دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

تأثیر میزان سلولز و لیگنین بر مقاومت کششی ریشه گونه‌های درختی (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا- شمال ایران)

مهران نصیری[۱]، حامد اسدی[۲] و حسن شریفی[۳]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: m.nasiri@sanru.ac.ir)
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استادیارگروه صنایع چوب و فراورده های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۷
صفحه: ۱۵۵ تا ۱۶۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: ریشه گیاهان یکی از مهمترین مصالح زنده جهت تثبیت و تسلیح خاک دامنه ها و شیروانی‌های جاده‌های جنگلی می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی مقاومت کششی ریشه گونه‌های درختی با توجه به تغییرات میزان لیگنین، سلولز و مواد استخراجی از ریشه انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در جنگل دارابکلا استان مازندران انجام شد. برای تعیین مقاومت کششی ریشه درختان، نمونه‌های ریشه از درختان راش، ممرز، توسکا، آزاد، انجیلی و بلوط بلندمازو به روش حفر چاله جمع آوری و آزمایش مقاومت کششی با استفاده از دستگاه اینسترون برای آنها انجام شد. همچنین میزان لیگنین، سلولز، خاکستر و مواد استخراجی برای ریشه گونه‌های مختلف درختی با استفاده از تجزیه شیمیایی اندازه‌گیری شد. به منظور مقایسه مقاومت کششی ریشه‌های گونه‌های درختی از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. همچنین از تحلیل چند متغیره تشخیص برای تعیین معنی‌داری و طبقه‌بندی گونه ها بر اساس مقادیر سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد مستخرجی استفاده شد.

یافته‌ها: بیشترین مقاومت کششی برای گونه بلوط (۷۰/۱MPa) و انجیلی (۶۰/۱ MPa) و کمترین مقاومت کششی برای گونه‌های توسکا (۴۱/۲ MPa) و راش(۴۵/۳ MPa) ثبت شد. نتایج نشان داد در گونه‌های راش، توسکا و انجیلی میزان لیگنین بالاتر از میزان سلولز اندازه‌گیری شده است. درحالی‌که در گونه آزاد سلولز بیشترین سهم را دارد. در گونه راش و توسکا که مقادیر لیگنین آنها بیشتر است، میانگین مقاومت کششی اندازه‌گیری شده از سایر گونه‌ها کمتر و برای گونه بلوط و ممرز که مقادیر سلولز آنها بیشتر ثبت شد، مقاومت کششی بیش از سایر گونه‌ها می‌باشد. نتایج تحلیل تشخیص نشان می‌دهد سه گروه با درصد انطباق پذیری بالا توسکا–راش، ممرز–آزاد و انجیلی–بلوط تشکیل شده است که با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی و تجزیه شیمیایی ریشه وضعیت تقریباً مشابهی دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این مطالعه بررسی میزان لیگنین و سلولز ریشه گونه‌های مختلف و همچنین توجه به تحلیل تشخیص و گروه‌بندی گونه‌ها با در نظر گرفتن چند عامل می‌تواند به محققان در تصمیم‌گیری برای انتخاب گونه مناسب پروژه‌های زیست‌مهندسی کمک زیادی نماید.

واژه‌های کلیدی : پایداری شیروانی‌ها، تثبیت خاک، ریشه، زیست‌مهندسی، عوامل محیطی

مقدمه

مهم‌ترین تاثیر پوشش گیاهی در پایداری دامنه ها، مکانیزم مسلح‌سازی توسط ریشه‌هاست که از طریق تحمل تنش برشی خاک به کمک مقاومت کششی ریشه ها انجام می‌شود (۲۲). مقاومت کششی ریشه عبارت است از بیشینه تنشی که ریشه در هنگام کشیده شدن تا قبل از باریک و گسیخته شدن مقطع آن می‌تواند تحمل کند را مقاومت کششی ریشه گویند. خاک و ریشه مکمل هم می باشند به‌طوریکه خاک در مقابل نیروهای فشاری مقاوم بوده ولی ریشه در برابر نیروی کششی مقاومت بیشتری دارد (۱۶). نقش ریشه درختان در مقاومت برشی خاک به مقدار و جهت توزیع ریشه‌ها، مقاومت کششی ریشه‌ها، مقاومت برشی خاک و تعامل خاک و ریشه بستگی دارد (۱۳،۲۲). بنابراین مقاومت کششی ریشه یک عامل مهم در انتخاب گونه‌های مناسب برای تقویت خاک در دامنه‌های ناپایدار است (۷). اگر آن دسته از ویژگی‌های سیستم ریشه که در تثبیت خاک از طریق عملیات زیست مهندسی موثر است شناسایی شوند، بهتر می‌توان گونه‌ی مناسب برای استفاده در دامنه‌های ناپایدار را انتخاب کرد (۱۵). با استفاده از شاخص مساحت سطح مقطع ریشه (RAR) و مقاومت کششی ریشه می‌توان مکانیسم‌های اصلی پایداری خاک مانند تسلیح خاک و لنگربندی ریشه را بررسی (۱۴) و با اندازه‌گیری مقاومت کششی و توزیع ریشه‌ها در خاک می‌توان اثر ریشه‌ها بر پایداری شیب را تحلیل نمود (۲). تغییرات گسترده مقاومت کششی ریشه به عواملی مانند نوع گونه و عوامل محیطی مانند محیط زیست گونه، فصل، قطر و جهت توزیع ریشه‌ها بستگی دارد. سیستم‌های ریشه‌ای گیاهان در سازگاری با عمق خاک، تغییر در دسترسی به آب و مواد مغذی و خواص شیمیایی موجود در خاک (مانند شوری) ممکن است تغییر نماید (۶). ریشه در زمستان به دلیل کاهش جذب آب قوی‌تر از تابستان است (۱۹). مقاومت کششی معمولا با افزایش قطر ریشه کاهش می‌یابد (۳،۱) و این به دلیل تفاوت در ساختار ریشه است (۱۵). ریشه‌های کم قطر به دلیل داشتن سلولز بیش‌تر نسبت به ریشه های قطورتر از نظر تنش مقاوم تر هستند (۴). اما برخی مطالعات دیگر (۲۰) نشان داد با افزایش قطر ریشه میزان سلولز ریشه افزایش می یابد. همچنین در این مطالعه نشان داده شد میزان لیگنین بیشترین تاثیر را در مقاومت کششی ریشه دارد. در تحقیقی به‌منظور تعیین میزان مقاومت کششی برخی از گونه‌ها، آزمایش‌های مکانیکی روی ریشه‌های کوچک سه گونه سوزنی برگ و دو گونه پهن برگ انجام شد. در این مطالعه مشخص شد که مقاومت کششی ریشه‌ها تحت تاثیر سلولز بوده و تغییرات آن سبب تفاوت معنی‌دار در مقاومت کششی ریشه‌ها شده است (۱۵). جنت و همکاران (۶) در آزمایشی دو گونه‌ی کاج دریایی و شاه بلوط را برای اندازه‌گیری محتوای سلولز انتخاب کرد. روشی که برای اندازه‌گیری محتوای کل سلولز مورد استفاده قرار گرفت مبتنی بر روشی است که توسط لویت و دانزر (۱۰) ارایه شده

