

تأثیر شیب بر ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای نهال‌های بلوط بلندمازو

اکرم افشارصدر^۱، وحید اعتماد^{۲*}، احسان عبدی^۳، پدram عطارد^۴ و آزاده دلجویی^۵

۱- کارشناس ارشد جنگل‌شناسی، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
(aafsharsadr@ut.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (vetemad@ut.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (abdie@ut.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (attarod@ut.ac.ir)

۵- دکتری مهندسی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
(a.deljooei@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر شیب بر ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای نهال بلوط بلندمازو است. به این منظور در نهالستان گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، آزمایشی در سه تیمار زمین مسطح، شیب‌های ۲۵ و ۴۵ درصد در سه تکرار اجرا شد. پس از آماده‌سازی زمین، بذرها در کرت‌ها کشت شدند و پس از سبزشدن بذور کشت‌شده و استقرار آنها، در چهار دوره زمانی (۹۶، ۱۲۴، ۱۵۲ و ۲۰۱ روزه)، به‌صورت تصادفی در هر دوره، هفت اصله نهال از هر تیمار انتخاب و از خاک خارج شدند. در نهایت ویژگی‌های چون تعداد، طول ریشه و مقاومت کششی ریشه‌ها بررسی و ثبت شد. نتایج آزمون واریانس نشان داد که شیب تأثیر معنی‌داری بر تعداد ریشه‌ها دارد و بیشترین تعداد ریشه‌ها مربوط به تیمار مسطح و کمترین تعداد ریشه در شیب ۴۵ درصد بوده است. درحالی‌که بیشترین مجموع طول ریشه‌ها مربوط به شیب ۴۵ درصد است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی به‌صورت توانی کاهش می‌یابد و ریشه‌های کم‌قطر بیشترین مقاومت را دارند. همچنین دوره‌های رشد، تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی نداشت ولی قطر ریشه‌ها تأثیر معنی‌داری بر مقاومت دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد ریشه، زیست‌مهندسی، شیب، طول ریشه.

مقدمه

مقاومت کششی ریشه‌ها بیشترین تأثیر را دارند (Vergani *et al.*, 2012). از میان گونه‌های گیاهی، گونه‌های چوبی از نظر زی‌وزن و عمق نفوذ ریشه به مقدار بیشتری مقاومت برشی خاک را افزایش می‌دهند و با تأثیرات اکوهیدرولوژیک خود، سبب افزایش پایداری دامنه می‌شوند (Bischetti *et al.*, 2005)؛ بنابراین در یک جمع‌بندی می‌توان اظهار داشت که برای تحلیل پایداری شیب‌های دارای پوشش گیاهی، نیاز است که ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه گیاهان بررسی شود.

تاکنون در سرتاسر جهان پژوهش‌های بسیاری در رابطه با ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه گونه‌های مختلف درختی بر پایداری دامنه‌های خاکی انجام شده است (Dumlao, Avani *et al.*, 2013, Ji *et al.*, 2012, *et al.*, 2015). این در حالی است که در ایران در دهه‌های اخیر این پژوهش‌ها روند رو به رشدی داشته‌اند (Kazemi *et al.*, 2014, Abdi *et al.*, 2014, Mohamadrad *et al.*, 2016, Deljouei *et al.*, 2018, 2019). به‌طورکلی، تعداد ریشه‌ها در شیب‌های بالاتر، کمتر ولی قطر و طول آنها بیشتر گزارش شده است (Di Iorio *et al.*, 2005). در برخی پژوهش‌های انجام‌شده در ایران تعداد ریشه در گونه‌های زبان-گنجشک، راش و ممرز در سمت بالای شیب کمتر از سمت پایین شیب بوده است (Abdi *et al.*, 2009, Esmaili, 2016). درحالی‌که در پژوهش دیگری که بر روی سه طبقه قطر برابرسینه شامل درختان قطور، میان قطر و کم قطر گونه ممرز در جنگل‌های هیرکانی انجام شده است، پراکنش ریشه‌ها در سمت بالای درخت بیشتر از سمت پایین بوده است (Deljouei *et al.*, 2019).

امروزه بیشتر مدل‌ها و روابط موجود در زیست-مهندسی، مربوط به شرایط نرمال توسعه سیستم ریشه

در سال‌های اخیر، استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان مصالح زیستی برای حفاظت و پایداری دامنه‌ها بسیار فراگیر شده است. حضور ریشه گیاهان منجر به تثبیت خاک می‌شود و از فرسایش و زمین‌لغزش‌های سطحی پیشگیری می‌نماید (Esmaeili *et al.*, 2017, Abdi *et al.*, 2019, Deljouei *et al.*, 2018). در مقایسه با روش‌های سنتی مهندسی عمران، پوشش گیاهی نه تنها از دامنه‌ها محافظت می‌کند بلکه قابلیت خودتجدیدی و خودترمیمی نیز دارد. از سوی دیگر، به‌دلیل کم‌بودن هزینه‌ها در استفاده از پوشش گیاهی نسبت به مصالح مهندسی، این روش طرفداران زیادی دارد؛ بنابراین امروزه استفاده از روش‌های نزدیک به طبیعت در فعالیت‌های مهندسی جنگل طرفداران زیادی پیدا کرده است.

ریشه‌ها از اصلی‌ترین اجزای گیاهی هستند که در پایداری شیب و کنترل فرسایش نقش مهمی دارند چرا که وجود ریشه در خاک، ماتریس مسلح‌شده‌ای را تشکیل می‌دهد که طی بارگذاری خاک، تنش وارده به ریشه‌ها منتقل می‌شود (Schwarz *et al.*, 2016, Deljouei *et al.*, 2019). در صورتی که سیستم ریشه‌ای گیاهان به‌خوبی در خاک گسترده شده باشد موجب ارائه کارکردهایی همچون بهبود پایداری ذرات (Zhong *et al.*, 2016)، افزایش نرخ نفوذپذیری (Glinski and Lipiec, 1990)، کاهش وزن مخصوص (Li *et al.*, 1993)، افزایش ظرفیت نگهداری آب (Gyssels *et al.*, 2005) و افزایش مقاومت برشی (Kazemi *et al.*, 2014) می‌شود. مقدار مسلح‌سازی و افزایش چسبندگی خاک بستگی به ویژگی‌های سیستم ریشه مانند پراکنش، مقاومت کششی، تعداد و قطر، عمق ریشه دوانی و معماری سیستم ریشه دارد (Di Iorio *et al.*, 2008) که از بین این ویژگی‌ها پراکنش و

(یعنی حضور پوشش گیاهی در شرایط مسطح) است، درحالی‌که ثابت شده گیاهان مستقر روی شیب، تفاوت‌های زیادی با شرایط نرمال دارند؛ بنابراین اطلاعات محدودی در مورد تأثیر شیب بر سیستم ریشه وجود دارد که بیشتر این اطلاعات نیز مربوط به درختان بالغ است. با توجه به اینکه در پروژه‌های زیست‌مهندسی امکان مستقر کردن یک‌باره درخت وجود ندارد و استقرار باید از مرحله نهال صورت گیرد، وجود اطلاعات در مورد نهال به‌ویژه گونه‌های بومی جنگل‌های شمال ایران برای اهداف زیست‌مهندسی، ضرورت دارد و تاکنون پژوهشی در رابطه با ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه نهال‌ها انجام نگرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر شیب بر ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه نهال‌های گونه بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) است. بلوط بلندمازو در بین جنگلبانان به‌عنوان گونه‌ای با قدرت ریشه‌دوانی عمیق شناخته می‌شود و از این نظر می‌تواند یک گونه باارزش برای اهداف زیست‌مهندسی در جنگل قلمداد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

این پژوهش در محوطه گلخانه گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، واقع در ضلع جنوبی سوله گلخانه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) به اجرا در آمد. برای تأمین آب موردنیاز نسبت به احداث خط لوله آب اقدام شد و اطراف محوطه نیز فنس‌کشی و محصور شد.

