فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۱۸ شمارهٔ ۲، صفحهٔ ۲۹۶-۲۸۵، (۱۳۸۹)

واکنش ریشه اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) نسبت به تنش خشکی

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

۱*- نویسنده مسئول، مربی پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد. پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com
۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران.
۳- کارشناس، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد.
تاریخ دریافت: ۸۸/۲/٦ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/٤

چکیده

در این تحقیق تأثیر تنش خشکی بر پراکنش وزنی و طولی ریشه درختان سه ساله اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد مورد بررسی قرار گرفت. درختان در داخل لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار کشت و تحت تأثیر تیمارهای رطوبتی شامل ۱۰۰٪ (آبیاری به‌حد کافی)، ۷۰٪ (تنش ملایم) و ٤۰٪ (تنش شدید) قرار گرفتند. تأمین رطوبت خاک به‌وسیله آبیاری و از طریق اندازه‌گیری رطوبت در اعماق مختلف با دستگاه TDR انجام شد. پراکنش وزنی و طولی ریشه‌ها در اعماق کمتر از ۳۰، ۳۰ تا ٦۰، ٦۰ تا ۹۰ و ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌های به‌عمل‌آمده نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش وزن و طول ریشه گردید، به‌گونه‌ای که بین هر یک از تیمارهای رطوبتی اختلاف معنی‌داری ($P<0.001$) مشاهده شد. پراکنش ریشه از نظر وزنی و طولی در اعماق مختلف نیز معنی‌دار بود ($P<0.001$)، به‌گونه‌ای که با افزایش عمق میزان وزنی ریشه کاهش و مقدار طولی آن افزایش یافت. تأثیر تیمارهای رطوبتی بر مقدار پراکنش وزنی و طولی ریشه در اعماق مختلف نیز معنی‌دار ($P<0.001$) بود. طول ریشه در تیمارهای ۱۰۰٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی با افزایش عمق افزایش یافت، با وجود این در تیمار تنش شدید (٤۰٪ ظرفیت زراعی) مقدار آن با افزایش عمق، کاهش یافت. بنابراین نفوذ عمقی ریشه *E. camaldulensis* به‌طور کامل به‌میزان رطوبت موجود در خاک وابسته بوده، به‌گونه‌ای که تنش شدید موجب توقف رشد ریشه در اعماق خاک می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس، تنش خشکی، پراکنش وزنی ریشه، پراکنش طولی ریشه.

مقدمه

اگرچه سازگاری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه نسبت به کمبود آب قابل رؤیت نیست و کمتر به آن پرداخته شده است، با وجود این منابع متعددی تغییرات ریشه را در مواجه با کمبود آب گزارش کرده‌اند (Chiatante *et al*., 2006; Turner, 1986; Bacelar *et al*., 2007; Li &Wang, 2003). برخی آزمایشها نشان می‌دهند که تنش خشکی موجب کاهش وزنی ریشه به‌همراه کاهش وزنی اندام هوایی می‌شود (Abdalla & El-Khoshiban, 2007). ریشه‌ها حساسیت متفاوتی به تنش خشکی دارند، با کاهش رطوبت خاک مرگ ریشه‌های مویین به‌مراتب زودتر از ریشه‌های قطور اتفاق می‌افتد. با این شرایط واکنش ریشه و اندام هوایی به تنش خشکی متفاوت است. با کاهش رطوبت خاک ریشه‌ها علائمی به اندام‌های هوایی برای افزایش مقاومت ارسال می‌کنند. در این شرایط ابتدا اندام‌های هوایی با کاهش تعرق و حفظ رطوبت برگ، با خشکی مقابله و در ادامه رشد خود را کاهش و یا متوقف می‌نمایند. این در

حالیست که ریشه‌ها همچنان به رشد خود ادامه می‌دهند. نتیجه این امر توسعه ریشه برای تأمین آب بیشتر و بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی خواهد بود (Chiatante *et al*., 2006; Masinde *et al*., 2006).

برای کمبودهای کوتاه‌مدت آب (برای مثال در نیمروز) تعادل بین جذب آب و کمبود آن از طریق انسداد روزنه‌ها بوجود می‌آید (Kramer & Boyer, 1995; Banon *et al*., 2004). در این حالت جذب CO_2 محدود و میزان فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد (Maricle *et al*., 2007). برای کمبودهای طولانی‌مدت، سازش از طریق افزایش نسبت میان سطح ریشه و برگ بدست می‌آید (Bacelar *et al*., 2007; Li & Wang, 2003). نسبت زیاد ریشه به شاخه می‌تواند در سازگاری به شرایط خشک بسیار مؤثر باشد (Li & Wang, 2003; Gazal & Kubiske, 2004; Bargali & Tewari, 2004؛ کافی و همکاران، ۱۳۷۸). به‌عبارتی اولین و عمومی‌ترین ویژگی رشد گیاه در مناطق خشک فزونی نسبت ریشه به اندام هوایی است، اگرچه نسبت مذکور به‌طور عمده تحت کنترل ژنتیکی است (علیزاده، ۱۳۸۳). در شرایط تنش خشکی، توسعه ریشه از طریق انتقال مواد غذایی از برگها و ساقه‌ها به ریشه صورت می‌گیرد (Dias *et al*., 2007). راد و همکاران (۱۳۸٦) با بررسی وضعیت توسعه ریشه گیاه بیابانی تاغ (*Haloxylon aphyllum*) در شرایط لایسیمتری، گزارش کرده‌اند که اعمال تنش شدید خشکی موجب نفوذ ۵۷ درصد از ریشه‌ها به عمق بیشتر از ٦۰ سانتی‌متری خاک شده، در حالی‌که این مقدار برای شاهد (بدون محدودیت آب) ۳۵ درصد اندازه‌گیری شده است.