است و شامل حذف هرچه بیش‌تر مواد غیر سلولزی از ریشه بود. با توجه به نتایج این مطالعه اولین ترکیبی که از بافت ریشه جدا شد لیپیدها بودند (صمغ، روغن، رزین). هم‌چنین ریشه‌های درخت در توده‌های قدیمی نسبت به ریشه‌های توده های جدید و در حال رشد با همان قطر، مقاومت بیشتری داشتند.

یکی از عوامل محدود کننده در استفاده از فنون زیست مهندسی، آگاهی نداشتن از ترکیبات ریشه‌ها و مکانیزم مسلح سازی آن‌ها می‌باشد. بنابراین مقاومت کششی ریشه گونه‌های مختلف شاخص مهمی برای انتخاب گونه‌ی مناسب به منظور مسلح کردن خاک و بررسی تاثیر گونه‌های مختلف در بهبود پایداری شیروانی‌ها می‌باشد. تاکنون مطالعات داخلی و خارجی متعددی (۶،۳،۲،۱) در مورد مقاومت کششی ریشه گونه‌های مختلف درختی و نقش آن بر پایدارسازی دامنه‌ها انجام شده است. اما بررسی مقاومت کششی ریشه گونه‌های درختی بومی اصلی و پیشگام با توجه به مواد تشکیل دهنده ریشه آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با بررسی رابطه بین مقاومت کششی و مواد تشکیل‌دهنده ریشه درختان می توان گونه‌هایی که قابلیت کاربرد در پروژه‌های زیست مهندسی دارند را انتخاب و بهترین گونه‌های درختی و درختچه‌ای را به منظور تثبیت، تسلیح و حفاظت آب و خاک بکار گرفت. بنابراین در این مطالعه با اندازه گیری مقاومت کششی ریشه‌ها و همچنین اندازه‌گیری مقادیر سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد مستخرجی ریشه‌های گونه‌های مختلف، میزان تاثیر مواد تشکیل دهنده ریشه (سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد مستخرجی) بر مقاومت کششی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جنگل دارابکلا واقع در جنوب شرق ساری بین طول جغرافیایی ′ ۱۴ ° ۵۲ الی ′ ۳۱ ° ۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ′ ۲۸ ° ۳۶ الی ′ ۳۳ ° ۳۶ شمالی واقع شده و مساحت آن ۲۶۱۲ هکتار است. طول جاده‌های موجود در منطقه ۲۴ کیلومتر می‌باشد. جنگل آموزشی-پژوهشی دارابکلا از نظر فیزیوگرافی متنوع و دارای انشعابات یال و دره‌ای متعددی می‌باشد. جهت عمومی منطقه شمالی و میزان ارتفاع از سطح دریا در سری یک جنگل داربکلا از ۱۷۰ تا ۸۴۰ متر از سطح دریا متغیر است. براساس کلیماتوگرام آمبرژه مقدار Q برابر ۱۸۲/۳ است که نشان دهنده اقلیم خیلی مرطوب منطقه است. شاخص خشکی منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن، ۳۶/۸ می‌باشد که نشان دهنده اقلیم مرطوب تا خیلی مرطوب می‌باشد. دارای سنگ‌های مادری آهکی و مارنی همراه با ماسه‌سنگ آهکی است. بنابراین بافت خاک غالباً کمی سنگین لوم-رسی تا سنگین سیلت-رسی می‌باشد. پوشش گیاهی غالب منطقه عمدتاً درختان راش(*Fagus orientalis*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، توسکا(*Alnus subcordata*)، افرا (*Acer capaciticum*)، انجیلی(*Parrotia persica*) و بلوط(*Quercus castanifolia*) و تیپ‌های جنگلی آن شامل انجیلی، انجیلی-ممرز، انجیلی-کلهو، راش، راش- ممرز، راش-انجیلی، ممرز، ممرز-انجیلی و ممرز-راش می‌باشد.

