رابطهٔ توسعهٔ ریشه با میزان مقاومت به خشکی در دو گونهٔ اکالیپتوس (*Eucalyptus sargentii* Maiden و *Eucalyptus microtheca* Muell)

محمدهادی راد[1*]، محمدحسن عصاره[2] و مهدی سلطانی[3]

[1] استادیار پژوهشی بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد
[2] استاد گروه زیست‌فناوری مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
[3] کارشناس پژوهش بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۲۵)

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و عملکرد گیاهان محسوب می‌شود. با توجه به پیچیدگی عوامل تأثیرگذار بر میزان تحمل یا مقاومت به خشکی در گیاهان، دستیابی به سازوکارهای مربوط، محققان را با چالش مواجه کرده است. مطالعهٔ گسترش ریشه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در این زمینه مطرح شود. بر این اساس، در این تحقیق چگونگی گسترش ریشهٔ دو گونهٔ اکالیپتوس تحت تأثیر تنش خشکی و در اعماق مختلف خاک در شرایط لایسیمتری مورد توجه قرار گرفت. تنش خشکی در سه سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در سه تکرار اعمال و تأثیر آن بر توسعهٔ وزنی ریشه در شش عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ و ۱۲۰-۱۰۰ سانتی‌متری بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، ریشهٔ تولیدشده در هر دو گونه کاهش معنی‌داری داشت. ریشهٔ تولیدشده در سطوح مختلف تنش خشکی در *E. microtheca* بیشتر از *E. sargentii* بود. در شرایط تنش خشکی، نفوذ عمقی ریشه در *E. microtheca* بیشتر از *E. sargentii* بود، به‌گونه‌ای که مقاومت بیشتر آن‌را به تنش خشکی نسبت به *E. sargentii* نشان داد. *E. microtheca* می‌تواند با سازوکار توسعهٔ ریشه در اعماق خاک، با خشکی مقابله کند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ریشه، *Eucalyptus microtheca*، *Eucalyptus sargentii*.

*نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۳۵۳۸۲۴۹۹۰۱ ایمیل: mohammadhadirad@gmail.com

مقدمه و هدف

جذب آب توسط ریشه‌های عمیق از کارامدترین عوامل مقاومت به خشکی در جنگل‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری در نظر گرفته می‌شود (Yang *et al*., 2015). توسعهٔ ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک خصوصیت ژنتیکی است، به وضعیت محیط رشد از جمله مقدار رطوبت خاک نیز بستگی دارد، ولی موضوع مهم این است که گسترش ریشه گیاهان اغلب بیش از حد تصور است. گیاهانی که ریشهٔ عمیق دارند، قادرند آب را از اعماق زیاد جذب کنند و در اختیار بخش‌های هوایی قرار دهند. مقدار رطوبت خاک به سه صورت بر رشد ریشه مؤثر است: گسترش ریشه‌ها، نفوذ عمقی ریشه و گسترش جانبی آن و نسبت وزن ریشه به ساقه یا اندام هوایی (علیزاده، ۱۳۸۴). طبیعی است که تأثیر ریشه در جذب آب و مواد غذایی، به انتشار سیستم ریشه و کارایی هر یک از ریشه‌ها بستگی کامل دارد. ریشه‌ها در طی مرحلهٔ رشد، تحت تغییرات آناتومیکی زیادی قرار می‌گیرند که تا حد زیادی به نفوذپذیری ریشه در خاک و جذب آب و املاح بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۴). اگرچه تعداد ریشه‌های نازک و کوچک با افزایش عمق کم می‌شود، این ریشه‌ها تأثیر بسیار مهمی در جذب آب در طی دوره‌های خشک سال دارند (Talsma and Gardner, 1986). تأثیر تنش خشکی بر کاهش رشد ریشه کمتر از اندام هوایی است (Hsiao and Xu, 2000)، با وجود این موجب کاهش وزن خشک آن در تمامی افق‌های خاک می‌شود. تغییرات طول ریشه متأثر از تنش خشکی به نوع گونه گیاهی وابسته است. در برخی گیاهان، تنش خشکی موجب افزایش طول و نفوذ عمقی بیشتر و در برخی موجب کاهش طول ریشه به‌ویژه در افق‌های سطحی خاک می‌شود.

