DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2011.7434

دو فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران
جلد ۱۹، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۲۷-۱۳ (۱۳۹۰)

اثرات تنش خشکي بر زيست‌توده، برخي شاخص‌هاي رشد و کارايي مصرف آب در اکاليپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh)

محمدهادی راد*[۱]، محمدحسن عصاره[۲]، محمدعلی مشکوه[۳] و مهدی سلطانی[٤]

۱*- نویسنده مسئول مکاتبات، مربی پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد
پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com
۲- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران
۳- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد
٤- کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰٤/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۳/۲۳

چکیده

تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک شامل ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی (FC) بر زیست‌توده، اجزاء زیست‌توده، نسبت ریشه به شاخه (R/S)، سطح برگ ویژه (SLA) و کارایی مصرف آب (WUE) بر روی اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) و در شرایط اقلیمی خشک، در ایستگاه تحقیقات بیابان شهید صدوقی یزد در طول سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با سه تکرار و در شرایط لایسیمتری انجام شد. نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که کاهش رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری بر کاهش تولید زیست‌توده، اجزاء زیست‌توده (شاخه، برگ و ریشه) و نسبت ریشه به شاخه داشت. کارایی مصرف آب و سطح برگ ویژه بطور معنی‌داری با افزایش تنش خشکی افزایش یافت، هرچند اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده نگردید. ضمن اینکه کارایی مصرف آب در رابطه با چوب تولیدی در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به سایر تیمارها از وضعیت بهتری برخوردار و دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بود.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس، تنش خشکی، زیست‌توده، شاخص‌های رشد، کارایی مصرف آب.

مقدمه

سطح بسیار وسیعی از جنگل‌کاری‌های صنعتی موجود در جهان، با ۱۰ گونه از تعداد گونه‌های زیاد اکالیپتوس انجام می‌گردد که گونه *E. camaldulensis* Dehnh یکی از مهمترین آنهاست (عصاره و سردابی، ۱۳۸٦). کاشت اکالیپتوس در ایران هم‌زمان با ورود انگلیسی‌ها به خوزستان صورت گرفته است، اما بطور رسمی از سال ۱۳۱۰ کشت آن در منطقه شمال آغاز گردیده (سردابی، ۱۳۷۷) و اکنون سطح قابل توجهی از اراضی شمال، مرکز و جنوب کشور را به خود اختصاص داده

است. در میان گونه‌های کاشت شده، گونه *E. camaldulensis* Dehnh به دلیل مقاومت بیشتر نسبت به شرایط نامساعد محیطی و رشد سریع از توجه بیشتری برخوردار می‌باشد و سطح بیشتری را به خود اختصاص داده است. به‌رغم استفاده گسترده این گیاه در جنگل‌کاری و فضای سبز هنوز اطلاعات دقیقی در خصوص رفتارهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آن در مواجه با کمبود و یا فراوانی آب در خاک با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک که سطح وسیعی از اراضی کشور را پوشانده، ارائه نگردیده است. در این مقاله بخشی از این رفتارها مورد توجه و در مورد آنها بحث خواهد شد.

از مهمترین شاخص‌های مورد ارزیابی در خصوص اثرات تنش خشکی بر رفتارهای مورفولوژیکی گیاه، وزن خشک زیست‌توده شامل ریشه و اندام هوایی است. برخی آزمایش‌ها نشان‌دهنده تأثیر تنش خشکی بر کاهش وزن ریشه به همراه کاهش وزن اندام هوایی است (Abdalla & El-Khoshiban, 2007). ریشه‌ها حساسیت متفاوتی به تنش خشکی دارند، با کاهش رطوبت خاک مرگ ریشه‌های مویین به مراتب 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 می‌دارند. در این شرایط اندام‌های هوایی با کاهش تعرق و حفظ رطوبت برگ، ابتدا 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 تامین آب بیشتر و بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی خواهد بود (Chiatante *et al.*, 2006; Masinde *et al.*, 2006). تعیین نسبت ریشه به اندام هوایی شاخص مناسبی برای ارزیابی میزان مقاومت به خشکی در گیاهان است (Bargali & Tewari, 2004; Liu & Stutzel, 2004). در مورد نسبت ریشه به شاخه، چنین به نظر می‌رسد که با افزایش رطوبت خاک وزن قسمت هوایی افزایش می‌یابد و در شرایط تنش آب، قسمت هوایی گیاه بیش از ریشه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به عبارتی رشد اندام‌های هوایی زودتر از ریشه متوقف می‌گردد و این امر باعث افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی خواهد شد (Chiatante *et al.*, 2006). محققانی به نام Hsiao و Acevedo (۱۹۷٤) گزارش کرده‌اند که استرس آبی باعث کاهش حجم اندام هوایی شده، ضمن اینکه تأثیرکمتری روی حجم ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد داشته است. همچنین Turner و همکاران (۱۹۷۸) اشاره نمودند که بالا بودن نسبت ریشه به شاخه نشان‌دهنده سازگاری گیاه به تنش خشکی است .

