# بررسي مقاومت كششي ريشه برخي گونه هاي جنگلي شمال به منظور تثبيت خاک (بررسی موردي: بخش پاتم، جنگل آموزشي و پژوهشي خيرود)

احسان عبدي[۱]، باريس مجنونيان*[۲]، حسن رحيمي[۳]، محمود زبيري[۲] و قاسم حبيبي بي بالاني[۴]
[۱]استاديار گروه جنگلداري دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۲]استاد گروه جنگلداري دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۳]استاد گروه آبياري پرديس كشاورزي و منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۴]دانشيار دانشگاه آزاد اسلامي، واحد شبستر، ايران
(تاريخ دريافت: ۸۸/۱۰/۱۰، تاريخ تصويب: ۸۹/۱۱/۱۲)

## چكيده
تعيين مقاومت كششي ريشه گونه‌هاي مختلف گياهي شاخص مؤثري به منظور گزينش گونه مناسب براي مسلح كردن خاك و تعيين تاثير گونه‌هاي مختلف در بهبود پايداري آن مي باشد. بنابراين هدف اين پژوهش تعيين و مقايسه مقاومت كششي سه گونه مهم درختي جنگل هاي شمال ايران (راش، ممرز و انجيلي) و بررسي روابط قطر- نيروي گسيختگي و قطر- مقاومت كششي در مورد آنها مي‌باشد. به اين منظور نمونه‌هاي ريشه گونه‌هاي راش، ممرز و انجيلي از سمت بالا و پايين شيب جمع‌آوري و مقاومت كششي آنها با استفاده از يک دستگاه اينسترون استاندارد اندازه‌گيري شد. براي بررسي تفاوت مقاومت كششي بين تيمارها از آناليز كوواريانس استفاده شد. نتايج بررسي‌ها نشان داد كه با افزايش قطر ريشه، نيروي لازم براي گسيختن ريشه به صورت معادله تواني مثبت افزايش مي‌يابد. نتايج بررسي قطر و مقاومت كششي نشان داد كه رابطه اين دو متغير به صورت تابع تواني منفي بوده و با كاهش قطر مقاومت كششي افزايش مي‌يابد. با توجه به نتايج بدست آمده، بزرگي $\alpha$ و $\beta$ مربوط به معادله قطر- نيروي گسيختگي به ترتيب از راش به ممرز و انجيلي كاهش مي‌يابد. همچنين $\alpha$ و $\beta$ نمونه‌هاي پايين شيب از بالاي شيب بزرگ‌تر بوده‌اند. در مورد معادله قطر- مقاومت كششي، بزرگترين ضريب $\alpha$ به ترتيب مربوط به راش، ممرز و انجيلي و كوچكترين ضريب $\beta$ به ترتيب مربوط به راش، انجيلي و ممرز مي‌باشد. نتايج آناليز كوواريانس حاكي از وجود تفاوت معني‌دار بين گونه‌ها و پروفيل‌ها بوده و بيشترين و كمترين مقاومت كششي در بين گونه‌ها به ترتيب مربوط به راش و انجيلي بوده و همچنين ريشه‌هاي پايين قوي‌تر از بالاي شيب هستند.

واژه هاي كليدي: مسلح سازي خاک، اينسترون، مقاومت كششي، نيروي گسيختگي، آناليز كوواريانس، معادله تواني

* نويسنده مسئول: تلفن: ۲۲۴۹۳۱۲-۰۲۶۱ فاكس: ۲۲۴۹۳۱۲-۰۲۶۱ E-mail: bmajnoni@ut.ac.ir

مقدمه

مهم ترين تأثير پوشش گياهي در پايداري دامنه‌ها، مكانيزم مسلح سازي ريشه هاست،كه از راه تحمل تنش برشي خاك به كمک مقاومت كششي ريشه‌ها انجام مي- شود. بطور معمول خاک در مقابل نيروهاي فشاري داراي مقاومت بيشتر و در مقابل نيروهاي كششي داراي مقاومت كمتري است. از سوی ديگر ريشه در مقابل فشار داراي مقاومت كم ولي در برابر كشش داراي مقاومت بيشتري مي باشد. بنابراين حضور ريشه در خاک ماتريس مسلح شده‌اي تشكيل مي‌دهد كه در فرآيند بارگذاري خاک تنش كششي به ريشه‌ها انتقال مي‌يابد (Pollen, 2007). بنابراين تاثير گياهان بر افزايش مقاومت برشي خاک مقدار زيادي وابسته به مقاومت كششي ريشه است و تعيين مقاومت كششي ريشه، اطلاعات مورد نياز در تحليل رابطه ريشه- خاک را فراهم مي سازد ( Watson & Marden, 2004). بيشينه‌ی نيروي لازم براي گسيختن ريشه به عنوان مقاومت آن در نظر گرفته مي‌شود. با تقسيم نيرو بر سطح مقطع ريشه مقاومت كششي آن به دست مي‌آيد (Watson & Marden, 2004). يكي از عوامل محدوديت ساز در استفاده از فنون زيست مهندسي[1]، آگاهي نداشتن از ويژگيهاي سيستم ريشه‌اي گونه‌هاي مختلف و خواص مكانيكي آنها و مكانيزم مسلح‌سازي مي‌باشد. بنابراين تعيين مقاومت كششي ريشه گونه‌هاي مختلف گياهي شاخص مؤثري براي انتخاب گونه‌ی مناسب براي مسلح كردن خاك و تعيين تاثير گونه‌هاي مختلف در بهبود پايداري آن مي‌باشد. تاكنون مطالعات زيادي در مورد مقاومت كششي ريشه گونه‌هاي مختلف گياهي انجام و مقاومت آنها از هزاران تا ميليون‌ها پاسكال گزارش شده است. Makarova *et al.* (1998) مقاومت ريشه‌هاي راش اروپايي را در دامنه ۵۶- ۱۱ مگاپاسكال گزارش كردند. Nilaweera & Nutalaya (1999) دامنه تغييرات مقاومت كششي ريشه از هفت گونه‌ی درختي تايلند را ۸۹- ۵ مگاپاسكال گزارش شد. Watson *et al.* (1999) متوسط حداكثر مقاومت كششي كاج راديانا را ۰/۹ ± ۱۷/۶ مگاپاسكال و متوسط حداكثر مقاومت كششي ريشه درختچه كانوكا در نيوزيلند را ۳/۲ ± ۳۲/۵ مگا پاسكال بوده است. Cofie *et al.* (2000) ريشه‌هاي راش اروپايي را بررسي و مقاومت كششي آنها را ۴۰-۱۲ مگا پاسكال برآورد كردند. همچنين مقاومت كششي چند گونه ديگر را نيز از ديگران نقل كردند: صنوبر ۵۲-۱۷، دوگلاس ۵۰-۲۰، سوزني برگان ۶۰-۱۰ و راش اروپايي ۱/۵۸ ± ۲۴ مگاپاسكال. Bischetti *et al.* (2005) هشت گونه درختي را مورد بررسي قرار داده و حداكثر مقاومت كششي حدود ۷۳۰ مگاپاسكال گزارش شد. Genet et al. (2005) پنج گونه درختي را در فرانسه مورد بررسی قراردادند. متوسط مقاومت كششي براي كل گونه‌ها ۲ ± ۲۸/۴ مگاپاسكال و بيشينه‌ی مقاومت مشاهده شده ۲۰۱ مگاپاسكال بوده است. Norris (2005) مقاومت كششي ريشه گونه وليک را ۶/۸ ± ۱۵/۵ و بلوط را ۴/۶ ± ۸/۱ مگاپاسكال گزارش و اعدادي نيز از ديگر محققان نقل مي‌كند: سپيدار ۱۲- ۵ ، بيد ۱۱ و بلوط ۳۲ مگاپاسكال. با اين وجود، بحث استفاده از پوشش گياهي براي مسلح‌سازي خاک در ايران براي اولين‌بار با تاخير تقريبا سه دهه‌اي نسبت به ديگر نقاط جهان مطرح شد (Shad, 1991). پس از آن اين زمينه در نشريه ۱۳۱ سازمان مديريت و برنامه‌ريزي مطرح و مورد بحث قرار گرفت. با وجود گذشت ۱۸ سال از ورود اين شاخه علمي به ايران، هنوز در مراحل ابتدايي خود بوده و پيشرفت چنداني نداشته است و در اين مورد مطالعات محدودي صورت گرفته كه بعضا جسته و گريخته و ناپيوسته‌اند. در مقايسه با كشوري مانند نيوزيلند كه اطلاعات زيست فني مربوط به تمام گونه‌هاي بومي درختي آن موجود مي باشد و به عنوان يكي از معيارها در انتخاب گونه‌هاي مناسب براي جنگل‌كاري در نظر گرفته‌مي‌شوند، در ايران هنوز راه درازي براي كاربردي شدن اين علم در پيش است. هدف از پژوهش حاضر تعيين و مقايسه‌ی مقاومت كششي سه گونه‌ی مهم درختي جنگل هاي شمال ايران (راش، ممرز و انجيلي) و بررسي روابط قطر- نيروي كششي و قطر- مقاومت كششي در مورد آنها مي‌باشد.

