

## تغییرات مکانی مقاومت کشتی ریشه سرخ‌بید (*Salix elburensis* Boiss.) در حاشیه رودخانه کارون (مطالعه موردی: دشت سوسن)

صغری کی‌بندری<sup>۱</sup>، باریس مجنونیان<sup>۲</sup>، احسان عبدی<sup>۳\*</sup>، حامد یوسف‌زاده<sup>۴</sup> و آزاده دلجویی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- استاد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳\* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: abdie@ut.ac.ir

۴- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۵- دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۴

### چکیده

پوشش‌های گیاهی حاشیه رودخانه‌ها با داشتن اثرات هیدرولوژیکی و مکانیکی مختلف می‌توانند عامل مهمی در بهبود ویژگی‌های پایداری خاک به‌شمار آیند. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های گیاه که بر پایداری و کنترل فرسایش تأثیرگذار است، مقاومت کشتی ریشه گیاهان می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مکانی مقاومت کشتی ریشه درختان سرخ‌بید (*Salix elburensis* Boiss.) در فاصله‌های مختلف از تنه و عمق‌های مختلف خاک در بخشی از حاشیه رودخانه کارون (دشت سوسن) بود. پنج پایه برای نمونه‌برداری سیستم ریشه به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب و از روش نمونه‌گیری با سیلندر از هسته‌های خاک استفاده شد. نمونه‌گیری در سه عمق مختلف، در سه فاصله افقی و در چهار سمت درخت انجام شد. در نهایت، ۹۷ آزمایش کشش موفق بر روی نمونه‌های ریشه انجام شد. روابط بین نیروی کشتی- قطر و مقاومت کشتی- قطر با استفاده از مدل خطی و تعمیم‌یافته و آزمون والد مقایسه شد. بر اساس نتایج، در عمق‌های صفر تا ۱۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری، میانگین مقاومت کشتی به‌ترتیب ۵۷/۹۱، ۴۶/۹۶ و ۴۶/۲۷ مگاپاسکال بود. همچنین، در فاصله‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و یک متری، میانگین مقاومت کشتی به‌ترتیب ۲۹/۲۱، ۷۶/۸۱ و ۲۸/۷۵ مگاپاسکال برآورد شد. قطر ریشه و نیروی کشتی از رابطه توانی مثبت و نمایی پیروی کرده، ولی بین قطر ریشه و مقاومت کشتی رابطه توانی منفی مشاهده شد. نتایج آزمون والد نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقاومت کشتی در سه عمق خاک و سه فاصله افقی وجود نداشت، اما قطر ریشه به‌عنوان عامل کواریت تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کشتی داشت.

واژه‌های کلیدی: زیست‌مهندسی، مسلح‌سازی، نمونه‌برداری هسته خاک، نیروی کشتی.

### مقدمه

و تغییر در هر یک از اجزاء، موجب تغییراتی در سایر اجزاء خواهد شد (Shirdeli et al., 2006). یکی از مهم‌ترین عامل‌های برهم‌زننده این تعادل در حاشیه رودخانه‌ها،

رودخانه‌ها به‌عنوان بسترهای حیاتی منابع طبیعی دارای اجزاء و عناصری هستند که در تعادل پویایی با یکدیگر بوده

گیاهی از جمله درختان با داشتن اثرات هیدرولوژیکی و مکانیکی مختلف، اثر قابل توجهی در افزایش مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ضریب پایداری شیب ساحل دارند (Simon & Collison, 2002). وجود درختان ساحلی، احتمال گسیختگی توده‌ای شیب را کاهش می‌دهد. این مسئله با مسلح‌سازی خاک به وسیله ریشه انجام می‌شود. خاک و ریشه یک ماده مرکب را تشکیل می‌دهند که ریشه به دلیل داشتن مقاومت کششی و چسبندگی به نسبت زیاد، سبب افزایش مقاومت برشی سیستم خاک-ریشه و افزایش ضریب پایداری شیب می‌شود (Watson & Mardern, 2004).

مقاومت مکانیکی خاک در نتیجه مسلح‌سازی توسط ریشه‌ها با توجه به مقاومت کششی و خاصیت چسبندگی ریشه رخ می‌دهد. خاک در برابر فشار قوی و در برابر کشش ضعیف است. برعکس، ریشه‌های گیاه در مقابل فشار ضعیف، اما در برابر کشش قوی هستند. بنابراین، ترکیب آن‌ها یک ماتریس مسلح را تولید می‌کند که مقاوم‌تر از خاک یا ریشه به‌طور جداگانه است (Pollen-Bankhead *et al.*, 2013). Greenway (۱۹۸۷) میزان مسلح‌سازی ریشه را منوط به عامل‌هایی از قبیل مقاومت کششی ریشه و تراکم ریشه‌ها در خاک می‌داند. افزایش مقاومت برشی خاک در اثر وجود ریشه‌ها تا حدود زیادی به مقاومت کششی آنها بستگی دارد. این شاخص اطلاعات مورد نیاز در تحلیل رابطه ریشه-خاک را فراهم کرده و نقش مهمی در ثبات و تثبیت خاک ایفا می‌کند (Zhang *et al.*, 2012). مقاومت کششی ریشه، توانایی ریشه‌های گیاه به مقاومت در برابر تنش‌های طولی است که به‌عنوان حداکثر تنشی که مواد می‌توانند بدون گسیختگی تحمل کنند، بیان شده است (Bibalani *et al.*, 2006; Naghdi *et al.*, 2013; Pollen-*et al.*, 2013).