اندازه‌گیری مقاومت کششی گونه‌ها

به‌منظور تعیین مقاومت کششی ریشه، درختان توسکا، راش، انجیلی، ممرز، بلوط و آزاد انتخاب شدند. از هر یک از درختان مورد بررسی دو اصله با میانگین قطر ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر با فاصله ۱۰ تا ۳۰ متری از جاده انتخاب شدند. نمونه‌برداری در فصل پاییز (اواخر مهرماه) انجام شد. نمونه‌های ریشه از عمق ۳۰ سانتی‌متری، در فاصله یک متری از درخت به روش حفر چاله و در پایین شیب جمع‌آوری شد (۶). در حین جمع آوری ریشه ها دقت کافی صورت گرفت که ریشه‌ها کشیده نشوند. بنابراین ریشه‌ها با استفاده از قیچی باغبانی قطع شدند. مطالعات نشان داد مقاومت کششی ریشه‌های قطع شده تا یک هفته بدون تغییر می ماند(۳)، ولی بهتر است انجام آزمایش‌های مورد نظر با تاخیر زیاد انجام نشود. در این مطالعه تست مقاومت کششی پس از ۴ روز پس از قطع ریشه‌ها با استفاده از دستگاه SANTAM STM-20 انجام شد(شکل۱). نمونه ریشه هایی از ۳ تا ۵ میلی‌متر قطر (با قطر میانگین ۴ میلی‌متر) و ۲۰ سانتی‌متر طول برای انجام آزمایش در نظر گرفته شد که برای هر گونه ۱۵ تکرار در نظر گرفته شد. قبل از انجام هر آزمایش وضعیت سلامت ریشه از جمله بررسی نداشتن علائم شکستگی و همچنین اندازه‌گیری قطر متوسط آن توسط کولیس بررسی و اندازه‌گیری شد. ریشه‌ها پس از بررسی اولیه روی فک‌های دستگاه ثابت و کشش ریشه با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. کشش ریشه تا گسیخته شدن ادامه داشت. گسیختگی زمانی اتفاق می‌افتد که ریشه‌ها از یک ناحیه (معمولا وسط ریشه) کاملا از یکدیگر جدا شود. در نهایت مقاومت کششی برای هر ریشه از تقسیم حداکثر نیروی لازم برای گسیختگی ریشه بر مساحت سطح مقطع ریشه در ناحیه شکست بدست آمد(رابطه ۱): در این رابطه (F) بیشینه نیروی اعمال شده و (d) قطر ریشه می‌باشد:

$$T_{sr} = \frac{F\,max}{\left(\frac{\pi}{4}\right)d^2}$$ رابطه (۱)

شکل ۱- نمونه‌برداری ریشه و تعیین مقاومت کششی با استفاده از دستگاه سنتام
Figure 1. Root sampling and determination of tensile strength using the Santam device

تعیین درصد رطوبت

رطوبت چوب با توجه به محیطی که در آن قرار دارد، به دلیل تبادل رطوبتی با محیط اطراف آن متفاوت است و با در نظر گرفتن این مطلب که بین درصد رطوبت خمیر و چوب تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود، محاسبه درصد رطوبت چوب و خمیر در مراحل مختلف خمیرسازی و کاغذسازی ضروری است. به‌طوری‌که دقت در اندازه‌گیری رطوبت خمیر و ماده اولیه می‌تواند در محاسبه بازده، آنالیز شیمیایی، گراماژ کاغذ دست‌ساز و در نهایت نتیجه حاصل از آزمون‌های فیزیکی و مقاومتی موثر باشد. جهت محاسبه درصد رطوبت طبق رابطه زیر احتیاج به داشتن وزن خشک و مرطوب نمونه آزمونی لازم است. محاسبه درصد رطوبت ماده اولیه و خمیر بر اساس رابطه ۲ طبق استاندارد TAPPI T 412 om – 94 بر مبنای وزن خشک صورت گرفت:

$$MC\% = \frac{M_h - M_o}{M_o} \times 100$$ رابطه (۲)

MC٪: درصد رطوبت نمونه
Mh: وزن مرطوب نمونه
Mo: وزن خشک نمونه

نکته قابل توجه در رابطه با اندازه‌گیری درصد رطوبت، رعایت یکنواختی خشک کردن ماده اولیه به صورت هوا خشک بوده که باید قبل از اندازه‌گیری درصد رطوبت به مدت چند روز در هوای آزاد خشک شود یا به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گیرد. سپس نمونه‌هایی ۲ گرمی برای ماده اولیه تهیه شد و با قراردادن نمونه‌های خشک در دسیکاتور به منظور خنک شدن نمونه ها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه، وزن کاملا خشک نمونه ها بدست آمد. در نهایت با قرار دادن وزن تر و خشک نمونه‌ها در فرمول مربوطه، درصد رطوبت چوب و خمیر محاسبه شد.

تجزیه شیمیایی ماده اولیه

جهت آنالیز شیمیایی ماده اولیه احتیاج به آماده‌سازی آن‌ها می‌باشد بدین منظور ماده اولیه با استفاده از آسیاب کامل خرد شد و سپس با عبور دادن از الک‌های ۶۰، ۴۰، ۲۰ و ۸۰ مورد استفاده قرار گرفت. بخش باقیمانده بر روی الک با مش ۲۰ جهت اندازه‌گیری رطوبت مناسب می‌باشند. ذرات بین مش ۴۰ تا ۶۰ برای اندازه‌گیری خاکستر و مواد استخراجی و پودر باقی‌مانده بر روی الک بین مش ۶۰ تا ۸۰ برای آنالیز مقدار لیگنین و سلولز انتخاب می‌شوند. بلافاصله ذرات متعلق به هر مش را به طور جداگانه داخل زیپ بسته جهت عدم تبادل رطوبتی با محیط قرار داده شد.

تعیین خاکستر

اندازه‌گیری خاکستر بر اساس آیین‌نامه T 211 om-02 استاندارد TAPPI انجام شد. ابتدا معادل ۵ گرم پودر ۴۰ مش (بر اساس وزن خشک) داخل بوته چینی با وزن مشخص ریخته شد. بوته چینی از قبل به مدت ۱۵ دقیقه با حرارت ۵۲۵±۲۵ در کوره قرار گرفت و بعد از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. در ابتدا پودرها مستقیما با شعله ملایم سوزانده تا جایی که دوده یا خاکستر از آن‌ها بلند نشود. سپس بوته‌های محتوی پودر به کوره انتقال یافت. ابتدا درجه حرارت کوره زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بود و به تدریج دما افزایش داده شد تا پودرها بدون ایجاد شعله، سوخته و گداخته شود. سپس کوره به مدت ۳ ساعت در دمای ۲۵ ± ۵۲۵ سانتی گراد قرار داده شد. بوته‌ها داخل دسیکاتور گذاشته شده تا خنک شود، سپس وزن آن با استفاده از ترازوی حساس مشخص گردید. میزان خاکستر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\text{خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر (خشک)}}{\text{وزن اولیه نمونه}} \times 100$$ رابطه (۳)