Silva *et al*. (2004) با مطالعهٔ تأثیر تنش خشکی بر کلن‌های مختلف *E. globulus* به این موضوع اشاره داشته‌اند که تنش خشکی موجب افزایش طول ریشه شد، هرچند این افزایش در کلن‌های مختلف متفاوت بود. راد و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشهٔ *E. camaldulensis* در شرایط لایسیمتری‌گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش وزنی و طول ریشهٔ درختان سه‌ساله شد. آنها بیان داشتند که با افزایش عمق خاک، طول ریشه افزایش یافت، هرچند از نظر وزنی کاهش معنی‌داری مشاهده شد. برخی گیاهان مناطق خشک از جمله گونه‌های سازگار اکالیپتوس، ریشه‌های اندکی در بالاتر از ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک دارند و بیشتر آنها در عمق ۲۰ تا ۷۰ سانتی‌متری از سطح خاک توسعه می‌یابد. در عمقی که ریشه‌ها به منابع آب زیرزمینی می‌رسند، ریشه‌های جانبی بیشتری را به‌وجود می‌آورند (Knight, 1999). ریشه‌های درختان اکالیپتوس به‌طور معمول دو شکل دارند: متشکل از یک سیستم جانبی و یک سیستم ریشه‌ای عمیق (Knight, 1999). Christina *et al*. (2011) بیان داشتند که گونه‌های مختلف اکالیپتوس و به‌ویژه *E. grandis* ریشه‌های کم‌عمق با تراکم زیاد و ریشه‌های عمیق با عمق بیش از ۱۸ متر (در صورت نبود مانع فیزیکی) دارند که می‌توانند آب را از اعماق خاک دریافت کنند. عمق ریشه در *E. marginata* در جنگل‌های غرب استرالیا تا بیش از ۲۰ متر نیز گزارش شده است (Carbon *et al*., 1980). با اندازه‌گیری شیرهٔ سلولی درختان سه‌سالهٔ *E. grandis* در طی یک دورهٔ خشک برای بررسی بیلان آبی در یک آبخیز در منطقهٔ بیندابلا در شرق استرالیا مشخص شد که مقدار شیرهٔ سلولی روند تصاعدی داشت که این بیانگر جذب آب توسط این گونه از اعماق حدود ۸ متری بود. درختانی که بیش از نه سال داشتند، حتی توانستند آب را از اعماق بیش از ۸ متری نیز به‌دست آورند (Dye, 1966). در حفاری‌های عمیق نشان داده شده است که ریشه‌های اکالیپتوس تا ۲۸ متر هم پایین می‌رود. Wang and Li (2002)

با بررسی واکنش به تنش خشکی در سه جمعیت *E. microtheca* گزارش کرده‌اند که تنش خشکی موجب توسعهٔ بیشتر ریشه در مقایسه با اندام هوایی شد و از این طریق نسبت ریشه به اندام هوایی بهبود یافت. آنها همچنین تفاوت معنی‌داری را بین جمعیت‌های مختلف در این زمینه گزارش کرده‌اند.

Christina *et al*. (2016) با بیان این موضوع که ریشه‌های عمیق، یک راهکار بسیار مهم در تأمین آب مورد نیاز برای تعرق در گونه‌های مختلف اکالیپتوس و به‌ویژه *E. grandis* است، تاکید کردند که بخش زیاد آب مورد نیاز در فصول گرم سال، از آب ذخیره‌شده در اعماق خاک یا سطوح منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. آنها اشاره داشتند که عملکرد گونه‌های مختلف اکالیپتوس به‌طور کامل به میزان توسعهٔ ریشهٔ آنها بستگی دارد.

E. sargentii از گونه‌های مهم اکالیپتوس و دارای مقاومت به‌نسبت زیاد به خشکی و شوری است (راد و همکاران، ۱۳۹۲; Archibald *et al*., 2006). مقاومت آن به سرما کم است و در مناطقی از استرالیا رویش دارد که کمینهٔ دما به کمتر از چهار درجهٔ سانتی‌گراد کاهش نمی‌یابد (Douglas *et al*., 2006). این گیاه در خاک‌های شنی و شور نواحی جنوبی و شرق استرالیا با ارتفاع ۲۰۰-۳۰۰ متر از سطح و میانگین بارش سالانهٔ ۳۳۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر انتشار دارد. چوب، پوست و برگ‌های آن سرشار از تانن و اسانس بوده و چگالی چوب آن ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است (Douglas *et al*., 2006).

E. microtheca یکی دیگر از گونه‌های مهم اکالیپتوس است که از مقاومت زیادی به شوری و خشکی آب و خاک برخوردار است (راد و همکاران، ۱۳۹۲). تیپ بارش‌های محل رویش آن در استرالیا عمدتاً تابستانه است و مقدار سالانهٔ آن از ۱۲۰ میلی متر تا ۱۵۰۰ میلی‌متر متفاوت است. عمدهٔ مناطق پراکنش این گونه در استرالیا مناطق شمالی به‌سمت شرق، غرب و مرکز با ارتفاع از صفر تا ۷۰۰ متر از سطح دریاست. چگالی چوب آن ۹۸۰ تا ۱۱۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است (Douglas *et al*., 2006).

این پژوهش با هدف بررسی توان توسعهٔ ریشه در شرایط تنش خشکی برای دو گونهٔ فوق انجام گرفت تا گونهٔ برتر برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی شود.

مواد و روش‌ها

مکان، شرایط اقلیمی و وضعیت خاک

از سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری ایستگاه تحقیقاتی بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد که دارای عدد لایسیمتر وزنی زهکش‌دار با ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر است، استفاده شد. جنس لایسیمترها، آهن گالوانیزه بود و بدنهٔ آنها با فوم و پشم شیشه برای کاهش تبادل حرارت، پوشانده شد. کف لایسیمترها از شیب سانتی‌متری برخوردار بود و آب اضافی به لوله‌ای که برای خروج آب در نظرگرفته شده، منتهی می‌شد. به‌منظور بهبود وضعیت زهکش لایسیمترها از ماسه درشت به ارتفاع ۱۰ سانتی متر و ماسهٔ ریز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر در کف آنها استفاده شد.