مقاومت کششی ریشه توسط عامل‌های مختلف از جمله گونه گیاهی، قطر ریشه و رطوبت آن و محل رشد تحت تأثیر قرار می‌گیرد که از بین عامل‌های مذکور قطر ریشه مهم‌تر بوده و مقاومت کششی به‌شدت وابسته به قطر ریشه

جریان آب است. حاشیه رودخانه‌ها به دلیل سیلاب و طغیان‌های فصلی به‌طور دائم در حال فرسایش بوده که باعث از بین رفتن خاک‌های مجاور می‌شود (Mohebbi & Mirzae, 2014). حاشیه رودخانه کارون نیز از این قاعده مستثنی نیست. سالانه حجم زیادی از خاک این منطقه تخریب شده و در نتیجه فرسایش از دسترس خارج می‌شود. ناپایداری سواحل با فرسایش سطحی آغاز می‌شود و در ادامه، پدیده آب‌شستگی و سپس فروریختگی به‌وجود می‌آید (Docker & Hubble, 2008). این پدیده سبب از بین رفتن بخشی از زمین‌های حاصلخیز کشاورزی، افزایش رسوبات ته‌نشین شده در دریاچه سدهای مخزنی، تخریب تأسیسات آبیگری از رودخانه، تخریب پایه پل‌ها و راه‌ها، افزایش هزینه تصفیه آب شرب، از بین رفتن میکروارگانیسم‌های رودخانه‌ای و تغییرات محیط زیستی می‌شود (Akramian *et al.*, 2016). از این جهت باید پیوسته به دنبال روشی بود تا از بروز سیل و طغیان رودخانه‌ها جلوگیری کرده و یا تا حد امکان از خسارت‌های آن کاست (Shirdeli *et al.*, 2006). از این‌رو، سازه‌های تثبیت رودخانه برای حفاظت سواحل و جلوگیری از مهاجرت جانبی ناشی از فرسایش کناره‌های آبرفتی طراحی می‌شوند (Akramian *et al.*, 2016).

دو روش کلی تثبیت حاشیه رودخانه‌ها عبارتند از تقویت کناره‌ها و کاهش نیروهای هیدرودینامیکی (Pollen, 2007). حفاظت سازه‌ای به دلیل هزینه‌های هنگفت در برخی نقاط و به‌صورت موضعی قابل اجرا است. این سازه‌ها با گذشت زمان و تغییر شرایط اولیه طراحی به‌سادگی در معرض تخریب قرار می‌گیرند (Akramian *et al.*, 2016). بنابراین، امروزه استفاده از گیاهان به‌منظور محافظت از دامنه و یا سواحل رودخانه در برابر فرسایش آبی در مهندسی عمران و محیط زیست گسترش یافته است (Capillari *et al.*, 2016) و تأثیر پوشش گیاهی در افزایش مقاومت برشی و پایداری شیب‌ها اثبات شده است. پوشش گیاهی به‌عنوان یک راه حل مؤثر، مقرون به‌صرفه و سازگار با محیط زیست به‌طور فزاینده برای پایداری شیب و تثبیت سواحل استفاده می‌شود (Pollen-Bankhead *et al.*, 2013). پوشش‌های

است (Capilleri *et al.*, 2016). همچنین، مقاومت ریشه تابعی از ترکیبات ریشه، نوع گونه، نوع خاک، اختلاف بین خواص ریشه و چگونگی توزیع ریشه‌ها درون خاک است (Nyambane & Mwea., 2011). یکی از کاربردهای بررسی مقاومت کششی، رتبه‌بندی کردن تأثیر گونه‌های مختلف در میزان مسلح‌سازی خاک است (Abdi *et al.*, 2009). تاکنون مطالعات بسیاری در رابطه با تأثیر پوشش گیاهی و ریشه‌های درختان بر پایدارسازی شیب انجام شده است (Habibi Bibalani *et al.*, 2009; Majnounian *et al.*, 2014; Kazemi *et al.*, 2015; Mohammad rad *et al.*, 2015). اما اطلاعات موجود در مورد اثر ریشه درختان ساحلی رودخانه‌های ایران بر میزان مسلح‌سازی شیب کناره‌های رودخانه بسیار اندک است. مطالعه در مورد حاشیه رودخانه‌ها و استفاده از مصالح زیستی در پایدارسازی کناره‌های رودخانه‌ها و کاهش خطرات فرسایش در خارج از کشور به تعداد زیادی انجام شده است (Hubble *et al.*, 2010; Adhikari *et al.*, 2013; Polvi *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2016). در حالی که به تعداد اندک در داخل کشور (Shirdeli *et al.*, 2006; Hosseini *et al.*, 2015; Akramian *et al.*, 2016) انجام شده است. شایان ذکر است که مقاومت کششی گونه‌های حاشیه رودخانه از قبیل گز شاهی، گز، بید، پده، اکالیپتوس و نی توسط Shirdeli و همکاران (۲۰۰۸) در ایران مورد بررسی قرار گرفته، اما گونه مورد نظر در این پژوهش تاکنون در ایران بررسی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مقاومت کششی گونه سرخ‌بید (*Salix elburensis* Boiss.) به‌عنوان یکی از درختان سازگار به حاشیه رودخانه در بسیاری از اقلیم‌های کشور و در حاشیه رودخانه کارون با افزایش عمق خاک و فاصله از تنه درخت بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دشت سوسن در شمال شرقی استان خوزستان در ۴۵ کیلومتری شهرستان ایذه در ۳۲° تا

۴۹° عرض جغرافیایی شمالی و ۲۵' تا ۲۵' ۴۹" طول جغرافیایی شرقی واقع شده است. ارتفاع منطقه ۵۵۰/۵ متر از سطح دریا است. این منطقه جزء زاگرس میانی است و به‌طور کلی زمستان‌های سرد و معتدل و تابستان‌های خنک و مرطوب دارد. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی ایذه، متوسط بارندگی سالانه ۷۲۵ میلی‌متر است که حداقل و حداکثر آن به ترتیب با مقدار صفر و ۱۴۵ میلی‌متر در ماه‌های تیر و آذر اتفاق می‌افتد. گرم‌ترین ماه سال مرداد با متوسط دمای روزانه ۴۵/۶ درجه سانتیگراد و سردترین ماه سال بهمن با متوسط دمای روزانه ۱/۲ درجه سانتیگراد است.