تعیین مواد استخراجی محلول در الکل – استن

اندازه‌گیری مواد استخراجی محلول در الکل- استن طبق آیین‌نامه T204 cm-97 استاندارد TAPPI انجام گرفت. ابتدا ۵ گرم پودر بر مبنای وزن خشک داخل کارتوش ریخته و کارتوش داخل سوسکله ۲۵۰ میلی لیتر گذاشته شد. سپس ۳۰۰ میلی لیتر محلول الکل – استن (با نسبت ۱ به ۲) داخل بالن ۵۰۰ میلی لیتری ریخته و سوسکله بر روی بالن و مبرد بر روی سوسکله و مجموعه آن بر روی اجاق برقی قرار گرفت و جریان آب سرد مبرد برقرار شد. حرارت اجاق طوری تنظیم شد که در هر ساعت بیش از ۴ بار عمل سیفون انجام شود. بعد از گذشت ۸ ساعت، حلال بازیابی شده و محتویات بالن به یک بشر ۵۰ میلی لیتری تمیز، کاملا خشک و توزین شده منتقل گردید تا پس از خشک شدن در آون با حرارت ۲

± ۱۰۳ درجه‌سانتی‌گراد، خنک شدن در دسیکاتور و توزین توسط ترازوی حساس، درصد مواد استخراجی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شود:

$$\text{مواد استخراجی} = \frac{\text{وزن مواد استخراجی (کاملاً خشک)}}{\text{وزن اولیه پودر (بر اساس وزن خشک)}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

تعیین سلولز

اندازه‌گیری سلولز بر اساس روش اسید نیتریک (کروشنر- هوفر) صورت گرفت. بدین صورت که ابتدا معادل ۲ گرم پودر عاری از مواد استخراجی (بر اساس وزن خشک)، داخل بالن ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و مخلوط ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک (اتانول) ۹۶ درصد و ۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد به آن افزوده شود. بالن داخل بشر پر از آب و بشر روی اجاق برقی قرار گرفت. سپس بالن به مبرد منتقل و جریان آب سرد در آن برقرار شد. پس از یک ساعت جوشیدن ملایم محتویات بالن روی صافی ریخته شد و پس از زهکش شدن، مجددا مواد روی صافی به داخل بالن برگردانده می‌شود و با افزودن اتانول و اسید نیتریک تازه، عملیات فوق دو بار دیگر تکرار شد. پس از تکرار سوم مواد باقی‌مانده بر روی صافی به عنوان سلولز در آون با حرارت ۲ ± ۱۰۳ درجه‌سانتی‌گراد خشک شد و پس از خنک شدن در دسیکاتور و توزین با ترازوی حساس مقدار سلولز مطابق با رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$\text{لیگنین} = \frac{\text{وزن لیگنین (کاملاً خشک)}}{\text{وزن اولیه پودر (بر اساس وزن خشک)}} \times 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

تعیین لیگنین

اندازه‌گیری لیگنین بر طبق آیین نامه T222 om-02 استاندارد TAPPI صورت گرفت. بدین منظور ابتدا معادل یک گرم پودر عاری از مواد استخراجی (بر اساس وزن خشک)، داخل بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد به آن افزوده شد. بشر محتوی پودر و اسید به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق با حرارت ۱ ±۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. طی این مدت محتویات بشر به دفعات با میله شیشه ای به هم زده شد. بعد از این مدت مخلوط اسید و پودر همراه با ۵۶۰ میلی لیتر آب مقطر جوش به داخل یک بالن ۱۰۰۰ میلی لیتری منتقل گردید. بدین ترتیب حجم کل محتویات داخل بالن به ۵۷۵ میلی لیتر می رسد و غلظت اسید سولفوریک موجود در بالن به ۳ درصد کاهش یافت. پس از استقرار مبرد بر روی بالن و نصب آن‌ها بر روی اجاق جریان آب سرد برقرار شد. محتویات داخل بالن پس از ۴ ساعت جوشاندن توسط کاغذ صافی (از قبل توزین شده) زهکش شده و تا حذف کامل اسیدیته پساب (خنثی شدن آن‌ها) با آب مقطر آب‌شویی شود. ماده باقیمانده بر روی صافی به عنوان لیگنین در آون با حرارت ۲± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از چند دقیقه ماندن در دسیکاتور با ترازوی حساس توزین شد. محاسبه مقدار لیگنین با استفاده از رابطه ۶ انجام گرفت.

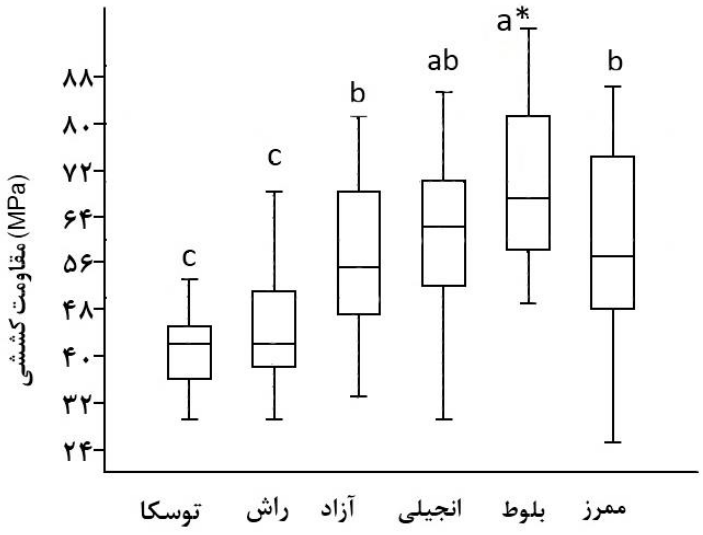
$$\text{سلولز} = \frac{\text{وزن سلولز (کاملاً خشک)}}{\text{وزن اولیه پودر (بر اساس وزن خشک)}} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

