



## تأثیر پدیده زوال بلوط بر ویژگی‌های مکانیکی ریشه درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.)

اسما محمدراد<sup>۱</sup>، احسان عبدی<sup>۲\*</sup>، مهدی پورهاشمی<sup>۳</sup>، باریس مجنونیان<sup>۴</sup> و آزاده دلجویی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۳</sup> دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران  
<sup>۴</sup> استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۵</sup> دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۰)

### چکیده

در بین اجزای مختلف پوشش گیاهی، سیستم ریشه در فرایند مسلح‌سازی خاک و جلوگیری از فرسایش نقش مهمی دارد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر پدیده زوال بلوط بر ویژگی‌های مکانیکی ریشه درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) در بخشی از جنگل‌های دینارکوه استان ایلام بود. ابتدا با توجه به دامنه پراکنش قطری درختان منطقه، دو طبقه کم‌قطر (۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متر) و قطور (۳۵ تا ۵۵ سانتی‌متر) تفکیک و در هر طبقه پنج درخت در سه تیمار درختان سالم، زوال متوسط و زوال شدید به صورت تصادفی انتخاب شدند. از هر درخت تعدادی نمونه ریشه با حفر خاک (عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر) در نزدیکی درخت جمع‌آوری شد و سپس در آزمایشگاه، آزمایش‌های کششی ریشه انجام گرفت. نتایج نشان داد که رابطه قطر ریشه-نیروی کششی به صورت توانی مثبت و رابطه قطر ریشه-مقاومت کششی به صورت توانی منفی بود. نتایج آنالیز کوواریانس میانگین نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه در درختان کم‌قطر نشان داد که نیرو و مقاومت کششی ریشه بین سه تیمار مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نداشت، درحالی‌که در درختان قطور، نیروی کششی و مقاومت ریشه در درختان سالم به‌طور معنی‌داری بیشتر از درختان با زوال شدید بود. بر اثر زوال، نیروی کششی ریشه درختان در تیمار زوال شدید نسبت به درختان سالم ۱۱/۳ درصد در طبقه کم‌قطر و ۲۲/۷ درصد در طبقه قطور کاهش یافته بود. همچنین، مقادیر یادشده در مورد مقاومت کششی حاکی از کاهش به ترتیب ۱۳/۴ و ۱۹/۷ درصدی بود. یافته‌های این پژوهش، سبب آگاهی بهتر در مقابل خطر فرسایش خاک در قسمت‌های زوال‌یافته بوم‌سازگان زاگرس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زاگرس، فرسایش خاک، مسلح‌سازی خاک، مقاومت کششی، نیروی کششی.

### مقدمه

یکی از راهکارهای همگام با طبیعت و مقرون‌به‌صرفه، استفاده از پوشش گیاهی است. پوشش گیاهی در عرصه‌های شیب‌دار در فرایند تثبیت، مسلح‌سازی خاک و جلوگیری از فرسایش نقش مهمی دارد و موجب بهبود پایداری دامنه می‌شود (Abdi & Deljouei; 2019).

درک نقش گیاهان و پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک و پایدارسازی دامنه‌ها بسیار ضروری است. چنین ناپایداری‌هایی تهدیدی جدی برای بشر و فعالیت‌های وی به‌شمار می‌آید. برای کنترل فرسایش،

ایرانی-تورانی (Abdi et al., 2019)، صحارا-سندی (Keybondori et al., 2018)، زاگرس (Kazemi et al., 2014; Salimi Zand et al., 2017) و ارسباران نیز موجود است.

زوال جنگل از مهم‌ترین بلاهای طبیعی است که جزئی مهم در بوم‌سازگان و از پدیده‌های شایع در طبیعت به‌شمار می‌آید. خشکیدگی و تهدید سلامت جنگل‌ها که به‌طور عام زوال نامیده می‌شود، حاصل تأثیر متقابل عامل‌هایی همچون اقلیم به‌ویژه وقوع خشکسالی و یخبندان‌های زود هنگام، سن درختان و کیفیت رویشگاه است (Pourhashemi et al., 2017; Pourhashemi & Sadeghi, 2020). در سال‌های اخیر (به‌طور تقریبی از سال ۱۳۸۰)، بوم‌سازگان‌های جنگلی زاگرس تحت تأثیر پدیده زوال یا خشکیدگی قرار گرفته است، هرچند این پدیده در دیگر نقاط جهان به‌ویژه جنگل‌های بلوط اروپا سابقه طولانی دارد (Pourhashemi et al., 2017). این پدیده در یک دهه گذشته معضل اصلی جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس بوده است (Pourhashemi & Sadeghi, 2020) و تا به امروز جنبه‌های متعددی از این پدیده مانند ارتباط زوال با نوع گونه (Mahdavi et al., 2015)، آفت و بیماری‌شناسی زوال (Ghanbary et al., 2018)، تأثیر زوال بر کارکرد درختان (Hosseini, 2015) و تأثیر تغییر اقلیم بر زوال درختان در زاگرس (Attarod et al., 2016) بررسی شده است.

در مورد پدیده زوال جنگل و جنبه‌های مختلف آن مطالعات مختلفی در داخل و خارج کشور انجام گرفته، اما تاکنون پژوهشی درباره تأثیر زوال جنگل و درجات مختلف زوال درختان بر سیستم ریشه درختان صورت نگرفته است. هرچند در اروپا در خصوص تأثیر قطع درختان بر سیستم ریشه چندین پژوهش انجام گرفته است (Vergani et al., 2014). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که به‌صورت زنجیروار، قطع یا افتادن درخت سبب ایجاد تغییرات زیر می‌شود: ۱. تغییر رژیم دمایی و رطوبتی، ۲. افزایش یا کاهش مواد غذایی در

پوشش گیاهی مانند یک لایه حفاظتی میان خاک و عوامل طبیعی که موجب فرسایش و حرکات توده‌ای می‌شود، عمل می‌کند و از طریق افزایش چسبندگی ذرات خاک و کاهش رطوبت خاک، به‌طور معنی‌داری سبب بهبود پایداری شیب و تثبیت دامنه‌ها در برابر فرسایش می‌شود (Moresi et al., 2019). پوشش گیاهی از طریق تأثیر بر فرایندهای اکوهیدرولوژیک (مانند توزیع اجزای باران، تبخیر تعرق، رواناب و نفوذ آب باران به خاک) سبب تغییر در رطوبت خاک می‌شود (Cleophas et al., 2017; Sadeghi et al., 2020) در نتیجه بر پایداری شیب و تثبیت دامنه‌ها در برابر فرسایش اثرگذار است. از بین اجزای مختلف پوشش گیاهی، ریشه‌ها تأثیرگذاری بیشتری در پایداری دامنه‌ها و تثبیت خاک دارند. تأثیر ریشه‌ها در درختان نسبت به درختچه‌ها و پوشش‌های علفی به‌دلیل وجود سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر و توسعه‌یافته‌تر در خاک بیشتر مشاهده می‌شود (Abdi, 2018). ریشه‌های چوبی بزرگ و قوی با ایجاد لنگر سبب افزایش استحکام و ثبات درخت می‌شوند و ریشه‌های نازک با افزایش چسبندگی و در نتیجه افزایش مقاومت برشی خاک (به‌دلیل نفوذ فیبرهای ریشه درون ماتریس خاک)، سبب افزایش پایداری دامنه‌ها و تثبیت خاک می‌شوند (Moresi et al., 2019).