روش پژوهش

برای تأمین بذر موردنیاز، اقدام به جمع‌آوری بذر به مقدار کافی از ۳۰ اصله درخت بلندمازو شد. این درختان در جهت دامنه جنوبی و ارتفاع ۱۱۰۰ متری از

سطح دریا در توده‌های بلوط-ممرز در بخش گرازبن جنگل خیرود (نوشهر) قرار دارند. بذرها برای انجام آزمایش‌های اولیه، به آزمایشگاه بذر و نهال در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شدند. به دلیل رطوبت بالای بذرها و برای جلوگیری از پوسیدگی و کپک‌زدن، پس از جداکردن پیاله، بذرها در معرض هوای خشک قرار داده شد تا رطوبت به مقدار ۳۰ درصد کاهش یابد. در نهایت بذرها در کیسه‌های نایلونی قرار داده شدند و در دمای چهار درجه سانتی-گراد نگهداری شد. برای آماده‌سازی بستر کاشت، با استفاده از یک دستگاه بکهلودر، کرت‌هایی با سه تیمار شیب شامل شیب‌های مسطح (صفر درصد)، ۲۵ درصد و ۴۵ درصد در سه تکرار آماده شد. برای جلوگیری از فرسایش و هدررفت خاک در اثر بارندگی و آبیاری، یک‌لایه گونی روی تمام سطوح خاک کشیده شد و در مرحله بعد برای جلوگیری از سوختگی نهال‌ها در اثر آفتاب (در فصل تابستان) از گونی‌های پلاستیکی برای ایجاد سایبان استفاده شد. زمان کاشت بذرها در اوایل اسفندماه ۱۳۹۳ خورشیدی بود و از زمان کاشت تا پایان دوره رویش، کلیه نهال‌ها به‌صورت روزانه آبیاری شدند. برای بررسی پراکنش ریشه‌ها، نمونه‌گیری از نهال‌ها در چهار دوره زمانی (نهال‌های ۹۶، ۱۲۴، ۱۵۲ و ۲۰۱ روزه) انجام شد. در هر دوره زمانی تعداد هفت نمونه نهال از هر تیمار به‌صورت تصادفی انتخاب و با دقت از خاک خارج شدند. سپس با استفاده از قیچی باغبانی، ساقه نهال از محل ابتدای یقه جدا شده و سیستم‌های ریشه برای بررسی تعداد ریشه‌ها، طول ریشه‌ها و مقاومت کششی، به آزمایشگاه مهندسی جنگل در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال داده شد. مقاومت کششی ریشه‌ها با استفاده از دستگاه اینسترون استاندارد با دقت اندازه‌گیری $\pm 0/001$ نیوتن اندازه-

گیری شد. الکل ۱۵ درصد به عنوان تیمار آماده سازی و نگهداری نمونه ریشه ها از زمان جمع آوری ریشه ها تا انجام آزمایش مقاومت مورد استفاده قرار گرفت. سرعت انجام آزمایش مقاومت کششی ۱۰ میلی متر بر دقیقه انتخاب شد (Esmaeili et al., 2017, Vergani et al., 2016). آزمایش کششی با قرار دادن نمونه های ریشه به طول ۱۵ سانتی متر بین دو فک دستگاه انجام شد. نمونه هایی که گسیختگی از محل نزدیک فک ها رخ می داد، نامعتبر بوده و داده های آنها حذف شد و نمونه های که گسیختگی از محل نزدیک به وسط طول ریشه رخ می داد، یادداشت و محاسبات بر مبنای آنها انجام شد (Zhang et al., 2012).

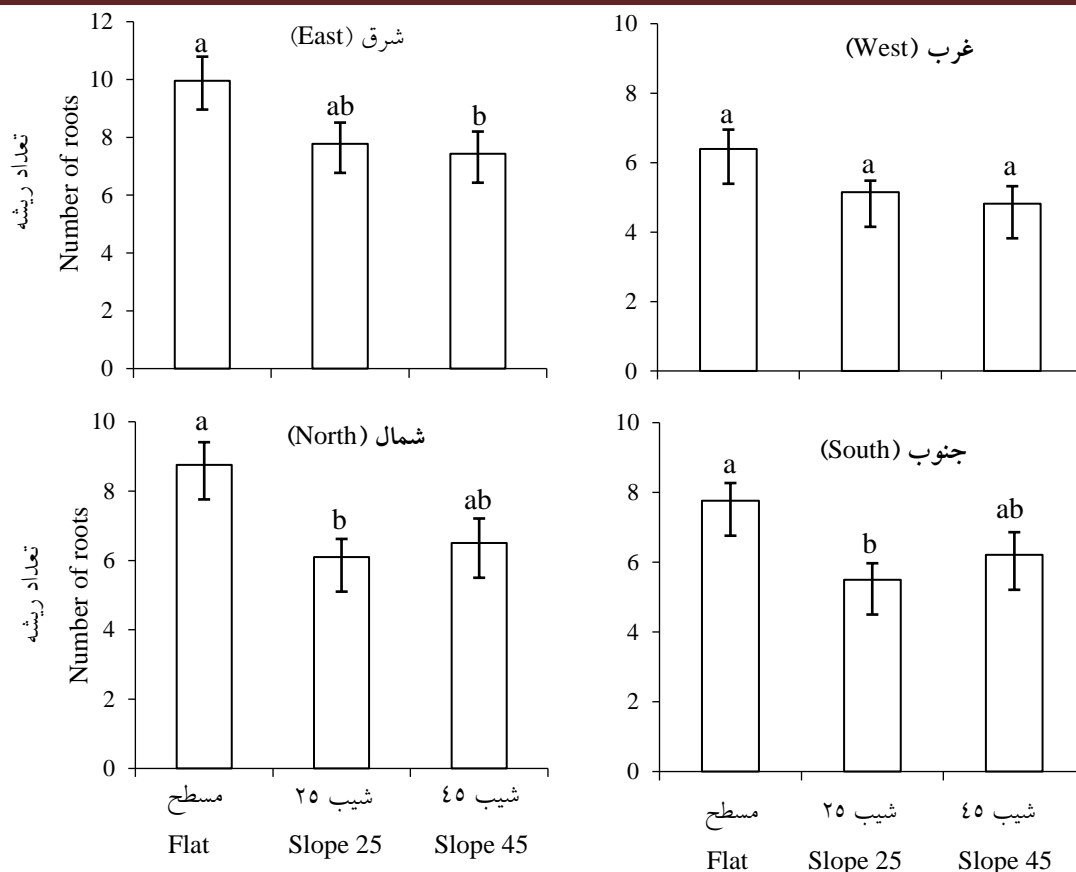
تحلیل آماری

نرمال-بودن داده ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و در صورت نرمال نبودن داده ها، از تبدیل لگاریتمی برای نرمال سازی داده ها استفاده شد. از تجزیه واریانس برای بررسی وجود تفاوت در تعداد ریشه ها در تیمارهای مختلف و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین ها استفاده شد. برای مقایسه مقاومت کششی در شیب های مختلف آزمون کوواریانس با در نظر گرفتن قطر ریشه به عنوان عامل کوواریت انجام گرفت و برای مقایسه میانگین ها آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ضرایب α و β رابطه قطر ریشه-مقاومت کششی ریشه در طول دوره رشد مشخص شد. کلیه ی تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۰) انجام شد.