اگرچه وزن خشک ریشه و اندام هوایی ممکن است تحت تأثیرتنش خشکی قرار گرفته و تغییرات هریک، در نسبت بین ریشه و اندام هوایی به‌عنوان شاخص میزان مقاومت بروز نماید، با این وجود شاخص مطمئنی برای ارزیابی میزان مقاومت به خشکی گیاهان نیست. در این رابطه توجه به کارایی مصرف آب (WUE) در گیاهان از اهمیت بیشتری برخوردار است. موضوعی که محور اصلی تحقیقات بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است (Wu *et al.*, 2008; Collino *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2004; Yin *et al.*, 2005; Clifton-Brown & Lewandowski, 2000; Apel., 1994; Saeed & Ei-Nadi, 1998; Muller *et al.*, 2005). تعیین عواملی که بر WUE تأثیر می‌گذارند، هدف بسیاری از مطالعات و تحقیقات انجام شده در خصوص نیاز آبی گیاهان است. در ضمن Wittwer (۱۹۷۵) آب را دومین منبع محدود

پس از زمین برای تولید غذا معرفی می‌کند. او مدعی است که چگونگی استفاده مطلوب از آب توسط گیاهان باید به‌عنوان تحقیق اساسی مورد توجه قرار گیرد. استفاده مناسب از آب موضوع مبهمی است، چرا که دارای معانی و موارد بسیاری است. با وجود این، تعریف اصلی آن را می‌توان به مجموع ماده خشکی که توسط هر واحد آب مورد استفاده، بوجود می‌آید، بیان نمود (Howell, 2001). مصرف آب ممکن است بوسیله میزان تعرق (T)؛ میزان تبخیر و تعرق (ET) و یا مجموع آب خارج شده از سیستم مورد ارزیابی قرار گیرد (Howell, 2001).

بطور معمول ضریب تعرق یا نسبت بین مقدار آب مصرف شده و ماده خشک ساخته شده برای گیاهان مختلف متفاوت می‌باشد. در این خصوص Davidson (۱۹۸۹) مقدار آب مصرف شده برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک (بیوماس) تعدادی از گیاهان را بدین شرح گزارش کرده است: گونه‌هایی از اکایپتوس (۷۸۵ لیتر)، کتان، قهوه و موز (۳۲۰۰ لیتر)، آفتابگردان (۲٤۰۰ لیتر)، نخود فرنگی (۲۰۰۰ لیتر)، سویا (۱٤۳۰ لیتر)، سیب زمینی، سورگوم و ذرت (۱۰۰۰ لیتر). همینطور Clifton–Brown وLewandowski (۲۰۰۰) کارایی مصرف آب را برای ژنوتیپ‌های مختلف *Miscanthus* که همگی از گیاهان C4 می‌باشند از ٤۷٦ تا ۲٤٤ لیتر به ازای یک کیلوگرم ماده خشک تولیدی گزارش کرده‌اند. راد و همکاران (۱۳۸٤) مقدار آب مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک (اندام هوایی و ریشه) را در گیاه بیابانی سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به‌عنوان یک گیاه با دوره فتوسنتزی C4، ۳۳٤ لیتر گزارش کرده‌اند. محققی به نام Li (۱۹۹۹) گزارش کرده است که در اکالیپتوس شیب تابع تولید تبخیر و تعرق، بوسیله کارایی مصرف آب تعیین می‌گردد. او مقایسه‌ای بین سه جمعیت اکالیپتوس در سطوح مختلف تنش خشکی انجام داد و مقدار WUE آنها را با یکدیگر مقایسه و رابطه قوی بین میزان رشد و کارایی مصرف آب گزارش نمود.

کارایی مصرف آب (WUE) از یک گونه جنگلی به گونه دیگر متفاوت بوده و حتی ممکن است از یک کلن به کلن دیگر نیز تفاوت داشته باشد. Blake و همکاران (۱۹۸٤) اسنادی را از تفاوت کلن‌های صنوبر در کارایی مصرف آب ارائه کردند. همینطور Herwitz و Gutterman (۱۹۹۰) تفاوت‌های آشکاری را از اختلاف کارایی مصرف آب در گونه‌های مختلف اکالیپتوس کاشته شده در صحرای نگو ارائه دادند. سطح برگ ویژه که عبارت است از سطح برگ در واحد وزن خشک برگ (Cutini *et al.*, 1998; Burton *et al.*, 1991) و یا نسبت سطح برگ به وزن برگ (Newmann *et al.*, 1989)، از شاخص‌های دیگری برای ارزیابی تأثیر تنش خشکی است.

مواد و روشها

مکان، شرایط اقلیمی و وضعیت خاک: از منطقه تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری ایستگاه تحقیقاتی بیابان شهید صدوقی یزد که مشتمل بر۱۰ عدد لایسیمتر وزنی زهکش‌دار با ارتفاع ۱٦۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر می‌باشد، استفاده گردید. جنس لایسیمترها از آهن گالوانیزه بوده و بدنه آنها بوسیله فایبرگلاس و پشم‌شیشه برای کاهش تبادلات حرارتی پوشانده شده است. کف لایسیمترها از شیب دو سانتی‌متری برخوردار است که آب اضافی را به لوله‌ای که برای خروج آب در نظرگرفته شده است، هدایت می‌کند .به منظور بهبود وضعیت زهکش لایسیمترها از ماسه درشت به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و ماسه

ریز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر در کف آنها استفاده گردید. برای اندازه‌گیری میزان تبخیر از سطح خاک، لایسیمتری که در آن گیاهی کشت نشد و رطوبت آن همواره در حد ظرفیت زراعی حفظ گردید، در نظر گرفته شد. خاک مورد استفاده دارای بافت متوسط سیلتی- لوم بوده و از EC ٤/١ میلی‌موس بر سانتی‌متر و pH ۷/۱ برخوردار بود.

شرایط اکولوژیکی حاکم بر سایت تحقیقاتی ذکر شده عبارت است از: میانگین بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر، بیشینه سرعت وزش باد ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، میانگین سالانه ساعات آفتابی۳۰۵۲ 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.

کاشت و مراقبت از نهال‌ها: با آماده شدن لایسیمترها و فراهم شدن شرایط برای کاشت نهال در آنها، نسبت به غرس یک اصله نهال گلدانی با سن یکسال (که از گلخانه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه گردیده بود) اقدام شد. نهال‌ها در شروع فصل پاییز سال ۱۳۸۵ غرس و به مدت یکسال به فاصله ۱۵ روز یکبار با مقدار ۵۰ لیتر آب، آبیاری گردیدند. از نهال‌های کاشت شده در برابر باد و سرمای احتمالی مراقبت بعمل آمد.