در پژوهش‌های مربوط به ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه‌ها، ویژگی‌های مکانیکی و پراکنش ریشه‌ها بررسی می‌شود. مهم‌ترین ویژگی‌های مکانیکی ریشه عبارت‌اند از: پارامترهای نیروی گسیختگی و مقاومت کششی ریشه. این پارامترها در بسیاری از مدل‌های مسلح‌سازی و پایداری خاک به‌کار می‌روند (Deljouei et al., 2018; Abdi et al., 2019). در داخل کشور، درباره ویژگی‌های مکانیکی ریشه‌ها، بیشتر پژوهش‌ها بر گونه‌های جنگلی شمال کشور متمرکز شده (برای مثال Abdi et al., 2009, 2010; Naghdi et al., 2013; Deljouei et al., 2018, 2019; Abdi, 2018; Abdi & Deljouei, 2020)؛ هرچند اطلاعات اندکی درباره اکوسیستم‌های جنگلی

استان محسوب می‌شوند. برای این پژوهش، به منظور یافتن منطقه مناسب در اواخر خرداد ۱۳۹۷، جنگل گردشی‌های لازم انجام گرفت و منطقه دینارکوه آبدانان و منطقه‌ای با وسعت ۹۸ هکتار بررسی و انتخاب شد. شیب عمومی منطقه در حدود ۲۰ درصد و جهت غالب جنوبی بود. توده مورد نظر شامل دامنه‌ای از درختان سالم جوان تا خشکه‌دارهاست. در منطقه تحت بررسی، گونه بلوط ایرانی و زالزالک دیده می‌شود. به دلیل تخریب اندک در اثر توسعه زیرساخت‌ها در منطقه، نشانه‌هایی از حرکات توده‌ای مشهود نیست. منطقه حفاظت‌شده دینارکوه، منطقه‌ای کوهستانی از سلسله کوه‌های زاگرس است که در دامنه ارتفاعی ۸۰۰ تا ۱۹۵۵ متر از سطح دریا قرار دارد. براساس آمار هواشناسی ایستگاه آبدانان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۳ ثانیه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۸۷۵ متر)، مقدار بارندگی سالانه منطقه ۲۹۲ میلی‌متر است. حدود ۵۰ درصد بارندگی‌ها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. دمای متوسط سالانه هوا نیز ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد است. نوع خاک منطقه کلاسه ML در سیستم یونیفاید بود. از نظر زمین‌شناسی، قسمت اعظم منطقه حفاظت‌شده دینارکوه در محدوده ساختمانی زاگرس چین‌خورده قرار دارد و از رسوبات پالئوزوییک و مزوزوییک تشکیل شده است (Mirzad et al., 2014). قسمت اعظم منطقه حفاظت‌شده دینارکوه در محدوده ساختمانی زاگرس چین‌خورده قرار دارد. این واحد با جهت عمومی شمال غرب- جنوب شرقی از رسوبات پالئوزوییک و مزوزوییک به‌طور منظم روی هم تشکیل شده است. چینه‌شناسی زاگرس در ایلام نشان می‌دهد که فرایند رسوب‌گذاری اینفراکامبرین به بعد به‌صورت پلاتفرم پوششی زیربنای زمین‌شناسی منطقه را تشکیل داده است.

#### شیوه اجرای پژوهش

#### انتخاب درختان

دسترس درختان از طریق کاهش لاشبرگ و فعالیت‌های میکروبی خاک و ۳. تغییر در مقاومت سیستم ریشه. برای نمونه، (Schmidt et al. (2001) با بررسی ۱۲ گونه پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل‌های آمریکا به این نتیجه رسیدند که با مرگ درختان، از تراکم و مقاومت کششی ریشه‌ها کاسته می‌شود و در نتیجه، پایداری خاک در اطراف درختان کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر بر روی گونه سوزنی‌برگ *Pinus radiata* در کشور نیوزلند، (Watson et al. (1999) به این نتیجه رسیدند که ریشه‌های درختان بهره‌بردار شده تا حداکثر شش سال پس از قطع، می‌تواند خاک را مسلح‌سازی کند. بنابراین، بررسی تأثیر زوال جنگل بر ویژگی‌های مکانیکی ریشه، سبب شناخت بیشتر تأثیر این پدیده بر تغییرات مقدار مسلح‌سازی خاک و در نتیجه وضعیت حساسیت به فرسایش و پایداری دامنه‌ها خواهد شد. با بررسی ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه، می‌توان میزان مسلح‌سازی و تثبیت خاک توسط ریشه را در درختان زوال‌یافته در شدت‌های مختلف زوال بررسی و مقایسه کرد. همچنین نتایج مطالعه می‌تواند در تجزیه و تحلیل پایداری شیب برای بهبود فن‌های زیست‌مهندسی خاک و از سوی دیگر در مسائل پیشگیری از زمین‌لغزش‌های سطحی و فرسایش خاک به کار رود؛ بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر پدیده زوال بر ویژگی‌های مکانیکی ریشه‌ها در شدت‌های مختلف زوال درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) است.

#### مواد و روش‌ها

#### منطقه پژوهش

استان ایلام با وسعت ۲۰۱۵۰ کیلومتر مربع، از نظر وسعت بیست و دومین استان کشور به‌شمار می‌آید که بیش از ۷۰ درصد آن کوهستانی است. مهم‌ترین و وسیع‌ترین پوشش جنگلی استان را جامعه برودار تشکیل می‌دهد. بنه، زالزالک، بادام کوهی، کهورک، کنار، ارژن، کیکم و ارغوان از دیگر گونه‌های جنگلی

توپوگرافی، دارای شرایط تقریباً یکسانی باشد.