مشخص شده که سیستم ریشه‌ای که در شرایط خشکی رشد کرده نسبت به ریشه‌ای که در شرایط رطوبتی مطلوب رشد کرده، قابلیت استخراج میزان آب بیشتری از واحد حجم خاک را دارد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۷۹). Thomas & Gausling (2000) گزارش کرده‌اند که با اعمال تیمار خشکی، نسبت شاخه به ریشه در بلوط کاهش می‌یابد.

تنش زیاد رطوبت موجب می‌شود که ریشه‌ها کم و بیش به خواب رفته و رشد دوباره آنها پس از آبیاری مجدد کند شود. کمبود شدید آب مانع رشد ریشه شده و باعث چوب‌پنبه‌ای شدن و کاهش توانایی آن در جذب مواد می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۳). تنش آبی می‌تواند سبب پژمردگی اساسی ریشه شده و به میزان زیادی تماس ریشه و خاک را کاهش دهد (طلایی، ۱۳۷۷). کاهش قطر ریشه می‌تواند تا ۵۰ درصد اتفاق بیفتد، به‌طوری که ریشه به حالت معلق در حفره ریشه باقی بماند. در مقابل چنانچه ریشه رشد قطری ثانویه داشته باشد، تماس ریشه و خاک بهبود خواهد یافت (طلایی، ۱۳۷۷).

به‌رغم این که گسترش جانبی و عمقی ریشه به شرایط محیطی بستگی دارد، اما به خصوصیات ژنتیکی گیاه هم باید توجه بیشتر نمود. نفوذ عمقی ریشه‌های بادام تا ٦۰ سانتی‌متری سطح خاک در سال اول و تحت آبیاری مناسب، بیانگر ویژگیهای ژنتیکی گیاه در توسعه ریشه است (Franco & Abrisqueta, 1997). در درختان بالغ، وجود ریشه عمیق به گیاه اجازه می‌دهد تا رطوبت را از اعماق بیشتر خاک دریافت و با دوره‌های طولانی‌مدت خشکی در مقایسه با گونه‌هایی که ریشه سطحی دارند، مقابله نماید (Drunasky & Struve, 2005). Whitehead & Beadle (2004) گزارش کرده‌اند که ریشه درختان جوان اکالیپتوس دارای دو شکل سازگاری هستند، یکی سیستم ریشه پهن و گسترده که درست در زیر سطح خاک قرار گرفته و دیگری ریشه‌های عمودی و عمیق که در اعماق خاک گسترش یافته و دسترسی به آبهای عمقی را آسان می‌سازند. Carbon *et al.* (1980) گزارش کرده‌اند که ریشه‌های *Eucalyptus marginata* در جنگلهای جنوب غرب استرالیا تا اعماق ۲۰ متری مشاهده شده‌اند.

آنها اشاره کرده‌اند که با افزایش عمق، تعداد ریشه‌های مویین افزایش یافته که این خود تأثیر به‌سزایی در جذب آب بیشتر از خاک در طول فصول خشک سال دارد.

مواد و روشها

شرایط اقلیمی و جغرافیایی، مواد آزمایشی و طرح آماری

با هدف مطالعه رفتارهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اکالیپتوس (*E. camaldulensis* Dehnh.) ازجمله ریشه در مواجه با تنش خشکی، آزمایش با استفاده از لایسیمترهای وزنی زهکش‌دار با ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد با طول جغرافیایی ″۹ ′۱۱ °۵۴ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۰ ′٤ °۳۲ شمالی انجام شد. میانگین بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر، بیشینه سرعت وزش باد ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، میانگین سالانه ساعات آفتابی ۳۰۵۲ ساعت، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان ۷۳ روز، میانگین سالانه تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، ۳۲۰۷/٤ میلی‌متر، میانگین سالانه رطوبت نسبی در صبحگاه ۵۷ درصد، میانگین سالانه رطوبت نسبی در عصر ۳۸/۵ درصد، میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد، کمینه مطلق دمای سالانه ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد، بیشینه مطلق دمای سالانه ٤۵/۵ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه براساس روش دومارتن اصلاح شده، فراخشک سرد گزارش شده است (راد و همکاران، ۱۳۸۵). خاک مورد استفاده دارای بافت متوسط سیلت- لومی بوده و از EC برابر ٤/۱ میلی‌موس بر سانتی‌متر و اسیدیته (pH) برابر ۷/۱ برخوردار است.

در اواسط بهار سال ۱۳۸٤ با کاشت یک اصله نهال گلدانی شش‌ماهه داخل هر لایسیمتر مراحل اجرایی آزمایش آغاز گردید. نهالهای مورد استفاده، از خزانه تولید نهال مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور تهیه گردیدند. برای استقرار مطلوب، نهالها در داخل لایسیمترها هر ۱۵ روز یکبار با مقدار ۱۰۰ لیتر آب، آبیاری شدند. پس از استقرار کامل نهالها، در ابتدای پاییز سال ۱۳۸٦ نسبت به اعمال تیمارهای رطوبتی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار شامل ۱۰۰٪ (بدون تنش یا شاهد)، ۷۰٪ (تنش متوسط) و ٤۰٪ (تنش شدید) ظرفیت زراعی به‌مدت یک سال اقدام گردید. با پایان مراحل اجرایی تحقیق در اوایل پاییز سال ۱۳۸۷، نسبت به حذف بخش‌های هوایی و سپس برداشت ریشه برای تعیین پراکنش وزنی و طولی در اعماق کمتر از ۳۰، ۳۰ تا ٦۰، ٦۰ تا ۹۰ و ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری اقدام شد.