شرایط اکولوژیکی حاکم بر سایت تحقیقاتی ذکرشده عبارت است از: طول جغرافیایی "۹ '۱۱ °۵۴، عرض جغرافیایی "۳۰ '۴ °۳۲، میانگین بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر، بیشینهٔ سرعت وزش باد ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، میانگین سالانهٔ ساعات آفتابی ۳۰۵۲ ساعت، میانگین سالانهٔ تعداد روزهای یخبندان ۷۳ روز، میانگین سالانهٔ تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A ۳۲۰۷/۴ میلی‌متر، میانگین دمای سالانهٔ ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد، کمینهٔ مطلق دمای سالانه ۱۳/۵- درجهٔ سانتی‌گراد مربوط به دی ماه، بیشینهٔ مطلق دمای سالانه ۴۵/۵ درجهٔ سانتی‌گراد مربوط به تیرماه؛ اقلیم منطقه براساس روش دومارتن اصلاح‌شده فراخشک سرد است.

برای پر کردن لایسیمترها از خاک مناسب استفاده شد. مشخصات فیزیکی خاک استفاده‌شده به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک استفاده‌شده در لایسیمترها

وزن مخصوص ظاهری	رطوبت حجمی (درصد)	رطوبت وزنی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک
۱/۶۱	۲۷/۸۵	۱۷/۳۰	۸۰/۴	۹/۵	۱۰/۱	لوم شنی

کاشت و مراقبت از نهال‌ها

با آماده شدن لایسیمترها و فراهم شدن شرایط برای کاشت نهال در آنها، نسبت به غرس یک اصله نهال از گلخانهٔ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد تهیه شده بود. نهال‌ها در شروع فصل بهار سال ۱۳۸۹ غرس و به‌مدت شش ماه به فاصلهٔ ۱۵ روز یک‌بار با ۵۰ لیتر آب، آبیاری شدند.

اعمال تیمارها

تیمارهای مورد نظر شامل نوع گونه (*E. microtheca, E. sargentii*) در دو سطح، تنش خشکی در سه سطح آبیاری کامل (بدون تنش)، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و عمق توسعهٔ ریشه در شش سطح ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ و ۱۲۰-۱۰۰ سانتی‌متری خاک در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایهٔ کاملاً تصادفی و در سه تکرار اعمال شد. با توجه به سطوح تیمارهای اعمال‌شده و تعداد تکرار از ۱۸ عدد لایسیمتر استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌وسیله TDR مدل ترایم[1] انجام گرفت. رطوبت خاک در پنج عمق ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰سانتی‌متری اندازه‌گیری و میانگین آنها مبنای آبیاری قرار گرفت. آبیاری برحسب نیاز و در زمان مقرر انجام گرفت. پس از جدا کردن قسمت هوایی، نسبت به برداشت خاک و ریشه اقدام شد و با الک کردن و سپس شست‌وشوی خاک، ریشه‌های ضخیم و مویین جدا و با قراردادن در کوره و در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت (علیزاده، ۱۳۸۴) وزن خشک آنها به‌دست آمد. با اندازه‌گیری میزان وزنی ریشه، تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر توسعهٔ ریشه ارزیابی شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای تجزیهٔ آماری داده‌ها و همچنین مقایسهٔ میانگین داده‌ها و بررسی همبستگی صفات مورد اندازه‌گیری از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها نیز به‌روش دانکن و در سطح آماری ۵ درصد انجام گرفت. برای بررسی رابطهٔ صفات با یکدیگر و رسم نمودارها از محیط نرم‌افزاری EXCEL استفاده شد.

نتایج

بررسی‌های به‌عمل‌آمده نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی و همچنین نوع گونه تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) بر ریشهٔ تولیدشده داشت. مقدار ریشه تولیدشده در اعماق مختلف خاک نیز اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) بود. اثر متقابل تنش خشکی با نوع گونه و همچنین نوع گونه با عمق خاک اختلاف معنی‌داری را نداشت. اثر متقابل تنش خشکی با عمق

[1]TDR (Time Domain Reflectometry- Train)

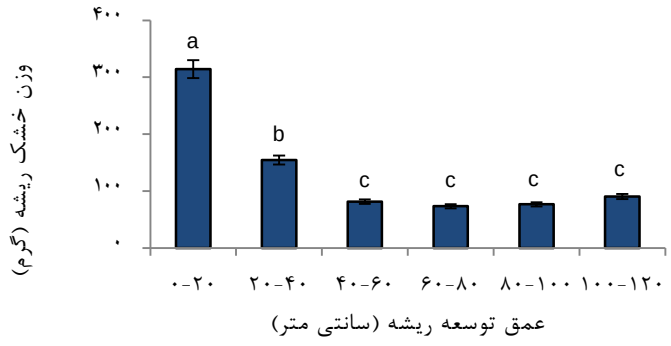
توسعهٔ ریشه از اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد ($P<0.01$) برخوردار شد. با بررسی اثر متقابل تنش خشکی با گونه و عمق توسعهٔ ریشه نیز مشخص شد که مقدار رطوبت خاک، تأثیر مستقیمی بر پراکنش ریشه در اعماق مختلف و در هر یک از گونه‌های مورد آزمایش داشت، به‌طوری‌که اختلاف آنها از نظر آماری در سطح ۱ درصد ($P<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به پراکنش وزنی ریشه در اعماق مختلف خاک