نتایج

با توجه به اینکه جهت کلی شیب کرت های احداث شده در تیمارهای سطوح شیب دار در جهت غرب در نظر گرفته شده تأثیر شیب بر ریشه نهال بلندمازو در

جهت های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد ریشه ها مربوط به جهت شرق تیمار زمین مسطح بود و کمترین تعداد ریشه در همین جهت (سمت بالای شیب) مربوط به تیمار شیب ۴۵ درصد است؛ در حالی که در جهت غرب (سمت پایین شیب) اختلاف معنی دار در سه تیمار مشاهده نشد. بیشترین تعداد ریشه در جهت شمال و جنوب مربوط به تیمار زمین مسطح و کمترین تعداد مربوط به شیب ۲۵ درصد است (شکل ۱). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که شیب تأثیر معنی داری بر تعداد ریشه در سه جهت شرق ($F=2/14$, $P<0/05$), شمال ($F=5/59$, $P<0/05$) و جنوب ($F=5/14$, $P<0/05$) داشته است. با این حال نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شیب تأثیر معنی داری بر تعداد ریشه در جهت غرب (سمت پایین شیب) ندارد ($F=2/94$, $P>0/05$). همچنین نتایج به دست آمده در مورد تأثیر زمان های اندازه گیری بر تعداد ریشه در جهت شرق و غرب با آزمون دانکن نشان داد که بیشترین تعداد ریشه در جهت شرق (سمت بالای شیب) مربوط به آخرین دوره رویش (نهال ۲۰۱ روزه) بوده و کمترین تعداد ریشه در این جهت مربوط به اوایل دوره رویش است (نهال ۹۶ روزه). بیشترین و کمترین تعداد ریشه در جهت شمال و جنوب به ترتیب مربوط به دوره آخر و دوره دوم است (در دوره اول به علت نبود اطلاعات تعداد ریشه در جهت شمال، دوره اول حذف شد، شکل ۲). طول دوره رشد تأثیر معنی داری بر فراوانی تعداد ریشه در جهت شرق ($F=12/26$, $P<0/05$), غرب ($F=19/04$, $P<0/05$)، شمال ($P<0/05$)، و جنوب ($F=13/06$, $P<0/05$) داشته است.

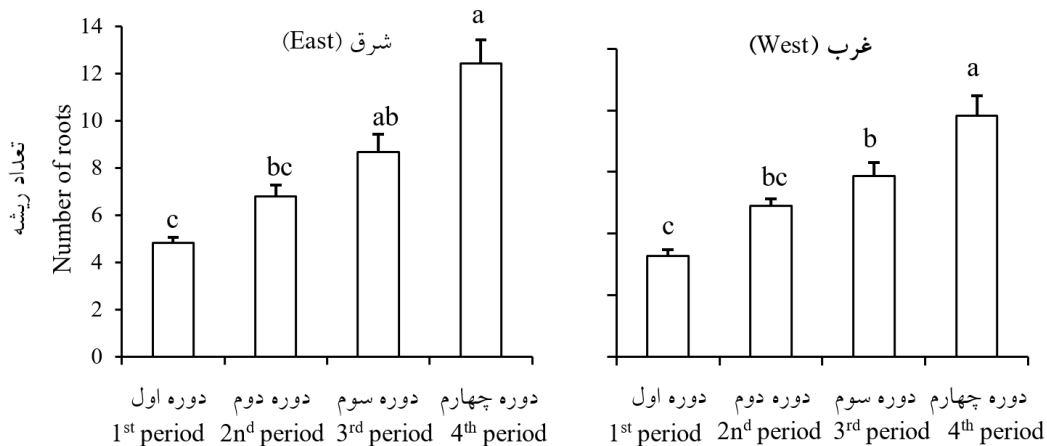


شکل ۱- تغییرات تعداد ریشه در جهات مختلف در دوره اندازه‌گیری

Figure 1. Root number variations in different geographical aspect during the study period

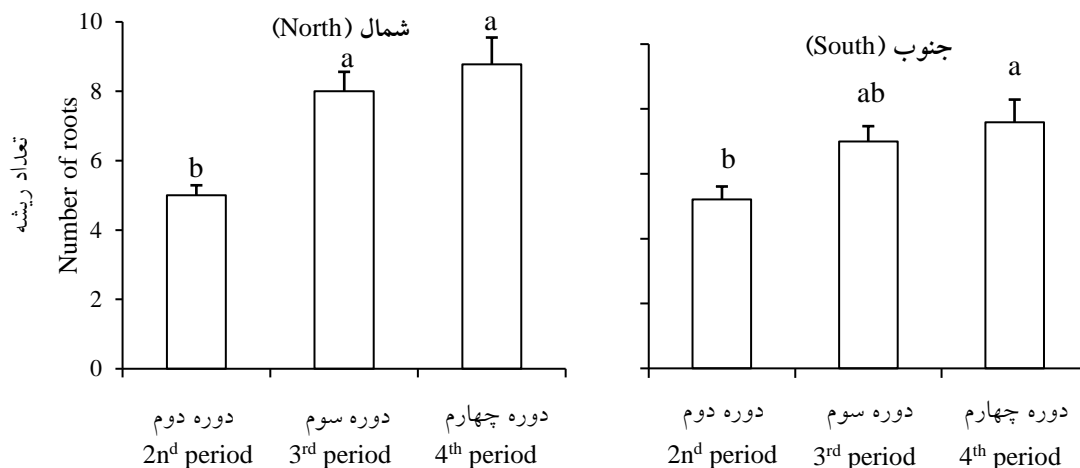
جهت شرق داشت ($F=3/32, P<0/05$). نتایج آزمون دانکن درباره تأثیر شیب بر مجموع طول ریشه در جهت شرق نشان داد که بیشترین مجموع طول ریشه-ها مربوط به تیمار شیب ۴۵ درصد و کمترین مربوط به تیمار زمین مسطح است (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر شیب بر مجموع طول ریشه در جهت‌های غرب ($P<0/05$)، شمال ($F=2/17, P<0/05$) و جنوب ($F=2/34, P<0/05$) اختلاف معنی‌داری نداشته است، هرچند شیب تأثیر معنی‌داری بر مجموع طول ریشه در



شکل ۲- تغییرات تعداد ریشه در جهت‌ها و تیمارهای مختلف

Figure 2. Root number variations in different treatments and geographical aspects

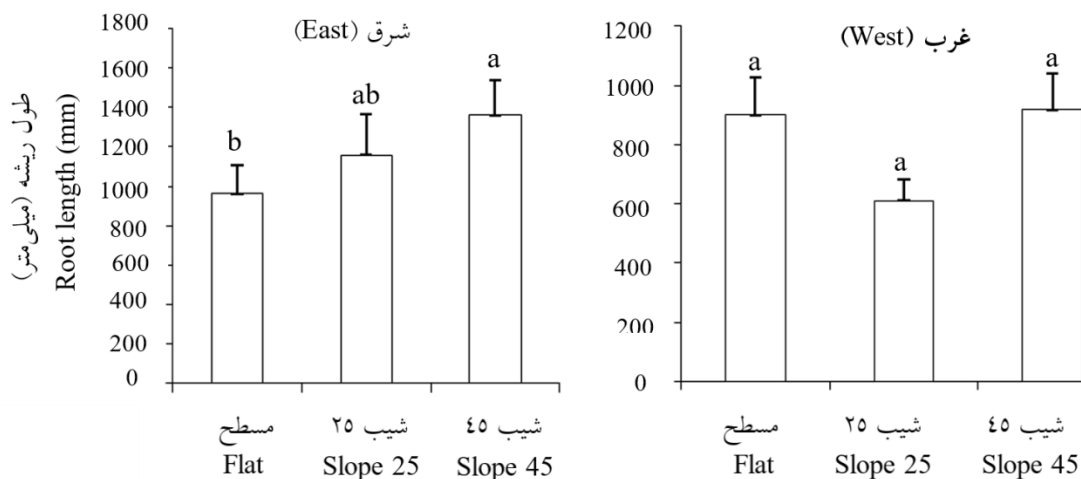


ادامه شکل ۲.

Continued figure 2.