شاخص‌های مورد ارزیابی

وزن خشک ریشه

پس از جدا کردن قسمت هوایی، نسبت به برداشت خاک و ریشه در اعماق ذکر شده اقدام و با الک نمودن و سپس شستشوی خاک، ریشه‌های ضخیم و موئین جدا و با قراردادن در کوره با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت (Yin *et al*., 2005)، وزن خشک آنها بدست آمد. همچنین با استفاده از وضعیت پراکنش ریشه در اعماق مختلف، نمودار توسعه ریشه نیز در تیمارهای مختلف رسم گردید.

طول ریشه

برای اندازه‌گیری طول ریشه نسبت به برداشت حجم معینی از خاک و ریشه در اعماق مختلف از طریق دریچه‌های نصب شده بر روی بدنه لایسیمترها اقدام شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال و ریشه‌های مویین و ضخیم از طریق شستشو از خاک جدا شدند. ریشه‌های جدا شده در ظرف شیشه‌ای پهن و کم‌عمق که محتوی مقدار کمی آب بود ریخته شده و با یک انبر نوک تیز، ریشه‌هایی که خمیده بودند راست و در صورتی‌که روی هم قرار گرفته بودند از یکدیگر جدا شدند. سپس در زیر

ظرف شیشه‌ای یک کاغذ گراف به ابعاد ٤ × ٤ سانتی‌متر قرار گرفت. سپس با شمارش محل تلاقی ریشه‌ها با خطوط افقی و عمودی شبکه و با استفاده از رابطه نیومن (علیزاده، ۱۳۸۳) طول ریشه‌ها براساس رابطه ۱ محاسبه شد:

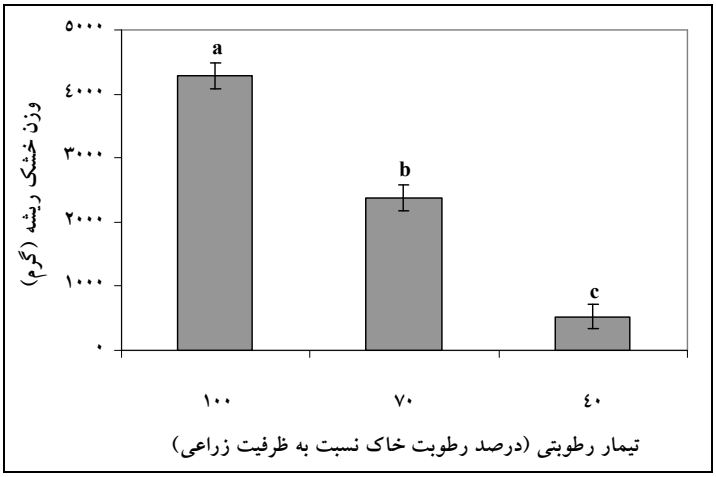
$$R = \frac{\pi NA}{2H} \qquad (۱)$$

که در آن R طول ریشه، N تعداد تلاقی ریشه‌ها با خطوط شبکه کاغذ گراف، A مساحت ظرف که ریشه‌ها به‌صورت تصادفی در سطح آن پخش شده‌اند و H مجموعه طول اضلاع تشکیل‌دهنده شبکه‌های کاغذ گراف می‌باشد. با توجه به این که حجم استوانه مورد استفاده برای نمونه‌برداری مشخص بود، طول ریشه‌ها در واحد حجم استوانه محاسبه و سپس اعداد بدست آمده برای هر درخت به کیلومتر تغییر واحد داده شد؛ اعداد بدست آمده وضعیت تراکم طولی ریشه‌ها را در اعماق مختلف و در تیمارهای رطوبتی اعمال شده مشخص می‌نماید.

نتایج

وزن خشک ریشه

نتایج بررسی تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر میزان وزنی ریشه نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($P< 0.001$) در این زمینه وجود دارد (جدول ۱). به‌طوری که با افزایش میزان رطوبت خاک وزن خشک ریشه‌ها افزایش می‌یابد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نیز نشان از اختلاف معنی‌دار بین سه تیمار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- تأثیر سه تیمار رطوبتی خاک بر وزن خشک ریشه اکالیپتوس سه ساله

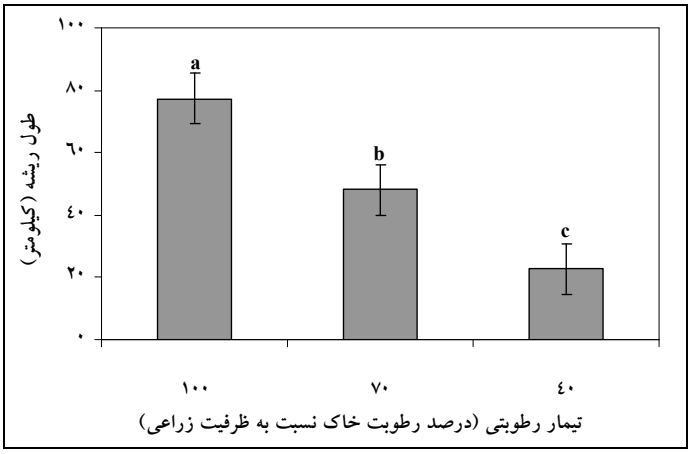
طول ریشه

با بررسی تأثیر میزان دسترسی ریشه به آب، مشخص گردید که بر خلاف بسیاری از گیاهان، این گیاه حتی در شرایط ظرفیت زراعی که آب کافی در خاک وجود داشته است، نسبت به توسعه ریشه‌های خود برای بهره‌برداری بیشتر از آب اقدام نموده است. با این شرایط اختلاف کاملاً معنی‌داری ($P< 0.001$) بین تیمارها مشاهده گردید (جدول ۱). طولانی‌ترین ریشه مربوط به تیمار ظرفیت زراعی و کوتاه‌ترین مربوط به تیمار ٤۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به توسعه وزنی و طولی ریشه اکالیپتوس در تیمارهای رطوبتی مختلف