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات وزن خشک ریشه
تنش خشکی	۲	۲۰۱۳۶۷/۲۷**
گونه	۱	۱۷۸۲۳۲/۴۴**
عمق خاک	۵	۱۶۰۵۰۱/۹۹**
تنش خشکی×گونه	۲	۸۳۵۳/۹۸^{ns}
گونه×عمق خاک	۵	۵۶۴۳/۱۷^{ns}
تنش خشکی×عمق خاک	۱۰	۲۰۲۵۳/۳۵**
تنش خشکی×گونه×عمق خاک	۱۰	۲۶۶۸۲/۵۶*
خطا	۷۲	۶۶۲۱/۷۲

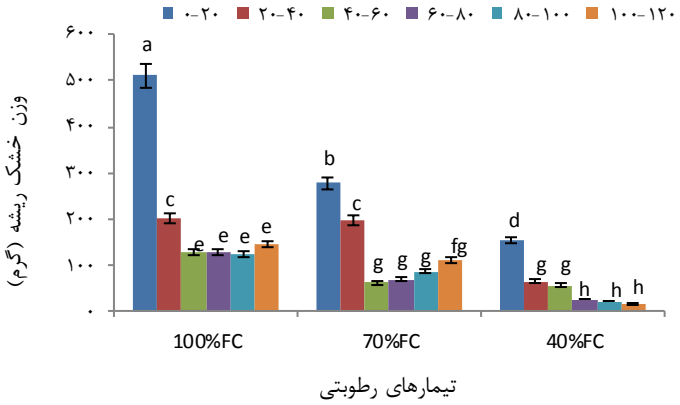
**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح آماری ۱، ۵ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

با مقایسهٔ میانگین داده‌های مربوط به تأثیر تنش خشکی بر میزان ریشهٔ تولیدشده مشخص شد که با افزایش تنش خشکی، مقدار ریشه کاهش یافت، هرچند بین تیمار رطوبتی شاهد با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار ریشهٔ تولیدشده (۱۲۳۴ گرم) مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن (۲۵۵/۰۵ گرم) مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود. مقایسهٔ میانگین داده‌های مربوط به نوع گونه نیز نشان داد که بیشترین مقدار ریشهٔ تولیدشده مربوط به گونهٔ *E. microtheca* با ۱۶۶۴/۵ گرم و کمترین آن مربوط به گونهٔ *E. sargentii* با ۸۰۳/۵۰ گرم بود. مقایسهٔ میانگین داده‌های مربوط به عمق توسعهٔ ریشه نشان داد که بیشترین ریشهٔ تولیدی در بخش رویی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک) و کمترین مقدار آن مربوط به عمق ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری سطح خاک بود، هرچند بین عمق های ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ و ۱۲۰-۱۰۰ اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۱).

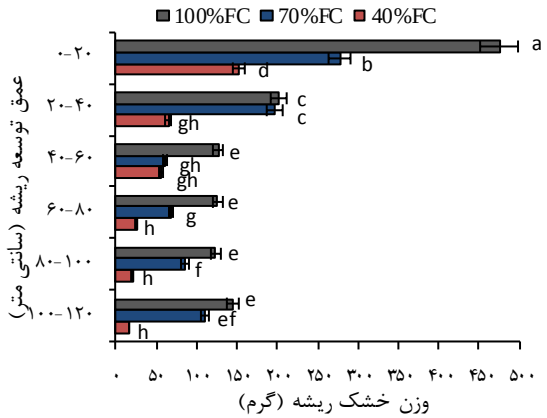


شکل ۱- پراکنش وزنی ریشه در اعماق مختلف خاک

با بررسی اثر متقابل تنش خشکی با عمق توسعهٔ ریشه مشخص شد که با تغییر در مقدار رطوبت خاک، پراکنش ریشه در اعماق مختلف خاک رفتار متفاوتی را نشان داد. بیشترین مقدار ریشه با ۵۱۲/۲۵ گرم مربوط به عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر در تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با ۱۶/۰۸ گرم در عمق ۱۰۰ تا ۱۲۰سانتی‌متری بود (شکل‌های ۲ و ۳). به‌عبارتی با افزایش عمق خاک و کاهش رطوبت خاک در پروفیل‌های زیرین، مقدار ریشهٔ تولیدشده کاهش چشمگیری داشت.