[1] Bioengineering

منطقه مورد برررسی

مطالعه حاضر در بخش پاتم از جنگل آموزشي و پژوهشي خيرود دانشگاه تهران واقع در حوزه‌ی آبخیز ٤۵ از جنگل‌هاي شمال کشور و در ۱۰ کیلومتري شرق شهرستان نوشهر انجام گرفت.

روش پژوهش

نمونه‌هاي ريشه گونه‌هاي راش، ممرز و انجيلي در تاريخ ۱۲ ارديبهشت ماه ۱۳۸۷ از عمق حدود ۳۰ سانتي متر در سمت بالا و پايين شيب جمع‌آوري شدند (Cofie *et al*., 2000). شماي کلي مربوط به پروفيل‌ها در شکل (۱) آمده است.

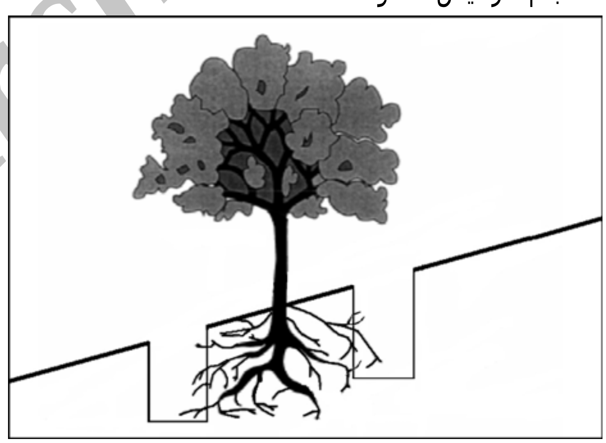
بين مرحله جمع‌آوري ريشه‌ها و انجام آزمايش کمتر از يک هفته اختلاف زماني وجودداشت. تيماري که به منظور نگهداري و آماده سازي نمونه ريشه‌ها استفاده شد شامل شستشو و قرار دادن آنها در کيسه هاي پلاستيکي حاوي محلول الکل ۱۵% بود (Bischetti *et al*., 2005; Mattia *et al*., 2005). سپس نمونه‌هايي به طول حدود ۱۰ سانتي متر به صورت تصادفي از قطرهاي مختلف انتخاب (Cofie *et al*., 2000) و با استفاده از يک سيم چين تيز جدا شدند. سرعت انجام آزمايش مقاومت کششي ۱۰ ميليمتر بر دقيقه انتخاب شد (Makarova *et al*., 1998; Bischetti *et al*., 2005; Mattia *et al*., 2005; Pollen, 2007). مقاومت کششي ريشه‌ها با استفاده از يک دستگاه اينسترون استاندارد ساخت کارخانه صنتام اندازه‌گيري شد. دقت اندازه‌گيري دستگاه براي نيرو ۰/۰۰۱± نيوتن و براي جابه‌جايي در واحد طول ۰/۰۰۱± ميليمتر مي‌باشد. نمونه‌هاي ريشه بين دو فک دستگاه قرارگرفته و آزمايش‌ها انجام شدند. در نمونه‌هايي که گسيختگي از محل نزديک فک‌ها رخ مي‌داد، آزمايش نامعتبر ارزيابي شده و نتايج مربوط به آنها حذف شد. معادله‌ی پذيرفته شده براي رابطه نيرو و مقاومت کششي با قطر ريشه به صورت زير مي‌باشد:

$$T_F = \alpha\, d^{\beta} \qquad (۱)$$

که در آن ($T_F$) نيروي گسيختگي، ($d$) قطر ريشه و ($\alpha$ و $\beta$) ضرايب تجربي هستند.

$$T_S = \alpha\, d^{-\beta} \qquad (۲)$$

که در آن ($T_S$) مقاومت کششي، ($d$) قطر ريشه و ($\alpha$ و $\beta$) ضرايب تجربي هستند.