عامل مورفولوژیک	مجموع مربعات (ss)	میانگین مربعات (ms)	آماره F	معنی‌داری
وزن ریشه	۲۱۲۳۷۷۷٤/۲۲۰	۱۰٦۱۸۸۸۷/۱۱۰	۹۳/۱۵	**
طول ریشه	٤٥۱۲/۷٤۹	۲۲٥٦/۳۷٤	۳۷/۹۲	**

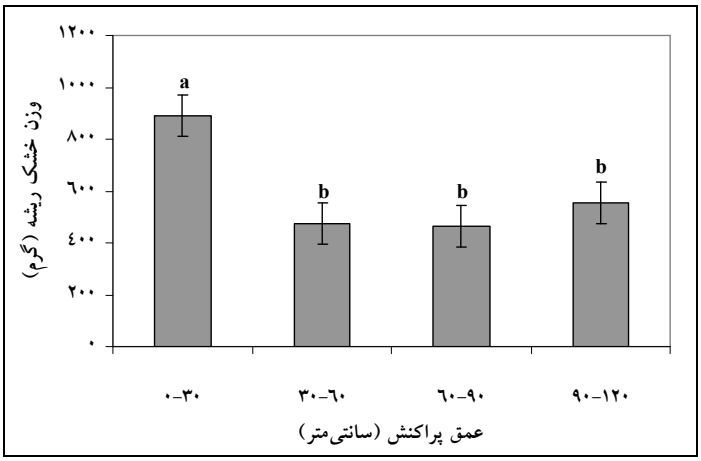
** معنی‌دار در سطح ۱ درصد



شکل ۲- تأثیر سه تیمار رطوبتی خاک بر طول ریشه اکالیپتوس سه ساله

پراکنش وزنی ریشه

پس از اندازه‌گیری میزان پراکنش وزنی ریشه در اعماق مختلف خاک و بررسی تأثیر میزان رطوبت خاک بر این پراکنش، مشخص گردید که ضمن تأثیر مستقیم تیمار رطوبتی بر افزایش وزنی ریشه، میزان ریشه در هر یک از اعماق خاک نیز دارای اختلاف معنی‌داری ($P< 0.001$) بوده است (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن خشک ریشه بین اعماق مختلف نشان داد که بیشترین میزان ماده خشک تولیدی در بخش رویی بوده و عمق اول (۳۰-۰ سانتی‌متر) بیشترین مقدار وزنی ریشه را به‌خود اختصاص داده است، ضمن این که سایر اعماق اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳).

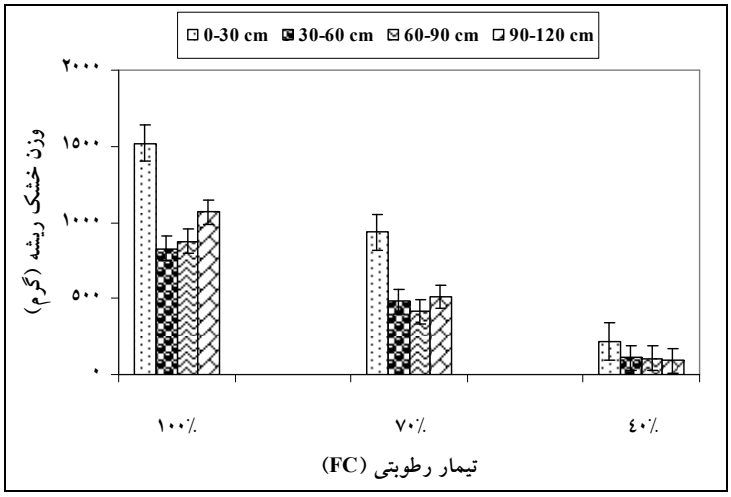


شکل ۳- پراکنش وزنی ریشه اکالیپتوس در اعماق مختلف خاک در شرایط لایسیمتری

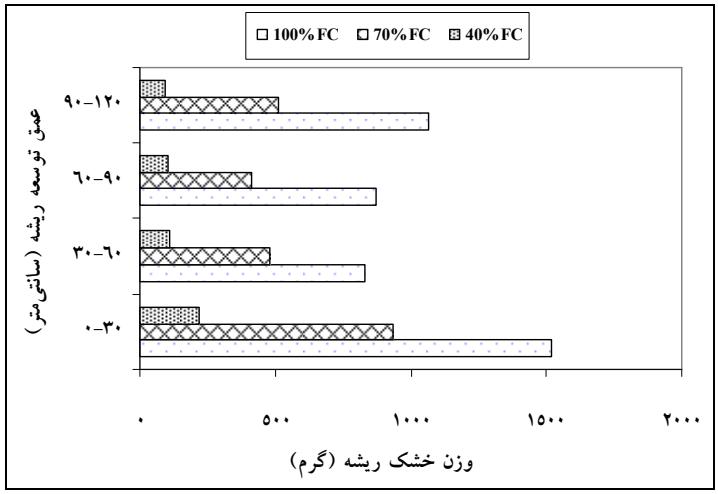
با بررسی اثر متقابل تیمار رطوبتی و عمق خاک بر پراکنش وزنی ریشه، مشخص گردید که میزان رطوبت خاک تأثیر مستقیمی بر پراکنش ریشه در اعماق مختلف داشته، به‌گونه‌ای که اختلاف آنها از نظر آماری ($P< 0.001$) معنی‌دار بوده است. با تغییر در میزان رطوبت خاک، پراکنش ریشه در اعماق مختلف رفتار متفاوتی را نشان داد (شکل ٤). شکل ٥ پراکنش وزنی ریشه را در حالت مقایسه در هر یک از تیمارهای مختلف رطوبتی نشان می‌دهد.