این حوضه توسط رودخانه کارون به دو قسمت سوسن غربی (با مرکزیت ترشک) و سوسن شرقی (با مرکزیت جنگه) تقسیم‌بندی شده است. پژوهش پیش‌رو در بازه‌ای از رودخانه واقع در قسمت سوسن غربی انجام شد. منطقه انتخاب شده دارای شیب حدود ۱۰ درصد و جهت جغرافیایی جنوبی است. با مطالعه و انجام آزمایش‌های دانه‌بندی مشخص شد که خاک منطقه از نوع ماسه رسی (SP-SM) در طبقه یونیفاید است.

### روش پژوهش

برای بررسی مقاومت کششی سیستم ریشه درختان ساحلی ابتدا بازه‌ای به نسبت یکنواخت از نظر ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت از ساحل رودخانه کارون انتخاب شد. برای شناسایی گونه‌های غالب حاشیه رودخانه، پیمایش‌های فراوانی در طول ساحل انجام شد. در طول این بازه پایه‌های سرخ‌بید به تعداد کافی و با پراکنش مناسب مشاهده شد. کلیه پایه‌های موجود در بازه ساحل انتخاب شده شماره‌گذاری و از بین آن‌ها پنج پایه به روش کاملاً تصادفی انتخاب و کدگذاری شدند. برای نمونه‌گیری ریشه جهت انجام آزمایش‌های مقاومت کششی، نمونه‌گیری با سیلندری به ابعاد ۱۵ × ۱۰ سانتی‌متر و روش هسته‌های خاک استفاده شد (Genet *et al.*, 2008; Adhikari *et al.*, 2013). بدین ترتیب در اطراف هر درخت، دو خط‌نمونه عمود بر هم به مرکزیت تنه درخت پیاده شد. نمونه‌گیری در

گسیختگی از محل نزدیک فک دستگاه رخ می‌داد، قابل قبول نبوده و نتایج آنها حذف شد (Abdi et al., 2009). دامنه قطری مورد بررسی در این دسته از پژوهش‌ها بستگی به ابعاد فک دستگاه اینسترون دارد. در این پژوهش، با توجه به قابلیت دستگاه مورد استفاده، دامنه قطری ۴/۹۴-۰/۱۱ میلی‌متر بررسی شد و ۹۷ آزمایش کشش موفق در مورد نمونه‌های ریشه انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، آزمون کولموگروف-سمیرنوف استفاده شد. به دلیل نرمال نبودن داده‌ها و وجود اثر کوواریت قوی (قطر ریشه)، از مدل خطی و تعمیم‌یافته و آزمون والد (Wald) برای مقایسه اثر تیمارهای عمق و فاصله بر مقاومت کششی با در نظر گرفتن اثر کوواریت استفاده شد. برای ارزیابی بهترین مدل نیروی کششی و مقاومت کششی با عمق خاک و همچنین نیروی کششی و مقاومت کششی با فاصله از تنه، توابع مختلفی آزمون شدند و تابعی که بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین خطای استاندارد را داشت، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

### نتایج

آمار توصیفی مربوط به نیروی کششی و مقاومت کششی نمونه‌های مربوط به عمق‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

سه فاصله افقی ۰/۵، ۰/۷۵ و یک متری از تنه (Genet et al., 2008) و در سه عمق صفر تا ۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری (Beeden & McIvor, 2010) و در چهار سمت درخت انجام شد. به این ترتیب، در اطراف هر درخت ۳۶ نمونه هسته خاک و در مجموع ۱۸۰ نمونه از منطقه تهیه شد. قابل ذکر است که با بررسی‌های انجام شده عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متر فاقد ریشه بود، بنابراین تنها سه عمق بررسی شدند.