شکل ۱- موقعيت پروفيل ها ي بالا و پايين شيب

به منظور انجام آزمون هاي آماري ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسميرنف بررسي و به دليل نرمال نبودن براي نرمال سازي داده‌ها از تبديل لگاريتمي استفاده‌شد. براي بررسي تفاوت معني‌دار مقاومت کششي بين گونه‌اي، با استفاده از طرح فاکتوريل در قالب کاملا تصادفي، روي داده‌ها آزمون آناليز

كوواريانس انجام گرفت. با توجه به آنچه كه در منابع آمده يعني وجود همبستگي معني‌دار معكوس بين قطر و مقاومت كششي، بخشي از ميانگين مقاومت كششي مربوط به تفاوت موجود بين قطرهاي مختلف مي‌باشد. بنابراين براي حذف اثر قطر از آناليز كوواريانس استفاده شد.

## نتايج

تعداد ۳۶۰ آزمايش مقاومت كششي موفق روي نمونه ريشه‌هاي مربوط به شش تيمار (سه گونه مورد نظر و نيز پروفيل بالا و پايين هر گونه) انجام‌گرفت. آمار توصيفي مربوط به اين آزمايش‌ها در جدول (۱) آمده‌است.

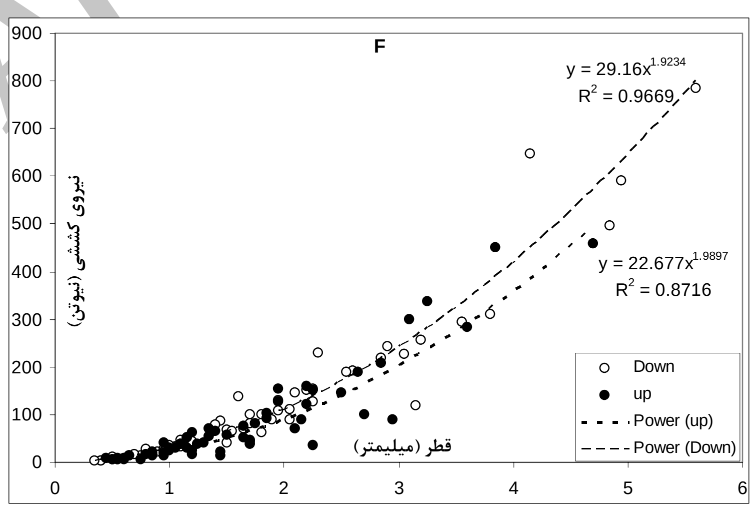
جدول ۱- آمار توصيفي مربوط به نتايج آزمايش مقاومت كششي

| | قطر (ميليمتر) | | | مقاومت كششي (مگاپاسكال) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گونه | حداكثر | حداقل | ميانگين±اشتباه معيار | حداكثر | حداقل | ميانگين±اشتباه معيار |
| راش بالا | ۴/۷ | ۰/۴۵ | ۱/۵۷±۰/۱۱ | ۶۷/۴۳ | ۱۵/۲۰ | ۳۸/۶۷±۱/۱۹ |
| راش پايين | ۵/۶ | ۰/۳۵ | ۱/۷۹±۰/۱۴ | ۵۷/۵۲ | ۱۶/۶۴ | ۳۵/۷۰±۱/۳۰ |
| ممرز بالا | ۴/۲ | ۰/۴ | ۱/۶۲±۰/۱۳ | ۵۸/۹۵ | ۱۱/۷۲ | ۲۹/۸۳±۱/۴۹ |
| ممرز پايين | ۴/۵ | ۰/۳ | ۱/۶۹±۰/۱۳ | ۷۰/۳۳ | ۱۲/۱۸ | ۳۴/۲۱±۱/۶۶ |
| انجيلي بالا | ۴/۴۰ | ۰/۳ | ۱/۷۲±۰/۱۲ | ۶۴/۳۴ | ۱۰/۵۹ | ۲۵/۴۶±۱/۲۸ |
| انجيلي پايين | ۵ | ۰/۳ | ۱/۸۶±۰/۱۶ | ۶۶/۸۰ | ۱۰/۵۱ | ۳۰/۹۰±۱/۵۸ |

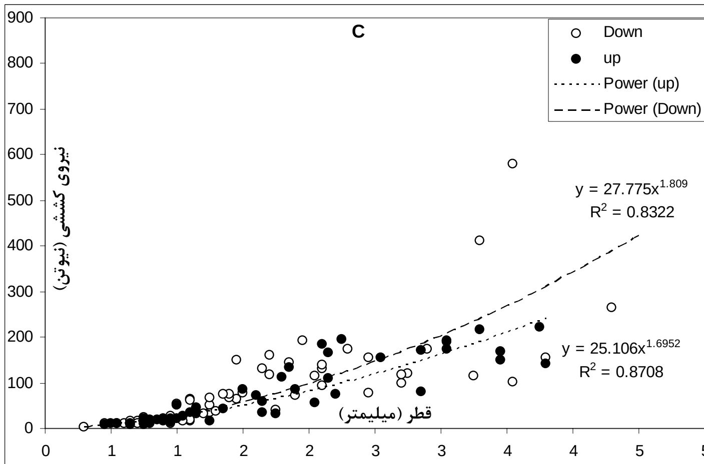
در مجموع در حدود ۱۵% از كل آزمايش‌ها ناموفق بوده و در آنها گسيختگي از محل فک رخ داد. با توجه به نتايج بدست‌آمده، در تمام نمونه‌ها با افزايش قطر ريشه، نيروي لازم براي گسيختن ريشه به صورت تواني افزايش نشان داد (شكل هاي ۲ تا ۴).

با تقسيم نيروي گسيختگي بر سطح مقطع هر نمونه، مقاومت كششي نمونه ها محاسبه شد. نتايج بررسي قطر و مقاومت كششي نشان داد كه رابطه اين دو متغير به صورت تابع تواني منفي بوده و با كاهش قطر مقاومت كششي افزايش مي‌يابد. نتايج مربوط به مقاومت كششي به تفكيک گونه در شكل هاي ۵ تا ۷ ارائه شده‌اند.