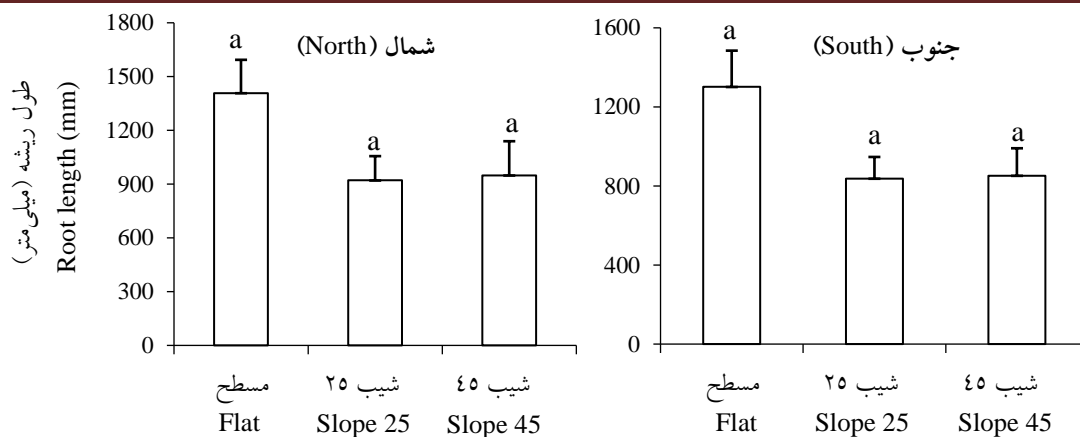
دوره چهارم (نهال ۲۰۱ روزه) بوده و کمترین طول ریشه مربوط به دوره اول است (نهال ۹۶ روزه). درحالی که در جهت شمال، بیشترین مجموع طول ریشه‌ها در جهت شمال و جنوب مربوط به آخر دوره رشد است و کمترین مجموع ریشه در این جهت مربوط به دوره دوم است (شکل ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان اندازه‌گیری ریشه (منظور سن نهال) تأثیر معنی‌داری بر مجموع طول ریشه‌های در جهت‌های شرق ($P < 0/05$)، غرب ($F=41/89$, $P < 0/05$)، شمال ($F=25/54$, $P < 0/05$) و جنوب ($F=23/53$, $P < 0/05$) دارد. نتایج آزمون دانکن نشان داد که در جهت‌های شرق و غرب، بیشترین مجموع طول ریشه مربوط به



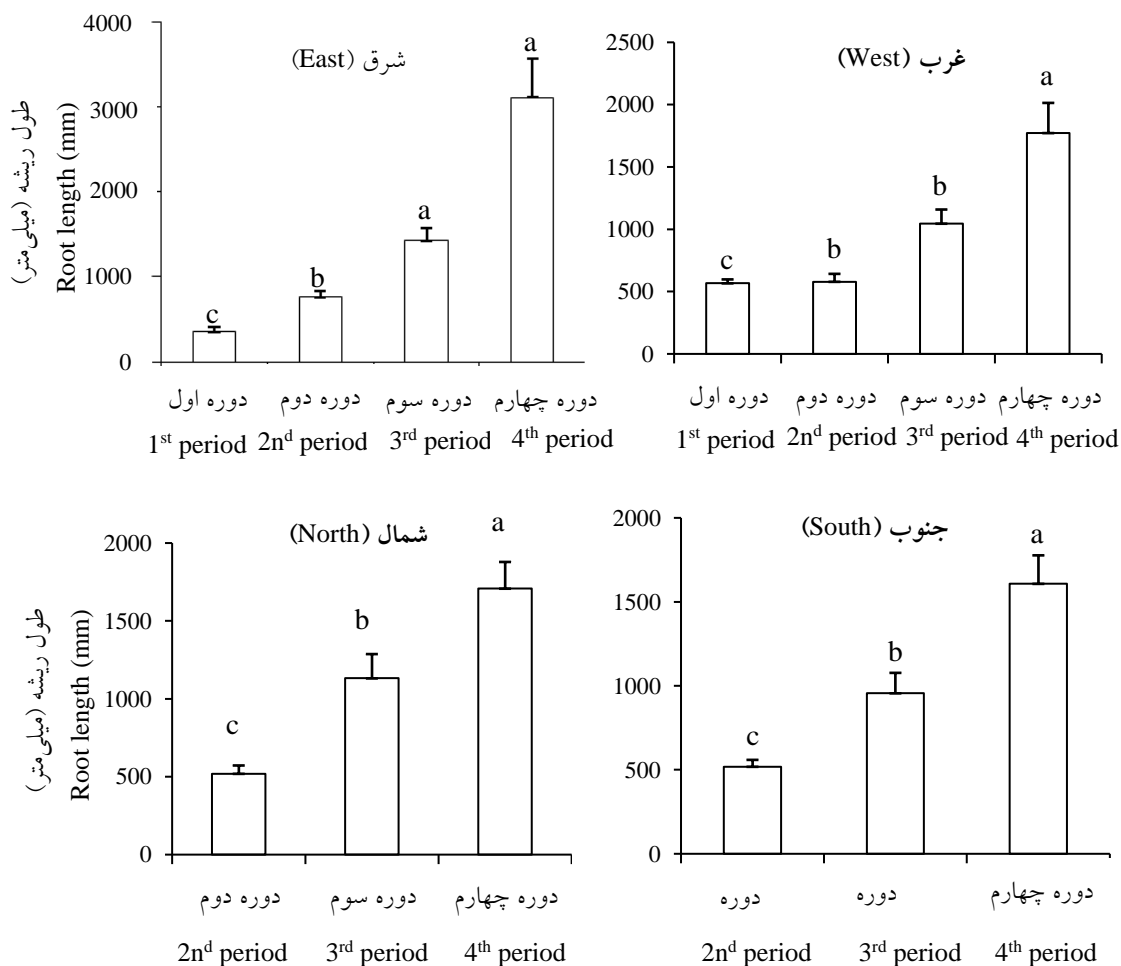
شکل ۳- مجموع طول ریشه در جهات و تیمارهای مختلف

Figure 3. The sum of root lengths in different treatments and geographical aspects



ادامه شکل ۳.

Continued figure 3.

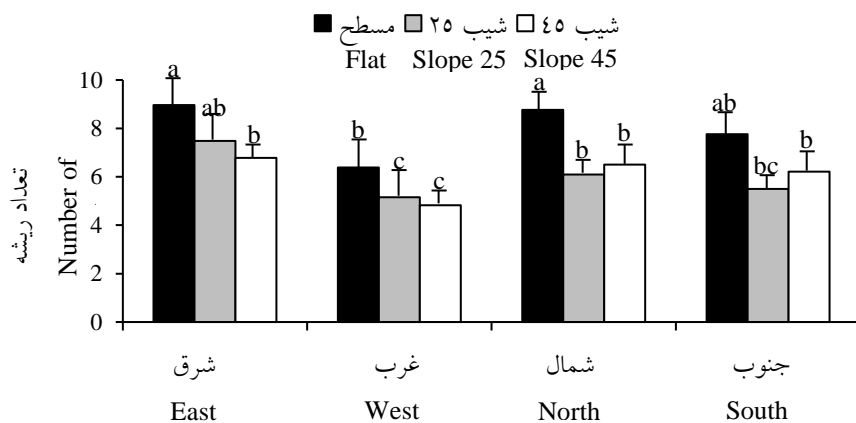


شکل ۴- مجموع طول ریشه‌ها در دوره اندازه‌گیری

Figure 4. The sum of root lengths during the study period

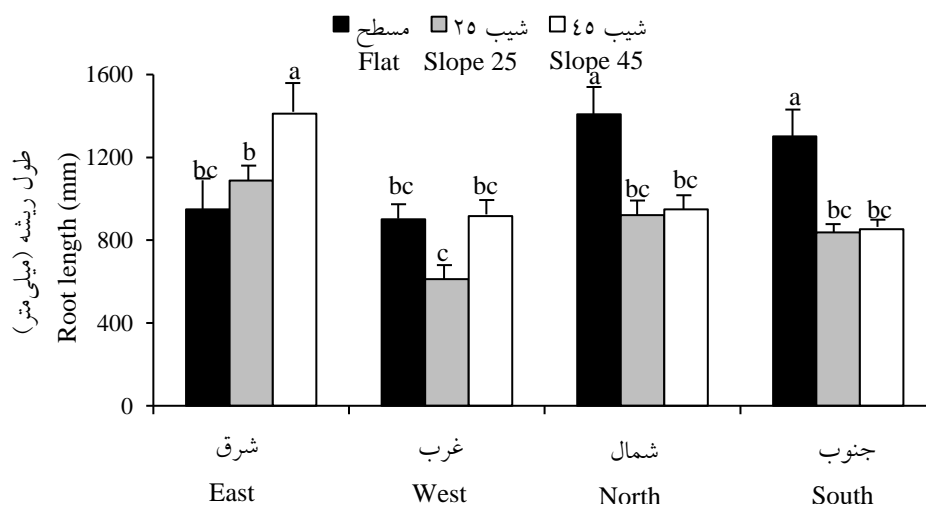
از مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس مشخص شد که شیب تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌ها در جهات مختلف دارد ($F=3/57, P<0/05$). شکل ۶ نشان می‌دهد که در جهت شرق (بالای شیب) در تیمار شیب‌دار ۴۵ درصد بیشترین طول ریشه تولیدی نهال بلندمازو و بعد از آن سطح شیب‌دار ۲۵ درصد و کمترین طول مربوط به تیمار زمین مسطح است. در جهت شمال و جنوب بیشترین طول ریشه‌ها مربوط به تیمار زمین مسطح است در حالی که بین سطح‌های شیب‌دار ۴۵ درصد و ۲۵ درصد تفاوتی وجود ندارد (شکل ۶).