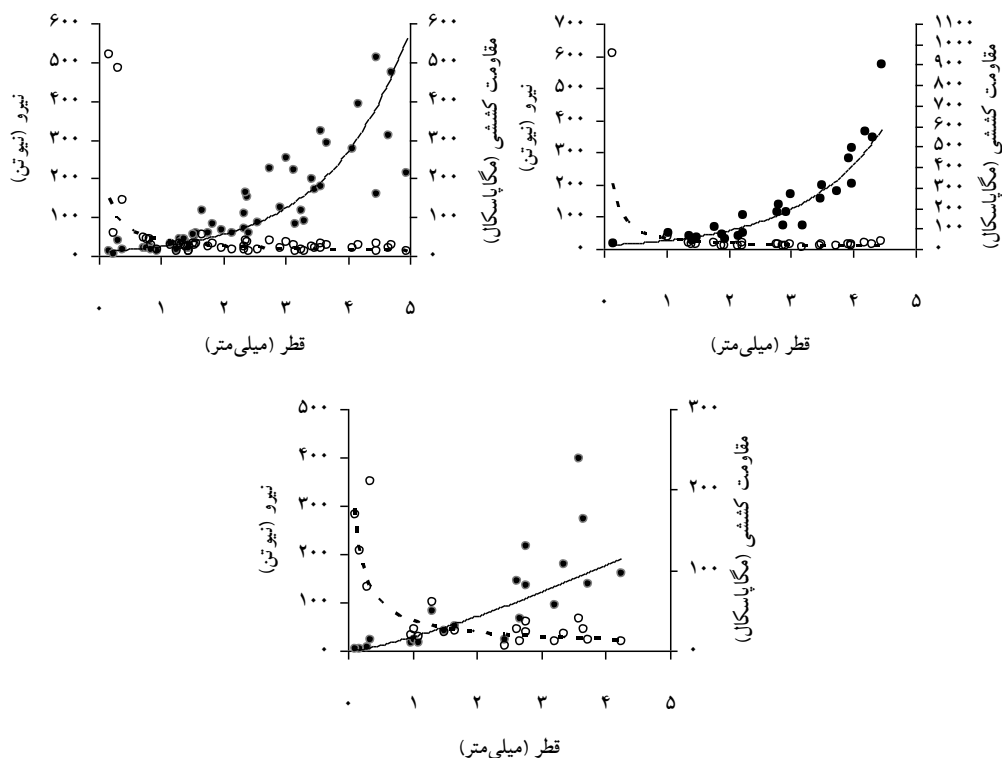
ریشه‌های موجود در هر هسته به وسیله الک و به صورت دستی جدا و ریشه‌های سالم از نظر بافت، رنگ و ظاهر جدا شدند (Genet et al., 2008). ریشه‌ها پس از شست‌وشو در کیسه‌های پلاستیکی با محلول آب و الکل ۱۵ درصد به منظور جلوگیری از آلودگی قارچی (Chiaradia et al., 2016) مرطوب و در دمای چهار درجه سانتیگراد نگهداری شدند (Leung et al., 2015). آزمایش کشش در مورد نمونه‌های ریشه به طول ۱۰ سانتی‌متر انجام شد و قطر متوسط کلیه ریشه‌ها پیش از آزمایش در سه قسمت (ابتدا، انتها و وسط ریشه) در امتداد طول ریشه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد (Abdi, 2014). آزمایش‌های کشش با دستگاه اینسترون استاندارد مدل ۴۴۸۶ ساخت انگلستان با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه (Pollen, 2007; Chiaradia et al., 2016) انجام شد و حداکثر نیروی لازم برای گسیختن شدن ریشه‌ها ثبت شد. با تقسیم حداکثر نیروی گسیختگی به سطح مقطع ریشه، مقاومت کششی نمونه‌های ریشه محاسبه شد. نمونه‌هایی که

جدول ۱- آمار توصیفی مربوط به نتایج نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه‌های مربوط به افق‌های مختلف

عمق (سانتی‌متر)	قطر ریشه (میلی‌متر)			نیروی کششی (نیوتن)			مقاومت کششی (مگاپاسکال)					
	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	
۰-۱۰	۰/۱۵	۴/۴۶	۲/۷۱	۰/۲۲	۱۶/۹۰	۵۶۹/۹۰	۱۴۷/۹۴	۲۶/۴۴	۹/۰۱	۹۵۶/۸۲	۵۷/۹۱	۳۶/۰۱
۱۰-۲۰	۰/۱۷	۴/۹۴	۲/۳۰	۰/۱۸	۲/۴۰	۵۱۰/۱۰	۱۲۳/۳۹	۱۷/۳۶	۱۰/۰۵	۵۲۰/۱۳	۴۶/۹۶	۱۳/۵۸
۲۰-۳۰	۰/۱۱	۴/۲۴	۲/۰۷	۰/۲۸	۱/۶۰	۳۹۸/۱۰	۹۹/۱۰	۲۲/۵۴	۴/۹۸	۲۱۰/۳۵	۴۶/۲۷	۱۲/۰۳

می‌یافت، در حالی که نتایج بررسی قطر و مقاومت کششی در هر سه افق نشان داد که رابطه بین این دو متغیر به صورت تابع توانی منفی بوده و با کاهش قطر مقاومت کششی نیز کاهش می‌یافت (شکل ۱). داده‌های مربوط به ضریب‌های رابطه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

با برآزش توابع مختلف، نوع رابطه تغییرات نیروی کششی و مقاومت کششی با قطر در عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج، در افق اول و دوم با افزایش قطر ریشه، نیروی لازم برای گسیختن ریشه به صورت نمایی و در افق سوم به صورت توانی افزایش



شکل ۱- رابطه قطر ریشه- نیروی کششی (دایره‌های مشکی) و قطر ریشه- مقاومت کششی (دایره‌های سفید) ریشه. الف) عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری، ب) عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری، ج) عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری

جدول ۲- رابطه قطر ریشه با نیروی کششی و مقاومت کششی و ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  در عمق‌های مختلف خاک

نوع رابطه	مقاومت کششی (مگاپاسکال)			نوع رابطه	نیروی کششی (نیوتن)			عمق خاک (سانتی‌متر)
	$R^2$	$\beta$	A		$R^2$	$\beta$	$\alpha$	
توانی منفی	۰/۵۸	-۰/۹۵	۵۲/۵۰	نمایی	۰/۸۷	۰/۷۵	۱۳/۰۶	۰-۱۰
توانی منفی	۰/۴۹	-۰/۷۰	۱۹/۸۲	نمایی	۰/۴۹	۰/۷۸	۴۱/۸۲	۱۰-۲۰
توانی منفی	۰/۶۲	-۰/۷۰	۳۷/۲۰	توانی مثبت	۰/۸۴	۱/۲۹	۲۹/۲۰	۲۰-۳۰

حالی که تأثیر قطر ریشه به عنوان عامل کواریت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار بود (جدول ۳).