تحلیل آماری

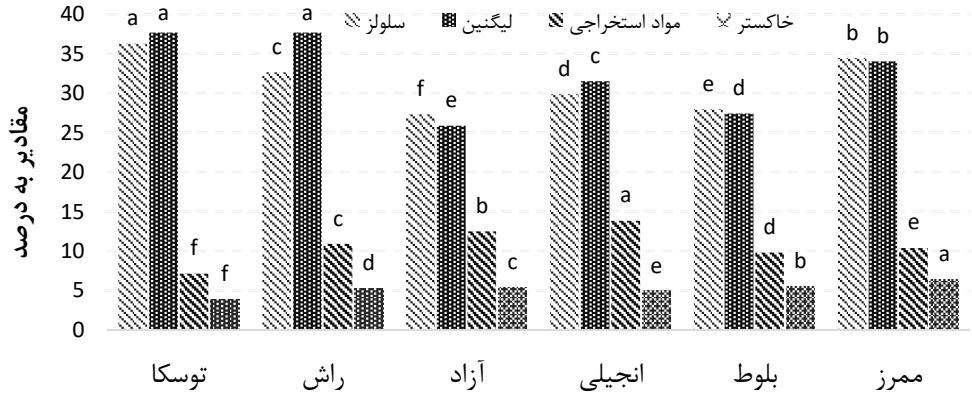
به‌منظور مقایسه مقاومت کششی ریشه گونه‌های درختی از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. جهت مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی آنها از آزمون دانکن استفاده شد. همچنین از تحلیل چند متغیره تشخیص برای تعیین معنی‌داری مقادیر سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد مستخرجی در بین گروه های حاصل از آزمون دانکن مقاومت کششی ریشه‌ها و نیز تعیین درصد نمونه هایی که برمبنای مقادیر سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد مستخرجی درست طبقه‌بندی شدند استفاده شد. تجزیه‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و قبل از انجام آنالیزها، نرمال و همگن بودن داده‌ها به ترتیب توسط روش کولموگروف اسمیرنوف و آزمون لوون مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس یکطرفه شش گونه درختی توسکا، راش، آزاد، انجیلی، بلوط و ممرز نشان داد که گونه‌های مزبور از نظر مقاومت کششی با هم دارای اختلاف معنی‌داری هستند (شکل ۲). نتایج مقایسه گروهی میانگین‌های دانکن نشان داد که گونه بلوط و انجیلی دارای بیشترین و گونه‌های توسکا و راش داری کمترین مقاومت کششی ریشه می باشند. گونه-های آزاد و ممرز از نظر مقاومت کششی ریشه، حدواسط دو گروه قبلی می باشند. بنابراین شش گونه مزبور را می توان از نظر مقاومت کششی در سه گروه متفاوت قرار داد. مقاومت کششی ریشه یکی از فاکتورهای موثری است که در محاسبه چسبندگی مضاعف حاصل از ریشه در لایه‌های خاک و در نهایت پایداری شیروانی های تسلیح شده با ریشه درختان نقش دارد. در سال‌های گذشته در چند مطالعه داخلی مقاومت کششی ریشه و چسبندگی مضاعف حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت کششی ریشه گونه انجیلی بطور میانگین ۲۵ تا ۳۱ مگاپاسکال (۱) و برای ریشه توسکا بطور میانگین ۱۶ مگاپاسکال اندازه‌گیری شد (۱۲). با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه میانگین مقاومت کششی انجیلی و توسکا به ترتیب ۶۰ و ۴۱ مگاپاسکال ثبت شد. دلیل بالاتر ثبت شدن میانگین نسبت به مطالعات دیگر ممکن است ثابت در نظر گرفتن (۴ تا ۶ میلی‌متر) قطرهای مورد آزمایش باشد. اگر از قطرهای بالاتر برای آزمایش مقاومت کششی استفاده می-شد ممکن است به علت چوبی شدن و سخت شدن مقاومت کششی کمتر ثبت شده و سبب کاهش میانگین شود. در مطالعات خارجی این میزان ۲۴ مگاپاسکال برای گونه انجیر (*Ficus microcarpa* L.fil.)، ۲۶ مگاپاسکال برای گونه زبان گنجشک یا ون (*Fraxinus excels* Thunb.)، ۲۷ مگاپاسکال برای گونه افرا (*Acer platanoides* L.) ، ۳۰ مگاپاسکال برای توسکا (*Alnus incana* (L.) Moench)، ۳۲ مگاپاسکال برای بلوط (*Quercus robur* L.) و ۳۸ مگاپاسکال برای گونه توس (*Betula pendula* Roth) اندازه‌گیری شد (۱۸).



شکل ۲- مقایسه مقاومت کششی ریشه گونه‌های مختلف درختی (a* حروف نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ رصد)
Figure 2. Comparison of root tensile strength of different tree species; a* letters indicate a significant difference in the probability level of 5%



شکل ۳- مقایسه میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر ریشه گونه‌های درختی
Figure 3. Comparison of cellulose, lignin, extracts and root ash of tree species

بررسی آزمایشگاهی میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر از ریشه ها نشان می‌دهد میزان لیگنین و سلولز در گونه‌های مختلف سهم متفاوتی را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که در بعضی گونه‌ها مانند راش، توسکا و انجیلی میزان لیگنین بالاتر از میزان سلولز و در بعضی گونه‌های دیگر مانند آزاد میزان سلولز بیشترین سهم را دارد. در برخی گونه‌های دیگر مانند بلوط و ممرز میزان لیگنین و سلولز تقریبا در شرایط مساوی قرار دارد. از نظر مواد استخراجی و خاکستر، گونه انجیلی نسبت به سایر گونه‌ها میزان مواد استخراجی بیشتر و گونه ممرز بیشترین سهم خاکستر را به خود اختصاص داده است.

با توجه به شکل های ۲ و ۳ می‌توان دریافت در گونه‌هایی نظیر راش و توسکا که مقادیر لیگنین آنها بیشتر از میزان سلولز و دیگر مواد استخراجی است، میانگین مقاومت کششی اندازه‌گیری شده از سایر گونه‌ها کمتر است. اما برای گونه‌هایی نظیر بلوط و ممرز که مقادیر سلولز ثبت شده آنها بیش از سایر گونه‌ها است میزان مقاومت کششی ثبت شده بیش از سایر گونه‌ها می‌باشد. در گونه انجیلی میزان لیگنین اندازه‌گیری شده بیش از سلولز است و مقاومت کششی آن نسبت به گونه‌های راش و توسکا بیشتر است. مقادیر بالای مواد استخراجی در این گونه نسبت به سایر گونه‌ها ممکن است دلیل افزایش مقاومت کششی باشد.