### ویژگی‌های مکانیکی ریشه

برای اجرای آزمایش نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه‌ها، از هر درخت تعدادی نمونه ریشه با حفر خاک در نزدیکی درخت (حداکثر فاصله یک متر) و از عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری در سمت بالا (بیشترین تنش قابل انتظار حاصل از سربار درختان) در تاریخ ۸ تا ۱۱ آبان‌ماه ۱۳۹۷ تهیه شد. تیماری که به منظور نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌های ریشه استفاده شد، شامل شست‌وشوی ریشه‌ها و اسپری الکل ۱۵ درصد بر آنها و سپس قرار دادن آنها در کیسه‌های پلاستیکی بود. آزمایش‌های کشش با دستگاه سنتام استاندارد ساخت ایران (STM5) با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه در آزمایشگاه مهندسی جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، در کرج انجام گرفت. دقت اندازه‌گیری دستگاه برای نیرو  $\pm 0/001$  نیوتن و جابه‌جایی در واحد طول  $\pm 0/0001$  میلی‌متر بود. بیشینه نیروی لازم برای گسیخته شدن ریشه‌ها و مقدار جابه‌جایی با استفاده از دستگاه سنتام استاندارد اندازه‌گیری شد. پیش از آزمایش، نمونه ریشه‌ها به طول ۱۵ سانتی‌متر با استفاده از سیم‌چین تیز بریده شد و با اندازه‌گیری قطر ریشه در سه قسمت، قطر متوسط آنها به دست آمد. با تقسیم نیروی لازم برای گسیختن ریشه به سطح مقطع ریشه، مقاومت کششی ریشه‌ها محاسبه شد. نمونه‌هایی که گسیختگی از محل نزدیک فک دستگاه رخ می‌داد، قابل قبول نبود و نتایج آنها حذف شد. شایان ذکر است که برای بررسی نیروی کششی و مقاومت ریشه، پنج درخت در هر تیمار بررسی شد و در هر تیمار، دست‌کم ۳۰ نمونه صحیح مربوط به ویژگی‌های مکانیکی ریشه ثبت و اندازه‌گیری شد (Deljouei et al., 2018, 2020; Abdi & Deljouei, 2019; Abdi et al., 2019). در کل، تعداد ۹۷۵ آزمایش موفق کشش ریشه انجام گرفت.

پس از جنگل‌گردشی‌های متمادی در منطقه دینارکوه، منطقه‌ای انتخاب شد که از نظر شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، همگن بود. از آنجا که اولین نشانه‌های پدیده زوال در درختان که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است، تاج درخت است، بنابراین نشانه‌های بروز پدیده زوال برودار در زاگرس را نیز می‌توان در وضعیت تاج درختان بررسی کرد (Hosseinzadeh & Pourhashemi, 2015). در این پژوهش از طبقه‌بندی زوال درختان که توسط فانو ارائه شده است (Lakatos et al., 2014)، استفاده شد که بدین شرح است: ۱. درختان سالم: حداکثر ۱۰ درصد تاج دچار خشکیدگی است؛ ۲. زوال ضعیف: خشکیدگی تاج بین ۱۰ تا ۲۵ درصد است؛ ۳. زوال متوسط: خشکیدگی تاج بین ۲۵ تا ۶۰ درصد است؛ ۴. زوال شدید: ۶۰ تا ۹۹/۹ درصد تاج درخت خشکیده است و ۵. خشکه‌دار: ۱۰۰ درصد تاج درخت خشک شده است.

به منظور نمونه‌برداری، ابتدا دامنه قطری (حد بالا و پایین) درختان برودار در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. با توجه به اینکه دامنه قطری درختان موجود بین ۱۵ تا ۵۵ سانتی‌متر بود، دو طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متری شامل درختان کم‌قطر (۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متر) و درختان قطور (۳۵ تا ۵۵ سانتی‌متر) تفکیک شدند. سپس در هر طبقه قطری، سه تیمار شامل درختان سالم، درختان با زوال متوسط و درختان با زوال شدید انتخاب شدند. برای هر تیمار، ۱۵ درخت مشخص و شماره‌گذاری شد که به‌طور تصادفی پنج درخت از بین آنها انتخاب و نمونه‌برداری‌های ریشه از آنها انجام گرفت. بنابراین، تعداد کل درختان نمونه این پژوهش ۳۰ درخت برودار بود (دو طبقه قطر برابر سینه  $\times$  سه طبقه زوال تاج  $\times$  پنج پایه درخت). تمامی درختان مورد بررسی در شیب (۱۵ تا ۲۰ درصد) و جهت دامنه (جنوبی) مشابه قرار داشتند و دامنه ارتفاع از سطح دریای درختان نیز بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بود تا نمونه‌برداری از هر سه تیمار، از نظر ویژگی‌های

**روش تحلیل**

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای بررسی وجود یا نبود اختلاف معنی‌دار مقاومت و نیروی کششی ریشه در تیمارهای مختلف، از آنالیز کوواریانس (با در نظر گرفتن قطر ریشه‌ها به‌عنوان عامل کوواریت) و در صورت معنی‌دار بودن از اختلافات از آزمون LSD استفاده شد. تمامی

تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

**نتایج**

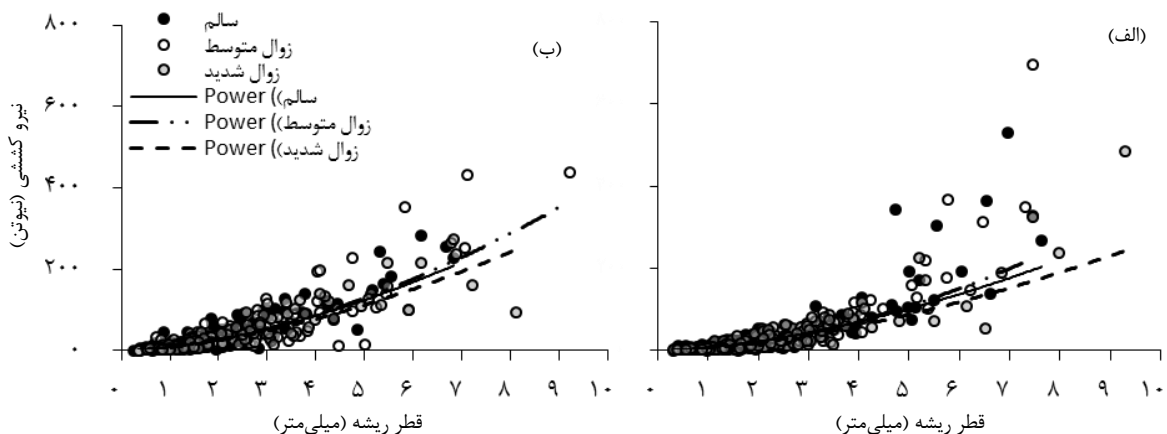
اطلاعات توصیفی ریشه‌های آزمایش‌شده در جدول ۱ آمده است. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد تا حد ممکن ریشه‌های تیمارهای مختلف در دامنه یکسانی قرار داشته باشند.