نتایج آزمون والد نشان داد که تأثیر عمق‌های مختلف بر نیروی کششی و همچنین مقاومت کششی معنی دار نبود، در

جدول ۳- نتایج آزمون والد برای بررسی تأثیر عمق‌های مختلف بر نیروی کششی و مقاومت کششی

منبع	نیروی کششی (نیوتن)			مقاومت کششی (مگاپاسکال)		
	آماره مربع کای والد	درجه آزادی	معنی داری	آماره مربع کای والد	درجه آزادی	معنی داری
تیمار	۰/۸۰۴	۲	۰/۶۶۹	۱/۴۳۸	۲	۰/۴۸۷
کواریت (قطر)	۸۳/۶۵۳	۱	۰/۰۰۰**	۶۲/۰۴۹	۱	۰/۰۰۰**

\*\* معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

فاصله یک متری به صورت توانی مثبت افزایش می‌یافت، در حالی که نتایج بررسی قطر و مقاومت کششی نشان داد که رابطه بین این دو متغیر در هر سه فاصله از تنه به صورت تابع توانی منفی بود و با کاهش قطر مقاومت کششی نیز کاهش می‌یافت (شکل ۲). داده‌های مربوط به ضریب‌های رابطه‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

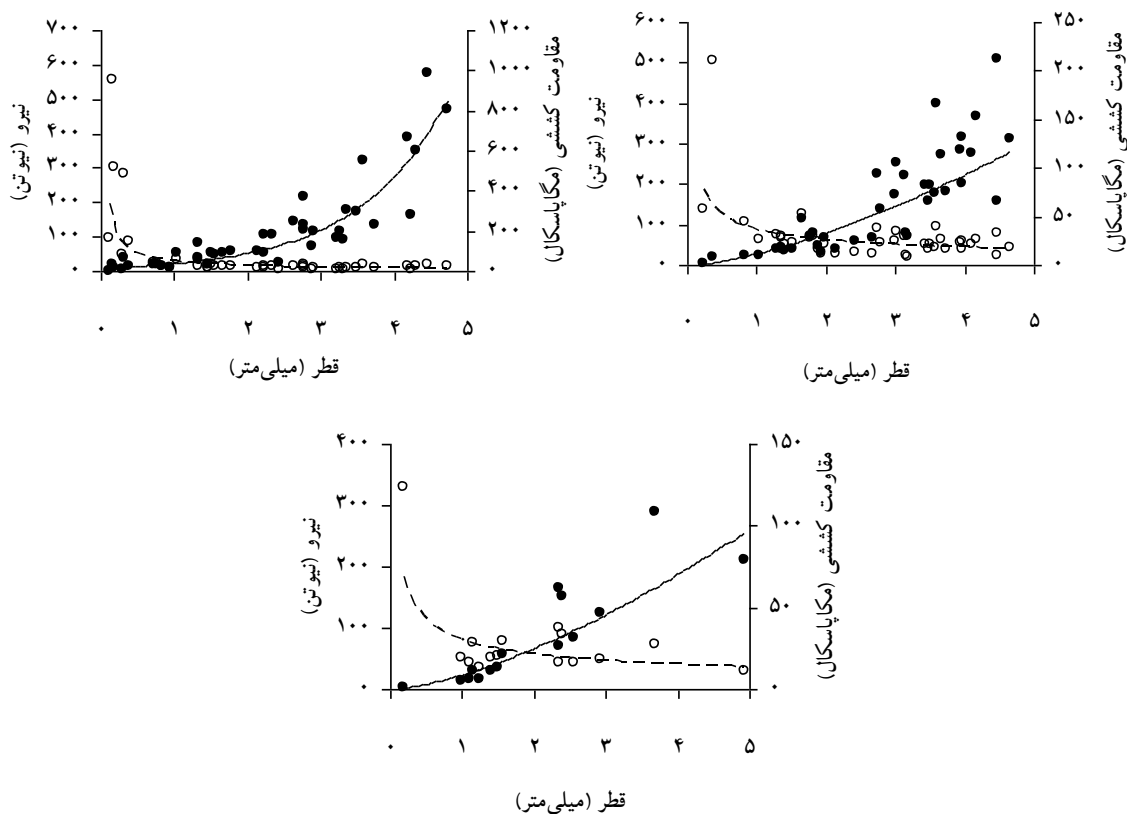
آمار توصیفی مربوط به نیروی کششی و مقاومت کششی نمونه‌های مربوط به فاصله‌های مختلف افقی در جدول ۴ ارائه شده است. با برازش توابع مختلف، نوع رابطه تغییرات نیروی کششی و مقاومت کششی با قطر ریشه در فاصله‌های مختلف بررسی شد. با توجه به نتایج، در فاصله ۰/۵ و ۰/۷۵ متری از تنه با افزایش قطر ریشه، نیروی لازم برای گسیختن ریشه به صورت نمایی و در

جدول ۴- آمار توصیفی مربوط به نتایج نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه‌های مربوط به فاصله‌های مختلف از تنه

فاصله از تنه (متر)	قطر ریشه (میلی‌متر)			نیروی کششی (نیوتن)			مقاومت کششی (مگاپاسکال)				
	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای معیار	کمینه	بیشینه	میانگین
۰/۵	۰/۲۳	۴/۴۵	۲/۶۸	۰/۱۹	۲/۴۰	۵۱۰/۱۰	۱۵۰/۴۶	۱۹/۳۵	۹/۰۱	۲۱۰/۳۴	۲۹/۲۱
۰/۷۵	۰/۱۱	۴/۷۲	۲/۱۸	۰/۲۰	۱/۶۰	۵۷۶/۹۰	۱۱۳/۸۴	۲۰/۱۱	۴/۹۸	۹۵۶/۸۲	۷۶/۸۱
۱	۰/۱۹	۴/۹۴	۲/۰۲	۰/۳۱	۳/۵۰	۲۸۸/۶۰	۸۶/۴۶	۲۱/۸۵	۱۱/۰۷	۱۲۳/۵۰	۲۸/۷۵

