشهر انجام گرفت. متوسط بارندگی سالانه این بخش ۱۴۵۰ میلیمتر می باشد. تیپ های درختی قسمت مورد مطالعه شامل: انجیلی- ممرز، راش- ممرز، بلوط- ممرز و راش آمیخته است. به منظور حذف اثرات محیطی، منطقه مورد نظر با جنگل گردشی طوری انتخاب شد که سه گونه راش، ممرز و

۱-Eco-engineering

۲-Local

انجیلی در کنار هم وجود داشته باشد. نتایج آزمایش های دانه بندی و حدود آتربرگ^۱ نشان داد که خاک محدوده مورد مطالعه از کلاسه های لای با حد روانی بالا (ML) و لای با حد روانی پایین (MH) در سیستم یونیفاید^۲ است.

روش پژوهش

پایه های سه گونه درختی راش، ممرز و انجیلی به روش کاملاً تصادفی انتخاب و کدگذاری شد. برای بررسی پراکنش ریشه ها اقدام به اندازه گیری نسبت سطح ریشه به سطح خاک^۳ (RAR) (Bischetti et al., 2005) ۲۴ پایه درختی (از هر گونه ۸ پایه) با روش مقطع پروفیل شد (Abernethy et al., 2001; Bischetti et al., 2005). به این ترتیب در اطراف هر درخت نمونه، یک پروفیل در سمت بالا^۴ و یکی در سمت پایین شیب^۵ حفر شد. برای آزمایش مقاومت کششی نمونه های ریشه درختان راش، ممرز و انجیلی (۴ پایه از هر گونه که از بین ۸ پایه به صورت تصادفی انتخاب شد) در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ از عمق حدود ۳۰ سانتی متری و در دو سمت پایین و بالای شیب هر پایه جمع آوری شد. بین مراحل جمع آوری ریشه ها و انجام آزمایش، کمتر از یک هفته اختلاف زمانی وجود داشت. تیماری که به منظور نگهداری و آماده سازی نمونه ریشه ها استفاده شد شامل شستشو و قرار دادن آنها در کیسه های پلاستیکی حاوی محلول الکل ۱۵٪ بود (Bischetti et al., 2005; Mattia et al., 2005). سپس نمونه هایی به طول حدود ۱۰ سانتی متر به صورت تصادفی از ریشه ها انتخاب و با استفاده از یک سیم چین تیز جدا شد (شکل ۱). سرعت انجام آزمایش مقاومت کششی ۱۰ میلیمتر بر دقیقه انتخاب شد (Bischetti et al., 2005; Makarova et al., 2007; Mattia et al., 2005; Pollen, 1998). مقاومت کششی ریشه ها با استفاده از یک دستگاه اینسترون^۶ استاندارد ساخت کارخانه سنتام اندازه گیری شد. دامنه قطری مورد بررسی در این دسته از پژوهش ها وابسته به ابعاد فک دستگاه اینسترون می باشد (Norris, 2008).

شکل ۱- نمونه های آماده شده برای آزمایش مقاومت کششی



۱-Atterberg
 ۲-Unified Soil Classification System
 ۳-Root Area Ratio
 ۴-Upslope
 ۵-Down slope
 ۶-Instron

آزمایش های مقاومت کششی ریشه

تعداد ۳۶۹ آزمایش مقاومت کششی موفق روی نمونه ریشه های مربوط به سه گونه مورد نظر و نیز پروفیل بالا و پایین هر گونه، انجام گرفت. آمار توصیفی مربوط به این آزمایش ها در جدول ۱ آمده است. نتایج آنالیز کوواریانس برای بررسی تفاوت های درون گونه ای در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که از جدول فوق مشاهده می شود، عامل کوواریت یا قطر ریشه در مورد تمامی تیمارها معنی دار است. در مورد تیمار پایه درختی هم به جز در مورد پروفیل های بالای انجیلی در بقیه موارد نتایج حاکی از معنی دار بودن اثر پایه های مختلف درختی بر میزان مقاومت کششی و در واقع معنی دار بودن تفاوت های درون گونه ای می باشد. به بیان دیگر، حتی در بین پایه های یک گونه نیز مقاومت کششی دارای اختلاف معنی دار از نظر آماری می باشد.