جدول ۱- اطلاعات توصیفی قطر (میلی‌متر)، نیروی کششی (نیوتن) و مقاومت کششی (مگاپاسکال) ریشه‌های آزمایش‌شده

طبقه قطری	تیمار	کمینه			میانگین			بیشینه	
		قطر	نیروی کششی	مقاومت کششی	قطر	نیروی کششی	مقاومت کششی	نیروی کششی	مقاومت کششی
کم‌قطر	سالم	۰/۲۶	۰/۷۰	۰/۷۹	۱/۸۷	۳۵/۵۶	۱۱/۶۰	۲۸۴/۳۰	۷۵/۱۸
	زوال متوسط	۰/۳۵	۰/۹۰	۰/۷۰	۲/۲۳	۳۹/۸۲	۸/۷۴	۴۳۸/۴۰	۲۷/۲۷
	زوال شدید	۰/۴۸	۱/۱۰	۲/۰۷	۲/۰۴	۵۸/۵۳	۱۲/۷۶	۶۵۴/۹۰	۳۱/۱۹
قطور	سالم	۰/۳۲	۰/۹۰	۰/۹۹	۱/۹۹	۳۷/۵۴	۹/۶۴	۵۲۸/۲۰	۹۰/۹۹
	زوال متوسط	۰/۳۳	۰/۹۰	۱/۲۲	۲/۱۵	۴۰/۹۵	۷/۷۹	۶۹۵/۴۰	۳۱/۵۸
	زوال شدید	۰/۳۲	۱/۷۰	۱/۰۷	۲/۰۲	۲۹/۵۶	۷/۷۹	۴۸۴/۵۰	۲۸/۲۳

نتایج آزمایش کششی ریشه نشان داد که بین قطر و نیروی کششی ریشه در درختان کم‌قطر و قطور رابطه توانی مثبت برقرار است (شکل ۱ و جدول ۲).

در رابطه توانی ارائه شده در جدول ۱،  $\beta$  مقدار افزایش نیرو به‌زای افزایش قطر و  $\alpha$  به‌عنوان ضریب اندازه شناخته می‌شود.



شکل ۱- رابطه نیروی کششی و قطر ریشه در درختان برودار قطور (الف) و کم‌قطر (ب) در تیمارهای بررسی‌شده

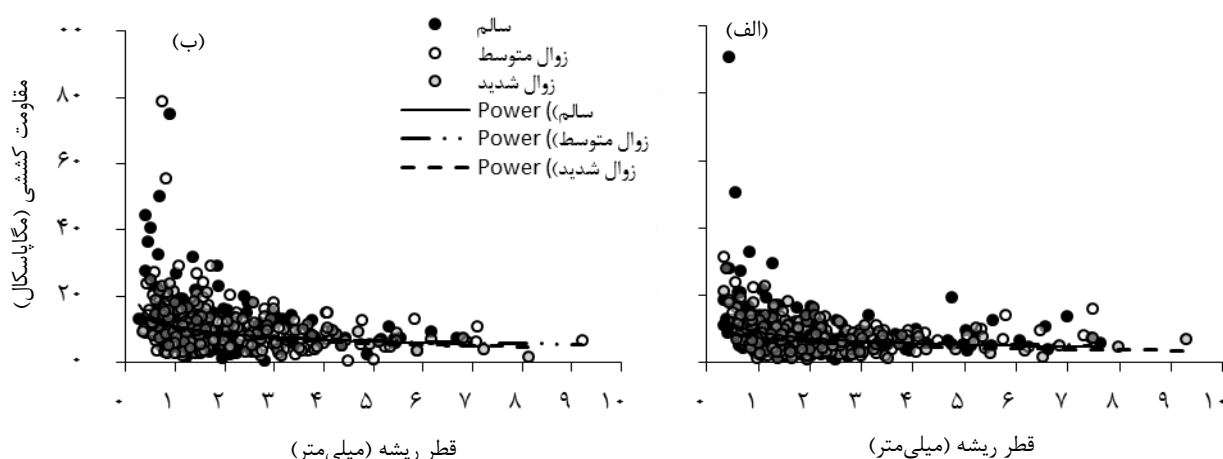
جدول ۲- ضریب‌های  $\alpha$ ،  $\beta$  و تبیین (R) حاصل از معادله توانی در رابطه قطر ریشه-نیروی کششی و قطر ریشه-مقاومت

کششی در طبقات قطری کم قطر و قطور در تیمارهای بررسی شده

نوع رابطه	مقاومت کششی			نوع رابطه	نیروی کششی			تیمار	طبقه قطری
	R <sup>2</sup>	β	α		R <sup>2</sup>	β	α		
توانی منفی	۰/۱۱	-۰/۳۴	۱۱/۰۴	توانی مثبت	۰/۷۵	۱/۶۶	۸/۷۵	سالم	کم قطر
توانی منفی	۰/۰۹	-۰/۲۹	۱۰/۵۶	توانی مثبت	۰/۷۷	۱/۷۱	۸/۲۸	زوال متوسط	
توانی منفی	۰/۲۱	-۰/۳۷	۱۰/۳۸	توانی مثبت	۰/۸۴	۱/۶۳	۸/۱۵	زوال شدید	
توانی منفی	۰/۱۳	-۰/۳۳	۹/۰۲	توانی مثبت	۰/۷۷	۱/۶۴	۷/۲۴	سالم	قطور
توانی منفی	۰/۰۵	-۰/۱۹	۷/۴۴	توانی مثبت	۰/۸۲	۱/۸۱	۵/۸۴	زوال متوسط	
توانی منفی	۰/۱۲	-۰/۳۶	۷/۹۱	توانی مثبت	۰/۷۵	۱/۶۵	۶/۲۱	زوال شدید	

کششی ریشه براساس تابع توانی منفی کاهش می‌یافت (شکل ۲).