اعمال تیمارها: در ابتدای پاییز ۱۳۸٦ یعنی یکسال پس از کاشت نهال‌ها نسبت به اعمال تیمارهای رطوبتی شامل ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اقدام گردید. قبل از اعمال تیمارها مقدار رطوبت خاک در سطوح ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی بوسیله اندازه‌گیری پتانسیل آب در خاک و رسم منحنی رطوبتی محاسبه و مبنای آبیاری قرار گرفت. برای انجام آبیاری، در هر بار رطوبت خاک بوسیله دستگاهTDR مدل TRAM در پنج عمق ۲۰- ۰، ٤۰-۲۰، ٦۰-٤۰، ۸۰-٦۰ و ۱۰۰- ۸۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و میانگین آنها مبنای آبیاری قرار گرفت. میزان آب مورد نیاز تا حد تیمار مورد نظر بوسیله کنتور در اختیار درختان قرار گرفت. در پایان، میزان آب مصرف شده بصورت تجمعی از کنتور قرائت و در محاسبات، مورد استفاده قرار گرفت. قبل از بکارگیری TDR دقت آن از طریق توزین لایسیمترها و اندازه‌گیری مستقیم رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت. آبیاری بر حسب نیاز و در زمان مقرر انجام شد.

شاخص‌های مورد ارزیابی:

۱) وزن تاج پوشش: در پایان آزمایش (اوایل پاییز۱۳۸۷) نسبت به قطع قسمت هوایی درختان اقدام و با قرار دادن آنها به طور مجزا در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت (Yin *et al*., 2005) وزن خشک آنها محاسبه گردید. قبل از قرار دادن در کوره وزن تر نیز اندازه‌گیری و میزان رطوبت اندام‌های هوایی نیز پس از خشک شدن محاسبه گردید.

۲) وزن ریشه: پس از جدا نمودن قسمت هوایی، نسبت به برداشت خاک و ریشه اقدام و با الک نمودن و سپس شستشوی خاک، ریشه‌های ضخیم و موئین جدا و با قراردادن در کوره و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت (Yin *et al*., 2005) وزن خشک آنها بدست آمد.

۳) نسبت ریشه به شاخه (R/S): با بدست آوردن وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نسبت مورد نظر محاسبه گردید.

٤) نسبت برگ به شاخه (L/S): با بدست آوردن وزن خشک برگ و شاخه، نسبت مورد نظر محاسبه گردید.

٥) کارایی مصرف آب (WUE): پس از اینکه مقدار آب مصرف شده (تبخیر – تعرق) در هر یک از تیمارها محاسبه گردید، میزان تبخیر را از لایسیمتری که در آن گیاهی کشت نگردید و رطوبت آن همواره در شرایط ظرفیت زراعی حفظ شد، محاسبه و از میزان تبخیر و تعرق کسر گردید. برای سهولت در این امر میزان تبخیر را به‌عنوان ضریب در تبخیر - تعرق لحاظ و میزان تعرق محاسبه گردید.

$$T_{(crop)}=ET_{(crop)} \times ۰/۰۹$$

پس از محاسبه میزان تعرق و دارا بودن بیوماس تولیدی در هر یک از تیمارها، کارایی مصرف آب بر مبنای گرم ماده خشک تولیدی به‌ازای هر لیتر آب مصرف شده محاسبه گردید.

$$WUE=\frac{D}{W}$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب، D جرم ماده خشک تولید شده و W جرم آب مصرف شده توسط گیاه است.

لازم به ذکر است، با توجه به اینکه هدف از کاشت *E. camaldulensis* بیشتر تولید چوب می‌باشد، در محاسبه کارایی مصرف آب این فاکتور نیز جداگانه مورد توجه قرار گرفت.

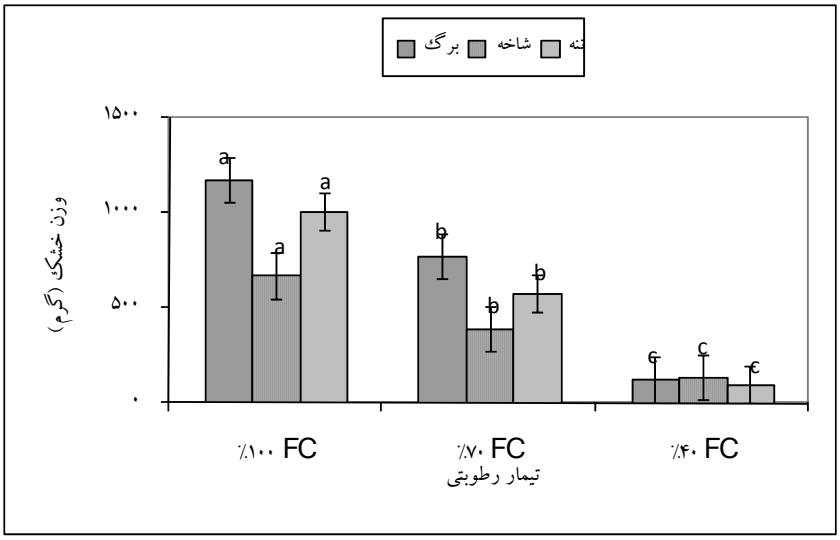
٦) سطح برگ ویژه: برای محاسبه سطح برگ ویژه که عبارت است از: میانگین سطحی از برگ که وزن آن معادل یک گرم باشد، نسبت به برداشت سومین برگ از قسمت انتهایی شاخه‌های فرعی اقدام گردید. سطح برگ‌های برداشت شده بوسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل AM200 ساخت کارخانه BIOSCIENTIFIC اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در کوره و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت قرار گرفتند. پس از خارج کردن از کوره بلافاصله توزین و وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید. با دارا بودن وزن خشک و سطح برگ، سطح برگ ویژه محاسبه شد (Cutini *et al.*, 1998).