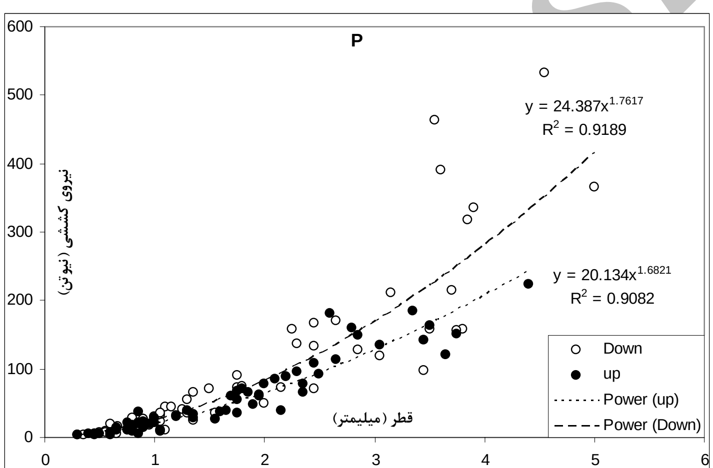
ضرايب توابع تواني و تعداد نمونه به تفكيک گونه و پروفيل مربوطه در جدول (۲) آمده است.



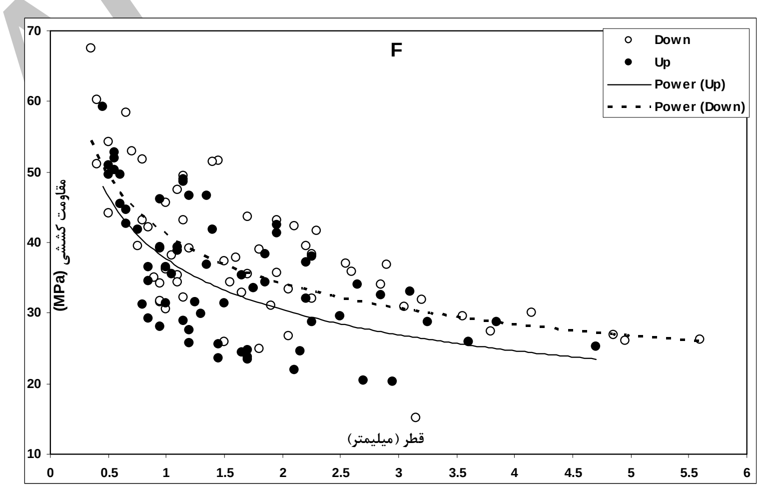

شكل ۲- رابطه قطر ريشه – نيروي گسيختگي كششي ريشه گونه راش و برازش تابع تواني



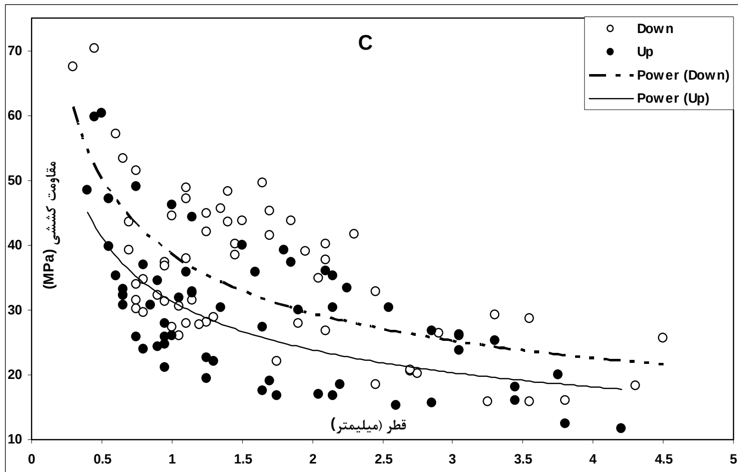

شکل ۳- رابطه قطر ریشه – نیروي گسیختگي کششي ریشه گونه ممرز و برازش تابع تواني



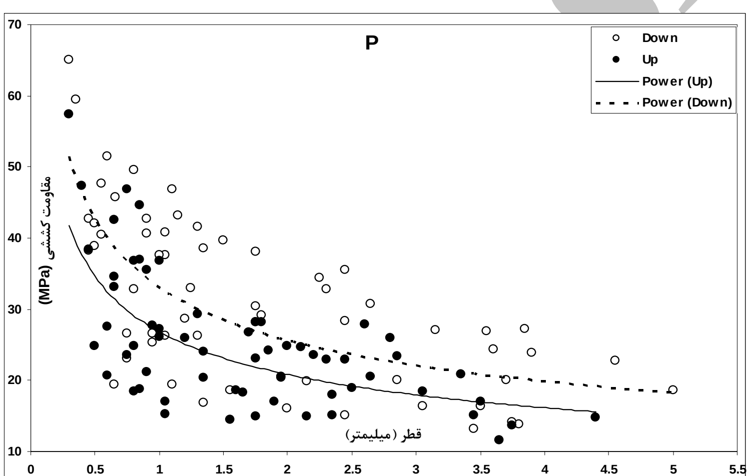

شکل ۴- رابطه قطر ریشه – نیروي گسیختگي کششي ریشه گونه انجیلي و برازش تابع تواني




شکل ۵- رابطه قطر و مقاومت کششي ریشه و برازش تابع تواني در گونه راش




شكل ٦- رابطه قطر و مقاومت كششي ريشه و برازش تابع تواني در گونه ممرز




شكل ۷- رابطه قطر و مقاومت كششي ريشه و برازش تابع تواني در گونه انجيلي

جدول ۲- ضرايب معادله مقاومت كششي و قطر ريشه و ضريب تبيين مربوطه

| كلاسه | تعداد نمونه | $\alpha$ | $\beta$ | $R^2$ | $r$ |
|---|---|---|---|---|---|
| راش بالا | ۶۰ | ۳۷/۶۴ | -۰/۳۰۵ | ۰/۴۲ | ۰/۶۵** |
| راش پايين | ۶۰ | ۴۱/۱۲ | -۰/۲۶۶ | ۰/۴۵ | ۰/۶۷** |
| ممرز بالا | ۶۰ | ۳۱/۳۴ | -۰/۳۹۴ | ۰/۴۲ | ۰/۶۵** |
| ممرز پايين | ۶۰ | ۳۸/۵۲ | -۰/۳۸۴ | ۰/۴۳ | ۰/۶۵** |
| انجيلي بالا | ۶۰ | ۲۶/۸۴ | -۰/۳۶۶ | ۰/۴۴ | ۰/۶۶** |
| انجيلي پايين | ۶۰ | ۳۳/۰۵ | -۰/۳۶۷ | ۰/۴۶ | ۰/۶۸** |

** معني دار در سطح ۹۹%

نتايج آناليز كوواريانس حاكي از وجود تفاوت معني‌دار بين گونه‌ها ($p$=۰/۰۰ ،F=۳۱/۲۶) و پروفيل‌ها ($p$=۰/۰۰ ،F=۲۳/۰۵) مي باشد. لازم به ذكر است كه تاثير متقابل گونه و پروفيل معني دار نبوده ($p$=۰/۵۸ ،F=۰/۵۳) ولي تاثير عامل كوواريت (قطر) معني‌دار ($p$=۰/۰۰ ،F=۱۰۶/۹۶) مي باشد و بنابراين استفاده از آناليز كوواريانس منطقي و صحيح است. با توجه به اينكه اثر هر دو تيمار گونه و پروفيل معني‌دار شده‌است، مقايسه ميانگين‌ها با استفاده از آزمون توكي انجام‌گرفت كه نتايج آن در جداول (۳) و (٤) ملاحظه مي‌شود.