جدول ۵- رابطه قطر ریشه نیروی کششی، مقاومت کششی و ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  در فاصله‌های مختلف از تنه

نوع رابطه	نیروی کششی (نیوتن)			نوع رابطه	مقاومت کششی (مگاپاسکال)		
	$R^2$	$\beta$	$\alpha$		$R^2$	$\beta$	A
فاصله از تنه (متر)							
۰/۵	۰/۳۴	۱/۴۸	۱۳/۲۸	نمایی	۰/۳۴	-۰/۵۱	۳۶/۱۶
۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۸۳	۹/۹۴	نمایی	۰/۶۵	-۰/۹۰	۴۶/۶۳
۱	۰/۸۷	۱/۲۹	۲۳/۵۴	توانی مثبت	۰/۴۴	-۰/۵۰	۲۹/۹۹



شکل ۲- رابطه قطر ریشه- نیروی کششی (دایره‌های مشکی) و قطر ریشه- مقاومت کششی (دایره‌های سفید) ریشه. الف) فاصله ۰/۵ متری، ب) فاصله ۰/۷۵ متری، ج) فاصله یک متری

نداشت، در حالی که تأثیر قطر ریشه به‌عنوان عامل کواریت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

نتایج آزمون والد نشان داد که فاصله‌های مختلف از تنه بر نیروی کششی و همچنین مقاومت کششی تأثیر معنی‌دار

جدول ۶- نتایج آزمون والد برای بررسی تأثیر فاصله‌های مختلف از تنه بر نیروی کششی و مقاومت کششی

منبع	نیروی کششی (نیوتن)			مقاومت کششی (مگاپاسکال)		
	آماره مربع کای والد	درجه آزادی	معنی‌داری	آماره مربع کای والد	درجه آزادی	معنی‌داری
تیمار	۰/۱۵۵	۲	۰/۹۲۸	۴/۷۳۱	۲	۰/۰۹۴
کواریت (قطر)	۸۱/۳۱۳	۱	۰/۰۰۰**	۴۷/۰۳۹	۱	۰/۰۰۰**

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

### بحث

قطر ریشه دارد و ریشه‌های نازک‌تر مقاوم‌تر از ریشه‌های ضخیم در واحد سطح هستند (Mao et al., 2012). با توجه به انجام پژوهش‌های گسترده در مورد مقاومت کششی، وجود رابطه معکوس بین قطر ریشه و مقاومت کششی به‌صورت یک اصل پذیرفته شده است. با توجه به نتایج

رابطه‌های ساده بین قطر ریشه و خواص زیست‌فنی ریشه به‌ویژه مقاومت کششی اغلب می‌تواند در مدل‌های پیش‌بینی مسلح‌سازی خاک توسط ریشه مورد استفاده قرار گیرد. ثابت شده که مقاومت کششی ریشه رابطه معکوس با

کششی در فاصله ۲۵ سانتی‌متری و یک متری از تنه گونه *Macaranga tanarius* وجود نداشت، اما برای گونه دیگر تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج پژوهش پیش‌رو مطابق با نتایج Lateh و همکاران (۲۰۱۵) در مورد گونه *M. tanarius* و در تناقض با نتایج آن‌ها در مورد گونه *A. mangium* است. به نظر می‌رسد که تناقض در نتایج می‌تواند به علت متفاوت بودن سرشت گونه‌ها یا تنش‌های مکانیکی فعال در محیط باشد. معنی‌دار نشدن اثر تغییرات مکانی بر مقاومت کششی به این معنی است که گونه بررسی‌شده حداقل تا فاصله یک متر افقی و عمق ۳۰ سانتی‌متری دارای تغییرات مقاومت کششی نیست که می‌تواند نشان‌دهنده متفاوت نبودن جهت و میزان تنش در قسمت‌های مختلف سیستم ریشه باشد. بدین معنی که در استوانه‌ای به شعاع یک متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که به معنی حجمی برابر ۱/۸۸ مترمکعب است، مقاومت کششی به صورت تقریباً یکنواخت گسترده شده و هر گونه می‌تواند باعث مسلح‌سازی این حجم از خاک شود. از آنجا که یکی از کاربردهای مقاومت کششی، پیش‌بینی و برآورد مکانی مسلح‌سازی حاصل از ریشه‌ها است، این اطلاعات می‌تواند در پهنه‌بندی مسلح‌سازی خاک مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج این پژوهش باعث افزایش شناخت در مورد ویژگی زیست‌فنی گونه سرخ‌بید در استفاده عملی از این گونه در زیست‌مهندسی شده و مهم‌تر از آن موجب آگاهی از تأثیر مثبت آن در میزان مسلح‌سازی دیواره‌های حاشیه رودخانه‌ها و افزایش احتمال وقوع ناپایداری و ایجاد فرسایش در چنین مناطقی می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از درختان سرخ‌بید در کناره‌های رودخانه و آبراه‌های در معرض فرسایش به‌عنوان یک روش محیط زیستی و سازگار با محیط برای افزایش پایداری کناره‌ها قابل توصیه است.

## References

- Abdi, E., 2014. Effect of Oriental beech root reinforcement on slope stability (Hyrcanian forest, Iran). *Journal of Forest Science*, 60(4): 166-173.

