نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲
ص۱۳-۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۶

# تعیین ویژگی‌های زیست‌مکانیک گونهٔ تبریزی به‌منظور استفاده در زیست‌مهندسی خاک

❖ **باریس مجنونیان؛** استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
❖ **احسان عبدی*؛** استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
❖ **محبوبه فصحت؛** کارشناس ارشد جنگل‌داری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
❖ **حمید صوفی‌مریو؛** کارشناس مسئول‌گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

Archive of SID

## چکیده

در دهه‌های اخیر کاربرد مصالح زنده در پروژه‌های عمرانی و حفاظتی به‌سرعت در حال گسترش بوده است. پیش‌نیاز استفاده از این روش‌ها آگاهی از ویژگی‌های مؤثر گیاهان به‌عنوان مصالح است. هدف از این پژوهش برآورد ویژگی‌های زیست‌مکانیک گونهٔ تبریزی شامل تراکم، پراکنش، و مقاومت کششی بود. به این سبب، در منطقه‌ای مسطح، که یک ردیف صنوبر کاشته شده بود پروفیلی به عمق یک متر حفر شد و نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR) با استفاده از روش دیوارهٔ پروفیل برداشت شد. با توجه به ردیفی‌بودن درختان، نقطه‌ای تصادفی در امتداد آن‌ها انتخاب و یک پروفیل پیوسته به طول ۱۰ متر و موازی با ردیف درختان بررسی شد. کلیهٔ ریشه‌ها در دیواره‌های پروفیل با فاصلهٔ ۰/۵ (دیوارهٔ نزدیک) و ۱/۰ متر (دیوارهٔ دور) از تنهٔ درختان در افق‌های ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد. سپس تعدادی نمونهٔ ریشه به‌منظور تعیین ویژگی مکانیکی برای آزمایش مقاومت کششی انتخاب شد. نتایج نشان داد با افزایش عمق و نیز فاصله از درختان میزان RAR کاهش می‌یابد که این کاهش از تابع توانی پیروی می‌کند. اغلب، بیشترین مقادیر RAR در لایه‌های بالایی خاک قرار داشت و حداکثر عمق ریشه‌دوانی نیز حدود یک متر بود. نتایج آزمایش کششی رابطهٔ توانی مثبت بین نیروی کششی و قطر ریشه و رابطهٔ توانی منفی بین مقاومت کششی و قطر ریشه را نشان داد. نتایج این پژوهش مهم‌ترین ویژگی‌های زیست‌مکانیکی ریشهٔ تبریزی را به‌صورت کمّی نشان داد که می‌تواند در زیست‌مهندسی خاک کاربرد فراوانی داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** تبریزی، دیوارهٔ پروفیل، زیست‌مکانیکی، مقاومت کششی ریشه، نسبت سطح ریشه.

* نویسندهٔ مسئول تلفن:۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴، فاکس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴
Email: abdie@ut.ac.ir