جدول ۳- آزمون توكي براي سه گونه مورد بررسي

| گونه | تعداد | ميانگين | گروه بندي توكي |
|---|---|---|---|
| راش | ۱۲۰ | ۳۷/۱۵ | A |
| ممرز | ۱۲۰ | ۳۱/۹۹ | B |
| انجيلي | ۱۲۰ | ۲۷/۳۸ | C |

جدول ٤- مقايسه ميانگين‌ها براي پروفيل‌هاي بالا و پايين

| پروفيل | تعداد | ميانگين | گروه بندي |
|---|---|---|---|
| بالا | ۱۸۰ | ۳۰/۰۲ | B |
| پايين | ۱۸۰ | ۳٤/۳۳ | A |

## بحث و نتيجه‌گيري

افزايش مقاومت برشي خاك در اثر وجود ريشه‌ی درختان، تا حدود زيادي به مقاومت كششي ريشه بستگي دارد. بنابراين اطلاعات مربوط به مقاومت كششي ريشه گونه‌ها، به منظور آناليز پايداري و انتخاب گونه‌هاي مناسب براي كنترل ناپايداري شيب كاربرد دارند (Watson & Marden, 2004). در اين بررسی به منظور امكان مقايسه با ديگر منابع، نمونه‌ها در فصل بهار (Cofie *et al*., 2000; Mattia *et al*., 2005) جمع‌آوري شد.

با توجه به نتايج Bischetti *et al*., 2005 و De Baets *et al*., 2007 كه استفاده از محلول الكل ۱۵% و دماي ٤° C تاثيري بر مقاومت كششي نمونه‌ها ندارد و همچنين از آلودگي قارچي و باكتريايي جلوگيري مي‌كند، در پژوهش حاضر از اين تيمار استفاده شد. از آنجا كه در انجام آزمايش مقاومت كششي در بيشتر منابع از سرعت ۱۰ ميليمتر بر دقيقه در تعيين مقاومت كششي ريشه (Makarova *et al*., 1998; Bischetti *et al*., 2005; Mattia *et al*., 2005; Pollen, 2007) استفاده شده‌است، در اين پژوهش نيز براي انجام آزمايش‌ها اين سرعت انتخاب شد. يكي از مهم‌ترين مشكلات در آزمايش مقاومت كششي مربوط به گسيختن نمونه‌ها از محل فك مي‌باشد (De Baets *et al*., 2007 ; Mattia *et al*., 2005) كه به دليل اشكال در نوع فك‌ها و يا گيرش نامناسب آنها رخ مي‌دهد. اين مسئله موجب آسيب رسيدن به بافت ريشه و در نتيجه گسيخته شدن ريشه از محل فك و ايجاد خطا در اندازه‌گيري مقاومت كششي واقعي مي‌شود. نيروي گيرش كمتر از مقدار مناسب موجب سرخوردن نمونه و نيروي بيش از حد، باعث گسيختن از محل فك خواهد شد. بنابراين در ابتدا با انجام يكسري آزمايش مقدماتي، نيروي گيرش مناسب به صورت تجربي مشخص شد، با اين وجود در آزمايش‌ها حدود ۱۵% نمونه‌ها از محل فك گسيخته شدند،كه البته در مقايسه با نتايج Abernethy & Rutherfurd (2001) كه حدود ۵۰% پرت وجود داشت، قابل توجه نمي‌باشد.

ميزان‌هاي مقاومت كششي گونه‌هاي بررسي شده قابل مقايسه با نتايج ديگر محققين ( e.g. Nilaweera & Makarova Nutalaya (1999) & Watson et al. (1999) Cofie et & Genet et al. (2005) & et al. (1998)&) al. (2000)) مي باشد.

نتايج آزمايش‌هاي مقاومت كششي در اين پژوهش تنوع بين گونه‌اي را نشان مي‌دهد. Bischetti *et al*., (2005) و Simon & Collison, (2002) نيز تفاوت بين گونه‌اي را زياد و حتي Bischetti *et al*., (2005) در مواردي انحراف معيار تا ۲ برابر ميانگين را ذكر كرده‌اند. نكته‌ي مهم در مورد مقادير مقاومت كششي اين است،كه چون وجود يا وجود نداشتن پوست ريشه موجب ايجاد تفاوت قابل ملاحظه در نتايج مي‌شود (Mattia *et al*., 2005)، لازم است در ارائه گزارش مربوط به اين پارامتر نوع نمونه مشخص شود،كه در پژوهش حاضر نمونه‌ها با پوست مورد آزمايش قرار گرفتند. هم چنين با توجه به اينكه در اغلب منابع ريشه‌هاي نازكتر از ۱ ميليمتر به ندرت مورد آزمايش قرار گرفته‌اند (Genet *et al*., 2005)، در اين مطالعه ريشه‌هاي نازك‌تر نيز آزمايش شدند. Genet *et al*., (2005) عملكرد ريشه‌هاي بالا و پايين شيب را به دليل تفاوت ماهيت تنش‌هاي مكانيكي متفاوت دانسته و بيان مي‌كنند كه تاكنون آزمايش‌هاي كمي روي مقاومت كششي ريشه‌هاي بالا و پايين شيب صورت گرفته است.

بنابراين در بررسي حاضر تصميم گرفته شد كه در مورد هر گونه مقاومت كششي به تفكيك بالا و پايين شيب نيز بررسي شود. نتايج بدست آمده نشان داد كه ريشه‌هاي سمت پايين شيب مقاومت كششي بيشتري دارند. اين نتيجه در تناقض با نتايج Schiechtl (1980) و Stokes (2002) مي باشد كه بيان مي‌كنند در درختان روي شيب ريشه‌هاي بالا قوي‌ترند. اين نتيجه ممكن است در اثر وجود نيروي بادهاي دائمي باشد.Stokes (2002) ريشه‌هاي سمت باد را داراي مقاومت كششي بالاتري مي‌داند. بر اين اساس در صورتي كه جهت وزش بادها در منطقه مورد بررسي اغلب از پايين شيب به سمت بالاي شيب باشد، قوي‌تر بودن ريشه‌هاي پايين به دليل سازگاري در برابر باد است. متاسفانه به‌دليل وجود نداشتن داده‌هاي معتبر و طولاني مدت در مورد باد در منطقه‌ي جنگلي مورد بحث نتيجه‌گيري قطعي در اين ارتباط ممكن نمي‌باشد.