تجزیه آماری: برای تجزیه آماری داده‌ها و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها و بررسی همبستگی صفات مورد اندازه‌گیری از نرم‌افزار آماری SAS استفاده گردید. برای بررسی رابطه صفات با یکدیگر و رسم نمودارها از محیط نرم‌افزاری EXCEL استفاده شد.

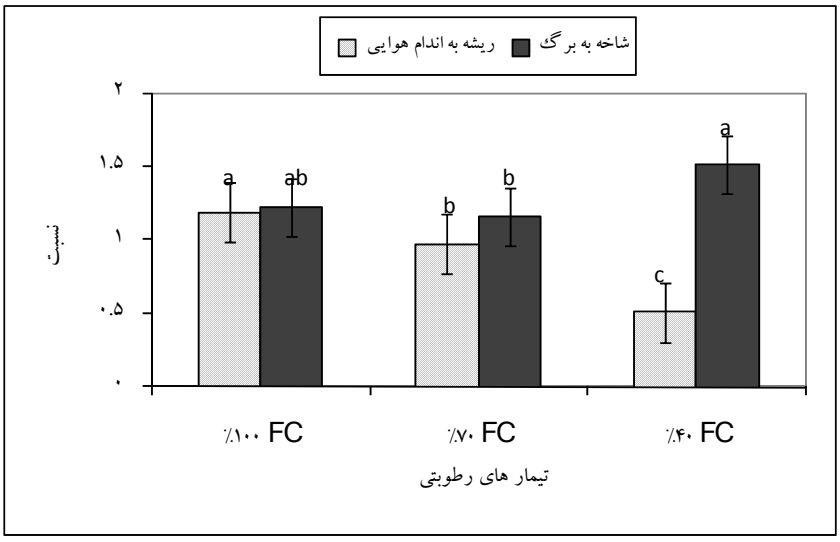
نتایج

وزن خشک اندام هوایی: تجزیه واریانس وزن تازه و خشک اندام هوایی شامل تنه، ساقه و برگ نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p < 0.001$) بین تیمارهای مختلف رطوبتی برای هر یک از عوامل ذکر شده وجود دارد. مقایسه میانگین بین تیمارهای رطوبتی نیز دلالت بر این اختلاف و تفکیک آنها به سه گروه دارد (شکل ۱). مقادیر هریک (وزن تازه) به‌ترتیب برای تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی، ٦۰٤۷/۷، ۳۵۷۹/۳ و ۷۰۱/۳ گرم اندازه‌گیری شد. از نکات مهم در این قسمت تفاوت فاحش بین تیمار ۱۰۰٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی با ٤۰٪ ظرفیت زراعی در درصد ماده خشک بود. درصد ماده خشک هر یک به‌ترتیب عبارت بود از ٤۷/۲٦، ٤۸/۷ و ٥٦/۹ درصد.

وزن خشک اجـزاء انـدام هـوایی: تجزیـه واریـانس هریک از اجزاء اندام هوایی شامل برگ، شاخه و تنه اصلی نشان داد که در تمـامی مـوارد اخـتلاف معنـی‌داری ($p < 0.001$) بین تیمارهای رطوبتی وجود دارد. بـه عبـارتی بـا افزایش میزان رطوبت خاک و یا کاهش تنش خشکی وزن خشک تمامی اجزاء اندام هـوایی افـزایش یافـت. مقـادیر هریک برای برگ و به‌ترتیـب در تیمارهـای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیـت زراعـی بـه‌ترتیـب، ۱۱۷۸/۳۳، ۷۷۳/۳۳ و ۱۲۳/۳۳ گرم، برای شاخه، ٦۷۱/٦۷، ۳۹۱/٦۷ و ۱۳۵ گـرم و برای تنه اصلی، ۱۰۰۸/۳، ۵۷۸/۳ و ۱۰۰ گرم بود. شکل ۲ مقایسـه میـانگین فاکتورهـای ذکـر شـده در تیمارهـای مختلف را نشان می‌دهد.