پراکنش طولی ریشه

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد بین تیمارهای مختلف رطوبتی اختلاف کاملاً معنی‌داری از نظر میزان طولی ریشه مشاهده گردید. با بررسی تأثیر عمق خاک بر پراکنش طولی ریشه‌ها نیز مشخص گردید که بین اعماق مختلف نیز از نظر آماری اختلاف کاملاً معنی‌داری وجود دارد (جدول ٢). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار طولی ریشه در بخش انتهایی (٩٠ تا ١٢٠ سانتی‌متری خاک) متمرکز بوده است. کمترین مقدار طولی ریشه نیز در عمق ٣٠ تا ٦٠ سانتی‌متری خاک مشاهده گردید (شکل ٦).

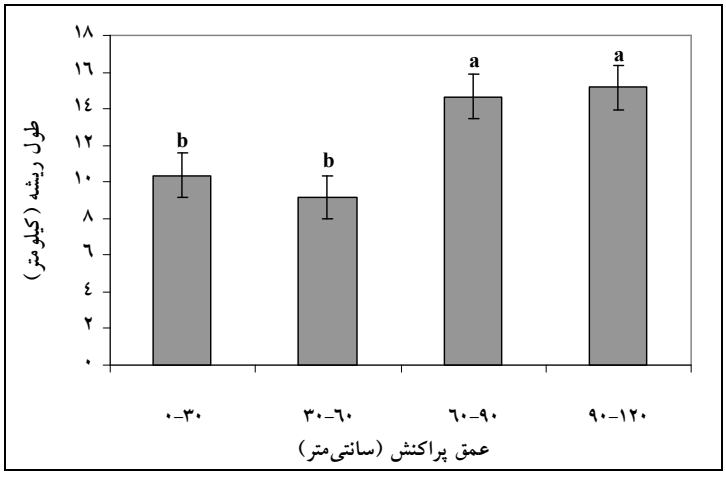


شکل ٤- پراکنش وزنی ریشه اکالیپتوس در سه تیمار رطوبتی و در اعماق مختلف خاک در شرایط لایسیمتری (FC: ظرفیت زراعی)



شکل ۵- مقایسه میزان وزنی ریشه اکالیپتوس دراعماق مختلف خاک مربوط به هر یک از تیمارهای رطوبتی در شرایط لایسیمتری (FC: ظرفیت زراعی)

اثر متقابل تیمار رطوبتی با عمق خاک نیز ($P< 0.001$) معنی‌دار بوده و دلالت بر تأثیر میزان رطوبت موجود در هر یک از اعماق خاک بر توسعه طولی ریشه دارد (شکل ۷). متعادل‌ترین حالت پراکنش طولی ریشه مربوط به تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی بوده، به‌گونه‌ای که با افزایش عمق خاک میزان ریشه از نظر طولی افزایش یافته است. شکل ۸ پراکنش طولی ریشه را در هر یک از تیمارهای رطوبتی نشان می‌دهد. به‌نحوی که با افزایش میزان رطوبت خاک، طول ریشه‌های موئین برای جذب آب بیشتر افزایش یافته است.

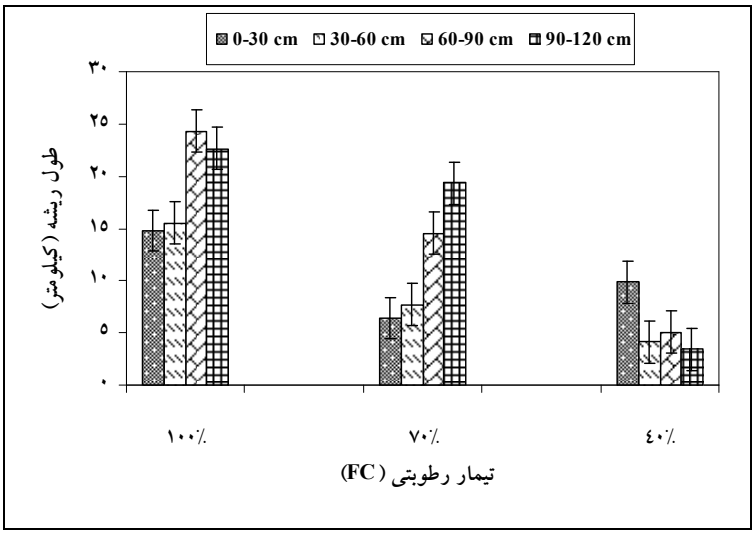


شکل ٦- میزان طولی ریشه اکالیپتوس در اعماق مختلف خاک در شرایط لایسیمتری

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پراکنش وزنی و طولی ریشه اکالیپتوس در شرایط لایسیمتری