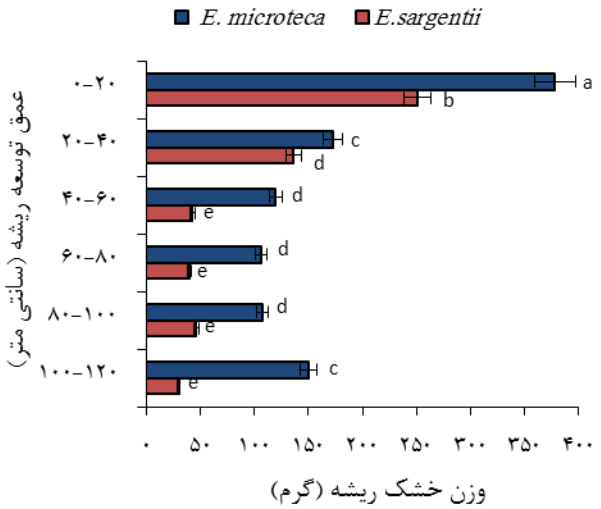


شکل ۲- پراکنش وزنی ریشه در تیمارهای رطوبتی (اعماق مختلف خاک)



شکل ۳- مقایسهٔ میزان وزنی ریشه در اعماق مختلف مربوط به هر یک از تیمارهای رطوبتی

نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل عمق خاک و نوع گونه بر چگونگی پراکنش وزنی ریشه‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ریشه با۳۷۷/۷۲ گرم مربوط به عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری در گونهٔ *E. microtheca* و کمترین میزان ریشه نیز مربوط به گونهٔ *E. sargentii* با وزن ۳۰/۱۴ گرم و مربوط به عمق ۱۲۰-۱۰۰ سانتی‌متری سطح خاک می‌باشد (شکل ۴).