بحث و نتیجه گیری

پراکنش ریشه ها

در بسیاری از مطالعات برای بررسی پراکنش ریشه ها از شاخص RAR استفاده می شود (Abernethy et al., 2001). کاربرد اطلاعات مربوط به این شاخص در پهنه بندی پایداری دامنه های جنگلی (Bischetti et al., 2005) و نشان دهنده وضعیت مسلح سازی ریشه ها در عمق های مختلف می باشد (Abernethy et al., 2001). این شاخص به شدت تحت تاثیر عمق (Bischetti et al., 2005)، گونه، رویشگاه، ژنتیک، آب و هوا و نوع خاک است (De Baets et al., 2008). در این مطالعه نیز تنوع شاخص RAR مشاهده شد که با نتایج Bischetti و همکاران (2005) همخوانی دارد. الگوی کلی پراکنش RAR در رابطه با عمق در این پژوهش به صورت کاهش مشاهده شد. Abernethy و همکاران (2001)، Bischetti و همکاران (2005) و Mattia و همکاران (2005) نیز نشان دادند که با افزایش عمق، این شاخص روندی کاهشی دارد. Bischetti و همکاران (2005) این کاهش را به دلیل کاهش مواد غذایی، هوا و نیز افزایش لایه های متراکم تر خاک می دانند.



شکل ۲- گسیختگی از محل نزدیک به فک (احتمال تاثیر تنش حاصل از فشار لبه های فک)

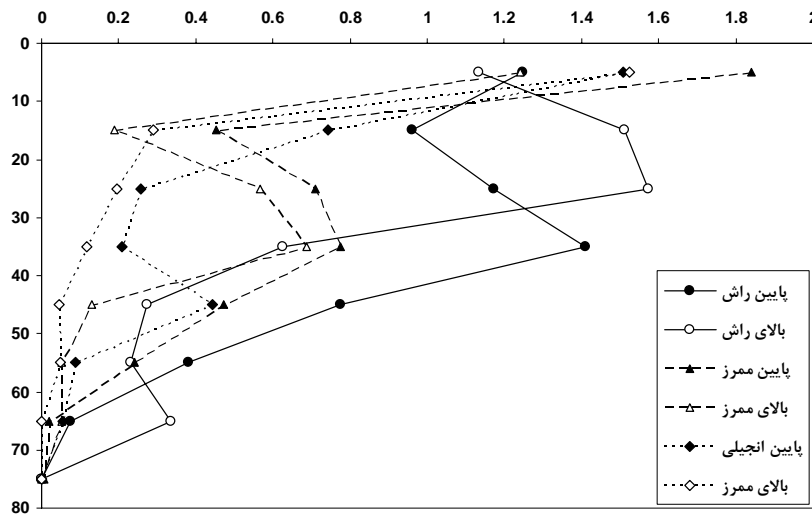
همچنین با توجه به اینکه در اغلب منابع ریشه های نازکتر از ۱ میلیمتر به ندرت مورد آزمایش قرار گرفتند (Genet et. al., 2005)، در این مطالعه ریشه های نازک تر نیز آزمایش شد.

به منظور انجام آزمون های آماری ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Genet et. al., 2005) بررسی شد و به دلیل نرمال نبودن، برای نرمال سازی داده ها از تبدیل لگاریتمی (Watson & Warden, 2004) استفاده شد. برای بررسی تفاوت های درون گونه ای مقاومت کششی، آزمون آنالیز کوواریانس روی داده ها انجام گرفت. با توجه به آنچه که در منابع آمده یعنی وجود همبستگی معنی دار معکوس بین قطر و مقاومت کششی، به نظر می رسد که بخشی از میانگین مقاومت کششی مربوط به تفاوت موجود بین قطرهای مختلف باشد. بنابراین در مقایسه ها به منظور حذف اثر قطر، از آنالیز کوواریانس استفاده شد.

نتایج

پراکنش ریشه ها

نتایج نشان داد که پراکنش ریشه ها در رابطه با عمق دارای تنوع زیادی می باشد ولی به طور کلی این شاخص با افزایش عمق کاهش می یابد. مقادیر نسبت سطح ریشه به سطح خاک به تفکیک گونه و نوع پروفیل در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- پراکنش نسبت سطح ریشه به خاک در رابطه با افزایش عمق

جدول ۱- آمار توصیفی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت کششی ریشه