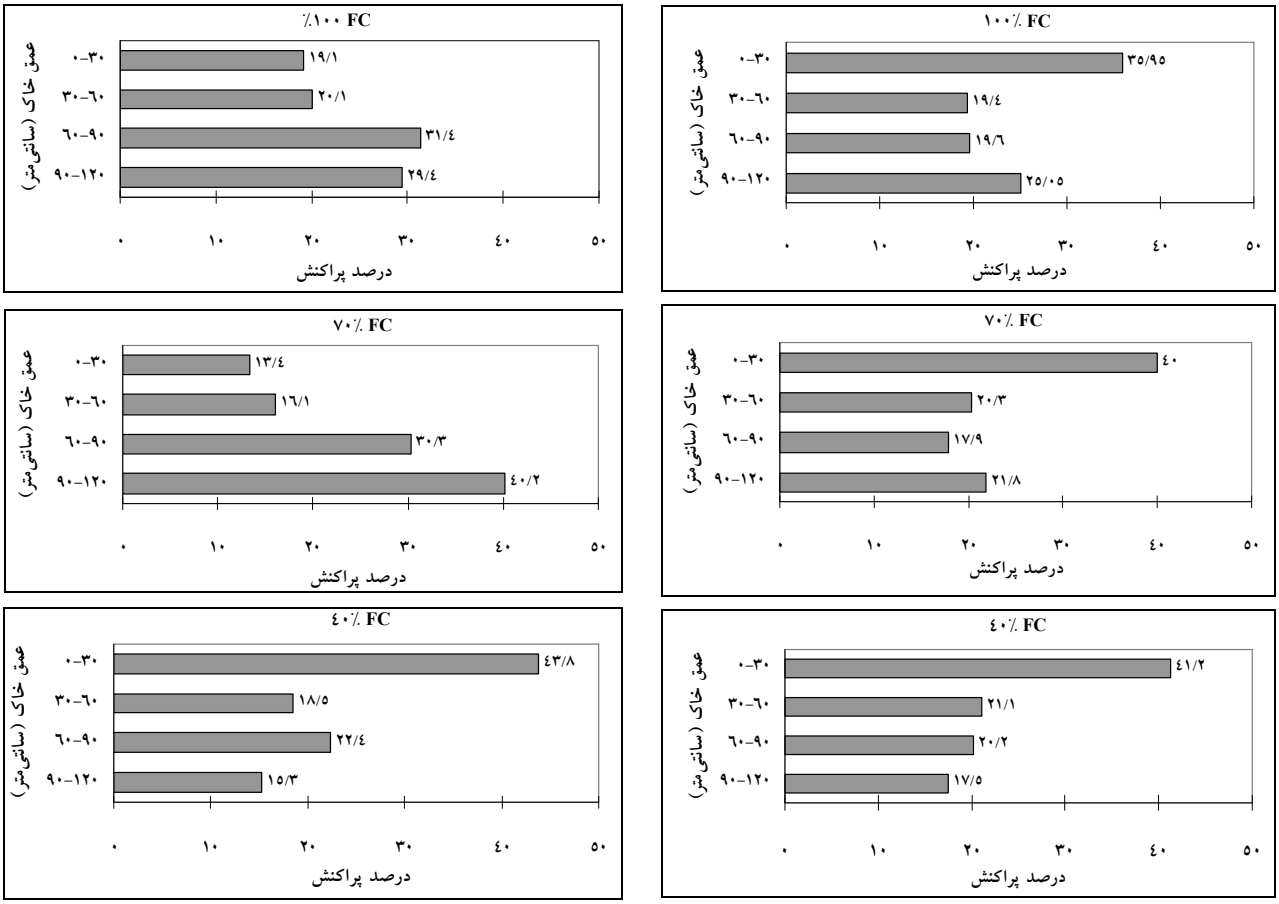
منبع تغییرات	پراکنش وزنی ریشه			پراکنش طولی ریشه		
	مجموع مربعات (ss)	میانگین مربعات (ms)	آماره F	مجموع مربعات (ss)	میانگین مربعات (ms)	آماره F
تیمار رطوبتی	۵۳۰۳۸۲۲/۲۲۲	۲۶۵۱۹۱۱/۱۱۱	۲۳۵/۸۷**	۱۱۲۸/۳۳۶	۵۶۴/۱۶۸	۵۴/۱۷**
عمق خاک	۱۰۸۹۸۶۰/۷۵۰	۳۶۳۲۸۶/۹۱۷	۳۲/۳۱**	۲۴۶/۳۰۶	۸۲/۱۰۲	۷/۸۸**
تیمار رطوبتی× عمق خاک	۳۴۷۱۳۷/۳۳۳	۵۷۸۵۶/۲۲۲	۵/۱۵**	۳۷۰/۵۹۳	۶۱/۷۶۵	۵/۹۳**
خطا	۲۶۹۸۳۸/۶۶۷	۱۱۲۴۳/۲۷۸		۲۴۹/۹۴۱	۱۰/۴۱۴	

**: معنی‌دار در سطح ۱٪



شکل ۷- پراکنش طولی ریشه اکالیپتوس در اعماق مختلف خاک در سه تیمار رطوبتی در شرایط لایسیمتری (FC: ظرفیت زراعی)

شکل ۸- مقایسه میزان طولی ریشه اکالیپتوس در اعماق مختلف خاک مربوط به هر یک از تیمارهای رطوبتی در شرایط لایسیمتری (FC: ظرفیت زراعی)



شکل ۹- وضعیت توسعه طولی (سمت چپ) و وزنی (سمت راست) ریشه اکالیپتوس در اعماق مختلف خاک (درصد پراکنش)
(FC: ظرفیت زراعی)

بحث

از مهمترین عوامل مورفولوژیکی که در گونه‌های مختلف رفتارهای متفاوتی را در اثر تنش خشکی از خود نشان می‌دهند، ریشه است. اگرچه گسترش عمقی و جانبی ریشه‌ها یک پدیده ژنتیکی است، اما توسعه آن به شرایط محیطی به‌ویژه رطوبت خاک بستگی دارد (Franco & Abrisqueta, 1997). مطالعات متعدد نشان از کاهش وزن خشک تمام اندام‌های گیاه در اثر افزایش تنش خشکی دارد (Hamada, 1996; Abdalla & El-Khoshiban, 2007). اما Kameli & Losel (1996) گزارش کرده‌اند که در اثر تنش خشکی ممکن است وزن ریشه افزایش و وزن قسمت هوایی کاهش یابد. کاهش جذب مواد غذایی از خاک به‌وسیله ریشه به‌طور مستقیم به دسترسی ریشه‌ها به آب بستگی دارد. کمبود آب در خاک ضمن کاهش رشد ریشه‌ها، جذب مواد غذایی را برای تولید بیشتر در اندام هوایی محدود می‌نماید (Arndt *et al.*, 2001).