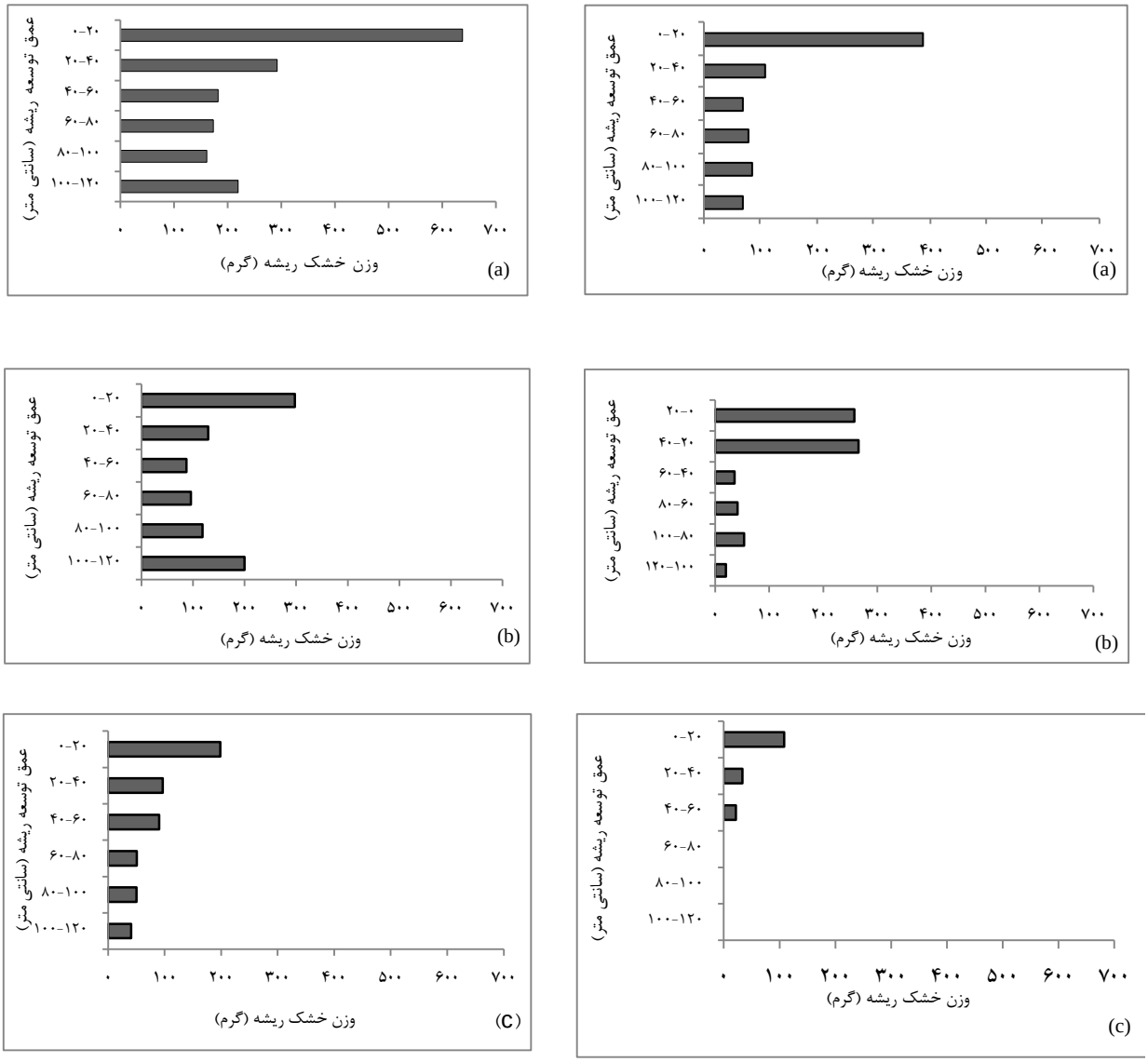


شکل ۴- اثر متقابل گونه و عمق توسعه ریشه بر پراکنش وزنی ریشه

مقایسهٔ میانگین داده‌های مربوط به اثر متقابل سطوح مختلف تنش خشکی با نوع گونه و اعماق مختلف خاک بر نحوهٔ پراکنش ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به شاهد و در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری در گونهٔ *E. microtheca* با وزن ۶۳۷/۴۳ گرم بود، در حالی‌که با اعمال تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در گونه *E. sargentii* ریشهٔ چندانی حتی در بخش‌های فوقانی خاک تولید نشد و گیاه را برای دریافت آب از خاک دچار محدودیت کرد. از نکات برجستهٔ دیگر در این خصوص، تغییرات ریشه در دو گونه و در اعماق مختلف خاک، تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بود. به‌عبارتی پراکنش ریشه در گونهٔ *E. microtheca* از توزیع متعادل‌تری در تمامی اعماق خاک نسبت به گونهٔ *E. sargentii* برخوردار بود. در شرایط تنش ملایم، گونهٔ *E. microtheca* میزان ریشهٔ بیشتری را در عمق ۱۲۰- ۱۰۰ سانتی‌متری خاک نسبت به سطوح بالاتر تولید کرد. شکل ۵ وضعیت پراکنش ریشه را در سطوح مختلف تنش خشکی و در اعماق مختلف خاک به‌صورت مجزا برای هر یک از گونه‌های آزمایش‌شده نشان می‌دهد.

بحث

یکی از مهمترین سازوکارهای گیاهان در مقابله با تنش خشکی، افزایش مقدار ریشه از نظر طولی و وزنی به‌ویژه در اعماق خاک برای برداشت آب بیشتر است. اهمیت بررسی میزان طولی ریشه برای مطالعات مربوط به تأثیر تنش خشکی بیشتر از بررسی وزنی آن است، با وجود این توسعهٔ ریشه از نظر وزنی که شاخصی برای تعیین نسبت ریشه به اندام هوایی است نیز در این خصوص کارامد بوده و به‌عنوان شاخص مهم مطرح و اجرای آن به‌ویژه در گونه‌های چوبی نیز آسان‌تر است. بررسی‌ها در این خصوص نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی توانست تأثیر متفاوتی بر زی‌تودهٔ ریشه داشته باشد. به‌عبارتی تنش خشکی موجب کاهش وزنی ریشه در هر دو گونهٔ تحت آزمایش شد.



شکل ۵- وضعیت پراکنش وزنی ریشه (راست) *E. sargentii* (چپ) *E. microtheca* در تیمارهای (a) شاهد (b) ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و (c) ۴۰ درصد ظرفیت زراعی

ریشه به اندام هوایی می‌شود. تأثیر تنش خشکی بر *E. sargentii* نسبت به *E. microtheca* بیشتر بود، ضمن اینکه در تمامی سطوح تنش خشکی از جمله شاهد، عملکرد کمتری نیز داشت. این موضوع نشان می‌دهد که هرچند شرایط محیطی، عاملی برای تغییر مقدار ریشهٔ تولیدشده توسط گیاه است، توان ژنتیکی گیاه، موضوع مهم‌تری است که باید در انتخاب، برای

مطالعات متعدد، بیانگر کاهش وزن خشک تمام اندام‌های گیاه از جمله ریشه در اثر افزایش تنش خشکی است (Hamada, 1996; Abdalla and El-Khoshiban, 2007)، اما Kameli and Losel (1996) گزارش کرده‌اند که در اثر تنش خشکی ممکن است وزن ریشه افزایش و وزن قسمت هوایی کاهش یابد که موجب بهبود نسبت

گونه مشاهده کردند.

راد و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعهٔ تأثیر تنش خشکی بر چگونگی توسعه ریشه در درختان سه‌سالهٔ *E. camaldulensis* گزارش کردند که با کاهش رطوبت خاک از ظرفیت زراعی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان ریشه از ۴۲۸۸/۳ گرم به ۵۲۵/۷ گرم کاهش یافت که از تأثیر بسیار زیاد تنش خشکی بر کاهش عملکرد ریشه در این گونه حکایت دارد.

برخی محققان نسبت بزرگ ریشه به شاخه را نشان‌دهندهٔ مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌دانند (Li and Wang, 2003; Gazal and Kubiske, 2004; Bargali and Tewari, 2004). آنها بر این نکته تأکید دارند که اولین و عمومی‌ترین ویژگی رشد گیاه در مناطق خشک فزونی نسبت ریشه به اندام هوایی است. علیزاده (۱۳۸۴) اشاره دارد که نباید تصور کرد که ریشهٔ بعضی گیاهان در پی آب به اعماق فرو می‌رود، بلکه رشد ریشه تابع موجودیت آب بوده و عمیق شدن ریشه‌ها در بعضی گیاهان یک خصوصیت ژنتیکی است.