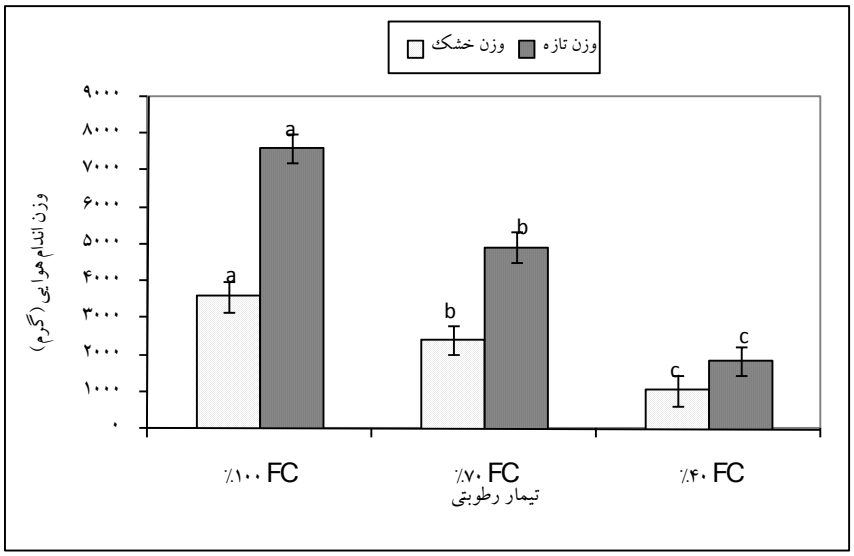


شکل ۱- تأثیر تیمارهای رطوبتی بر وزن تازه و خشک اندام هوایی در *E. camaldulensis*



شکل ۲- تأثیر تیمارهای رطوبتی بر وزن خشک تنه، شاخه و برگ *E. camaldulensis*

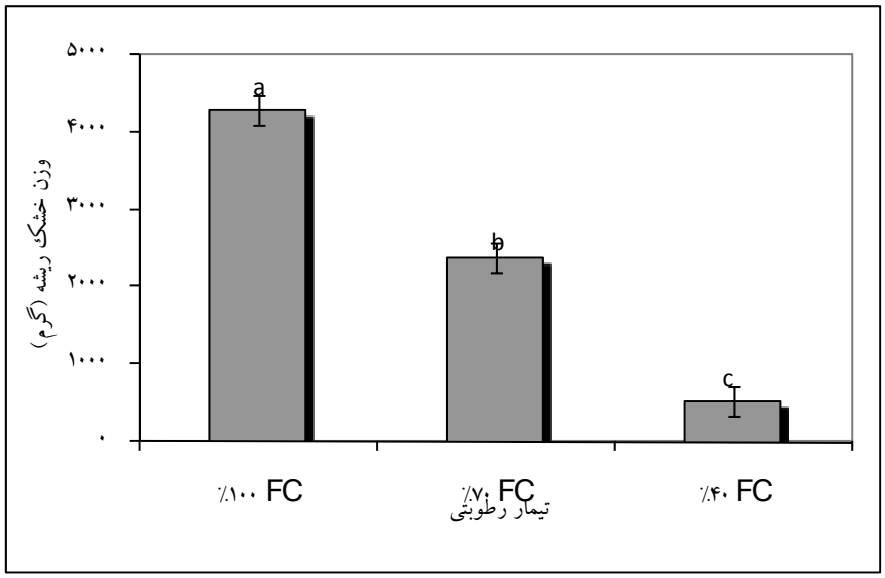
وزن خشک ریشه: نتایج بررسی تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر میزان وزنی ریشه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مختلف وزن ریشه وجود داشت ($p < 0.001$). با افزایش میزان رطوبت خاک وزن خشک ریشه‌ها افزایش یافت. مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف نیز نشان از اختلاف معنی‌دار بین سه تیمار داشت (شکل ۳). مقادیر هریک به‌ترتیب برای تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی، ٤۲۸۸/۳، ۲۳۸۱/۷ و ۵۲۵/۷ گرم بود.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای رطوبتی بر وزن خشک ریشه در *E. camaldulensis*

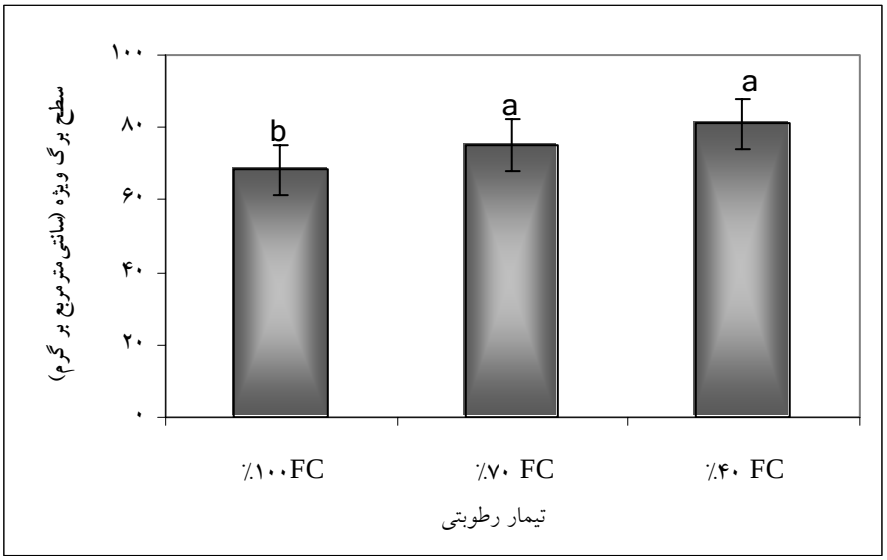
نسبت ریشه به شاخه (R/S): اگر به نتایج بدست آمده که به‌ترتیب برای تیمارهای رطوبتی ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی، ۱/۱۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۵۱ است توجه شود مشخص می‌گردد که با افزایش میزان رطوبت خاک نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش یافته است. با مقایسه میانگین بین آنها مشخص گردید که اختلاف آنها از نظر آماری نیز معنی‌دار ($p < 0.001$) است. به عبارتی کاهش رطوبت خاک تأثیر بیشتری بر ریشه نسبت به اندام هوایی داشت، ضمن اینکه تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی از تعادل نسبی برخوردار بود (شکل ٤).

نسبت شاخه به برگ: در مطالعه رفتارهای مورفولوژیکی گیاه در مواجه به تنش خشکی، نسبت شاخه به برگ از اهمیت خاصی برخوردار است. این نسبت نشان‌دهنده کارایی برگ در تولید مواد سلولزی و ذخیره آن در بافت چوبی گیاه است. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای مختلف رطوبتی وجود ندارد ($P > 0.05$)، هرچند اختلاف اندکی بین این نسبت در تیمارهای مختلف وجود دارد که با افزایش تنش خشکی کارایی برگ‌ها در تولید مواد سلولزی و ذخیره در بافت چوبی افزایش یافته است (شکل ٤). این نتایج حاکی است که به ازای مقدار آبی که در دسترس گیاه قرار گرفته است، برگ تولید و با سنتز مواد غذایی، در یک نسبت ثابتی در بافت‌های چوبی ذخیره شده است.