با افزایش تنش خشکی، انسداد روزنه‌ها، کاهش تعرق و اختلال در جذب CO_2 و در نهایت کاهش فتوسنتز اتفاق افتاده و کاهش بیشتر بیوماس را به‌همراه خواهد داشت (Kramer & Boyer, 1995). کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه و همچنین طول ریشه *E. camaldulensis* در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهمترین اجزاء گیاه در اثر

این پدیده محیطی دارد. کاهش وزن خشک ریشه از ٤۲۸۸/۳ گرم در تیمار ظرفیت زراعی به ۵۲۵/۷ گرم در تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی حکایت از تأثیر بسیار زیاد تنش خشکی بر عملکرد ریشه دارد. کاهش طول ریشه از ۷۷/۳۲ کیلومتر در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به ۲۲/۵۱ کیلومتر در تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی نیز موضوع فوق را به‌خوبی به اثبات می‌رساند. از نکات برجسته در این مورد عمق توسعه ریشه است. از نظر وزنی بیشترین وزن خشک مربوط به عمق کمتر از ۳۰ سانتی‌متری خاک بوده و سایر اعماق، اختلاف معنی‌داری را از خود نشان ندادند، در حالی‌که از نظر طولی بیشترین طول ریشه مربوط به ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری بوده که با عمق ٦۰ تا ۹۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری را از خود نشان نداده است. نتیجه این که نفوذ عمقی ریشه برای دریافت آب بیشتر از خاک (آبهای زهکش شده به اعماق خاک) در تیمار ۱۰۰٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی با توسعه ریشه‌های فرعی و مویین، از سازوکارهای جذب بیشتر آب از خاک توسط گونه موردنظر می‌باشد؛ هرچند علیزاده (۱۳۸۳) به این نکته اشاره دارد که نباید تصور نمود که ریشه بعضی از گیاهان به‌دنبال آب به اعماق فرو می‌رود، بلکه رشد ریشه تابع موجودیت آب بوده و عمیق شدن ریشه‌ها در بعضی از گیاهان یک خصوصیت ژنتیکی است. White *et al.* (2000) بعضی از گونه‌های گیاهی را اسراف‌کننده آب دانسته و اشاره دارند که آنها می‌توانند با دوری کردن از کمبود آب، از طریق ریشه‌های عمیق خود به منابع آب دسترسی یابند. Susiluoto & Berninger (2007) گزارش کرده‌اند که در مناطق خشک، ریشه‌های درختان اکالیپتوس برای مقابله با فصول خشک، با نفوذ به اعماق خاک از آبهای ذخیره شده استفاده می‌کنند. به‌رغم این موضوع، در این تحقیق تنش خشکی شدید نتوانسته است تأثیری بر نفوذ عمقی ریشه داشته باشد. برای بیشتر گیاهان در حالت معمول و بدون محدودیت برای توسعه ریشه، حدود ٤۰ درصد ریشه‌های گیاه در لایه یک‌چهارم سطحی، ۳۰ درصد در لایه یک‌چهارم دومی، ۲۰ درصد در لایه یک‌چهارم سومی و ۱۰ درصد در لایه یک‌چهارم آخری گسترش می‌یابد (علیزاده، ۱۳۸۳). نتایج بررسی وضعیت توسعه ریشه از نظر طولی و وزنی در اعماق مختلف نشان داد که هیچ یک از تیمارهای رطوبتی از قاعده مذکور پیروی نکرده‌اند. به‌رغم وجود رطوبت در تمامی اعماق در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، بخش عمده‌ای از ریشه‌ها که بیشتر ریشه‌های مویین بودند در اعماق خاک نفوذ نموده‌اند (شکل ۹). اگرچه تغییرات وزنی و طولی ریشه در تیمار ظرفیت زراعی و ۷۰٪ ظرفیت زراعی در اعماق مختلف قابل‌توجه است، اما ثابت بودن نسبی آن در تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی نشان از توقف رشد ریشه در اثر تنش بیش از حد، به‌ویژه در اعماق خاک دارد. تنش زیاد رطوبت باعث می‌شود که ریشه‌ها کم و بیش به خواب رفته و رشد دوباره آنها پس از آبیاری مجدد کُند شود (علیزاده، ۱۳۸۳). خروج ریشه‌ها از زهکش لایسیمتر و نفوذ به ظرف جمع‌آوری هرزآب در عمق ۲۰۰ سانتی‌متری در تیمار۱۰۰٪ ظرفیت زراعی برای برداشت آب بیشتر، از نکات برجسته این آزمایش بود. طول بلندترین ریشه در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی ۳۸۰ سانتی‌متر، تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی ۳۳۰ سانتی‌متر و تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی ۲۲۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

منابع مورد استفاده

- حیدری شریف‌آباد، ح.، ۱۳۷۹. گیاه، خشکی و خشکسالی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، شماره ۲۵۰، ۲۰۰ صفحه.
- راد، م.ه.، میرحسینی، س.ر. و مشکوه، م.ع.، ۱۳۸۵. مطالعه فیزیولوژیکی روابط آبی گیاه تاغ در یزد. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۹۹ صفحه.
- راد، م.ه.، میرحسینی، س.ر.، مشکوه، م.ع. و سلطانی، م.، ۱۳۸٦. بررسی تأثیر رطوبت خاک بر چگونگی توسعه

ریشه گیاه تاغ (*Haloxylon* spp.). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶ (۱): ۱۲۳-۱۱۲.

- طلایی، ع.، ۱۳۷۷. فیزیولوژی درختان میوه مناطق معتدله (ترجمه). دانشگاه تهران، ٤٢٣ صفحه.