Susiluoto and Berninger (2007) گزارش کرده‌اند که در مناطق خشک، ریشه‌های درختان اکالیپتوس برای مقابله با فصول خشک، با نفوذ به اعماق خاک از آبهای ذخیره‌شده استفاده می‌کنند. علی‌رغم این موضوع، در این تحقیق تنش خشکی شدید نتوانست تأثیری بر نفوذ عمقی ریشه در هر دو گونهٔ آزمایش‌شده داشته باشد، هرچند شرایط برای گونهٔ *E. microtheca* مناسب‌تر بود و مقدار زیادتری از ریشه در شرایط تنش خشکی در اعماق خاک نفوذ یافت. برای بیشتر گیاهان در حالت معمول و بدون محدودیت برای توسعهٔ ریشه، حدود ۴۰ درصد ریشه‌های گیاه در لایه یک چهارم سطحی، ۳۰ درصد در لایهٔ یک‌چهارم دومی، ۲۰ درصد در لایهٔ یک‌چهارم سومی و ۱۰ درصد در لایهٔ یک‌چهارمی آخر گسترش می‌یابد (علیزاده، ۱۳۸۴). تغییر مقدار ریشه در افق‌های ذکرشده، بیانگر تغییر ملموس وضعیت خاک کاشت در شرایط خشک لحاظ شود. تولید ریشهٔ بیشتر، امکان برداشت آب، توسط سطح بیشتری از خاک فراهم می‌کند. مقدار ریشهٔ تولیدشده در تیمار شاهد و در شرایطی که آب کافی برای هر دو گونه فراهم بود، برای *E. microtheca*، ۱۶۶۴/۴۸ گرم اندازه‌گیری شد، درحالی که برای *E. sargentii*، ۸۰۳/۴۵ گرم بود. تفاوت در مقدار ریشهٔ تولیدشده در سایر سطوح تنش خشکی نیز نشان‌دهندهٔ توان ژنتیکی *E. microtheca* در تولید ریشهٔ بیشتر است. با افزایش تنش خشکی، توسعهٔ ریشه در اعماق خاک برای *E. microtheca* شرایط مناسب‌تری را نسبت به *E. sargentii*، نشان داد. به نظر می‌رسد یکی از سازوکارهایی که *E.microtheca* در مقایسه با *E. sargentii* برای مقابله با تنش خشکی به‌کار می‌گیرد، افزایش ریشه در اعماق خاک و برداشت آب بیشتر است. بررسی‌ها نشان داد که با کاهش رطوبت خاک از ظرفیت زراعی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، ریشهٔ تولیدشده توسط *E. microtheca*، ۶۸ درصد کاهش یافت، درحالی که این میزان برای *E. sargentii*، ۷۹ درصد بود. کاهش بیشتر ریشه در *E. sargentii*، در اثر وقوع تنش خشکی، نشان‌دهندهٔ حساسیت بیشتر این گونه در مقایسه با *E. microtheca* است.

گزارش‌هایی مبنی بر معرفی *E. microtheca* به‌عنوان گونهٔ مقاوم به خشکی وجود دارد (Susiluoto and Berninger, 2007). آنها به این نکته اشاره داشته‌اند که این گونه از اکالیپتوس می‌تواند با افزایش نسبت ریشه به شاخه و برداشت آب بیشتر از اعماق خاک در برابر تنش خشکی مقاومت کند. با بررسی واکنش به تنش خشکی در سه جمعیت *E.micrtheca* مشخص شد که تنش خشکی می‌تواند موجب توسعهٔ بیشتر ریشه در مقایسه با اندام هوایی شد و از این طریق نسبت ریشه به اندام هوایی را بهبود بخشد (Li and Wang, 2003)، آنها همچنین تفاوت معنی‌داری را بین جمعیت‌های مختلف این

و از جمله موجودیت آب است. در پایان می‌توان بیان داشت که دو گونهٔ مورد مطالعه از مقاومت خوبی به تنش خشکی و شوری (راد و همکاران، ۱۳۹۲) برخوردارند و به‌دلیل ویژگی‌های مثبت زیباشناختی امکان کاربرد آنها در توسعهٔ فضای سبز در مناطق اکولوژیکی مناسب وجود دارد، اما *E. microtheca* می‌تواند شرایط سخت‌تر خاک، از جمله کمبود آب را تحمل کند. یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی در این گونه، توسعه بیشتر ریشه در اعماق خاک است.

منابع

راد، محمد دهادی، محمد حسن عصاره و مهدی سلطانی، ۱۳۸۹. واکنش ریشه اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*. Dehnh) نسبت به تنش خشکی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۲): ۲۸۵- ۲۹۶.