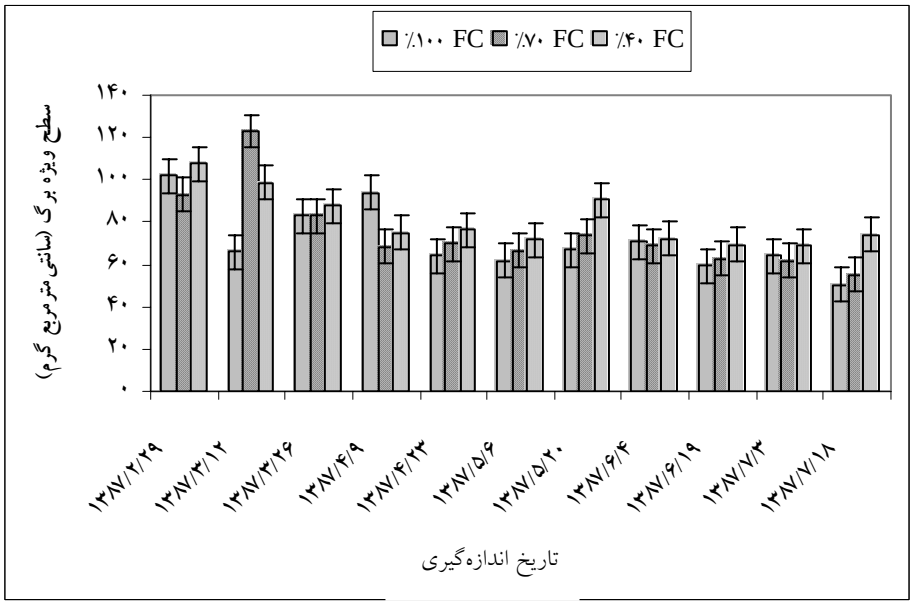


شکل ٤- تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر نسبت ریشه به شاخه و شاخه به برگ در *E. camaldulensis*

سطح برگ ویژه: نتایج بدست آمده نشان داد که بین تیمارهای مختلف رطوبتی اختلاف معنی‌داری ($p < 0.001$) وجود دارد که دلالت بر تأثیر مستقیم میزان دسترسی *E. camaldulensis* به آب بر میزان ماده خشک تولیدی در واحد سطح برگ دارد. با کاهش میزان رطوبت خاک، سطحی از برگ که تولید یک گرم ماده خشک نمود، افزایش یافت. بین مقدار سطح برگ ویژه در تیمارهای رطوبتی ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. مقادیر هریک به‌ترتیب برای تیمارهای رطوبتی ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی ٦۸/۳٤، ۷۵/۱۰ و ۸۱/۰۹ سانتی‌مترمربع بر گرم بود. شکل ۵ مقایسه میانگین بین تیمارهای رطوبتی را در این خصوص نشان می‌دهد. با توجه به اندازه‌گیری این فاکتور فیزیولوژیکی در روزهای مختلف، مشخص گردید که نوسانات رطوبتی خاک در روزهای مختلف توانسته است بر تولید ماده خشک در برگ‌ها اثر گذارد، بگونه‌ای که بین روزهای مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۱٪ ($p < 0.001$) مشاهده گردید. شکل ٦ وضعیت سطح برگ ویژه را در روزهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر سطح برگ ویژه در *E. camaldulensis*



شکل ٦- سطح برگ ویژه *E. camaldulensis* در تاریخ‌های مختلف مربوط به هر یک از تیمارهای رطوبتی

کارایی مصرف آب (WUE): نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که بین تیمارهای مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری در کارایی مصرف آب وجود دارد ($P < 0.05$). اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ دلالت بر تفاوت اندک میان کارایی مصرف آب در تولید بیوماس کل و چوب تولیدی دارد. با این شرایط به نظر می‌رسد که ٪۷۰ ظرفیت زراعی از شرایط بهتری برخوردار می‌باشد که تأثیر تنش خشکی ملایم را در بهبود کارایی مصرف آب نشان می‌دهد.

جدول ۱- میزان تبخیر- تعرق، تعرق و کارایی مصرف آب در *E. camaldulensis* مربوط به هریک از تیمارهای رطوبتی

تیمار رطوبتی	ظرفیت زراعی	۷۰٪ ظرفیت زراعی	٤۰٪ ظرفیت زراعی
تبخیر - تعرق (لیتر)	٤۳٤٥	۲۱۳۳/٥	٦۹۰/٦
تعرق (لیتر)	۳۹٥٤	۱۹٤۲	٦۲۹
بیوماس کل (گرم ماده خشک)*	۷۸۸٤/۳ a	٤۷٤٦/٦ b	۱٥۷٤ c
کارایی مصرف آب (کل) *	۱/۹۹ b	۲/٤٤ a	۲/٥۰ a
بیوماس چوب (گرم ماده خشک)*	۱٦۸۰ a	۹۷۰b	۲۳٥ c
کارایی مصرف آب (چوب)*	۰/٤۲ b	۰/٥۰ a	۰/۳۷ b

* در هر ردیف تفاوت بین میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، معنی‌دار نیست.

همبستگی و رابطه بین شاخص‌های مورد ارزیابی: بررسی جدول ضرایب همبستگی صفات نشان داد که وزن خشک کل با شاخص‌هایی چون وزن خشک برگ، وزن خشک شاخه، وزن خشک کل تاج پوشش و وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. همچنین کارایی مصرف آب با برخی از صفات مثل وزن خشک برگ از همبستگی منفی و ضعیفی برخوردار بودند، هرچند کارایی مصرف آب در رابطه با چوب تولیدی با صفاتی چون وزن خشک برگ، وزن خشک شاخه، وزن خشک تاج پوشش و وزن خشک کل از همبستگی منفی و ضعیفی برخوردار بود (جدول ۲).