www.SID.ir

**مقدمه**

در دهه‌های اخیر توسعهٔ جوامع بشری شتاب بالایی گرفته و این مسئله به افزایش فعالیت‌های زیرساختی و عمرانی منجر شده است. از اولین نتایج این توسعه، ایجاد چالش برای حداقل‌کردن تخریب محیط زیست و کنترل فرسایش بوده است. تا سال‌های متمادی، روش مورد علاقهٔ مهندسان راه‌حل‌های معروف به خاکستری[1] یا استفاده از مصالح بی‌جان به‌منظور پایدارسازی و کنترل فرسایش بود [۱]. از اواخر دههٔ ۱۹۳۰، روش‌های دیگری به نام روش‌های سبز[2] یا استفاده از مصالح زیستی، در آلمان رایج شد و به‌سرعت در سراسر دنیا توسعه یافت [۲]. کشورهای پیشرو در این زمینه، آلمان، امریکا، نیوزیلند، و استرالیا بودند [۱]. در اولین پژوهش‌ها در این زمینه، تأثیرات متعدد مثبت و منفی پوشش گیاهی بررسی شد، که از بین آن‌ها، پژوهشگران بیشتر به نقش مثبت ریشه در پایدارسازی و کنترل فرسایش توجه کرده‌اند[۳]. نکتهٔ مهم این است که پیش‌نیاز استفاده از این روش‌ها آگاهی از ویژگی‌های زیست‌مکانیکی ریشهٔ هر گونه است. برای مشخص‌شدن اهمیت این موضوع گفتنی است در کشوری مانند نیوزیلند، اطلاعات زیست‌مکانیکی تمامی گونه‌های بومی جمع‌آوری می‌شود و جنگل‌کاری‌ها و انتخاب گونه برای پروژه‌های حفاظتی با توجه به آن‌ها انجام می‌گیرد. این حوزهٔ علمی جدید با تأخیری در حدود ۳ تا ۴ دهه وارد ایران شد و [۴] و به آن پرداخته شد، اما با گذشت بیش از دو دهه از آن زمان هنوز هم اطلاعات بسیار اندک [۴ـ۷] و پراکنده‌ای در این زمینه موجود است که پرداختن به آن را ضروری می‌کند.

اطلاعات مورد نیاز در مورد گونه‌ها شامل دو بخش زیستی و مکانیکی می‌شود. عمق ریشه‌دوانی و توزیع ریشه‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های زیستی [۸] و مقاومت کششی مهم‌ترین ویژگی مکانیکی سیستم ریشه است [۹، ۱۰]. نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)[3] معمولاً به‌عنوان شاخص تراکم ریشه به‌کار می‌رود [۸، ۱۱]. تراکم ریشه‌ها با افزایش عمق و فاصله از تنه کاهش می‌یابد [۸، ۱۲] که الگوی کاهش در رابطه با عمق می‌تواند لگاریتمی [۱۲]، توانی [۵]، یا تابع گاما باشد [۸]. کاهش تراکم در رابطه با عمق به کاهش عناصر غذایی و اکسیژن و نیز حضور لایه‌های متراکم‌تر نسبت به سطح نسبت داده شده است [۱۱]. مهم‌ترین ویژگی ریشه از منظر زیست‌مکانیک، مقاومت بالای آن‌ها در مقابل کشش و ضعف آن‌ها در برابر فشار است. اهمیت این موضوع در این است که برعکس ریشه، خاک در مقابل فشار مقاومت بالا و در برابر کشش مقاومت بسیار پایینی دارد [۱۳]. ترکیبی از ریشه و خاک باعث تشکیل ترکیب مسلح را می‌دهد که میزان مسلح‌سازی بستگی به ویژگی‌های زیست‌مکانیکی ریشه دارد [۱۳]. چنانچه ویژگی‌هایی از ریشه، که مسلح‌سازی خاک و کنترل فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهند شناخته شوند، کاربرد عملی آن‌ها در زیست‌مهندسی خاک مقدور خواهد شد. نکتهٔ مهم اینکه این ویژگی‌ها در بین گونه‌ها و حتی در داخل گونه‌ها نیز متفاوت و متنوع بوده (برای مثال، مقاومت کششی ریشهٔ درختان تاکنون هزاران تا میلیون‌ها پاسکال گزارش شده است.) و نیاز است گونه‌های مهم اندازه‌گیری و بررسی و به‌صورت پایگاه داده نگه‌داری شوند تا در هر منطقه با توجه به شرایط خاص خود امکان استفاده از گونهٔ مناسب وجود داشته باشد. از مهم‌ترین کاربردهای این اطلاعات استفاده در آنالیزهای پایداری شیب و تعیین ضریب پایداری شیب در حضور و عدم حضور ریشه در نتیجهٔ کمی‌سازی نقش ریشه در پایداری دامنه است.

1. Grey Solutions
2. Green Solutions
3. Root Area Ratio

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین، با توجه به نکات ذکرشده و کمبود اطلاعات داخلی در این زمینه، هدف از این پژوهش تعیین ویژگی‌های مهم گونهٔ تبریزی برای استفاده در زیست‌مهندسی خاک بوده است.