نتایج نشان داد که در دو طبقه قطری و در همه تیمارهای بررسی شده، با افزایش قطر ریشه، مقاومت



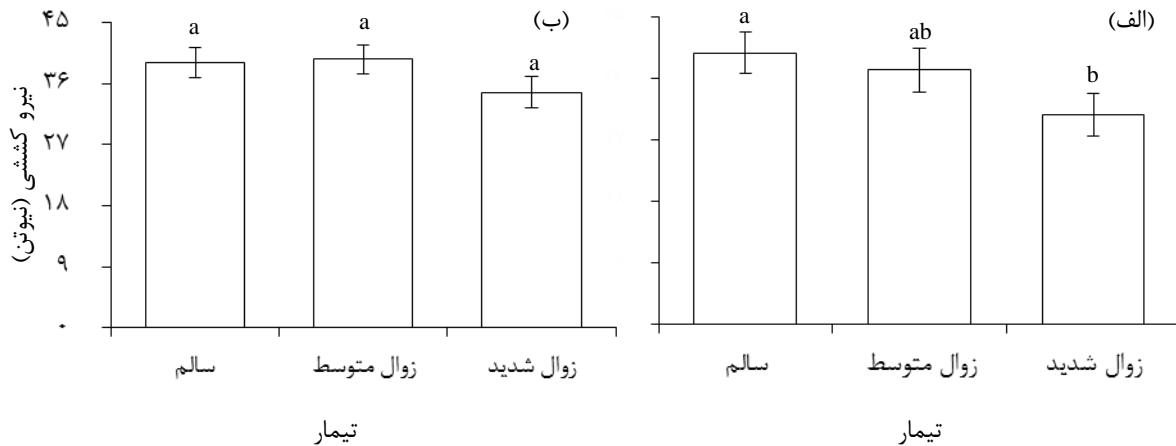
شکل ۲- رابطه مقاومت کششی و قطر ریشه در درختان برودار قطور (الف) و کم قطر (ب) در تیمارهای بررسی شده

توصیفی است، بدون لحاظ تفاوت‌های قطر ریشه).  
 آنالیز کوواریانس میانگین نیروی کششی ریشه در درختان کم قطر نشان داد که نیروی کششی ریشه بین سه تیمار درختان سالم، زوال متوسط و زوال شدید اختلاف معنی‌داری نداشت، درحالی‌که در درختان قطور، نیروی کششی ریشه در درختان سالم به‌طور معنی‌داری بیشتر از درختان با زوال شدید بود ( $F=2/25$ ;  $P<0/05$ ). میانگین نیروی کششی ریشه در درختان کم قطر سالم، زوال متوسط

نتایج نیروی کششی ریشه در درختان طبقه کم قطر نشان داد که کمینه نیروی کششی در تیمارهای سالم، زوال متوسط و زوال شدید به‌ترتیب ۰/۷۰، ۰/۹۰ و ۱/۵۰ نیوتن و در درختان قطور به‌ترتیب ۰/۹۰، ۰/۹۰ و ۱/۷۰ نیوتن بود. همچنین، بیشینه نیروی کششی ریشه در درختان کم قطر سالم ۲۸۴/۳۰ نیوتن، زوال متوسط ۴۳۸/۴۰ نیوتن و زوال شدید ۲۷۵/۰۰ نیوتن بود. مقادیر یادشده در درختان قطور به‌ترتیب ۵۲۸/۲۰، ۶۹۵/۴۰ و ۴۸۴/۵۰ نیوتن بود (آمارها

نیوتن به دست آمد (شکل ۳).

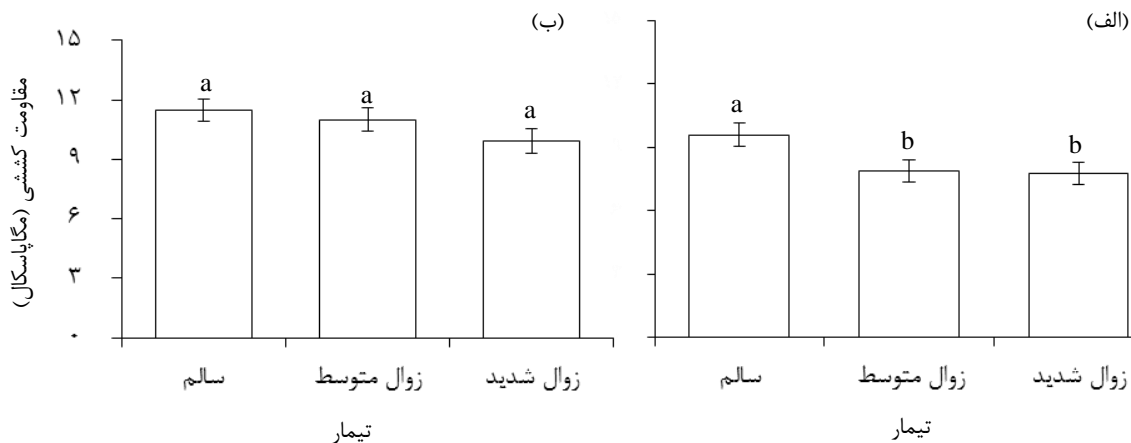
و زوال شدید به ترتیب ۳۹/۵۴، ۳۹/۰۷، ۳۴/۶۶ نیوتن و در درختان قطور به ترتیب ۳۹/۷۳، ۳۷/۲۱ و ۳۰/۷۱



شکل ۳- تغییرات میانگین نیروی کششی ریشه درختان قطور (الف) و کم قطر (ب) در تیمارهای بررسی شده. حروف متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن اختلاف در تیمارهای مختلف است. بارها نشان دهنده خطای معیار میانگین در هر تیمار است.

۳۱/۵۸ مگاپاسکال و زوال شدید ۱/۰۷ و ۲۸/۲۳ مگاپاسکال به دست آمد. میانگین مقاومت کششی ریشه در درختان کم قطر سالم، زوال متوسط و زوال شدید به ترتیب ۱۱/۴۵، ۱۱/۰۱، ۹/۹۲ مگاپاسکال و در درختان قطور به ترتیب ۹/۵۹، ۷/۸۸ و ۷/۷۶ مگاپاسکال بود (شکل ۴).