جدول ۲- ضرایب همبستگی اجزاء زیست‌توده، نسبت ریشه به شاخه و کارایی مصرف آب در *E. camaldulensis*

	وزن خشک برگ	وزن خشک شاخه	وزن خشک تاج پوشش	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل	کارایی مصرف آب (کل)	کارایی مصرف آب (چوب)	سطح مقطع تنه	نسبت ریشه به شاخه
وزن خشک برگ	۰/۹۰۸**	۰/۹٦۷**	۰/۹۷۰**	۰/۹٦۷**	-۰/۷۰۳*	-۰/٦٦۷*	۰/۹۸۹**	۰/۹٦۰**	
وزن خشک شاخه		۰/۹۷۹**	۰/۹۷٤**	۰/۹۷۸**	-۰/٥۸۰	۰/٦۹٤*	۰/۹۲۲**	۰/۸۸٥**	
وزن خشک تاج پوشش			۰/۹۹۳**	۰/۹۹۸**	-۰/٦۲۷	۰/٦۹۸*	۰/۹۷۸**	۰/۹۲٥**	
وزن خشک ریشه				۰/۹۹۹**	-۰/٦٦۲	۰/٦٤٤	۰/۹۸۰**	۰/۹٤٤**	
وزن خشک کل					-۰/٦٤۹	۰/٦٦۷*	۰/۹۸۱**	۰/۹۳۸**	
کارایی مصرف آب (کل)						-۰/۰٥٦	-۰/٦٥٥	-۰/٦۳٥	
کارایی مصرف آب (چوب)							۰/٦٥۳	۰/٦٦۸*	
نسبت ریشه به شاخه									

*و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد و ۱ درصد

بحث

تنش خشکی مهمترین اثر خود را از طریق کاهش رشد و در نتیجه کاهش زیست‌توده و یا ماده خشک تولیدی نشان می‌دهد. بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که مقادیر مختلف تنش خشکی توانسته است، اثرات متفاوتی را بر تولید ماده خشک گیاه‌چه در بخش هوایی و چه در بخش زمینی بر جای گذارد. مطالعات متعدد نشان از کاهش وزن خشک تمام اندام‌های گیاه در اثر افزایش تنش خشکی دارد (Hamada, 1996; Abdalla & El-Khoshiban, 2007). اما Kameli و Losel (۱۹۹۶) گزارش کرده‌اند که در اثر تنش خشکی ممکن است وزن ریشه افزایش و وزن قسمت هوایی کاهش یابد. کاهش جذب مواد غذایی از خاک بوسیله ریشه بطور 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 زیست‌توده را به همراه خواهد داشت (Kramer & Boyer, 1995). کاهش معنی‌دار ماده خشک اجزاء مختلف درختان تحت تیمار ازجمله برگ، انشعابات اصلی، انشعابات فرعی و ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن تمامی اجزاء گیاه به این پدیده محیطی دارد. کاهش وزن خشک ریشه از ۴۲۸۸/۳ گرم در تیمار ظرفیت زراعی به ۵۲۵/۷ گرم در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی حکایت از تأثیر بسیار زیاد تنش خشکی بر عملکرد ریشه دارد.

نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده در خصوص نسبت ریشه به اندام هوایی (R/S) نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش این نسبت از ۱/۲ به ۰/۵۱ شده است. در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی این نسبت از وضعیت متعادلی برخوردار بود (۰/۹۸). به عبارتی، در صورت بروز تنش خشکی تا حد ۳۰٪ گیاه می‌تواند به اندازه توسعه اندام هوایی، ریشه تولید و از کارایی آن برخوردار گردد. تنش بیشتر موجب کاهش رشد ریشه، کاهش جذب آب و مواد غذایی و در نهایت توقف رشد گردید، هرچند برخی مطالعات نشان داده است که تنش خشکی می‌تواند موجب افزایش طول ریشه در مقایسه با اندام هوایی گردد (خداحامی و نصیرزاده، ۱۳۸۵). در ضمن Gindaba و همکاران (۲۰۰٤) نسبت ریشه به شاخه را در نهال‌های تحت تنش خشکی *E. camaldulensis* در شرایط گلخانه ۰/۷٦ گزارش نموده‌اند. همینطور Bargali و Tewari (۲۰۰٤)، Gazal و Kubiske (۲۰۰٤)، Li و Wang (۲۰۰۳) و زایگو (۱۹۹۹) نسبت بالای ریشه به شاخه را نشان‌دهنده مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌دانند. آنها بر این نکته تأکید دارند که اولین و عمومی‌ترین ویژگی رشد گیاه در مناطق خشک فزونی نسبت ریشه به اندام هوایی است. محققان دیگری ازجمله Susiluoto و Berninger (۲۰۰۷) افزایش نسبت ریشه به شاخه را از راه کارهای مقاومت به خشکی در *E. microtheca* دانسته‌اند. با این شرایط به نظر می‌رسد به دلیل کاهش نسبت ریشه به شاخه در اثر اعمال تنش خشکی در این گونه از اکالیپتوس، گونه مذکور از گونه‌های مقاوم به خشکی نباشد. محققان دیگری نظیر Merchant و همکاران (۲۰۰۷)، گونه *E. camaldulensis* را از گونه‌های فراتوفیتیک معرفی نموده‌اند. از ویژگی آنها توسعه ریشه برای برداشت آب بیشتر از منابع آب ذخیره شده در اعماق خاک می‌باشد.