هرچند كه در مدت حضور در محل وزش باد اغلب از پايين مشاهده شده است، ولي از لحاظ علمي مستنداتي دال بر وجود آن در دست نمي باشد. در هر صورت قوي‌تر بودن ريشه‌هاي پايين دليل وجود تنش‌هاي بالاتر در سمت پايين (Stokes, 2002) و نتيجه سازگاري سيستم ريشه‌اي مي باشد.

نتايج آزمايش‌هاي مقاومت كششي در اين تحقيق نشان داد كه با افزايش قطر، ميزان نيروي لازم براي گسيختن ريشه به صورت غير خطي افزايش مي‌يابد

Tosi (2007) رابطه قطر و نيروي گسيختگي را تابع چند جمله‌اي درجه دو Docker & Hubble (2008) و Nilaweera & Nutalaya (1999) به صورت تابع تواني مثبت گزارش كردند. در اين تابع، توان معادله تواني يعني $\beta$، ميزان افزايش نيرو به ازاي افزايش قطر و $\alpha$ به عنوان ضريب اندازه[2] مي‌باشد. بنابراين ريشه‌هايي قوي‌ترند كه $\alpha$ و $\beta$ آنها در معادله، بزرگ‌تر باشد. با توجه به نتايج بدست آمده در بررسي حاضر، بزرگي $\alpha$ و $\beta$ به ترتيب از راش به ممرز و انجيلي كاهش پيدا ميكند. همچنين $\alpha$ و $\beta$ پايين شيب از بالاي شيب بزرگتر است. با تقسيم نيروي گسيختگي بر سطح مقطع ريشه، مقاومت كششي حاصل شد. با توجه به نتايج بدست آمده، بالاترين ميزان مقاومت كششي مربوط به نازك‌ترين ريشه‌ها مي‌باشد و با افزايش قطر مقاومت كششي كاهش مي‌يابد. وجود پوست ضخيم‌تر در ريشه‌هاي قطور (Norris, 2005) و بالاتر بودن درصد سلولز در ريشه‌هاي نازك ( De Baets *et al*., 2007; Genet *et al*., 2005; Norris, 2005) بعنوان عللي براي توجيه اين پديده ذكر شده‌اند. De Baets *et al*., (2007) وجود رابطه معكوس بين قطر و ميزان سلولز را اثبات كردند. شايان ذكر است كه سلولز به دليل ساختار

[2] Scale factor

متفاوت خود نسبت به ليگنين، مقاومت بيشتري در برابر کشش ايجاد مي‌کند (Norris, 2005).

رابطه بين قطر و مقاومت کششي در اين پژوهش از تابع تواني منفي پيروي مي‌کند. پژوهشگران متعددي وجود رابطه تواني منفي بين قطر و مقاومت کششي را گزارش کرده‌اند (Makarova *et al*., 1998; Nilaweera & Nutalaya 1999; Simon & Collison 2002; Watson & Marden 2004; Bischetti *et al*., 2005; Genet *et al*., 2005; Mattia *et al*., 2005; Norris, 2005; Tosi, 2007). با توجه به انجام پژوهش‌هاي گسترده در مورد مقاومت کششي، وجود رابطه معکوس بين قطر و مقاومت کششي به صورت يک اصل پذيرفته‌شده درآمده است. با اين وجود Bibalani, (2001) در مورد ليلکي و افرا به اين نتيجه رسيده که با افزايش قطر، مقاومت کششي افزايش پيدا مي‌کند. البته وي در مورد ساير گونه‌هاي مورد بررسي خود (توسکا، لرگ، انجيلي، ممرز و بلوط) به نتيجه‌اي مشابه با ديگر محققين رسيده، اما توجيهي براي اين تناقض ارائه نکرده است. البته در پژوهش ذکر شده رابطه‌ي بين مقاومت کششي و قطر و نيز تعداد تکرارها ارائه نشده است و فقط ميانگين مقاومت کششي مربوط به کلاسه‌هاي قطري ٤،۸،۱۰ ميليمتر گزارش شده‌است.

Bischetti *et al*., (2005) در رابطه با تابع تواني منفي، ضريب $\beta$ را عامل کنترل کننده‌ي ميزان کاهش مقاومت کششي در رابطه با قطر و ضريب $\alpha$ را ضريب اندازه معرفي مي‌کنند. بنابراين گونه‌اي داراي مقاومت کششي بالاتر است که معادله آن داراي مقادير $\alpha$ بزرگتر و $\beta$ کوچکتر باشد (Bischetti *et al*., 2005; De Baets *et al*., 2007). در پژوهش حاضر با توجه به نتايج بدست آمده ، بزرگترين ضرايب $\alpha$ به ترتيب مربوط به راش، ممرز و انجيلي و کوچکترين ضرايب $\beta$ به ترتيب مربوط به راش، انجيلي و ممرز مي‌باشد.

Nilaweera, (1994) دامنه تغيير ضرايب ثابت معادله تواني ($\beta,\alpha$) مربوط به رابطه‌ي قطر و مقاومت کششي را براي گونه‌هاي درختي پهن‌برگ به صورت: ۰/۸۷ < $\alpha$ < ۲۹/۱ و ۰/۸- < $\beta$ < ۰/٤- پيشنهادکرد. با توجه به ضرايب بدست‌آمده از اين پژوهش، مشاهده مي‌شود که تمامي مقادير $\alpha$ در دامنه‌ي ذکر شده قرار مي‌گيرند ولي اين مسئله در مورد $\beta$ صادق نيست. Nilaweera, (1994)با بررسي گونه‌هاي درختي پهن برگ تايلند اين دامنه‌ها را پيشنهاد کرد که اختلاف رويشگاه و نوع جنگل‌ها ( استوايي، هيرکاني) مي‌تواند دليل اين تناقض باشد. از طرفي کوچکتر شدن ضرايب $\beta$ (قوي‌تر بودن) ممکن است به‌دليل در نظر گرفتن ريشه‌هاي خيلي نازك در بررسي حاضر باشد. در اينجا براي مقايسه، نتايج بررسي تعدادي از پژوهشگران در مورد ضرايب مربوط به پهن برگان، ارائه مي‌شود (جدول ۵).