## مواد و روش‌ها

منطقهٔ بررسی‌شده تبریزی‌های دست‌کاشت با قطر برابر سینهٔ ۱۵ـ۲۰ سانتی‌متر واقع در شهرستان کرج بود و درختان با فاصلهٔ ۱/۰ـ۱/۵ متر از هم در یک ردیف کاشته شده‌اند.

## روش انجام‌دادن پژوهش

برای کسب داده‌های RAR از روش دیوارهٔ پروفیل استفاده شد [۸، ۹]. با توجه به ردیفی‌بودن درختان، نقطه‌ای تصادفی در امتداد آن‌ها انتخاب و یک پروفیل پیوسته به طول ۱۰ متر (موازی با امتداد درختان) بررسی شد. در بررسی تراکم، کلیهٔ ریشه‌های دیوارهٔ نزدیک (فاصلهٔ ۰/۵ متر) و دور (فاصلهٔ ۱/۰ متر) پروفیل نسبت به درختان در افق‌های ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد [۶]. نمایی از پروفیل در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای انجام‌دادن آزمایش‌های مقاومت کششی تعدادی ریشه در تیرماه ۱۳۸۸ از عمق ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد [۱۵]. برای جلوگیری از اعمال پیش‌تنش[1] به ریشه‌ها، نمونه‌ها با استفاده از قیچی باغبانی جداسازی شدند. آزمایش‌های مقاومت کششی روی نمونه‌های تازه در فاصلهٔ زمانی ۳ـ۴ ساعت بعد از بیرون‌آوردن از خاک صورت گرفت. ریشه‌ها در آزمایشگاه به‌دقت بررسی شدند تا گسیختگی و شکستگی در آن‌ها وجود نداشته باشد [۱۵]. سپس، ریشه‌ها به طول ۱۵۰ میلی‌متر قطع و با استفاده از یک دستگاه اینسترون استاندارد متصل به رایانه (برای ذخیره‌کردن داده‌ها) آزمایش شدند. دو سمت ریشه‌ها در فک‌ها قرار گرفتند و در جای خود ثابت شدند (با نیروی فشاری مناسب) و دستگاه با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه به کار انداخته شد [۸، ۱۳]. آزمایش تا زمانی که گسیختگی رخ دهد ادامه یافت و در ضمن نمونه‌هایی که گسیختگی در محل فک به‌سبب تنش فشاری رخ می‌داد غیرمعتبر بود و داده‌های آن‌ها حذف می‌شد.