همچنین شیب تأثیر معنی‌داری بر تعداد ریشه دارد ($F=2/15, P<0/05$)؛ به طوری که بیشترین تعداد ریشه در تیمار زمین مسطح حاصل شد (شکل ۵). همان طوری که در شکل ۵ نشان داده شده است در چهار جهت جغرافیایی و سه تیمار شیب زمین، تنها در تیمار زمین مسطح تعداد ریشه‌های تولیدی از دیگر تیمارها بیشتر است. شیب ۲۵ درصد در جهت شرق و غرب تعداد ریشه‌های بیشتری نسبت به شیب ۴۵ درصد دارد، در حالی که در جهت شمال و جنوب شیب ۴۵ درصد تعداد ریشه بیشتری نسبت به شیب ۲۵ درصد دارد (شکل ۵).



شکل ۵- تعداد ریشه‌ها در جهات مختلف و تیمارهای مختلف

Figure 5. The number of roots in different treatments and geographical aspects



شکل ۶- مجموع طول ریشه در جهات و تیمارهای مختلف

Figure 6. The sum of root lengths in different treatments and geographical aspects

آورده شده است و هم‌چنین ضرایب α و β که از رابطه رگرسیونی توانی بین قطر ریشه‌ها و مقاومت کششی ریشه‌ها حاصل شده است، نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که با افزایش قطر ریشه، مقاومت کششی به‌صورت توانی کاهش می‌یابد و بیشترین مقاومت مربوط به ریشه‌های کم‌قطر است. در جدول ۱، بیشینه، کمینه و میانگین مقاومت کششی ریشه‌ها

جدول ۱- آمار توصیفی و ضرایب قطر ریشه‌ها-مقاومت کششی ریشه‌ها در طول دوره رشد

Table 1. Descriptive statistic and coefficients of root diameter-root tensile strength during the growth period

R ²	β	α	اشتباه معیار Standard Error	کمینه Minimum	میانگین Average	بیشینه Maximum	تیمار Treatment
0.75	-1.34	29.63	52.12	4.87	98.65	979.74	دوره اول 1st period
0.63	-1.03	27.52	5.3	1.79	19.32	198.40	دوره دوم 2nd period
0.38	-0.59	20.78	3.2	1.33	20.12	240.10	دوره سوم 3rd period
0.52	-0.75	21.16	2.03	3.96	16.02	80.47	دوره چهارم 4th period

Ye *et al.*, Chiaradia *et al.*, 2016, *et al.*, 2005 (Abdi, 2018, 2017). عمق ریشه دوانی، طول ریشه، تعداد و توزیع ریشه‌ها در سطح و مقاومت کششی ریشه‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های درختان به‌شمار می‌آیند که در استقرار و پایداری گونه‌های درختی و در نتیجه در پایداری دامنه مسیرهای جاده اثرگذار هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد ریشه در جهات مختلف جغرافیایی نهال یکسان نیست و دارای تفاوت‌هایی است. در این پژوهش جهت دامنه تیمارهای زمین شیب‌دار (تیمارهای زمین ۲۵ و ۴۵ درصد) برای بررسی ریشه دوانی گونه بلندمازو رو به جهت غرب انتخاب شد. با چنین وضعیتی اختلاف تعداد ریشه‌های تولیدی در جهت شرق (سمت بالای شیب) نهال‌های کاشته‌شده در سه سطح تیمار معنی‌دار شدند به‌طوری‌که تعداد ریشه در تیمار زمین مسطح از بقیه تیمارها بیشتر شد. برعکس این نتیجه برای طول ریشه اتفاق افتاده و نتایج حاصله نشان می‌دهد که

نتایج آنالیز کوواریانس نشان داد سن نهال تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی ندارد ($P > 0/05$) ($F = 1/26$ ، $P < 0/05$) ولی تأثیر عامل کوواریت (قطر ریشه) بر مقاومت کششی معنی‌دار است ($F = 92/85$ ، $P < 0/05$). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز کوواریانس نشان داد که شیب تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی دارد ($F = 5/73$ ، $P < 0/05$) و قوی‌ترین ریشه‌ها مربوط به شیب ۴۵ درصد (۳۸/۰۹ مگاپاسکال) و کمترین مقاومت برای تیمار مسطح بوده (۱۸/۲۳ مگاپاسکال) و تأثیر عامل کوواریت (قطر ریشه) نیز معنی‌دار است ($F = 0/32$ ، $P < 0/05$).

بحث

ویژگی‌های ریشه درختان به عوامل زیادی مانند ساختار ژنتیکی و سرشت درختان و شرایط محیطی که در آن قرار دارند همانند درصد شیب، بافت خاک، ساختمان فیزیکی و سنگ‌بستر بستگی دارد (Bischetti

دارای اختلاف معنی داری است و بیشترین تعداد ریشه را نهال‌های تیمار مسطح برای پایداری در مقابل باد تولید کرده است. برعکس تعداد ریشه‌ها، مجموع طول ریشه‌ها در این دو جهت معنی دار نشده‌اند. تعداد ریشه تولیدی در جهت جنوب در شیب‌های مختلف دارای اختلاف معنی داری است و بیشترین تعداد ریشه مربوط به تیمار زمین مسطح است ولی مجموع طول ریشه در این جهت معنی دار نیست. نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تعداد ریشه‌های جانبی در مناطق شیب‌دار نسبت به مناطق مسطح کمتر است (Di lorio *et al.*, 2005).

چنانچه شیب‌ها و جهات مختلف را باهم مقایسه کنیم، در تیمار زمین مسطح، نهال‌های بلندمازو در همه جهات بیشترین تعداد ریشه را نسبت به دو تیمار دیگر تولید کرده است علاوه بر این مشاهده می‌شود که در دو جهت شمال و جنوب تعداد ریشه‌ها در تیمار شیب ۴۵ درصد از تیمار زمین با شیب ۲۵ درصد بیشتر است. ناهمگنی مشاهده شده در گسترش ریشه‌های تولیدی ناشی از انواع فشارهایی است که در طبیعت بر نهال وارد می‌شود. این نوع پراکنش ریشه‌ها را می‌توان استراتژی پایداری گیاه در مقابل استرس‌های وارد شده دانست. نکته جالب توجه در رفتار ریشه‌دهی نهال‌های تولید شده در شیب‌ها و جهات مختلف این است که وقتی شیب بیشتر می‌شود از تعداد ریشه کاسته می‌شود ولی در عوض مجموع طول ریشه‌های تولیدی در جهت شرق از همه جهات بیشتر می‌شود. این نوع گرایش به طرف تولید بیشتر ریشه در جهت شرق را می‌توان در ارتباط با نگهداری و پایداری نهال در روی سطح شیب‌دار توجیه کرد. افزایش مجموع طول ریشه‌ها در جهت‌های شمال و جنوب نهال‌های تولید شده را می‌توان در همین ارتباط توجیه کرد بدین معنی که به دلیل فشار وزش باد از سمت جنوب غرب