در درختان طبقه قطری کم قطر، کمینه و بیشینه مقاومت کششی ریشه در درختان سالم ۰/۷۹ و ۷۵/۱۸ مگاپاسکال، زوال متوسط ۰/۷۰ و ۷۸/۸۸ مگاپاسکال و زوال شدید ۱/۸۴ و ۲۴/۹۷ مگاپاسکال بود. همچنین، در طبقه قطری قطور، کمینه و بیشینه مقاومت کششی ریشه به ترتیب در درختان سالم ۰/۹۹ و ۹۰/۹۹ مگاپاسکال، زوال متوسط ۱/۲۲ و



شکل ۴- تغییرات میانگین مقاومت کششی ریشه درختان قطور (الف) و کم قطر (ب) تیمارهای بررسی شده. حروف متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن اختلاف در تیمارهای مختلف است. بارها بیانگر خطای معیار میانگین در هر تیمار است. از نظر میانگین مقاومت کششی ریشه، بین تیمارهای مختلف درختان کم قطر اختلاف معنی دار



کششی ریشه به صورت توانی منفی است که با نتایج دیگر پژوهش‌ها (Kazemi et al., 2014; Abdi et al., 2019; Abdi & Deljouei, 2019) همخوانی دارد. به بیان دیگر، نازک‌ترین ریشه‌ها مقاومت کششی بیشتری داشتند و افزایش قطر ریشه موجب کاهش مقاومت کششی آن می‌شود. براساس رابطه توانی منفی بین قطر ریشه و مقاومت کششی، گونه‌ای دارای مقاومت کششی بیشتری است که  $\alpha$  بزرگ‌تر و  $\beta$  کوچک‌تری داشته باشد (Abdi, 2018). براساس نتایج این پژوهش در درختان برودار، مقدار ضریب  $\alpha$  بین ۷/۴ تا ۱۱ و مقدار  $\beta$  بین ۰/۲ تا ۰/۴ متغیر بود. مقدار ضریب  $\alpha$  در سایر پژوهش‌ها بین ۸/۲ تا ۱۱۹/۱ (Esmaeili, 2015) و مقدار ضریب  $\beta$  بین ۰/۴ تا ۱/۱ (Abdi, 2018) گزارش شده است. در این پژوهش برای بررسی نیروی کششی و مقاومت کششی ریشه از آنالیز کوواریانس استفاده شد و عامل قطر ریشه به عنوان عامل کوواریانس در نظر گرفته شد. معنی دار شدن اثر کوواریانس دلیل خوبی برای نشان دادن ناکارایی آنالیز واریانس در تحلیل روابط نیرو و مقاومت کششی ریشه محسوب می‌شود که با گزارش‌ها و یافته‌های دیگر پژوهشگران (Deljouei et al., 2018; Abdi, 2018; Abdi et al., 2019; Abdi & Deljouei, 2019) همسوست.

براساس یافته‌های این پژوهش، پارامترهای مکانیکی ریشه (مقاومت و نیروی کششی) در طبقه قطری درختان کم‌قطر، تحت تأثیر پدیده زوال قرار نگرفته بود. هرچند در طبقه قطری درختان قطور، نیروی کششی و مقاومت ریشه در درختان سالم به طور معنی‌داری بیشتر از درختان با زوال شدید بود. در این زمینه، نتایج پژوهشی در آلاسکا نشان داد که پس از سه سال از مرگ درختان، مقاومت کششی ریشه‌ها ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش یافته بود (Ziemer, 1981). این نتیجه نشان داد که مرگ درختان بر مقاومت کششی ریشه‌های درختان اثرگذار

وجود نداشت، درحالی‌که در طبقه قطری قطور، مقاومت کششی ریشه درختان سالم به طور معنی‌داری ( $F=4/53$ ;  $P<0/05$ ) بیشتر از دو تیمار زوال متوسط و شدید بود (شکل ۴). همچنین، عامل کوواریانس (قطر ریشه) هنگام بررسی مقاومت و همچنین نیروی کششی ریشه در تمامی موارد معنی‌دار بود؛ بدین معنا که در صورت در نظر نگرفتن قطر ریشه به عنوان کوواریانس، نتایج دچار خطا می‌شوند.

### بحث

براساس نتایج این پژوهش، روابط قطر ریشه و نیروی کششی ریشه از تابع رگرسیون توانی مثبت پیروی می‌کنند. این نتیجه مطابق با سایر پژوهش‌های انجام گرفته است که این رابطه را مناسب‌ترین رابطه برازش یافته می‌دانند (Deljouei et al., 2018, 2020; Abdi & Abdi et al., 2019; Abdi, 2018; Deljouei, 2019). در این رابطه،  $\beta$  مقدار افزایش نیرو به ازای افزایش قطر ریشه و  $\alpha$  ضریب اندازه است، در نتیجه می‌توان گفت ریشه‌هایی قوی‌ترند که مقدار  $\alpha$  و  $\beta$  آنها در معادله بیشتر است. براساس نتایج این پژوهش در درختان برودار، مقدار ضریب  $\alpha$  بین ۵/۸ تا ۸/۸ و مقدار  $\beta$  بین ۱/۶ تا ۱/۸ متغیر بود. مقدار ضریب  $\alpha$  در مطالعات دیگر بین ۶/۸ تا ۱۰۱/۱ (Deljouei et al., 2018) گزارش شده است. مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار ضریب  $\beta$  نیز بین ۰/۷۹ تا ۱/۶۶ (Kazemi et al., 2014) است. (Abdi, 2018) نوسان دارد. به طور کلی می‌توان گفت که ضریب‌های  $\alpha$  و  $\beta$  در درختان سالم برودار در هر دو طبقه قطری در بازه ارائه شده توسط دیگر پژوهشگران و در درختان زوال یافته (زوال متوسط و شدید) خارج از دامنه یادشده بود. بنابراین، زوال درختان بر ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  رابطه توانی بین نیروی کششی ریشه و قطر ریشه اثرگذار بوده و نیاز است در تحقیقات آینده، زوال درختان به عنوان عامل اثرگذار بر نیروی کششی ریشه در نظر گرفته شود. نتایج نشان داد که رابطه بین قطر ریشه و مقاومت



ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Vergani et al., 2017). Vergani et al. (2017) نشان دادند که نیروی کششی ریشه کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) چهار سال پس از آتش‌سوزی در ریشه‌های نازک (قطر متوسط یک میلی‌متر) ۲۴ درصد کمتر از مقدار نیروی کششی ریشه درختان سالم است و این مقدار در ریشه‌های ضخیم (قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر)، ۳۰ درصد کمتر از نیروی کششی ریشه درختان سالم است.