**شکل ۱. وضعیت پروفیل؛ الف: دیوارهٔ نزدیک به درختان؛ ب: دیوارهٔ دور از درختان**

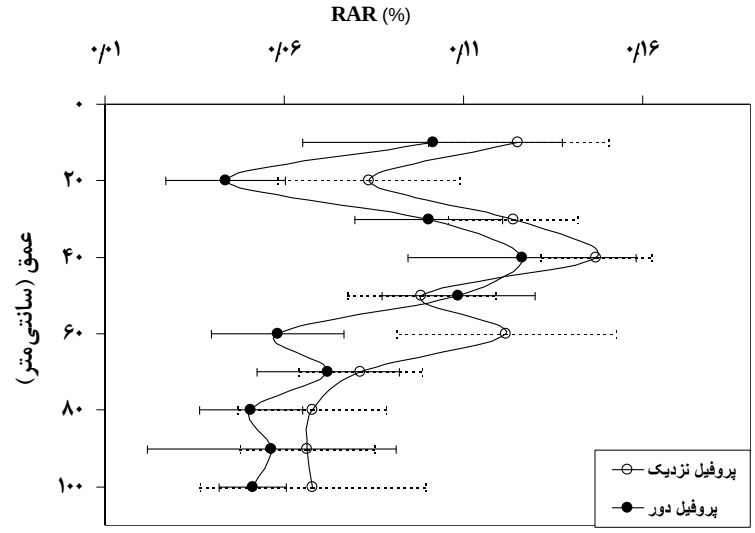
1. Pre Stress

Archive of SID
www.SID.ir

## نتایج و بحث

مقادیر RAR با درنظرگرفتن عمق و فاصله از درخت تنوع زیادی نشان دادند. معمولاً، متوسط RAR با فاصله از درخت و افزایش عمق کاهش می‌یافت که این کاهش از تابع توانی پیروی می‌کند. در اغلب موارد، بیشینهٔ مقدار RAR در لایه‌های سطحی خاک واقع شده و ضمناً بیشینهٔ عمق ریشه‌دوانی نیز ۱/۰ متر بود. کمینه و بیشینهٔ مقادیر RAR ۰/۰۰۴ و ۰/۵۳۴ درصد برای دیوارهٔ نزدیک و ۰/۰۰۱ و ۰/۳۱۴ درصد برای دیوارهٔ دور از درختان است. میانگین و اشتباه معیار مقادیر RAR افق‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.

در بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی پراکنش ریشه‌ها از شاخص RAR استفاده شده است [۹]. کاربرد اطلاعات مربوط به این شاخص در پهنه‌بندی پایداری [۸] و نیز نشان‌دهندهٔ وضعیت مسلح‌سازی ریشه‌ها در عمق‌های مختلف است [۸]. این شاخص به‌شدت تحت تأثیر عمق [۸، ۱۶] و فاصله از درخت [۹] است. در این بررسی نیز تنوع وسیعی در پراکنش ریشه‌ها در رابطه با عمق و نیز دو فاصله از درخت (۰/۵ و ۱/۰) مشاهده شد. در تحقیقی نیز گزارش شده است تراکم ریشه در صفحات افقی و عمودی تنوع و تغییرات بسیار زیادی دارد [۸]. همچنین، تنوع وسیع RAR به نوع گونه و شرایط محیطی نسبت داده شده است [۱۲]. در این پژوهش، بیشینهٔ مقادیر RAR در لایه‌های بالایی خاک مشاهده شد که منطبق بر نتایج پژوهش‌های پیشین است [۸، ۱۲]. از طرفی، نشان داده شده است که مقادیر RAR به‌شدت تحت تأثیر ریشه‌های قطورند [۹]. الگوی کاهشی که از تابع توانی پیروی می‌کند نیز با نتایج مربوط به گونه‌های راش، ممرز، و انجیلی در جنگل‌های شمال همخوانی دارد [۵]. همان‌طور که از شکل ۲ پیداست، ناهماهنگی در عمق حدود ۳۰ـ۵۰ سانتی‌متری دیده می‌شود که واضح‌تر از آن افزایش ناگهانی مقدار RAR در عمق ۴۰ سانتی‌متری است. افزایش ناگهانی RAR در عمق به وجود لایه‌ای غنی از مواد مغذی یا شرایط بهتر رطوبتی نسبت داده شده است [۱۶]. البته چون در این مطالعه بررسی‌های خاک‌شناسی انجام نشده این مطلب قابل رد یا اثبات نیست، ولی این نظریه بر یافته‌های سایر محققان منطبق است که کاهش RAR در رابطه با عمق را به‌دلیل کاهش مواد غذایی و هوا و نیز افزایش لایه‌های متراکم‌تر خاک می‌دانند [۸].