بیشترین مجموع طول ریشه‌ها مربوط به تیمار زمین با شیب ۴۵ درصد بوده و کمترین آن متعلق به تیمار زمین مسطح است که مشابه با نتایج دیگر پژوهشگران است (Sun *et al.*, 2008, Lombardi *et al.*, 2017). ریشه‌ها در روی دامنه‌های شیب‌دار از افتادن تنه درخت به سمت پایین دامنه جلوگیری می‌کنند و در نتیجه با گسترش بیشتر ریشه در خاک منجر به افزایش لنگربندی خواهد شد (Danjon *et al.*, 2013, Lombardi *et al.*, 2017). در واقع ریشه گیاهان برای بهبود لنگربندی در برابر تنش‌های مکانیکی واکنش نشان می‌دهند (Laskowski *et al.*, 2008, Trupiano *et al.*, 2012, De Zio *et al.*, 2016) که این واکنش، افزایش طول ریشه آن‌ها است. ریشه‌های سمت بالای درختانی که بر روی شیب واقع شده‌اند، تحت کشش هستند و تمایل به افزایش طول دارند درحالی‌که ریشه‌های سمت پایین شیب تحت فشار قرار داشته و تمایل به کوتاه شدن دارند (Chiatante *et al.*, 2003, Di lorio *et al.*, 2005). تعداد ریشه‌های تولیدی و طول آن‌ها در پایین شیب (جهت غرب) دارای اختلاف معنی دار نیست که این رفتار ریشه‌دهی نشان می‌دهد که در جهت غرب نهال بلندمازو نیاز به گسترش برای استقامت و نگهداری نداشته و از این رو انرژی زیادی در این جهت صرف نکرده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش طول دوره رشد یا افزایش سن نهال‌ها، تعداد ریشه‌ها افزایش می‌یابد که با نتایج به دست آمده از دیگر پژوهشگران تطابق دارد (Genet, Watson and O'Loughlin, 1990, *et al.*, 2006). بادهای منطقه عمدتاً از سمت جنوب و جنوب غربی می‌وزند و همین امر منجر به ایجاد فشار و استرس بر نهال‌ها شده به طوری که مشاهده می‌شود تعداد ریشه‌های تولیدی در جهت شمال و جنوب نهال‌های کاشته شده در تیمارهای مختلف

و جنوب به طرف شمال، نهال‌ها چنین رفتاری را از خود بروز می‌دهند و موجب افزایش مجموع طول ریشه‌ها شده است (Haj Abbasi, 1999). طبق نتایج به‌دست‌آمده در همه جهتها، بیشترین تعداد ریشه در تیمار زمین مسطح حاصل شد و شیب اثر منفی در تولید تعداد ریشه گذاشته است. در سطوح شیب‌دار مقدار آب محتوی خاک به دلیل شرایط زهکشی بهتر از دسترس گیاه خارج شده و از سوی دیگر در مقدار مواد غذایی خاک تغییراتی به دلیل تغییر عمق خاک صورت می‌گیرد و این عوامل سبب کاهش تعداد ریشه می‌شوند. هنگامی که نهال‌ها بر روی شیب قرار می‌گیرند تلاش نهال‌ها و یا درختان بر این است که نسبت به افزایش زی‌وزن ریشه اقدام نمایند تا بتوانند خود را در محیط مستقر سازند (Haj Abbasi, 1999). به همین دلیل مشاهده می‌شود که در شیب ۴۵ درصد، مقدار زیادتری از طول ریشه در نهال‌ها برای افزایش استقامت به‌وجود آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش قطر ریشه باعث کاهش مقاومت کششی آنها می‌شود و رابطه توانی منفی بین قطر و مقاومت کششی وجود دارد که همسو با دیگر پژوهشگران است (Norris, 2005, Biechetti et al., 2005, Majnounian et al., Nyambane & Mwea, 2011, Abdi et al., 2019, Deljouei et al., 2018, 2014). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نازک‌ترین ریشه‌ها مقاومت کششی بیشتری داشتند چرا که نسبت سلولز به لیگنین در ریشه‌های نازک و جوان بیشتر از ریشه‌های قطور است و از آنجا که ساختار سلولز نسبت به لیگنین مقاومت کششی بالاتری دارد، می‌توان مقاومت بیشتر ریشه‌های کم‌قطر را توجیه کرد (Genet et al., 2005). طبق نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز قطر ریشه به‌عنوان عامل کواریت اثر معنی‌داری بر مقاومت کششی ریشه دارد (Abernethy and Rutherford, 2001). ضریب β عامل کنترل‌کننده مقدار کاهش مقاومت کششی در رابطه با قطر و ضریب α ضریب اندازه معرفی شده است؛ بنابراین، گونه‌ای مقاومت کششی بیشتری دارد که معادله آن دارای مقادیر α بزرگ‌تر و β کوچک‌تر است. در این بررسی، ضریب α و β به‌دست‌آمده از دامنه پیشنهاد شده برای گونه‌های درختی پهن‌برگ کشور تایلند (Nilaweera and Nutalaya, 1999) که به صورت $0.87 < \alpha < 0.29$ و $0.04 < \beta < 0.08$ است، ضریب α پیروی می‌کند درحالی‌که ضریب β تنها در دو دوره سوم و چهارم پیروی می‌کند. برای گونه توسکا ضریب α برابر $0.34/0.76$ و برای β 0.069 (Bischetti et al., 2005) و در منطقه هیرکانی برای گونه انجیلی ضریب α $0.29/0.67$ و β 0.036 (Abdi et al., 2010) و برای گونه ممرز در سه طبقه قطر برابر سینه‌قطر، میان قطر و کم قطر ضرایب α (به جز سمت بالای طبقه میان قطر که برابر با $0.1/1$ است) و β در گستره پیشنهادی گونه‌های پهن‌برگ گزارش شده است (Deljouei et al., 2018). البته گاهی در دیگر پژوهش‌ها نیز تفاوت‌هایی دیده می‌شود که به دلیل وجود چنین اختلاف‌هایی، پژوهش‌های بیشتری لازم است (De Baets et al., 2008). ریشه‌ها علاوه بر نقش تغذیه‌ای باعث افزایش پایداری و مسلح‌سازی خاک می‌شوند که این افزایش بستگی به ویژگی‌های ریشه مانند طول، تعداد و مقاومت کششی آنها دارد. شیب دامنه تأثیر مهمی در طول و تعداد ریشه‌ها و مقاومت سیستم ریشه‌ای نهال‌های بلندمازو دارد. لنگر-بندی در زمین‌های پرشیب نسبت به زمین‌های کم-شیب یا مسطح از اهمیت زیادی برخوردار است. پی-بردن به ویژگی‌های زیست‌مهندسی نهال گونه‌های مختلف تأثیر بسزایی در انتخاب گونه مناسب برای جنگلکاری در مناطق حساس را دارد.