پژوهش پیش‌رو، بیشترین مقاومت کششی مربوط به نازک‌ترین ریشه‌ها بود و با افزایش قطر، مقاومت کششی کاهش می‌یافت. دامنه قطری ریشه‌های مورد آزمایش در این پژوهش ۴/۹۴-۰/۱۱ میلی‌متر، دامنه نیروی کششی نظیر ۱/۶-۵۷۶/۹ نیوتن و دامنه مقاومت کششی ۴/۹۸-۹۵۶/۸۲ مگاپاسکال بود. لازم به ذکر است که در مطالعات اندکی از جمله Genet و همکاران (۲۰۰۵)، ریشه‌های نازک‌تر از یک میلی‌متر مورد آزمایش قرار گرفتند و به همین دلیل، دامنه نیروی کششی و مقاومت کششی در این پژوهش از بسیاری از مطالعات پیشین بیشتر بود. برای گونه‌های حاشیه رودخانه اعداد مختلفی برای مقاومت کششی به‌دست آمده است. Hubble و Docker (۲۰۰۸) میانگین مقاومت کششی ریشه‌های با قطر ۰/۳-۶/۹ میلی‌متر را ۵۸/۱ مگاپاسکال برای *Acacia floribunda* و میانگین مقاومت کششی ریشه‌های با قطر ۰/۴-۱۰/۵ میلی‌متر را ۴۹/۶ مگاپاسکال برای *Casuarina glauca* برآورد کردند. Adhikari و همکاران (۲۰۱۳) حداکثر مقاومت کششی را برای ریشه‌های با قطر ۰/۲-۲/۳ میلی‌متر، ۶۲/۲ مگاپاسکال برای *Larrea tridentata* و حداقل آن‌را برای ریشه‌های با قطر ۰/۲-۳/۸ میلی‌متر، ۳۵/۱ مگاپاسکال در *Allenrolfea occidentalis* محاسبه کردند. Zhang و همکاران (۲۰۱۶) حداکثر مقاومت کششی ۶۲/۳ مگاپاسکال را برای *Paspalum paspaloides* و حداقل مقاومت کششی ۴۸/۸ مگاپاسکال را برای *Hemarthria. Altissima* گزارش کردند.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که تفاوتی بین نیروی کششی و همچنین مقاومت کششی در عمق‌های صفر تا ۱۰، ۲۰-۳۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری و همچنین در فاصله‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و یک متری وجود نداشت، اما قطر ریشه به‌عنوان عامل کواریت معنی‌دار بود که با نتایج Genet و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. Lateh و همکاران (۲۰۱۵) نیز تأثیر فاصله از تنه را بر مقاومت کششی دو گونه *Acacia mangium* و *Macaranga tanarius* مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در مقاومت



- (Eds.). Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology. John Wiley and Sons Ltd. New York.
- Habibi Bibalani, Gh., Aghajanzadeh Golshani, A., Sobhe Zahedi, S. and Bazhrang, Z., 2009. The traction effect of lateral roots of *Carpinus betulus* on soil reinforcement. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 1(3): 160-166 (In Persian).
  - Hosseini, A.R., Shafai-Bajestan, M. and Musavi, S.H., 2015. Investigation of root system of Tamarix trees in the direction of river flow, for use in slope stability. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(1), 41-35 (In Persian).
  - Hubble T.C.T., Docker, B.B. and Rutherford, I.D., 2010. The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: A review of Australian experience and practice. Ecological Engineering, 36: 292-304.
  - Kazemi, M., Abdi, E., Majnounian, B. and Yousefzadeh, H., 2015. The effect of Persian oak species (*Quercus persica*) in soil reinforcement (Case study: Tabarok, Bazoft basin). Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources), 70(1): 31-38 (In Persian).
  - Lateh, H., Avani, N. and Habibi Bibalani, Gh., 2015. Tensile strength and root distribution of *Acacia mangium* and *Macaranga tanarius* at spatial variation (Case study: East-West Highway, Malaysia). International Journal of Biosciences, 6: 18-28.
  - Leung, F.T., Yan, W.M., Hau, B.C. and Tham, L.G., 2015. Root systems of native shrubs and trees in Hong Kong and their effects on enhancing slope stability. Catena, 125: 102-110.
  - Majnounian, B., Abdi, E., Fosehat, M. and Sufi Mariv, H., 2014. Determination of biomechanical properties of Tabrizi species for use in soil biomechanics. Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources), 67(1): 13-19 (In Persian).
  - Mao, Z., Saint-André, L., Genet, M., Mine, F.X., Jourdan, C., Rey, H. and Stokes, A., 2012. Engineering ecological protection against landslides in diverse mountain forests: choosing cohesion models. Ecological Engineering, 45: 55-69.
  - Mohammad Rad, A., Abdi, E., Majnounian, B. and Yousefzadeh, H., 2015. Effect of sharpening on tensile strength of Iranian oak tree (Case study: Dinar Kouh forests of Abdanan county). Iranian Journal of Forest, 8(3): 291-300 (In Persian).
  - Mohebbi, A. and Mirzaei, M.A., 2014. Estimation of stability and stability of the margin of Aras River with use the A-Syst style. Iranian Journal of
  - Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H. and Zobeiri, M., 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.
  - Adhikari, A.R., Gautam, M.R., Yu, Z., Imada, S. and Acharya, K., 2013. Estimation of root cohesion for desert shrub species in the Lower Colorado riparian ecosystem and its potential for streambank stabilization. Ecological Engineering, 51: 33-44.
  - Akramian, M., Dastorani, M.T., Gangjo Berzel abad, M. and Abdi, E., 2016. Quantifying effects of diameter and density of trees roots in stabilizing river banks (Case study: Kashfroud basin). Proceedings of the 11<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering. Iran, 19-21 Apr. 2016: 955-962 (In Persian).
  - Beeden, J. and McIvor, I., 2010. The effects of pollarding on the fine roots of willows planted for soil stabilisation on pastoral hill slopes. Report to Contributing Regional Councils and MAF Contract 23273, Wellington, New Zealand, 7p.
  - Bibalani, G.H., Aghajanzadeh Golshani, A. and Najafian, K.A., 2006. The traction effect of lateral roots of Gavan (*Astragalus raddei*) on soil reinforcement in Northwest Iran (rangelands of the Shanejan area of Shabestar). Canadian Journal of Soil Science, 86(3): 493-499.
  - Capilleri, P.P., Motta, E. and Raciti, E., 2016. Experimental study on native plant root tensile strength for slope stabilization. Procedia Engineering, 158: 116-121.
  - Chiaradia, E.A., Vergani, C. and Bischetti, G.B., 2016. Evaluation of the effects of three European forest types on slope stability by field and probabilistic analyses and their implications for forest management. Forest Ecology and Management, 370: 114-129.
  - 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., Kokutse, N., Stokes, A., Fourcaud, T., Cai, X., Ji, J. and Mickovski, S., 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(8): 1517-1526.
  - Genet, M., Stokes, A., Salin, F.B., Mickovski, S., Fourcaud, T., Francois Dumail, J. and Van Beek, R., 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. Plant and Soil, 278: 1-9.
  - Greenway, D.R., 1987. Vegetation and Slope Stability: 187-230. In: Anderson, M.G. and Richards K.S.