همانطور که ملاحظه مي‌شود در بيشتر پژوهش‌ها ضرايب $\alpha$ بدست‌آمده در دامنه‌ي پيشنهادي Nilaweera, (1994) قرار مي‌گيرند. در صورتي که در مورد $\beta$ بسياري از ضرايب گزارش شده در دامنه پيشنهادي قرار نمي‌گيرند و عموما از ۰/۸ بزرگتر مي‌باشند. اين در حاليست که ضرايب محاسبه شده در اين پژوهش کوچکتر از ۰/٤ مي باشند. Genet *et al*., (2005) بيان مي‌کنند که از نظر تئوري مقدار توان معادله تواني ($\beta$) در مورد مقاومت کششي، نمي‌تواند از ۰/۵ بزرگتر باشد. اين پژوهشگران اعداد بزرگتر مربوط به بررسي خود و پژوهش‌هاي پيشين را بدليل خطاي آزمايش و يا تفاوت ساختاري مواد ريشه در قطرهاي مختلف مي دانند. کمتر بودن مقدار توان در اين پژوهش مي‌تواند ناشي از اين مسئله باشد که در گونه‌هاي مورد بررسي تفاوت زيادي در ساختار يا ميزان سلولز ريشه‌هاي نازک و قطور وجود نداشته است (Stokes, 2008; Genet, 2008; Personal Communications). دليل ديگر اين پديده ممکن است نوع محيط و جنگل‌ها باشد. بدين ترتيب که مقدار توان در مورد جنگل‌هاي تايلند ۰/۸-۰/٤، در مورد جنگل‌هاي اروپا ۱/۱۱-۰/٤۵، و در مورد جنگل‌هاي شمال ايران (هيرکاني) کمتر از ۰/٤ است. متاسفانه به دليل وجود نداشتن اطلاعات بيشتر از اين ضرائب، در مورد جنگل‌هاي هيرکاني، امکان مقايسه وجود ندارد و پژوهش‌هاي آينده اين مطلب را روشن خواهد کرد.

جدول ٥- مقادير $\alpha$ و $\beta$ در معادله تواني قطر- مقاومت كششي

| پژوهشگر(ان) | گونه | $\alpha$ | $\beta$ | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Bischetti *et al*., (2005) | راش اروپايي (Fagus sylvatica) | ٤١/٦٥ | ۰/۹۷ | ۰/٦٢ |
| Bischetti *et al*., (2005) | بيد (Salix purpurea) | ٢٦/٣٣ | ۰/۹٥ | ۰/٥٥ |
| Bischetti *et al*., (2005) | بيد (Salix caprea) | ٣٤/٥۰ | ١/۰٢ | ۰/٨٢ |
| Bischetti *et al*., (2005) | زبان گنجشک (Fraxinus excelsa) | ٣٥/٧٣ | ١/١١ | ۰/٥١ |
| Bischetti *et al*., (2005) | توسكا (Alnus viridis) | ٣٤/٧٦ | ۰/٦٩ | ۰/٣٤ |
| Bischetti *et al*., (2005) | فندق (corylus avellana) | ٦۰/١٥ | ۰/٧٥ | ۰/٥٧ |
| Genet *et al*., (2005) | راش اروپايي (Fagus sylvatica) | ٦٣/٥١ | ۰/٦١ | ۰/٥٦ |
| De Baets *et al*., (2007) | گز (Tamarix canariensis) | ٣١/٧٤ | ۰/٨٩ | ۰/٤٢ |
| Mattia *et al*., (2005) | پسته (Pistacia lentiscus) | ٩١/٢ | ۰/٤٥ | ۰/١٦ |
| پژوهش حاضر | راش (Fagus orientalis) | ٣٩/٢٦ | ۰/٢٨ | ۰/٤١ |
| پژوهش حاضر | ممرز (Carpinus betulus) | ٣٤/٧١ | ۰/٣٨ | ۰/٣٨ |
| پژوهش حاضر | انجيلي (Parrotia persica) | ٢٩/٦٧ | ۰/٣٦ | ۰/٤١ |

با بررسي ضرايب تبيين توابع تواني منفي در اين پژوهش، مشاهده مي‌شود كه اين ضرايب تقريبا كمتر از ۰/٥ هستند. زيرا علاوه بر قطر عواملي مانند تفاوت سن، شرايط رطوبتي، مواد مغذي و بافت خاك نيز در مقاومت كششي موثر مي باشند (De Baets *et al*., 2007). از طرفي در نظر گرفتن پوست نيز ميزان همبستگي بين قطر و مقاومت كششي را كاهش مي‌دهد (De Baets *et al*., 2007).

در منابع روش‌هاي مختلفي براي بررسي تاثير گونه‌هاي مختلف بر مقاومت كششي ذكر شده‌است. Watson & Marden, (2004)، در يك محدوده قرار داشتن دامنه قطري ريشه‌ها را تنها شرط لازم براي مقايسه ميانگين‌ها عنوان نموده و براي مقايسه از آناليز واريانس استفاده كردند. Simon & Collison (2002) نيز به منظور بررسي تاثير گونه‌ها بر مقاومت كششي از آناليز واريانس استفاده و براي حذف اثر قطر، دامنه مورد بررسي را به ٣-٢ ميليمتر محدود كردند. Abernethy & Rutherfurd (2001) و Genet *et al*., (2005) براي بررسي تاثير گونه بر مقاومت كششي از آناليز كوواريانس استفاده كرده و اثر قطر به عنوان كوواريت را معني‌دار گزارش كردند. با توجه به اينكه ريشه‌هاي نازك مقاومت كششي بالاتري دارند، ممكن است كه تعداد بيشتر آنها در يك گونه صحت نتايج را تحت تاثير قرار دهد و باعث ايجاد خطا شود. بنابراين استفاده از آناليز واريانس در اين مورد صحيح نمي‌باشد. در مطالعه حاضر نيز براي بررسي تاثير گونه‌هاي مختلف بر مقاومت كششي از آناليز كوواريانس استفاده و عامل قطر به عنوان كوواريت در نظر گرفته‌شد. معني‌دار شدن اثر كوواريت ($P < ۰/۰١$) علاوه بر اينكه منطبق با يافته‌هاي Abernethy & Rutherfurd (2001) و Genet *et al*., (2005) مي‌باشد، دليل خوبي براي نشان دادن ناكارايي‌آناليز واريانس در اين مورد خاص محسوب مي‌شود. با توجه به نتايج بدست آمده از اين تحقيق، بيشترين مقاومت كششي در بين گونه‌ها به ترتيب مربوط به راش، ممرز و انجيلي و در بين پروفيل‌ها به ترتيب مربوط به پروفيل هاي پايين و بالا مي‌باشد.