و جنوب به طرف شمال، نهال‌ها چنین رفتاری را از خود بروز می‌دهند و موجب افزایش مجموع طول ریشه‌ها شده است (Haj Abbasi, 1999). طبق نتایج به‌دست‌آمده در همه جهتها، بیشترین تعداد ریشه در تیمار زمین مسطح حاصل شد و شیب اثر منفی در تولید تعداد ریشه گذاشته است. در سطوح شیب‌دار مقدار آب محتوی خاک به دلیل شرایط زهکشی بهتر از دسترس گیاه خارج شده و از سوی دیگر در مقدار مواد غذایی خاک تغییراتی به دلیل تغییر عمق خاک صورت می‌گیرد و این عوامل سبب کاهش تعداد ریشه می‌شوند. هنگامی که نهال‌ها بر روی شیب قرار می‌گیرند تلاش نهال‌ها و یا درختان بر این است که نسبت به افزایش زی‌وزن ریشه اقدام نمایند تا بتوانند خود را در محیط مستقر سازند (Haj Abbasi, 1999). به همین دلیل مشاهده می‌شود که در شیب ۴۵ درصد، مقدار زیادتری از طول ریشه در نهال‌ها برای افزایش استقامت به‌وجود آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش قطر ریشه باعث کاهش مقاومت کششی آنها می‌شود و رابطه توانی منفی بین قطر و مقاومت کششی وجود دارد که همسو با دیگر پژوهشگران است (Norris, 2005, Biechetti et al., 2005, Majnounian et al., Nyambane & Mwea, 2011, Abdi et al., 2019, Deljouei et al., 2018, 2014). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نازک‌ترین ریشه‌ها مقاومت کششی بیشتری داشتند چرا که نسبت سلولز به لیگنین در ریشه‌های نازک و جوان بیشتر از ریشه‌های قطور است و از آنجا که ساختار سلولز نسبت به لیگنین مقاومت کششی بالاتری دارد، می‌توان مقاومت بیشتر ریشه‌های کم‌قطر را توجیه کرد (Genet et al., 2005). طبق نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز قطر ریشه به‌عنوان عامل کواریت اثر معنی‌داری بر مقاومت کششی ریشه دارد (Abernethy and Rutherford, 2001). ضریب β عامل کنترل‌کننده مقدار کاهش مقاومت کششی در رابطه با قطر و ضریب α ضریب اندازه معرفی شده است؛ بنابراین، گونه‌ای مقاومت کششی بیشتری دارد که معادله آن دارای مقادیر α بزرگ‌تر و β کوچک‌تر است. در این بررسی، ضریب α و β به‌دست‌آمده از دامنه پیشنهاد شده برای گونه‌های درختی پهن‌برگ کشور تایلند (Nilaweera and Nutalaya, 1999) که به صورت $0.87 < \alpha < 0.29$ و $0.04 < \beta < 0.08$ است، ضریب α پیروی می‌کند درحالی‌که ضریب β تنها در دو دوره سوم و چهارم پیروی می‌کند. برای گونه توسکا ضریب α برابر $0.34/0.76$ و برای β 0.069 (Bischetti et al., 2005) و در منطقه هیرکانی برای گونه انجیلی ضریب α $0.29/0.67$ و β 0.036 (Abdi et al., 2010) و برای گونه ممرز در سه طبقه قطر برابر سینه‌قطر، میان قطر و کم قطر ضرایب α (به جز سمت بالای طبقه میان قطر که برابر با $0.1/1$ است) و β در گستره پیشنهادی گونه‌های پهن‌برگ گزارش شده است (Deljouei et al., 2018). البته گاهی در دیگر پژوهش‌ها نیز تفاوت‌هایی دیده می‌شود که به دلیل وجود چنین اختلاف‌هایی، پژوهش‌های بیشتری لازم است (De Baets et al., 2008). ریشه‌ها علاوه بر نقش تغذیه‌ای باعث افزایش پایداری و مسلح‌سازی خاک می‌شوند که این افزایش بستگی به ویژگی‌های ریشه مانند طول، تعداد و مقاومت کششی آنها دارد. شیب دامنه تأثیر مهمی در طول و تعداد ریشه‌ها و مقاومت سیستم ریشه‌ای نهال‌های بلندمازو دارد. لنگر-بندی در زمین‌های پرشیب نسبت به زمین‌های کم-شیب یا مسطح از اهمیت زیادی برخوردار است. پی-بردن به ویژگی‌های زیست‌مهندسی نهال گونه‌های مختلف تأثیر بسزایی در انتخاب گونه مناسب برای جنگلکاری در مناطق حساس را دارد.

References

- Abdi, E., B. Majnounia, H. Rahimi, & M. Zobeiri, 2009. Distribution and tensile strength of hornbeam (*Carpinus betulus*) roots growing on slopes of Caspian forest, Iran, *Journal of Forestry Research*, 20(2): 105-110. (In Persian)
- 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., F. Azhdary, Abdulkhani, A. & H. Sofy Mariv, 2014. Tensile strength and cellulose content of Persian ironwood (*Parrotia persica*) roots as bioengineering material, *Journal of Forest Science*, 60(1): 425-430.
- Abdi, E., B. Majnounian, H. Rahimi, M. Zobeiri, & G. Habibi Bibalani, 2010. Investigation of biotechnical properties of *Parrotia persica* in order to use in bioengineering (case study: Patom district of Kheyroud forest), *Iranian Journal of Natural Resources*, 63(1): 53-62. (In Persian)
- Abdi, E., H.R. Saleh, B. Majnouniam, & A. Deljouei, 2019. Soil fixation and erosion control by *Haloxylon persicum* roots in arid lands, Iran, *Journal of Arid Land*, 11(1): 86-96.
- Abernethy, B., & D. Rutherford, 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement, *Hydrological Processes*, 15: 63-79.
- Avani, N., H. Lateh, & G. Habibi Bibalani, 2013. Study of root distribution of *Macaranga Tanarius* (L.) Mull. Arg. (Parasol leaf Tree) on east-west highway slope, Malasiya, *Journal of Bioscience and Biotechnology*, 2(3): 195-200.
- Bassanelli, C., G.B. Bischetti, E.A. Chiaradia, L. Rossi, & C. Vergani, 2013. The contribution of chestnut coppice forests on slope stability in abandoned territory: A case study, *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2): 68-73.
- Bischetti, G.B., C. Bassanelli, E.A. Chiaradia, & C. Vergani, 2016. The effect of gap openings on soil reinforcement in two conifer stands in northern Italy, *Forest Ecology and Management*, 359: 286-299.
- Bischetti, G.B., F. Bonfanti, & M. Greppi, 2003. Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia di analisi. Quad. Idronomia Mont 241 Plant roots: The hidden half. Marcel Dekker, New York, pp. 175-186.
- Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia, T. Simonato, B. Speziali, B. Vitali, P. Vullo, & A. Zocco, 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy), *Plant and Soil*, 278: 11-22.
- Chiaradia, E.A., G.B. Bischetti, & C. Vergani, 2012. Incorporating the effect of root Systems of forest species into spatially distributed models of shallow landslides, *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 2(3): 107-118.
- Chiaradia, E.A., C. Vergani, & G.B. Bischetti, 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.
- Chiatante, D., M. Sarnataro, S. Fusco, A. Di Dorio, & G.S. Scippa, 2003. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of *Fraxinus ornus* L. and *Spartium junceum* L. growing on slopes, *Plant Biosystems*, 137: 47-56.
- Danjon, F., J.S. Caplan, M. Fortin, & C. Meredieu, 2013. Descendant root volume varies as a function of root type: estimation of root biomass lost during uprooting in *Pinus pinaster*, *Frontiers in Plant Science*, 4: 402.
- De Baets, S., J. Poesen, B. Reubens, K. Wemans, J. De Baerdemaeker, & 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.
- Deljouei, A., E. Abdi, B. Majnounian, & M. Schwarz, 2019. Roots spatial distribution of *Carpinus betulus* in lowland Hyrcanian forests (Kheyroud forest, Nowshahr), *Journal of Forest Research and Development*, 4(4): 477-488. (In Persian)
- Deljouei, A., E. Abdi, B. Majnounian, & M. Schwarz, 2018. Comparing roots mechanical characteristics of hornbeam trees in different diameter at breast height classes. *Forest and Wood Products*, 71(3): 199-207 (In Persian).
- De Zio, E., D. Trupiano, A. Montagnoli, M. Terzaghi, D. Chiatante, A. Grosso, M. Marra, A. Scaloni, & G.S. Scippa, 2016. Poplar woody taproot under bending stress: the asymmetric response of the convex and concave sides, *Annals of Botany*, 118(4): 865-883.