- علیزاده، ا.، ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم، دانشگاه امام رضا، مشهد، ٤٧٠ صفحه.

- کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح.ر. و گلدانی، م.، ۱۳۷۸. فیزیولوژی گیاهی. جلد اول (ترجمه). جهاد دانشگاهی مشهد، ٤٥٦ صفحه.

- Abdalla, M.M. and El-Khoshiban, N.H., 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.
- Arndt, S.K., Clifford, S.C., Wanek, W., Jones, H.G. and Popp, M., 2001. Physiological and morphological adaptation of the fruit tree *Ziziphus rotundifollia* in response to progressive drought stress. Tree Physiology, 21: 705-715.
- Bacelar, E.A., Moutinho, J.M., Goncalves, B.C., Ferreira, H.F. and Correia, C.M., 2007. Changes in growth, gas exchange, xylem hydraulic properties and water use efficiency of tree olive cultivars under contrasting water availability regimes. Environmental and Experimental Botany, 60: 183-192.
- Banon, S., Fernandez, J.A., Franco, J.A., Torrecillas, A., Alarcon, J.J. and Sanchez-Blanco, M.J., 2004. Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relation and morphological and anatomical changes of *Lotus creticus* plants. Scientia Horticultural, 101: 331-342.
- Bargali, K. and Tewari. A., 2004. Growth and water relation parameters in drought-stressed *Coriaria nepalensis* seedling. Journal of Arid Environment, 58: 505-512.
- Carbon, B.A., Bartle, G.A., Murray, A.M. and Macpherson, D.K., 1980. The distribution of root length, and the limits to flow of soil water to roots in a dry sclerophyll forest. Forest Science, 26: 656-664.
- Chiatante, D., Di-Iorio, A., Sciandra, S., Stefania, G. and Mazzoleni, S., 2006. Effect of drought and fire on root development in *Quercus pubescens* wild and *Fraxinus ornal* seedlings. Environmental and Experimental Botany, 56: 190-197.
- Dias, P.C., Araujo, W.l., Moraes, G.A.B.K., Barros, R.S. and Damatta, F.M., 2007. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. Journal of Plant physiology, 164: 1639-1647.
- Drunasky, N. and Struve, D.K., 2005. *Quercus macrocarpa* and *Q. prinus* physiological and morphological responses to drought stress and their potential for urban forestry. Urban Forestry and Urban Greening, 4: 13-22.
- Franco, J.A. and Abrisqueta, J.M., 1997. A comparison between minorization and soil coring methods of estimating root distribution in young almond trees under trickle irrigation. Journal of Horticultural Science, 72 (5): 797-805.
- Gazal, R.M. and Kubiske, M.E., 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.
- Hamada, A.M., 1996. Effects of NaCl, water stress or both on gas exchange and growth of wheat. Biologia plantarum, 3: 405-412.
- Kameli, B.A. and Losel, D.M., 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytol., 132: 57-62.
- Kramer, P.J. and Boyer, J.S., 1995. Water Relation of Plants and Soil. San Diego: Academic Press, 495 p.
- Li, C. and Wang, K., 2003. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell populations. Forest Ecology and Management, 179: 377-385.
- Maricle, B.R., Cobos, D.R. and Campbell, C.S., 2007. Biophysical and morphological leaf adaptations to drought and salinity in salt marsh grasses. Environmental and Experimental Botany, 60: 458-467.
- Masinde, P.W., Stutzel, H., Agong, S. and Goand-Fricke, A., 2006. Plant growth, water relations and transpiration of two species of African nightshade (*Solanum villosum Mill.* ssp. *Miniatum* (Bernh. ex Willd.) Edmonds and *S. sarrachoides* Sendtn.) under water-limited conditions. Scientia Horticulturae, 110: 7-15.
- Susiluoto, S. and Berninger, F., 2007. Interactions between Morphological and Physiological Drought Responses in *Eucalyptus microtheca*. Silva Fennica, 41 (2): 221-233.
- Thomas, F.M. and Gausling, T., 2000. Morphological and physiological responses of oak seedling (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drougt. Ht. Ann. For. Sci., 57: 325-333.
- Turner, N.C., 1986. Adaptation to water deficit: A changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology, 13: 175-90.
- White, D.A., Turner, N.C. and Galbraith, J.H., 2000. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. Tree Physiol., 20: 1157-1165.
- Whitehead, D. and Beadle, C.L., 2004. Physiological regulation of productivity and water use of *Eucalyptus*: a review. Forest Ecology and Management, 193: 113-140.
- Yin, C., Wang, X., Duan, B., Luo, J. and li, C., 2005. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany, 53: 315-322.

Response of the root of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. to drought stress

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

1*- Corresponding author, Senior Research Expert, Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd province, Iran.
E-mail: mohammadhadirad@gmail.com
2- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran
3- Forest Expert, Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd province, Iran.

Abstract

Root distribution of three-year-aged Eucalypt (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) seedlings was determined under different soil moisture regimes in Yazd, Shahid Sadoge Desert Research Station. The seedlings were grown in lysimeters which subjected to three soil moisture regimes including; 100% (well watered), 70% (medium drought stress) and 40% (high drought stress) of field capacity (FC). Soil moisture was restored by adding the required volume of water in the basis of time domain reflectometry (TDR) reading taken from tubes installed in each lysimeters. The roots were harvested at 0-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm depth of the soil at the end of the experiment. Results showed that root dry weight and length decreased significantly when soil water content reduced ($P < 0.001$). The effects of various soil moisture content treatments on root dry weight and length distribution at different depths of soil were significant ($P < 0.001$). Therefore, deep root development of *E. camaldulensis* was related to soil moisture content and intensive soil drought stress inhibited root growth in high depth of soil.

Key words: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., drought stress, root dry weight distribution, root length distribution.