با توجه به مطالعات (۱۵،۳،۶،۱) اثبات شد که با افزایش قطر ریشه‌ها مقاومت کششی کاهش می‌یابد. اما این مطالعه با در نظر گرفتن قطرهای تقریبا یکسان بدنبال مقایسه گونه‌ها از نظر مقاومت کششی می‌باشد. آنچه که سبب تغییر در میزان مقاومت کششی ریشه گونه‌های مختلف می‌شود می‌تواند فاکتورهای ژنتیکی و مرتبط با خود درخت و یا متاثر از شرایط محیطی باشد. هاثاوی و پنی (۸) نشان دادند میزان لیگنین مخصوصا در شرایطی که رطوبت ریشه زیاد باشد تاثیر زیادی بر مقاومت کششی دارد و این موضوع در برخی مطالعات به اثبات رسیده است(۲۱). در این مطالعه توسکا و راش از جمله درختانی بودند که مقاومت کششی آن کمتر ثبت شد. این درختان مخصوصا درخت توسکا از جمله گونه‌هایی هستند که با رطوبت زیاد و خاک‌های هیدرومورف و محیط مرطوب مشکل زیادی ندارند. از طرف دیگر نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان داد این دو گونه لیگنین بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها دارند. در مجموع این موارد میتواند دلیلی بر کم بودن میزان مقاومت کششی گونه‌های راش و توسکا باشد. در مطالعه‌ای دیگر ثابت شد بین میزان سلولز ریشه و مقاومت کششی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد (۶). در نتایج این مطالعه نیز دیده میشود گونه‌هایی نظیر آزاد، بلوط و ممرز که سلولز بیشتری دارند به نسبت مقاومت کششی بیشتری را ثبت کرده‌اند. جنت و همکاران (۶) اظهار داشتند نسبت سلولز و لیگنین و همچنین تفاوت‌های درون گونه‌ای میتواند بر روی مقاومت کششی موثر باشد. سلولز از مواد پلیمری، زنجیرهای ساخته شده از واحدهای گلوکز که توسط پیوند هیدروژنی به هم متصل هستند، تشکیل شده است (۵). همچنین سلولز ساختاری مقاوم در برابر تنش دارد به دلیل ساختار میکروفیبریلار مسئول مقاومت در برابر کشش چوب است (۱۷،۲۰). مرفولوژی ریشه‌ها تحت تاثیر شرایط محیطی تغییر می‌کند و ترکیب شیمیایی ریشه بر مبنای مرفولوژی می‌تواند متفاوت باشد. از اینرو مقادیر سلولز و لیگنین در گونه‌های مختلف تحت تاثیر شرایط مختلف می‌تواند متغیر باشد. در مطالعه‌ای میزان مقاومت کششی درختان مسن‌تر کمی بیشتر اندازه‌گیری شد (۷). محققان این موضوع را ناشناخته دانسته و اظهار داشتند ممکن است به دلیل سلولز بیشتر در ریشه‌های درختان مسن باشد. در این مطالعه سعی شد از درختان جوان با قطرهای بین ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر برای نمونه‌گیری انتخاب شود. با این حال با توجه به دیرزیستی و رشد درختان مورد مطالعه درختانی با قطرهای مذکور میتوانند تفاوت سن زیادی داشته باشند. با توجه به نتایج مطالعه گونه انجیلی با داشتن میزان لیگنین بیشتر نسبت به سلولز، میانگین مقاومت کششی بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها (بجز بلوط) دارد. اما میزان واریانس آن زیاد است. چوب انجیلی از جمله چوب هایی بوده که دارای اعوجاج است و الیاف آن به دور خود می‌پیچد. در مطالعاتی ثابت شد زاویه میکروفیبریلار چوب ریشه می‌تواند سبب تغییر در مقاومت کششی شود (۹). دلیل بالا بودن مقاومت کششی ریشه درخت انجیلی ممکن است مرتبط با زاویه میکروفیبریلار باشد.

تحلیل تشخیص

با توجه به اینکه مقادیر متغییرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر ریشه بر میزان مقاومت کششی آن اثر می‌گذارد، از تحلیل چند متغیره تشخیص برای تعیین معنی‌داری مقادیر متغیرهای مزبور در بین سه گروه حاصل از نتایج مقادیر مقاومت کششی گونه‌ها و نیز تعیین درصد گونه هایی که بر مبنای متغیرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر ریشه درست طبقه‌بندی شدند استفاده شد.

نتایج این تحلیل نشان داد که کلیه متغیرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر ریشه در توابع تشخیص قرارگرفته که هرکدام در سطح خطای ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). این تحلیل نشان داد که با استفاده از چهار متغیر مذکور تعداد دو تابع تشخیص تشکیل شدند. میزان اهمیت توابع دوگانه بر مبنای سهم تبین واریانس آنها از تابع اول (۹۹/۹٪) تا به تابع دوم (۰/۱٪) به‌شدت کاهش می‌یابد (جدول ۲). تابع اول بر اساس متغییرهای سلولز و لیگنین با ضرایب همبستگی تطبیقی (Canonical Correlation) ۲۲/۹۷ و ۱۹/۶۵–درصد شکل گرفت (جدول ۳).

در نهایت جدول توافقی تحلیل تشخیص، صحت طبقه‌بندی پیش‌بینی‌شده تحلیل تشخیص بر مبنای متغییرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر را ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد (جدول ۴). درواقع عضویت‌پذیری مشابه مشاهدات در دو سری از گروه بندی یعنی گروه بندی حاصل از انالیز تحلیل تشخیص بر اساس داده های مقاومت کششی گونه ها با گروه‌های حاصله از تحلیل تشخیص که بر مبنای مقادیر عددی ۴ متغیر سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر گونه ها به عمل آمد معادل ۱۰۰ درصد است (شکل ۴). دراین ارتباط می‌توان بیان کرد که طبقه‌بندی تحلیل تشخیص بر مبنای بر مبنای مقادیر عددی ۴ متغیر سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر گونه‌ها مشابه طبقه‌بندی گونه بر اساس مقاومت کششی ریشه های آنها است.