- on streambank cohesion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(9): 1245-1258.
- Shirdeli, A., Shafae Bajestan, M. and Seyyasar, H., 2006. Investigation of root resistance of plant species used in stabilization of Sistan river banks. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International River Engineering Conference, Iran, 13-15 Feb. 2006*: 13-15 (In Persian).
  - Simon, A. and Collison, A.J., 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(5): 527-546.
  - Watson, A.J. and Mardern, 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.
  - Zhang, C., Chen, L., Jiang, J. and Zhou, S., 2012. Effects of gauge length and strain rate on the tensile strength of tree roots. *Trees*, 26(5): 1577-1584.
  - Zhong, R.H., He, X.B., Bao, Y.H., Tang, Q., Gao, J.Z., Yan, D.D. and Li, Y., 2016. Estimation of soil reinforcement by the roots of four post-dam prevailing grass species in the riparian zone of three Gorges Reservoir, China. *Journal of Mountain Science*, 13(3): 508-521.
  - Watershed Management Science and Engineering, 8(26): 21-26 (In Persian).
  - Naghdi, R., Maleki, S., Abdi, E., Mousavi, R., and Nikooy, M., 2013. Assessing the effect of *Alnus* roots on hillslope stability in order to use in soil bioengineering. *Journal of Forest Science*, 59(11): 417-423.
  - Nyambane, O.S. and Mwea, S.K., 2011, Root tensile strength of three typical plant species and their contribution to soil shear strength: a case study, Sasumua Backslope, Nyandarua District, Kenya. *Journal of Civil Engineering Research and Practice*, 8(1): 57-73.
  - Pollen, N., 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: accounting for soil shear strength and moisture. *Catena*, 69(3): 197-205.
  - Pollen-Bankhead, N., Simon, A. and Thomas, R.E., 2013. The reinforcement of soil by roots: recent advances and directions for future research. In: Shroder, J., Butler, D.R. and Hupp, C.R. (Eds.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, *Ecogeomorphology*, 12: 107-124.
  - Polvi, L.E., Wohl, E. and Merritt, D.M., 2014. Modeling the functional influence of vegetation type

## Assessing spatial changes of roots tensile strength of *Salix purpurea* L. in riparian zone of Karun (Case study: Susan plain in Khuzestan province)

S. Keybondori<sup>1</sup>, B. Majnounian<sup>2</sup>, E. Abdi<sup>3\*</sup>, H. Yousefzadeh<sup>4</sup>, A. Deljouei<sup>5</sup>

1- M.Sc. Student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3\* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: abdie@ut.ac.ir

4- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran

5- Ph.D. Student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 13.08.2017

Accepted: 05.12.2017

### Abstract

Vegetation in riparian areas, including trees with various hydrological and mechanical effects has an essential role in soil reinforcement. This is accomplished by increasing soil shear strength and inhibiting the higher layer of soil into the lower layers and reducing erosion by roots. The aim of this study was to evaluate the tensile strength changes of *Salix purpurea* L. trees in different trunk distances and soil depths. Therefore, five trees were randomly selected for root system sampling, which was done by using the soil core technique. Sampling was taken in three different depths, tree horizontal distances and in four directions of the trees. Finally, 97 successful tensile tests were performed on root samples. The relations between tensile force-diameter and tensile strength-diameter were analyzed and compared. The results showed the average of tensile strength of 57.91, 46.96 and 46.27 Mpa for depths 0-10, 10-20 and 20-30 cm, respectively. Furthermore, the average of tensile strength was 29.18, 76.81 and 28.78 Mpa for 0.5, 0.75 and 1 m distances, respectively. Root diameter and tensile force followed positive power and exponential trends. However, the association between root diameter and tensile strength followed a negative power trend. Results of Wald test showed no significant difference between tensile strength of three soil depths and three horizontal distances, though root diameter as a covariate parameter with a significant effect on tensile strength.

**Keywords:** Bioengineering, reinforcement, soil core sampling, tensile force.