تیمار	قطر (میلیمتر)		مقاومت (مگاپاسکال)	
	حداکثر	میانگین \pm اشتباه معیار	حداکثر	میانگین \pm اشتباه معیار
راش بالا	۴/۷	۰/۴۵	۶۷/۴۳	۳۸/۶۷ \pm ۱/۱۹
راش پایین	۵/۶	۰/۳۵	۵۷/۵۲	۳۵/۷۰ \pm ۱/۳۰
ممرز بالا	۴/۲	۰/۴	۵۸/۹۵	۲۹/۸۳ \pm ۱/۴۹
ممرز پایین	۴/۵	۰/۳	۷۰/۳۳	۳۴/۲۱ \pm ۱/۶۶
انجیلی بالا	۴/۴۰	۰/۳	۶۴/۳۴	۲۵/۴۶ \pm ۱/۲۸
انجیلی پایین	۵	۰/۳	۶۶/۸۰	۳۰/۹۰ \pm ۱/۵۸

جدول ۲- آنالیز کوواریانس تاثیر قطر ریشه و پایه درختی بر مقاومت کششی گونه ها

P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع
۰/۰۰	۹/۰۲	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۱	کوواریت (قطر ریشه، پایین راش)
۰/۰۴	۷/۷۵	۰/۰۵	۰/۱۶	۳	پایه درخت (پایین راش)
۰/۰۰	۹/۴۲	۰/۷۳	۰/۷۳	۱	کوواریت (قطر ریشه، بالای راش)
۰/۰۰	۲/۲۹	۰/۱۵	۰/۴۶	۳	پایه درخت (بالای راش)
۰/۰۴	۳/۴۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۱	کوواریت (قطر ریشه، پایین ممرز)
۰/۰۲	۳/۳۱	۰/۱۲	۰/۳۷	۳	پایه درخت (پایین ممرز)
۰/۰۰	۲۱/۶۶	۰/۴۷	۰/۴۷	۱	کوواریت (قطر ریشه، بالای ممرز)
۰/۰۰	۴/۲۸	۰/۰۹	۰/۲۸	۳	پایه درخت (بالای ممرز)
۰/۰۰	۱۵/۵۶	۰/۳۴	۰/۳۴	۱	کوواریت (قطر ریشه، پایین انجیلی)
۰/۰۰	۶/۵۳	۰/۱۴	۰/۴۳	۳	پایه درخت (پایین انجیلی)
۰/۰۰	۱۸/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۸	۱	کوواریت (قطر ریشه، بالای انجیلی)
۰/۰۸	۲/۲۹	۰/۰۵	۰/۱۴	۳	پایه درخت (بالای انجیلی)

مقاومت کششی ریشه ها

در منابع روش های مختلفی برای بررسی تاثیر تیمارها بر مقاومت کششی ذکر شده است. Warden و Watson (2004)، در یک محدوده قرار داشتن دامنه قطری ریشه ها را تنها شرط لازم برای مقایسه میانگین ها عنوان نمودند و برای مقایسه از آنالیز واریانس استفاده کردند. Simon و Collision (2002) نیز به منظور بررسی تاثیر گونه ها بر مقاومت کششی از آنالیز واریانس استفاده و برای حذف اثر قطر، دامنه مورد بررسی را به ۲-۳ میلیمتر محدود کردند. Abernethy و همکاران (2001) و Genet و همکاران (2005) برای بررسی تاثیر گونه بر مقاومت کششی از آنالیز کوواریانس استفاده کردند و اثر قطر به عنوان کوواریت را معنی دار گزارش نمودند. در پژوهش حاضر نیز تاثیر عامل کوواریت (قطر ریشه) بر مقاومت کششی معنی دار بود که این نتیجه منطبق با نتایج Abernethy و همکاران (2001) و Genet و همکاران (2005) می باشد و لزوم استفاده از آنالیز کوواریانس را به خوبی تایید می نماید.

نتایج آزمایش های مقاومت کششی در این پژوهش تنوع درون گونه ای را نشان داد. Bischetti و همکاران (2005) و Simon و Collision (2002) تفاوت بین گونه ای مقاومت کششی ریشه را زیاد و حتی Bischetti و همکاران (2005) در مواردی انحراف معیار تا ۲ برابر میانگین را ذکر کرده اند. ولی تاکنون از لحاظ آماری تفاوت های درون گونه ای گزارش نشده است (Genet et al., 2005). وجود تفاوت های مقاومت کششی (به عنوان یکی از مهمترین ویژگی های زیست فنی^۱) حتی در بین پایه های یک گونه و در مقیاس منطقه ای، بیان کننده پیچیدگی مطالعات بوم مهندسی و کاربردی کردن نتایج این مطالعات می باشد. Bischetti و همکاران (2005) ویژگی های زیست فنی را تابع شرایط محیطی از جمله عمق و نوع خاک، نوع سنگ مادر، آب و هوا و توپوگرافی می دانند و بنابراین با توجه به تنوع شرایط محیطی، مطالعات بوم مهندسی را ویژه هر منطقه می دانند. نتایج این تحقیق نشان داد که ویژگی های زیست فنی حتی در