- Di Iorio, A., B. Lasserre, L. Petrozzi, G.S. Scippa, & D. Chiatante, 2008. Adaptive longitudinal growth of first-order roots of woody species (*Spartium junceum*) to slope and different soil condition-upward growth of surface roots, *Environmental and Experimental Botany*, 63: 207-215.
- Di Iorio, A., B. Lasserre, G.S. Scippa, & D. Chiatante, 2005. Root system architecture of *Quercus pubescens* trees growing on different sloping conditions, *Annals of Botany*, 95: 351-361.
- Dumlao, M.R., S. Ramanarivo, V. Goyal, J.T. DeJong, J. Waller, & K. Wendy, 2015. The role of root development of *Avena fatua* in conferring soil strength, *American Journal of Botany*, 102 (7): 1-11.
- Esmaili, M. 2016. Comparing the effect of reforested softwood and hardwood tree roots in soil reinforcement (case study: Kheyrod, Noshahr), Master thesis. Forestry and forest Economics group. University of Tehran, Karaj, Iran, 65 p. (In Persian)
- Esmaili, M., E. Abdi, M. Jafary, B. majnounian, 2017. Comparison of biotechnical characteristics of root in two forest plantations of *Fraxinus excelsior* and *Picea abies*, *Journal of Forest Research and Development*, 3(3): 237-247. (In Persian)
- Genet, M., A. Stokes, F. Salin, S.B. Mickovski, T. Fourcaud, J.F. Dumail, & R. VanBeek, 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots, *Plant and Soil*, 258(1): 1-9.
- Genet, M., A. Stokes, T. Fourcaud, X. Hu, & Y. Lu, Y., 2006. Soil fixation by tree roots: changes in root reinforcement parameters with age in *Cryptomeria japonica* D. Don. Plantations, In *Interpraevent*, pp. 535-542.
- Glinski, J. & J. Lipiec, 1990. Soil physical conditions and plant roots. Boca Raton, CRC Press, New York, 250 p.
- Gysels, G., J. Poesen, & E. Bochet, 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review, *Progress in Physical Geography*, 29: 189-217.
- Haj Abbasi, M.A. 1999. Soil physics and plants roots, Ghazal publication, Esfahan, Iran, 376 p. (In Persian)
- Ji, J., N. Kokutse, M. Genet, T. Fourcaud, & Z. Zhang, 2012. Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on black Locust (*Robinia pseudoacacia*) and *Arborvitae* (*Platycladus orientalis*) stands on the Loess Plateau, China, *Catena*, 92: 139-154.
- Kazemi, M., E. Abdi, B. Majnounian, & H. Yousef Zadeh, 2014. The effect of season on resistance of Persian oak (*Quercus persica*) roots (case study: Tabarok, Bazaft basin), *Journal of Forest Science*, 6(4): 435-444. (In Persian)
- Laskowski, M., V.A. Grieneisen, H. Hofhuis, C.A. Hove, P. Hogeweg, A.F. Maree, & B. Scheres, 2008. Root system architecture from coupling cell shape to auxin transport, *Plos Biology*, 6: 307.
- Li, Y., X. Xu, & X. M. Zhu, 1993. Effective model on the roots of Chinese pine plantation to improve the physical properties of soil in the loess plateau, *Scientia Silvae Sinicae*, 29: 193-198.
- Lombardi, F., G.S. Scippa, B. Lasserre, A. Montagnoli, R. Tognetti, M. Marchetti, & D. Chiatante, 2017. The influence of slope on *Spartium junceum* root system: morphological, anatomical and biomechanical adaptation, *Journal of Plant Research*, 130(3): 515-525.
- Majnounian, B., E. Abdi, M. Foshat, & H. Sofi Mariv, 2014. Determining biomechanical properties of poplar (*Populus nigra*) for soil bioengineering purposes, *Journal of Forest and Wood Products*, 67(1): 13-19. (In Persian)
- Mohamadrad, A., E. Abdi, B. Majnounian, & H. Yousefzadeh, 2016. Effect of pollarding on tensile strength of *Quercus persica* roots, *Journal of Forest Science*, 8(3): 291-300. (In Persian)
- Naghdi, R., S. Maleki, E. Abdi, R. Mousavi, & 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.
- Nilaweera, N.S. & P. Nutalaya, 1999. Role of tree roots in slope stabilization, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57: 337-342.
- Norris, J. 2005. Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England, *Plant and Soil*, 278:43-53.
- Nyambane, O.S., & S.K. Mwea, 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-Bankhead, N. & A. Simon, 2010. Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: is mechanical root-reinforcement the whole story?, *Geomorphology*, 116: 353-362.
 - Schwarz, M., C. Phillips, M. Marden, I.R. McIvor, G.B. Douglas & A. Watson, 2016. Modelling of root reinforcement and erosion control by 'Veronese' poplar on pastoral hill country in New Zealand, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 46(1): 4.
 - Simon, A. & A.J.C. Collison, 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability, *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 527-546.
 - Sun, H., L. Li, S.C. Xiong, W.L. Yang, Z.R. Cui, & T. Yang, 2008. Influence of slope on root system anchorage of *Pinus yunnanensis*, *Ecological Engineering*, 32: 60-67.
 - Trupiano, D., M. Rocco, G. Renzone, A. Scaloni, V. Viscosi, D. Chiatante, & G.S. Scippa, 2012. The proteome of *Populus nigra* woody root: response to bending, *Annals of Botany*, 110:415-432.
 - Vergani, C., E.A Chiaradia, & G.B. Bischetti, 2012. Variability in the tensile resistance of roots in Alpine forest tree species, *Ecological Engineering*, 46: 43-56.
 - Vergani, C., M. Schwarz, M., D. Cohen, J.J. Thormann, & G.B. Bischetti, 2014. Effects of root tensile force and diameter distribution variability on root reinforcement in the Swiss and Italian Alps, *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 1426-1440.
 - Vergani, C., M. Schwarz, M. Soldati, A. Corda, F. Giadrossich, E. A. Chiaradia, P. Morando, & C. Bassanelli, 2016. Root reinforcement dynamics in subalpine spruce forests following timber harvest: a case study in Canton Schwyz, Switzerland. *Catena*, 143: 275-288.
 - Watson, A.J. & C.L. O'Loughlin, 1990. Structural roots morphology and biomass of three age classes of *Pinus radiata*, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 20(1): 97-110.
 - Ye, C., Z. Guo, Z. Li, & C. Cai, 2017: The effect of Bahiagrass roots on soil erosion resistance of Aquults in subtropical China, *Geomorphology*, 285: 82-93.
 - Zhang, C., L. Chen, J. Jiang, & S. Zhou, 2012. Effects of gauge length and strain rate on the tensile strength of tree roots, *Trees*, 26(5): 1577-1584.
 - Zhong, R., X. He, Y. Bao, Q. Tang, J. Gao, D. Yan, M. Wang, & Y. Li, 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 Sciences*, 13(3): 508-521.

Effect of slope on characteristics of *Quercus castaneifolia* root system

A. Afshar Sadr¹, V. Etemad^{*2}, E. Abdi³, P. Attarod⁴ and A. Deljouei⁵

1- MSc. of Forest Ecology, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (aafsharsadr@ut.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (vetemad@ut.ac.ir).

3- Assistant Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (abdie@ut.ac.ir)

4- Assistant Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (attarod@ut.ac.ir)

5- Ph.D. of Forest Engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (a.deljouei@ut.ac.ir)

Received: 23.02.2019

Accepted: 06.06.2019

Abstract

The aim of this study is to evaluate the effect of slope on root system characteristics of *Q. castaneifolia*. For this purpose, an experiment was conducted in the nursery of Forestry and Forest Economics department, Natural Resources faculty, University of Tehran with three treatment including flat area, area with 25 percent slope, and area with 45 percent slope with three replicates for each treatment. After preparing seeds, they were grown in pre-prepared plots. Seeds were cultivated after germination, in four periods (96, 124, 152, and 201 days). In each period, seven seedlings were selected randomly from each treatment and extracted carefully from soil. The characteristics of root system like number of roots, root length and root tensile strength were recorded. The results of the ANOVA showed that the slope had a significant effect on the number of the roots and the highest number was related to the flat treatment and the lowest was belonged to the treatment with 45 percent slope. While the maximum total length of the roots related to the 45 percent slope. The results showed that tensile strength decreased with increasing root diameter which the relation was power-law regression. The various growth periods had not a significant effect on tensile strength, however, root diameter as a covariate factor was significant.

Keywords: Number of roots, Bioengineering, Slope, Root length.

* Corresponding author

Tel: +982632223044