**شکل ۲. ارتباط پراکنش ریشه با افزایش عمق و فاصله از درخت (نقاط نشانگر میانگین، و خطوط افقی نشانگر اشتباه معیار).**

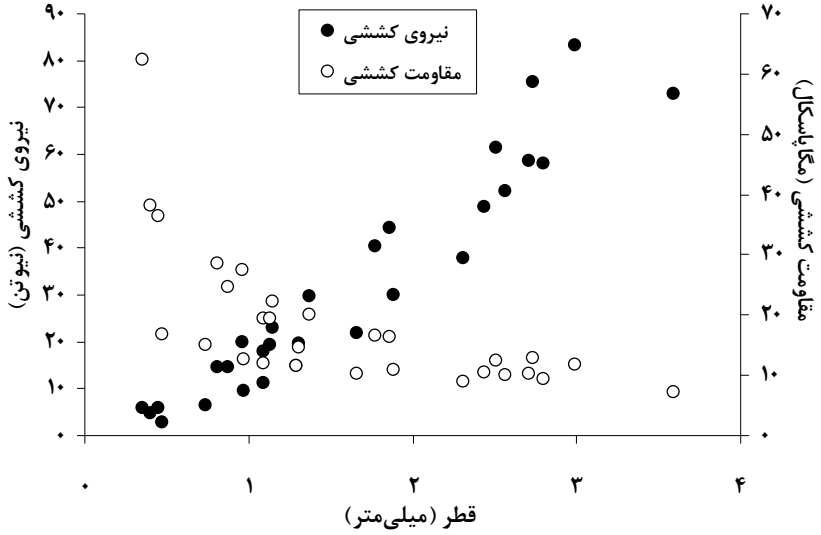
Archive of SID
www.SID.ir

از آنجا کـه تعیـین عمقـی کـه ۹۰ درصـد تعـداد ریشه‌ها بالای آن قرار می‌گیرند، روش مناسـبی بـرای پراکنش ریشه‌هاست [۹]، در ایـن پـژوهش نیـز ایـن عمق محاسبه شد که حدود ۸۰ سـانتی‌متـر بـود. ایـن عمق مقـدار چـشمگیری در مقایـسه بـا بخـش پـاتم جنگل خیرود با عمق ۳۰ــ۴۰ سـانتی‌متـر اسـت [۵]. البته یکی از دلایل کمتربودن عمـق در جنگـل مـورد نظر بالابودن سنگ مادر و در نتیجه محدودکردن عمق نفوذ می‌باشد. در هـر صـورت، عمـق ۸۰ سـانتی‌متـر تبریـزی نـشانگر قابلیـت خـوب ایـن گونـه در پایدارسازی تا اعماق نسبتاً زیاد است.

نتایج آزمایش کشش نشان داد بین قطر و نیـروی کششی رابطهٔ تـوانی مثبـت، و بـین قطـر و مقاومـت کششی رابطهٔ تـوانی منفـی برقـرار اسـت (شـکل ۳). میانگین مقاومت کششی و قطـر ریـشه‌هـا بـه‌ترتیـب ۴/۱۲ ±۱۹/۹۲ مگاپاسـکال و ۰/۹۵ ±۱/۵۱ میلـی‌متـر بود.

در این پژوهش مانند دیگر پژوهش‌ها [۸، ۹، ۱۲، ۱۷]، رابطهٔ مقاومت کششی و قطر به‌صورت معکوس مشاهده شد. پژوهشگران ایـن رابطـهٔ معکـوس را بـا مقادیر بالاتر سـلولز در ریـشه‌هـای نـازک‌تـر مـرتبط می‌دانند [۱۷]. رابطهٔ نیروی کششی و قطر ریـشه نیـز به‌صورت مستقیم حاصـل شـد کـه منطبـق بـا دیگـر یافته‌ها [۱۳] و به‌دلیل تأثیر افزایش سطح مقطع و نیاز به نیروی بیشتر برای گسیختن می‌باشـد. شـایان ذکـر است ضریب همبستگی در مورد هر دو رابطـهٔ تـوانی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

در رابطه با تابع توانی منفـی، ضـریب $\beta$ عامـل کنترل‌کنندهٔ میزان کاهش مقاومت کششی در رابطه بـا قطر، و ضریب $\alpha$ ضریب اندازه معرفـی شـده اسـت [۸]. بنابراین، گونه‌ای مقاومت کششی بالاتر دارد کـه معادلهٔ آن دارای مقادیر $\alpha$ بزرگ‌تر و $\beta$ کوچـک‌تـر باشد. در این پژوهش با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه با پژوهش‌هـای پیـشین در ایـران، صـنوبر در مقایسه بـا گونـه‌هـای راش، انجیلـی، و ممـرز دارای مقادیر $\beta$ بزرگ‌تر و $\alpha$ کوچک‌تر است. همچنین بـا توجه به نتایج، مقاومت کششی صنوبر در مقایـسه بـا سه گونهٔ پهن‌برگ یادشده کمتر است.