مقیاس محلی نیز دارای تفاوت هایی می باشد و بنابراین هنوز مطالعات گسترده ای برای شناخت این ویژگی ها مورد نیاز خواهد بود. در مطالعه حاضر با توجه به پیشنهاد Genet و همکاران (2005) مقاومت کششی سه گونه جنگلی در یک محیط ثابت بررسی و فرضیه وجود تفاوت درون گونه ای از لحاظ آماری به اثبات رسید. طبق نتایج Genet و همکاران (2005) این تفاوت ها ممکن است به دلیل اعمال تنش های متفاوت بر قسمت های مختلف سیستم ریشه و در نتیجه سطوح مختلف سلولز در ریشه ها باشد. لازم به ذکر است که نتایج این پژوهشگران نشان داده که سیستم سازگاری گیاه در مقابل تنش ها، تنظیم نسبت سلولز به لیگنین است و هر چه تنش ها بزرگتر باشد نسبت سلولز به لیگنین در آن قسمت بیشتر خواهد بود. بنابراین پیشنهاد می شود که در مطالعه ای جداگانه رابطه میزان سلولز و مقاومت کششی گونه های جنگلی کشور بررسی شود. از طرفی نتایج این پژوهش نشان داد که ریشه های سمت پایین شیب مقاومت کششی بیشتری دارند. این نتیجه در تناقض با نتایج Stokes (2002) می باشد که بیان می کند در درختان روی شیب ریشه های بالا قوی ترند. این نتیجه ممکن است در اثر وجود نیروی بادهای دائمی باشد. Stokes (2002) ریشه های سمت باد را دارای مقاومت کششی بالاتری می داند. بر این اساس در صورتی که جهت وزش بادهای در منطقه مورد مطالعه غالباً از پایین شیب به سمت بالای شیب باشد، قوی تر بودن ریشه های پایین به دلیل سازگاری در برابر باد است. متأسفانه به دلیل عدم وجود داده های معتبر و طولانی مدت در مورد باد در منطقه جنگلی نتیجه گیری قطعی در این باره ممکن نمی باشد. هر چند که در مدت حضور در عرصه، وزش باد غالباً از پایین مشاهده شد، ولی از لحاظ علمی مستندات دال بر وجود آن در دست نیست. در هر صورت قوی تر بودن ریشه های پایین، دلیل وجود تنش های بزرگتر در سمت پایین (Stokes, 2002) و نتیجه سازگاری سیستم ریشه ای است.

امروزه استفاده از روش های بوم مهندسی در دنیا رو به افزایش است که یکی از دلایل مهم آن بروز پی آمدهای

^۱-Biotechnical

می باشد و لزوم مطالعات وسیع تر برای شناخت این ویژگی ها را نشان می دهد. قابل ذکر است که فقدان دانش در مورد ویژگی های زیست فنی سیستم ریشه گونه ها در ایران یکی از عوامل مهم محدودیت ساز کاربرد فنون بوم مهندسی و استفاده گسترده از منابع گیاهی در این زمینه می باشد.

منفی و ناسازگار روش های کلاسیک مهندسی بر محیط زیست می باشد. با افزایش نگرانی ها و ملاحظات در مورد محیط زیست به نظر می رسد که این روش ها شیوه های غالب و مطلوبتری خواهد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که حتی در بین پایه های یک گونه نیز تنوع از نظر مقاومت کششی وجود دارد. این نتیجه نشان دهنده پیچیدگی مصالح زنده یا گیاهان از نظر رفتار زیست فنی