جدول ۱- پارامترهای آماری متغیرهای واردشده در توابع تشخیص

Table 1. The Variables that entered in the discriminant analysis

متغییرها	آماره Wilks Lambda	مقدار p
لیگنین	۱۵/۳۹	۰/۰۰۰
خاکستر	۹/۸۶	۰/۰۰۰
سلولز	۱۱/۲۵	۰/۰۰۰
مواد مستخرجه	۶۴/۰۹	۰/۰۰۰

جدول ۲- خلاصه آماره‌های توابع تشخیص کانونی

Table 2. Summary of canonical discriminant functions

توابع تشخیص	مقدار ویژه	درصد تبیین واریانس	ضریب همبستگی کانونی	آماره Wilks Lambda	درجه آزادی	کای اسکویر	مقدار p
۱	۳۳۹/۴۳	۹۹/۹	۰/۹۹	۰/۰۰۲	۸	۸۳/۹۰	۰/۰۰۰
۲	۰/۴۷	۰/۱	۰/۵۶	۰/۶۸۱	۳	۵/۱۹	۰/۱۶

جدول ۳- ماتریس ضرایب کانونی استاندارد شده متغییرها در توابع تشخیص

Table 3. Standardized canonical discriminant function coefficients

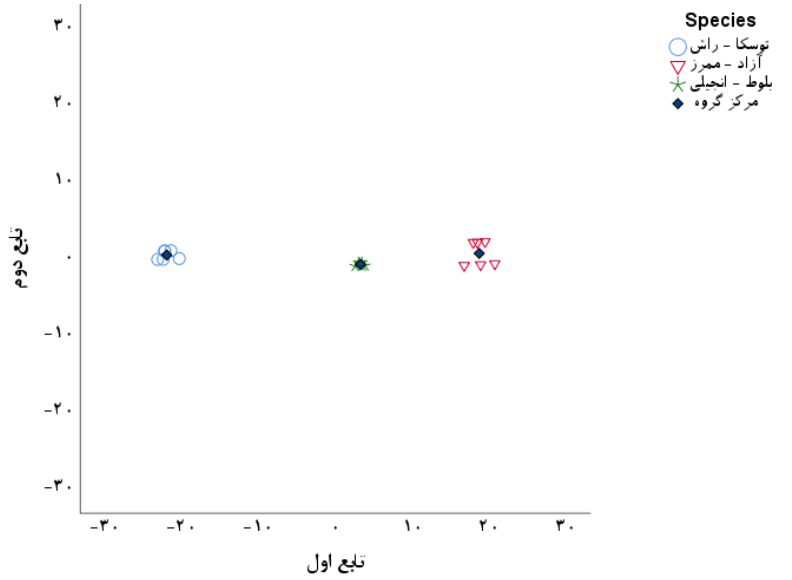
متغییرها	توابع تشخیص	
	تابع ۱	تابع ۲
سلولز	۲۲/۹۷	۱/۶۴
لیگنین	−۱۹/۶۵	−۰/۶۰
مواد مستخرجه	−۹/۳۵	۰/۲۱
خاکستر	۶/۰۵	۰/۳۲

جدول ۴- جدول عضویت پذیری مشاهدات و صحت طبقه‌بندی مقاومت کششی ریشه گونه ها در تجزیه واریانس یکطرفه

Table 4. Predicted group membership of discriminant analysis

گونه های طبقه‌بندی‌شده بر اساس مقاومت کششی ریشه آنها در تجزیه واریانس یکطرفه	گونه های طبقه بندی پیش‌بینی‌شده تحلیل تشخیص بر مبنای متغییرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر			تعداد رولوه‌ها	درصد انطباق
	توسکا–راش	آزاد–ممرز	بلوط–انجیلی		
توسکا–راش	۶	۰	۰	۶	۱۰۰
آزاد–ممرز	۰	۶	۰	۶	۱۰۰
بلوط–انجیلی	۰	۰	۶	۶	۱۰۰

میانگین درصد انطباق= ۱۰۰٪



شکل۴- نمودار دوگانه تحلیل تشخیص گروه‌های حاصله بر اساس مقادیر عددی متغیرهای سلولز، لیگنین، مواد مستخرجه و خاکستر گونه‌ها

Figure 4. Canonical discriminant function of groups based on variables cellulose, lignin and species ash

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی مطالعه و اندازه‌گیری شاخص‌های ریشه‌ای می‌تواند کمک شایانی به علوم زیست‌مهندسی خاک نماید. در ایران اطلاعات جامعی در مورد این شاخص‌ها وجود ندارد و به‌صورت پراکنده در مطالعات مختلف به آن پرداخته شد. بنابراین پرداختن به این موضوعات و ارائه پیشنهادات با توجه به نتایج مطالعات می‌تواند نقش موثری در پیشبرد اهداف مهندسی جنگل داشته باشد. با توجه به نتایجی که در این مطالعه بدست آمده است مواد تشکیل‌دهنده ریشه بخصوص میزان سلولز و لیگنین تاثیر مستقیمی بر مقاومت کششی ریشه دارد. افزایش لیگنین سبب کاهش مقاومت کششی و افزایش سلولز سبب افزایش مقاومت کششی می‌شود. باید در نظر داشت که مواد تشکیل‌دهنده ریشه فقط می‌تواند کمکی در راستای شناسایی گونه هایی با مقاومت کششی بالا باشد و شاید گونه‌ای مثل توسکا که مقاومت کششی کمتری نسبت به سایر گونه‌ها دارد می‌تواند در شرایط هیدرومورف خاک بسیار موثرتر عمل نماید. بنابراین در مسئله انتخاب گونه مناسب باید به جنبه‌های مختلف توجه شود. توجه به آنالیز تحلیل تشخیص و گروه بندی گونه‌ها با در نظر گرفتن چند عامل می‌تواند به محققان در تصمیم‌گیری کمک زیادی نماید.