**شکل ۳. رابطهٔ قطر ریشه با نیرو و مقاومت کششی.**

www.SID.ir

## نتیجه‌گیری

حضور ریشه‌ها در خاک باعث افزایش مقاومت برشی و پایداری خاک می‌شود. میزان این افزایش به ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه‌ها از جمله نسبت سطح ریشه و مقاومت کششی بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر ریشه‌ها در لایه‌های سطحی وجود دارد و تراکم ریشه‌ها با افزایش عمق به‌صورت تابع توانی کاهش می‌یابد. همچنین، رابطهٔ معکوس مقاومت کششی و قطر در این گونه تأیید شد که نقش ریشه‌های نازک‌تر در مسلح‌سازی خاک را پررنگ‌تر می‌کند. مقدار مقاومت گونهٔ صنوبر کمتر از گونه‌های جنگلی بررسی‌های قبلی بود که ممکن است به‌دلیل مسطح‌بودن محل رویش صنوبر باشد و اینکه تنش سطح شیب‌دار بر روی ریشه‌ها وارد نشده و در واقع ریشه‌ها برای مقابله با آن سازگار نشده‌اند.

در پایان گفتنی است این پژوهش تعدادی از مهم‌ترین ویژگی‌های زیست‌مکانیکی گونهٔ تبریزی را به‌صورت کمی مشخص کرد که می‌توانند در مدل‌های آنالیز پایداری دامنه و کمی‌کردن میزان افزایش ضریب پایداری دامنه بر اثر حضور ریشه‌ها به‌کار بروند.

## سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شمارهٔ ۷۲۰۲۰۱۲/۱/۴ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است که بدین‌وسیله نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از معاونت علمی دانشکدهٔ منابع طبیعی ابراز می‌دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

# References

[1]. Gray, D.H., and Sotir, R.B. (1996). Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley and Sons, Chichester.

[2]. Lewis, L. (2000). Soil Bioengineering: An alternative for roadside management. USDA Forest Service. California.

[3]. Stokes, A. (2002). Biomechanics of Tree Root Anchorage. In: Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U. (ed), Plant Roots: The Hidden Half. McGraw Hill, New York.

[4] Shad, H. (1991). How to use Bioengineering techniques for increasing slope gradient and decreasing run off. Iran University of Science and Technology.

[5]. Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H., Zobeiri, M., Mashayekhi, Z., and Yosefzadeh, H. (2009). A comparison of root distribution of three hardwood species grown on a hillside in the Caspian forest, Iran. Journal of Forest Research, 15: 99-107.

[6]. Abdi, E., Majnounian, B., Genet, M., and Rahimi, H. (2010). Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (Parrotia persica) on slope stability. Ecological Engineering, 36: 1409-1416.

[7]. Bibalani, G. (2001). Protective role of forest and non forest species. PhD Thesis. Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[8] Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Simonato, T., Speziali, B., Vitali, B., Vullo, P., and Zocco, A. (2005). Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). Plant and Soil, 278: 11–22.

[9]. Abernethy, B., and Rutherfurd, I.D. (2000). The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. Earth Surface Processes and Landforms, 25: 921–937.

[10]. Watson, A., 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.

[11]. Norris, J. (2005). Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England. Plant and Soil, 278:43–53

[12]. Mattia, C., Bischetti, G.B., and Gentile, F. (2005). Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. Plant and Soil, 278: 23–32.

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

[14]. Greenway, D.R. (1987). Vegetation and slope stability. In M.G., Anderson and K.S., Richards, (ed), Slope Stability. John Wiley and Sons. New York.

[15]. Cofie, P., and Koolen, AJ. (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.

[16]. De Baets, S., Poeson, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker, J. and 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.

[17]. 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.

Archive of SID

www.SID.ir