به طور كلي نتايج اين پژوهش رابطه تواني منفي بين قطر ريشه و مقاومت كششي و رابطه تواني مثبت بين قطر ريشه و نيروي گسيختگي رانشان داد. چون با افزايش قطر ريشه سطح مقطع آن به صورت تواني افزايش پيدا مي‌كند، افزايش تواني نيروي گسيختگي نيز قابل انتظار

است. در ضمن مقاومت كششي از تقسيم نيروي گسيختگي به سطح مقطع به دست مي‌آيد و همانطور كه گفته شد با افزايش قطر، سطح مقطع افزايش تواني خواهدداشت در نتيجه مقاومت كششي با افزايش قطر روند كاهشي خواهد داشت.

با توجه به نتايج ، ضرايب $\alpha$ و $\beta$ مربوط به معادله قطر- مقاومت كششي در دامنه‌ي پيشنهادي Nilaweera, (1994) قرار نمي‌گيرند و بزرگترين ضرايب $\alpha$ به ترتيب مربوط به راش، ممرز و انجيلي و كوچكترين ضرايب $\beta$ به ترتيب مربوط به راش، انجيلي و ممرز مي‌باشد. نتايج آناليز كوواريانس حاكي از وجود تفاوت معني‌دار مقاومت كششي بين گونه‌ها و پروفيلها بوده و بيشترين و كمترين مقاومت كششي در بين گونه‌ها به ترتيب مربوط به راش و انجيلي و همچنين ريشه‌هاي پايين قوي‌تر از بالاي شيب هستند. نكته‌ي مهم و قابل ذكر اينكه نبود دانش در مورد ويژگي‌هاي زيست فني سيستم ريشه گونه‌هاي جنگلي در ايران يكي از عوامل مهم محدوديت ساز كاربرد فنون زيست مهندسي خاك مي‌باشد. فنون زيست مهندسي در راستاي تثبيت لغزش و رانش‌هاي سطحي و فرسايش بدون استفاده از مصالح بي‌جان در مناطق شيب‌دار كاربرد موثري دارد. به طور كلي اين پژوهش ويژگي‌هاي مكانيكي ريشه سه گونه‌ي جنگلي و نيز وجود تفاوت‌هاي بين گونه‌اي مقاومت كششي ريشه گونه‌هاي راش، ممرز و انجيلي را نشان داد.

## References


- Abernethy. B., and IAN D. Rutherfurd. I. D. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. Hydrol. Process. . 15: 63- 79.
- Bibalani, G, 2001. Protective role of forest and non forest species. PhD Thesis. Islamic Azad University, Tehran, Iran. 149 p. (In Farsi).
- 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.
- Cofie, P., Koolen, A.J., and Perdok, U.D. 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 (2000) 1-12.
- De Baets, S., Poeson, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker. J. & Muys, B. 2007. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant and Soil. 3058: 207-226.
- Docker, B.B. and Hubble, T.C.T. 2008. Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species. Geomorphology. 100: 401–418.
- 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.
- Iranian Plan and Budget Organization. (2000). Forest road Project Guidelines No: 148. (2$^{rd}$ ed.). Office of the Deputy for technical affairs. Bureau of technical affairs and standards.(In Farsi).
- Makarova, O.V., cofie, P., and Koolen, A.J. 1998. Axial stress–strain relationships of fine roots of Beech and Larch in loading to failure and in cyclic loading. Soil & Tillage Research 45 (1998) 175–187.
- Mattia, C., Bischetti, G. B., and Gentile F., 2005. Biotechnical characteristics of root system of typical Mediterranean species. Plant and Soil. 278: 23-32.
- 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.
- Nilaweera, N. S, and Nutalaya. P, 1999. Role of tree roots in slope stabilisation. Bull. Eng. Geol. Env. 57(4), 337–342.
- Norris, J. 2005. Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England. Plant and Soil (2005) 278:43–53

- Pollen, N., 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of stream banks: Accounting for soil shear strength and moisture. Catena. 69: 197-205.

- Schiechtl, H. M, 1980 Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.

- Shad, H, 1991. How to use Bioengineering techniques for increasing slope angles and decreasing run off. Iran University of Science and Technology. 80 pp. (In Farsi).

- Simon. A., and. Collison. A. J. C. 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on stream bank stability. Earth Surf. Process. Landforms **27**: 527–546

- Stokes, A. 2002. Biomechanics of tree root anchorage. In: Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U. eds. Plant roots: The hidden half. New York, Marcel Dekker, Inc. pp 175–186.

- Tosi, M. 2007. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy). Geomorphology 87 (2007) 268–283.

- Watson, A.J, and 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.

# Assessment of root tensile strength of some Hyrcanian species for soil stabilization (Case study: Patom District, Kheyroud Educational and Experimental Forest)

**E. Abdi[1], B. Majnounian[*2], H. Rahimi[3], M. Zobeiri[2] and GH. Habibi Bibalani[4]**
[1]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[3]Professor, Department of Irrigation, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[4]Associate Prof., Islamic Azad University of Shabestar, Shabestar, I.R. Iran
(Received: 31 December 2009, Accepted: 01 February 2011)

## Abstract
Determination of tensile strength of various plant roots is an important indicator for selecting proper plant species to be used for soil reinforcement and for evaluation of the effects of various species on stability improvement. Thus, the main objective of present study was to determine and compare root tensile strength of three important species of Hyrcanian forests and to investigate the diameter-tensile force and diameter-tensile strength relations. 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 species, root diameter, and location on profiles on the tensile strength, analysis of covariance (ANCOVA) was employed. The results showed that tensile force increased following a power law with increasing root diameter. But tensile strength increased following a power law with decreasing root diameter. Based on the results, magnitudes of α and β coefficients in diameter-tensile force relations decreased from beech to hornbeam and ironwood, respectively. However, the magnitude of α in the relation between diameter and tensile strength, decreased from beech to hornbeam and ironwood. Meanwhile β increased from beech to hornbeam and ironwood, respectively. The results of ANCOVA revealed significant differences between species and profiles. The highest and lowest tensile strengths among species were also observed for beech and ironwood. It was also observed that down slope roots were stronger than upslope ones.

**Keywords**: Soil reinforcement, Instron, Tensile strength, Tensile force, ANCOVA, Power law

*Corresponding author: Tel: +982612249312 Fax: +982612249312 E-mail: bmajnoni@ut.ac.ir