چگونگی اثرگذاری پدیده زوال بر مقادیر نیروی کششی و مقاومت ریشه، سبب آگاهی بهتر در مقابله با فرسایش خاک در بوم‌سازگان جنگلی زاگرس می‌شود. براساس یافته‌های این پژوهش، پارامترهای نیروی کششی و مقاومت ریشه در طبقه قطری درختان کم‌قطر، تحت پدیده زوال قرار نگرفته بودند، هرچند در طبقه قطری قطور، نیروی کششی و مقاومت ریشه در درختان سالم به‌طور معنی‌داری بیشتر از درختان با زوال شدید بود. از سوی دیگر، به‌طور متوسط، زوال توانسته بود نیروی کششی ریشه درختان در تیمار زوال شدید را در مقایسه با تیمار درختان سالم به‌ترتیب ۱۱/۳ درصد در درختان کم‌قطر و ۲۲/۷ درصد در درختان قطور کاهش دهد. همچنین، مقادیر یادشده درباره پارامتر مقاومت کششی به‌ترتیب ۱۳/۴ و ۱۹/۷ درصد به‌دست آمد. بنابراین، توجه بیشتر به موضوع حفاظت از خاک در مقابل فرسایش در اطراف درختان قطور زوال‌یافته، امری ضروری در زاگرس به‌شمار می‌آید و پیشنهاد می‌شود که مناطق دارای درختان قطور زوال‌یافته برودار، به‌عنوان مناطق مستعدتر به فرسایش خاک در نظر گرفته شوند. بررسی تأثیر زوال جنگل بر ویژگی‌های زیست‌فنی سیستم ریشه، سبب شناخت بیشتر تأثیر این پدیده بر تغییرات مقدار مسلح‌سازی خاک و در نتیجه وضعیت فرسایش خاک می‌شود. به‌علاوه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده به بررسی تأثیر زوال درختان بر سایر ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه مانند پراکنش، تراکم و زی‌توده

بوده، هرچند در پژوهش یادشده، اطلاعاتی درباره قطر درختان مورد مطالعه ارائه نشده است. پس از مرگ درختان و حذف تأثیر باران‌ربایی توسط تاج درختان و حذف توان ریشه برای جذب رطوبت خاک می‌توان شاهد کاهش چشمگیر پتانسیل آب خاک بود که با گذر زمان موجب تجزیه سریع‌تر ریشه‌های درختان و کاهش توان خصوصیات مسلح‌سازی خاک می‌شود و در نتیجه افزایش فراوانی و شدت زمین‌لغزش را در پی دارد (Ziemer, 1981; Sidle et al., 2005; Ammann et al., 2009). پس از مرگ درختان، تراکم و مقاومت ریشه‌ها کاهش می‌یابد و سبب می‌شود که پایداری خاک در اطراف تنه درختان کاهش یابد (Schmidt et al., 2001). Preti (2013) نیز در پژوهش خود در مورد راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) به این نتیجه رسید که پس از مرگ درختان، مقاومت کششی ریشه‌ها کاهش یافت. در پژوهشی مشخص شد که ریشه‌های درختان قطع‌شده تا شش سال پس از قطع دارای توانایی مسلح‌سازی خاک هستند (هرچند با مقدار خیلی کم) و پس از این مدت، مسلح‌سازی خاک از طریق آن‌ها به صفر می‌رسد (Watson et al., 1999)؛ البته Bischetti et al. (2016) بیان کردند که دو سال پس از قطع درختان، مقاومت کششی ریشه ۶۰ درصد کاهش یافته و پس از سه سال، این مقدار به ۸۰ درصد می‌رسد و پس از پنج سال، به‌تقریب صفر می‌شود. Preti (2013) بیان کرد که در درختان مرده، رطوبت ریشه نسبت به درختان زنده به سرعت کاهش می‌یابد که یکی از دلایل اصلی کاهش مقاومت و نیروی کششی ریشه در درختان مرده همین موضوع است. Hales et al. (2009) بیان کردند که محتوای رطوبتی ریشه تأثیر شدیدی بر مقدار سلولز ریشه دارد و هرچه نسبت سلولز به لیگنین در ریشه بیشتر باشد، مقاومت و نیروی کششی ریشه بیشتر است (Genet et al., 2005). یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که پس از آتش‌سوزی درختان، مقاومت و نیروی کششی

پرداخته شود. همچنین، از آنجا که پدیده زوال،  
علاوه بر برودار بر دیگر گونه‌های جنگلی نیز اثرگذار  
بوده است، انجام پژوهش‌هایی مشابه در مورد سایر  
گونه‌ها نیز توصیه می‌شود.

## References

- Abdi, E., Majnounian, B., Rahimi, H., & 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.
- Abdi, E., Majnounian, B., Genet, M., & Rahimi, H. (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(10), 1409-1416.
- Abdi, E. (2018). Root tensile force and resistance of several tree and shrub species of Hyrcanian forest, Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(2), 255-270.
- Abdi, E., & Deljouei, A. (2019). Seasonal and spatial variability of root reinforcement in three pioneer species of the Hyrcanian forest. *Austrian Journal of Forest Science*, 136(3), 175-198.
- Abdi, E., Saleh, H.R., Majnounian, B., & Deljouei, A. (2019). Soil fixation and erosion control by *Haloxylon persicum* roots in arid lands, Iran. *Journal of Arid Land*, 11(1), 86-96.
- Ammann, M., Böll, A., Rickli, C., Speck, T., & Holdenrieder, O. (2009). Significance of tree root decomposition for shallow landslides. *Forest Snow and Landscape Research*, 82(1), 79-94.
- Attarod, P., Rostami, F., Dolatshahi, A., Sadeghi, S.M.M., Zahedi Amiri, G., & Bayramzadeh, V. (2016). Do changes in meteorological parameters and evapotranspiration affect declining oak forests of Iran? *Journal of Forest Science*, 62(12), 553-561.
- Bischetti, G.B., Bassanelli, C., Chiaradia, E.A., & Vergani, C. (2016). The effect of gap openings on soil reinforcement in two conifer stands in northern Italy. *Forest Ecology and Management*, 359, 286-299.
- Cleophas, F., Musta, B., How, P. M., & Bidin, K. (2017). Runoff and soil erosion in selectively-logged over forest, Danum Valley Sabah, Malaysia. *Transactions on Science and Technology*, 4(4), 449-459.
- Deljouei, A., Abdi, E., Majnounian, B., & Schwarz, M. (2018). Comparing roots mechanical characteristics of hornbeam trees in different diameter at breast height classes. *Journal of Forest and Wood Products*, 71(3), 199-207.
- Deljouei, A., Abdi, E., Schwarz, M., Majnounian, B., Sohrabi, H., & Dumroese, R.K. (2020). Mechanical characteristics of the fine roots of two broadleaved tree species from the Temperate Caspian Hyrcanian Ecoregion. *Forests*, 11, 345. DOI: 10.3390/f11030345
- Esmaeili, M. (2015). Comparing the Effect of Reforested Softwood and Hardwood Tree Roots in Soil Reinforcement (Case Study: Kheyrod Educational and Research Forest, Noshahr). *M.Sc thesis, University of Tehran*, 65 p.
- Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S. B., Fourcaud, T., Dumail, J. F., & Van Beek, R. (2005). The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and soil*, 278(1-2), 1-9.
- Ghanbary, E., Tabari Kouchaksaraei, M., Guidi, L., Mirabolfathy, M., Etemad, V., Modarres Sanavi, A.A.M., & Struve, D. (2018). Change in biochemical parameters of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) seedlings inoculated by pathogens of charcoal disease under water deficit conditions. *Trees*, 32(6), 1595-1608.
- Hales, T.C., Ford, R.C., Hwang, T., Vose, J.M., & Band, L.E. (2009). Topographic and ecologic controls on root reinforcement. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-17.