راد، محمدهادی، محمد حسن عصاره، مهدی سلطانی و مهدیه تجملیان، ۱۳۹۲. تعیین نیاز آبی، ضریب گیاهی و کارایی مصرف آب در دو گونهٔ اکالیپتوس در شرایط لایسیمتری، مجلهٔ پژوهش آب ایران، ۷ (۱۲): ۷۱-۷۸.

علیزاده، امین، ۱۳۸۴. رابطهٔ آب و خاک و گیاه، چاپ چهارم. دانشگاه امام رضا، مشهد، ۴۷۰ ص.

Abdalla, M.M., and N.H. El-Khoshiban, 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars, *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12): 2062-2074.

Archibald, R.D., R.J. Harper, J.E. Fox, and R.P. Silberstein, 2006. Tree performance and root-zone salt accumulation in three dryland Australian plantations, *Agroforestry Systems*, 66(3):191-204.

Bargali, K., and A. Tewari, 2004. Growth and water relation parameters in drought-stress *Coriaria nepalensis* seedling, *Journal of Arid Environment*, 58: 505-512.

Carbon, B.A., G.A, Bartle, A.M. Murray, and D.K. Macpherson, 1980. The distribution of root length and the limits to flow of soil water to roots in a dry scleophyll forest, *Forest Science*, 26:656-664.

Christina, M., J.P. Laclau, J.L.M. Gonçalves, C. Jourdan, Y. Nouvellon, and J.P. Bouillet, 2011. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests, *Ecosphere*, 2(3): 1-10.

Christina, M., Y. Nouvellon, J.P. Laclau, J.L. Stape, J.P. Bouillet, G.R. Lambais, and G. Maire, 2016. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest, *Functional Ecology*, 30(8): 1565-1585.

Douglas, J.B., W. Maurice, and N. McDonald, 2006. Forest trees of Australia, National library of Australia Cataloguing-in- Publication,736 pp.

Dye, P.J., 1996. Response of *Eucalyptus grandis* trees to soil water deficits, *Tree Physiology*, 16: 233–238.

Gazal, R.M., and M.E. Kubiske, 2004. Influence of initial root length on physiological responses of cherry bark oak and shumard oak seedling to field drought conditions, *Forest Ecology and Management*, 189: 295-305.

Hsiao, T.C., and L.K. Xu, 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport, *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1595-1616.

Hamada, A.M., 1996. Effects of NaCl, water stress or both on gas exchange and growth of wheat. *Biologia Plantarum*, 3: 405-412.

Kameli, A., and D.M. Lösel, 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress, *New Phytologist*, 132(1): 57-62.

Knight, J.H. 1999. Root distributions and water uptake patterns in Eucalypts and other species, *The Ways Trees Use Water*, 22: 55-85.

Li, C., and K. Wang, 2003. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* Muell. Populations, *Forest Ecology and Management*, 179(1): 377-385.

Silva, F.C., A. Shvaleva, J.P. Maroco, M.H. Almeida, M.M, Chaves, and L. Pereira, 2004. Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance, *Tree Physiology*, 24(10): 1165-1172.

Susiluoto, S., and F. Berninger, 2007. Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microtheca*, *Silva Fennica*, 41(2): 221-233.

Talsma, T., and E.A. Gardner, 1986. Soil water extraction by a mixed eucalypt forest during a drought period, *Australian Journal of Soil Research*, 24:25–32.

Yang, B., X. Wen, and X. Sun, 2015. Seasonal variations in depth of water uptake for a subtropical coniferous plantation subjected to drought in an East Asian monsoon region, *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 218-228.

The relationship between root development and drought resistance of two *Eucalyptus* species (*Eucalyptus microtheca* Muell and *Eucalyptus sargentii* Maiden)

M.H, Rad[1*], M.H, Asareh[2], and M. Soltani[3]

[1]Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, I.R. Iran
[2]Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran.
[3]M.Sc., Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, I.R. Iran

(Received: 4 April 2016; Accepted: 16 October 2016)

Abstract

Drought stress is one of the most important factors reducing the plant growth and yield. Due to the complexity of factors affecting the drought tolerance or resistance in plants and access to relevant mechanisms, researchers are faced with challenges. Studying the root development can be considered as an important indicator in this regard. On the basis of this study how the development of two species of *Eucalyptus* roots under drought conditions and at different depths in lysimetric conditions were taken into account. Drought stress was applied in three irrigation levels, including: 100% field capacity (control), 70% field capacity (moderate stress) and 40% field capacity (sever stress) in three replicates. Effects of drought stress on root weight development were studied in six deeps, including: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 and 100-120 cm. The results showed that increasing drought stress reduced the roots development in both species significantly. *E. micortheca* produced more roots than *E. sargentii* in varying levels of drought stress. The roots of *E. microtheca* had more deep penetration than *E. sargentii* in all drought stress treatments. Due to the reasons mentioned, *E. microtheca* is more resistant to drought stress than *E. sargentii*.

Keywords: Drought stress, *Eucalyptus microtheca*, *Eucalyptus sargentii*, Root.

* Corresponding author Tel: 03538249901 Email: mohammadhadirad@gmail.com