با نگاه مختصر به گونه‌هایی که تشکیل یک گروه را داده‌اند می‌توان دریافت میزان لیگنین، سلولز و سایر مواد استخراجی از آن‌ها ممکن است متاثر از محیط رشد ریشه‌ها باشد. بطوریکه میزان رطوبت، نورپسند بودن گونه، شرایط تغذیه‌ای، نوع خاک و مدل ریشه دوانی می‌تواند از عوامل موثر باشد که برای اثبات نیاز به مطالعات بیشتری دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده به عوامل یاد شده توجه شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای انجام طرح پژوهشی با کد ۰۶-۱۴۰۰-۰۴ تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1. Abdi, E., B. Majnounian, M. Genet and H. Rahimi. 2010. Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (Parrotia persica) on slope stability; a case study: Hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran. Ecological Engineering, 36: 1409-1416.
2. Baets, S.D., J. Poesen, B. Reubens, K. Wemans, J. De Baerdemaeker and B. Muys. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant and soil, 305(1-2): 207-226.
3. Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia, T. Simonato, B. Speziali, B. Vitali, P. Vullo and A. Zocco. 2005. Root strength and root area of forest species in Lombardy (Northern Italy). Plant Soil, 278: 11-22.
4. Commandeur, P.R. and M.R. Pyles. 1991. Modulus of elasticity and tensile strength of Douglas-fir roots. Canadian journal of forest research, 21(1): 48-52.
5. Delmer, D.P. and Y. Amor. 1995. Cellulose biosynthesis. The Plant Cell, 7(7): 987-992.
6. Genet, M., N. Kokutse, A. Stokes, T. Fourcaud, X. Cai, J. Ji and S. Mickovski. 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: 1517-1526.
7. Genet, M., A. Stokes, F. Salin, S.B. Mickovski, T. Fourcaud, J.F. Dumail and R. Van Beek. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. Plant and soil, 278(1-2): 1-9.
8. Hathaway, R.L. and D. Penny.1975. Root strength in some Populous and Salix clones. New Zeal Journal Bot, 13: 333-343.
9. Kerstens, S., W.F. Decraemer and J.P. Verbelen. 2001. Cell walls at the plant surface behave mechanically like fiber reinforced composite materials. Plant Physiology, 127: 381-385.
10. Leavitt, S.W. and S.R. Danzer. 1993. Method for batch processing small wood samples to holocellulose for stable-carbon isotope analysis. Annals of Chemistry, 65: 87-89.
11. 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.
12. Naghdi, R., S. Maleki, E. Abdi, R. Mousavi and M. Nikooy. 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.
13. Niklas, K.J. 1992. Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function. University of Chicago press.
14. Nilaweera, N.S. and P. Nutalaya. 1999. Role of tree roots in lope stabilization. Bulletin on Engineering Geology and the Environment, 57: 337-342.
15. Operstein, V. and S. Frydman. 2000. The influence of vegetation on soil strength. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 4(2): 81-89.
16. Pollen, N. 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of stream banks: accounting for soil shear strength and moisture. Catena, 69(3): 197-205.
17. Sjostrom, E. 1993. Wood Chemistry Fundamentals and Applications. Second Edition Academic Press Inc, San Diego, 293 pp.
18. Stokes, A. 2002. Biomechanics of tree root anchorage. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (Eds.), Plant Roots: The Hidden Half. Marcel Dekker, Inc., New York, 175-186 pp.
19. Turmanina, V. 1965. On the strength of tree roots. Bull. Moscow Soc. Naturalists, Biol. Sec., 70: 36-45.
20. Zhang, Ch., L. Chen and J. Jiang. 2014. Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability. Geomorphology, 206: 196-202.
21. Zhang, Ch., X. Zhoua, J. Jiang, Y. Wei. and J. Ma. 2018. Root moisture content influence on root tensile tests of herbaceous plants. Catena, 172: 140-147.
22. Zhu, J., Y. Wang, Y. Wang, Zh. Mao and E.J. Langendoen. 2020. How does root biodegradation after plant felling change root reinforcement to soil? Plant and Soil, 446: 79-94.

The Effect of Cellulose and Lignin Content on Tensile Strength of Tree Species

Mehran Nasiri[1], Hamed Asadi[2] and Hassan Sharifi[3]

1- Assistant Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding Author: m.nasiri@sanru.ac.ir)
2- Assistant Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 7 July, 2021 Accepted: 28 November, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: The root of trees is one of the most important living materials for stabilizing and reinforcing the cut and fill slopes of forest road. This study was conducted to investigate the tensile strength of tree species according to changes in lignin, cellulose and root extracts content.

Material and Methods: Darabkola forest in the southeast of Sari-Iran was selected for this study. To determine the tensile strength of tree roots, root samples from tress including the beech, hornbeam, alder, Zelkova *carpinifolia*, Persian Ironwood and oak were collected by soil profile trenching method and then the test of tensile strength was performed. The amount of lignin, cellulose and ash for the roots of different tree species was also measured in the laboratory. One-way anova was used to compare the means of roots tensile strength and also multivariate analysis was used to classification of species based on cellulose, lignin, ash and other extracts content.

Results: The results showed that in beech, alder and Persian Ironwood, the measured rates of lignin were higher than cellulose levels. While in the Zelkova *carpinifolia*, the amount of cellulose was higher than others parameters, in beech and alder species (with higher lignin rate) the means of tensile strength was recorded less than other species, and for oak and hornbeam with higher cellulose levels, tensile strength was recorded higher than other species. The results of multivariate analysis based on tensile strength and numerical values of root decomposition showed three groups with high adaptability percentage (alder-beech, hornbeam-Zelkova *carpinifolia* and Persian Ironwood-oak).

Conclusion: According to the results, investigating the amount of lignin and cellulose in roots of different species as well as discriminant analysis with consideration of different factors can be a scientific method to select best species for soil bioengineering projects.

Keywords: Bioengineering, Environmental factors, Root, Slope stability, Soil stabilization