References

- 1- Abernethy, B.; D. IAN and I.D. Rutherford. 2001. The Distribution and Strength of Riparian Tree Roots in Relation to Riverbank Reinforcement. *Hydrol. Process.* 15: 63- 79.
- 2- Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Simonato, T., Speziali, B., Vitali, B., Vullo, P., Zocco A. 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*: 278:11–22.
- 3- Cofie, P.; A.J. Koolen and U.D. Perdok. 2000. Measurement of Stress-strain Relationship of Beech Roots and Calculation of the Reinforcement Effect of Tree Roots in Soil-wheel Systems. *Soil & Tillage Research*, 57: 1-12.
- 4- De Baets, S.; J. Poesson; B. Reubens; K. Wemans; J. De Baerdemaeker and B. Muys. 2007. Root Tensile Strength and Root Distribution of Typical Mediterranean Plant Species and Their Contribution to Soil Shear Strength. *Plant and Soil*. 305: 207-226.
- 5- Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S. B., Fourcaud, T., Dumail, J. F., and VanBeek, R. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and Soil* 258: 1–9.
- 6- Makarova, O.V.; P. cofie and A.J. Koolen. 1998. Axial Stress–strain Relationships of Fine Roots of Beech and Larch in loading to failure and in Cyclic Loading. *Soil & Tillage Research* 45: 175–187.
- 7- Mattia, C.; G.B. Bischetti and F. Gentile. 2005. Biotechnical Characteristics of Root System of Typical Mediterranean Species. *Plant and Soil*, 278: 23-32.
- 8- Norris, J. and J. Greenwood. 2008. An Introduction to Types of Vegetated Slopes. In: Norris, J.; A. Stokes; S.B. Mickovski; E. Cammeraat; R. Van Beek; B.C. Nicoll and A. Achim. (eds) *Slope Stability and Erosion Control, Ecotechnological Solutions*. Springer, 287p.
- 9- Pollen, N. 2007. Temporal and Spatial Variability in Root Reinforcement of Stream Banks: Accounting for Soil Shear Strength and Moisture. *Catena*, 69: 197-205.
- 10- 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
- 11- Stokes, A. 2002. Biomechanics of Tree Root Anchorage. In: Waisel, Y.; A. Eshel and U. Kafkafi. Eds, *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker: 175–186.
- 12- Stokes, A.; J. Norris and J. Greenwood. 2008. Introduction to Ecotechnological Solutions. In: Norris, J.; A. Stokes; S.B. Mickovski; E. Cammeraat; R. Van Beek; B.C. Nicoll and A. Achim. (eds) *Slope Stability and Erosion Control, Ecotechnological Solutions*. Springer, 287p.
- 13- Watson, A.J. and M. Marden. 2004. Live Root-wood Tensile Strengths of Some Common New Zealand Indigenous and Plantation Tree Species. *New Zealand journal of forestry science*, 34(3): 344-353.

Intraspecies variations of tree root tensile strength as Eco-Engineering materials in local scale (Case study: Kheyroud Forest)

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

1- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2,4- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

3- Professor, Department of Irrigation Engineering University of Tehran

5- Islamic Azad University

(Received: 8/Nov./2009 , Accepted: 6/May/2010)

Abstract

Effects of plant roots on increasing soil shear strength depend on root tensile strength. Thus, determination of root tensile strength can provide the necessary data for analyzing root-soil relations. Tensile strength of plant roots varied in a wide range and have been reported from thousands to millions of MPa. The main objective of this study was to assess inter-species variations of root tensile strength for three important species of Hyrcanian forests in a local scale. For this purpose, root samples of beech, hornbeam and Persian ironwood were collected from up and down slopes and tensile strength tests were carried out using a standard Instron apparatus. To evaluate the effects of tree species, diameter of roots, and root location on the profiles on tensile strength of the roots, analysis of covariance (ANCOVA) was employed. In this analysis, 369 successful tensile tests were conducted on up and down slopes roots of three species. Root diameters were between 0.3 to 5 mm and measured tensile strengths were between 10.51 to 70.33 MPa. The results of ANCOVA revealed significant differences among measured tensile strengths due to covariate and also trees except for upslope samples of ironwood. Therefore, it was shown that the inter-species variations of tensile strength are statistically significant. This is a major issue, as the present lack of knowledge on the biotechnical behavior of root systems of common tree species has been a limiting factor in using soil bioengineering techniques in Iran. The result, presented in this study verifies the inter-species variations of root tensile strength in beech, hornbeam and ironwood.

Keywords: Inter-species variations, Instron, tensile strength, ANCOVA, eco-engineering

* corresponding author:

Tel:+982612249312

Fax:+982612249312

Email: abdie@ut.ac.ir