- Hosseinzadeh, J., & Pourhashemi, M. (2015). An investigation on the relationship between crown indices and the severity of oak forests decline in Ilam. *Iranian Journal of Forest*, 7(1), 57-66.
- Hosseini, A. (2015). Leaf morphological and physiological responses of Persian oak trees in oak decline affected stands. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 23(2), 288-298.
- Kazemi, M., Abdi, E., Majnounian, B., & Yousefzade, H. (2014). The effect of season on resistance of Persian oak (*Quercus persica*) roots (Case study: Tabarok, Bazaft basin). *Iranian Journal of Forest*, 6(4), 435-444.
- Keybondori, S., Majnounian, B., Abdi, E., Yousefzadeh, H., & Deljouei, A. (2018). Assessing spatial changes of roots tensile strength of *Salixpurpurea* L. in riparian zone of Karun (Case study: Susan plain in Khuzestan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(1), 70-80.
- Lakatos, F., Mirtchev, S., Mehmeti, A., & Shabanaj, H. (2014). *Manual for visual assessment of forest crown condition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Pristina, 17 p.
- Leuschner, C., Wiens, M., Hartveld, M., Hertel, D., & Tjitrosemito, S. (2006). Patterns of fine root mass and distribution along a disturbance gradient in a tropical montane forest, Central Sulawesi (Indonesia). *Plant and Soil*, 283(1), 163-174.
- Mahdavi, A., Mirzaei, J., & Karami, O. (2015). The status of dead standing trees in Zagros forest (Case study: Bioreh Forests in Ilam Province). *Journal of Forest Sustainable Development*, 1(4), 329-340.
- Mirzad, Z., Kayi, Z., & Nazari, N. (2014). Assessing the environmental capacity of the DinarKuh area for tourism use using a geographic information system. *Second National and Specialized Conference on Environmental Research in Iran, Tehran*.
- Moresi, F.V., Maesano, M., Matteucci, G., Romagnoli, M., Sidle, R.C., & Scarascia Mugnozza, G. (2019). Root biomechanical traits in a montane Mediterranean forest watershed: variations with species diversity and soil depth. *Forests*, 10(4), 341, DOI: 10.3390/f10040341.
- Naghdi, R., Maleki, S., Abdi, E., Mousavi, R., & 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.
- Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H., Hoseinzadeh, J., Bordbar, S.K., Iranmanesh, Y., & Khodakarami, Y. (2017). The history of oak decline in Zagros forests. *Iran Nature*, 2(1), 30-37.
- Pourhashemi, M., & Sadeghi, S.M.M. (2020). A review on ecological causes of oak decline in forests of Iran. *Iranian Forest Ecology Journal* (In press).
- Preti, F. (2013). Forest protection and protection forest: tree root degradation over hydrological shallow landslides triggering. *Ecological Engineering*, 61, 633-645.
- Sadeghi, S.M.M., Gordon, A., & Van Stan, J.T. (2020). A global synthesis of throughfall and stemflow hydrometeorology. In J.T. Van Stan, E. Gutmann & J. Friesen (Eds.), *Precipitation Partitioning by Vegetation: a Global Synthesis*, (pp. 49-70). Switzerland: Springer Nature.
- Salimi Zand, M., Abdi, E., Majnounian, B., & Hoseini, S.A. (2017). Effect of pollarding on biotechnical characteristics and reinforcement amount of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) roots. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2), 298-309.
- Schmidt, K.M., Roering, J.J., Stock, J.D., Dietrich, W.E., Montgomery, D.R., & Schaub, T. (2001). The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 995-1024.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., Negishi, J.N., Nik, A.R., Siew, R., & Turkelboom, F. (2005). Erosion processes in steep terrain—truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management*, 224, 199-225.

Vergani, C., Chiaradia, E.A., Bassanelli, C., & Bischetti, G.B. (2014). Root strength and density decay after felling in a Silver Fir-Norway Spruce stand in the Italian Alps. *Plant and Soil*, 377(1-2), 63-81.

Vergani, C., Werlen, M., Conedera, M., Cohen, D., & Schwarz, M. (2017). Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest. *Forest Ecology and Management*, 400, 339-352.

Watson, A., Phillips, C., & Marden, M. (1999). Root strength, growth, and rates of decay: root reinforcement changes of two three species and their contribution to slope stability. *Plant and Soil*, 217, 39-47.

Ziemer, R.R. (1981). Roots and the stability of forested slopes. *Proceedings of the International Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*, 132, 343-361.



Research Article

**Effect of oak decline phenomenon on root mechanical characteristics of Brant's oak  
(*Quercus brantii* Lindl.)**

**A. Mohammadrad<sup>1</sup>, E. Abdi<sup>2\*</sup>, M. Pourhashemi<sup>3</sup>, B. Majnounian<sup>4</sup> and A. Deljouei<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> PhD student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>3</sup> Associate Prof., Research Institute of Forests & Rangelands, Agricultural Research, Extension and Education Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

<sup>4</sup> Prof, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>5</sup> PhD of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 4 March 2020, Accepted: 9 May 2020)

**Abstract**

Among the various components of vegetation, root system plays an important role in stabilizing, soil reinforcement and preventing erosion. This study aimed to investigate the effect of oak decline phenomenon on root mechanical characteristics of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Dinarkuh forests, Ilam province. Considering DBH distribution of the trees in the study site, five trees were randomly selected in small DBH (15 to 35 cm) and large DBH (35 to 55 cm) classes within three treatments of healthy, moderate decline, and severe decline. Root samples were collected from each tree by digging near the tree and then tensile test were performed in the laboratory. The results showed that the root diameter-force strength relation was positive power-law and the root diameter-tensile strength relationship was negative power-law. Results of the covariance analysis for tensile force and strength showed that there is no significant difference between tensile force and strength among treatments of small DBH class, while in large DBH class, root tensile force and strength of healthy trees were significantly higher than trees with severe decline. Based on the decline, tensile force of the trees in the treatment of severe decline compared to the healthy trees, so force decreased by 11.3% in the small DBH and 22.7% in the large DBH classes. Also, these values for tensile strength showed a decrease of 13.4% and 19.7%, respectively. The findings of this study show how the effect of forest decline on the root tensile force and strength values leads to a better knowledge of the controlling soil erosion in the Zagros ecosystems.

**Keywords:** Zagros, soil erosion, soil reinforcement, Tensile force, Tensile strength.