اگرچه تنش خشکی از طریق کاهش میزان فتوسنتز، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رشد و تجمع مواد آلی در بخش‌های مختلف گیاه و به‌ویژه برگ‌ها دارد. با اندازه‌گیری سطح برگ ویژه مشخص گردید که در تیمار ظرفیت زراعی، سطحی از برگ که معادل یک گرم ماده خشک تولید نمود، در مقایسه با سایر تیمارها کمتر و از ذخیره بالاتری از مواد غذایی برخوردار بود .میانگین سطح برگ ویژه از ٦٨/٤ تا ٨١/١ سانتی‌متر مربع بر گرم در تیمارهای مختلف متغیر که متأثر از میزان رطوبت خاک بوده و با کاهش رطوبت خاک افزایش یافت. اگرچه Specht و Rundel (۱۹۹۰) با انجام تحقیقی در جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت گونه‌های مختلف اکالیپتوس در استرالیا مقدار سطح برگ ویژه را بین ۲۰ تا ۸۰ سانتی‌مترمربع بر گرم گزارش و اشاره نموده‌اند که کمترین مقدار مربوط به جنگل‌های طبیعی با شرایط خشک و بیشترین مقدار مربوط به جنگل‌های دست کاشتی است که خاک آنها از رطوبت زیادی برخوردار می‌باشد. وقتی برگ‌ها تازه باشند طبیعی است که مقدار سطح برگ ویژه بسیار بالا و با بالغ شدن برگ‌ها و در انتهای فصل رشد مقدار آن به‌شدت کاهش می‌یابد، همچنین وقتی نهال‌های اکالیپتوس در محیط‌های کنترل شده کشت شوند مقدار سطح برگ ویژه به شدت افزایش و مقدار آن حتی به ۱۸۳ سانتی‌متر مربع برگرم نیز می‌رسد (White, 1996). طبیعی است که عوامل متعدد دیگری غیر از دسترسی به آب بر سطح برگ ویژه دخالت دارند که از آن جمله می‌توان به میزان تغذیه گیاه و میزان نور دریافتی توسط برگ و یا به عبارتی باز و بسته بودن تاج درخت اشاره نمود.

با افزایش میزان رطوبت خاک، کارایی مصرف آب کاهش یافت که این موضوع دلالت بر باز بودن روزنه‌ها و اتلاف بیشتر آب از طریق تعرق دارد. افزایش تعداد برگ و در نهایت سطح تعرق کننده در اثر افزایش رطوبت خاک بیانگر این موضوع است که این گیاه توانایی اتلاف آب از طریق بهبود سطح تعرق‌کننده را نیز دارد. افزایش میزان تعرق در اثر افزایش سطح برگ از راهکارهای موثر گیاه برای استفاده بیشتر از آب خاک است. با اعمال ۳۰٪ و ٦۰٪ تنش خشکی، کاهش عملکردی به‌ترتیب معادل ۳۹٪ و ۸۰٪ مشاهده گردید .با وجود این، به دلیل بهبود کارایی مصرف آب در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی(۲/٤٤ گرم ماده خشک به ازای هر لیتر آب مصرف شده) و عدم وجود اختلاف معنی‌دار با تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی، می‌توان این موضوع را مطرح کرد که در شرایط کمبود آب برای آبیاری و یا دسترسی محدود گیاه به آب، حداکثر توان تنش خشکی که عملکردی معادل ٦۱٪ از شرایط بدون تنش را به دنبال داشته باشد، ۳۰٪ است. کاهش بیشتر تنش خشکی، ضمن کاهش شدید رشد و عملکرد، موجب کاهش کارایی مصرف آب (به‌ویژه چوب) گردید. تنش خشکی از طریق انسداد روزنه‌ها و کاهش جذب CO_2 موجب کاهش کارایی مصرف آب می‌گردد. محققان دیگری نظیر Gindaba و همکاران (۲۰۰۵) کاهش کارایی مصرف آب را در اثر افزایش تنش خشکی در شرایط گلخانه برای گیاهانی چون *Cordia Africana, E. camaldulensis E. globules, Millettia ferruginea* و *Croton macrostachyus* گزارش کرده‌اند. آنها کارایی مصرف آب را در *E. camaldulensis* برای ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، به‌ترتیب ۱/۸، ٤، ٤/۵ و ٤/۹ گرم ماده خشک برای هر کیلوگرم آب گزارش کرده‌اند، هرچند نتایج ارائه شده با گزارش Davidson (۱۹۸۹) که مقدار آب مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک را در برخی از گونه‌های

اکالیپتوس ۷۸۵ لیتر (۱/۲۷ گرم به‌ازای هر لیتر آب) بیان داشته است، مغایرت دارد. همین‌طور Li (۱۹۹۹) کارایی مصرف آب را در سه توده از اکالیپتوس که تحت تأثیر سه سطح از تنش خشکی قرار گرفته بودند بررسی و دریافت که بین میزان رشد و کارایی مصرف آب رابطه قوی وجود دارد. وی معتقد است که میزان رشد اکالیپتوس در گرو میزان تعرق است. مطالعات Kramer و Boyer (۱۹۹۵) نشان می‌دهد که برای بسیاری از گیاهان که دارای راندمان بالای تولید هستند (معمولاً گیاهان C4)، افزایش تنش خشکی از طریق انسداد روزنه‌ها و کاهش تعرق موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌گردد. این موضوع در تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به‌عنوان یک گیاه C4 گزارش شده است (راد و همکاران، ۱۳۸۷). با این شرایط کاهش کارایی مصرف آب در اثر اعمال تنش خشکی ناشی از دوره فتوسنتزی گیاه (به‌عنوان یک گیاه C3) نیز می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- خداحامی، ق.، نصیرزاده، ع.ر.، ۱۳۸۵. بررسی امکان مقاوم سازی بذر چهار گونه لگوم به خشکی، تحقیقات ژنتیک واصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، ۱٤: ۳۲-۳۷.
- سردابی، ح.، ۱۳۷۷. بررسی سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس و کاج در مناطق ساحلی و کم ارتفاع شرق استان مازندران. نشریه شماره ۱۹۳، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۳ صفحه.
- راد، م.ح.، میرحسینی، س.ر.، مشکوه، م.ع و سلطانی، م.، ۱۳۸٦. بررسی اثر تنش رطوبتی بر کارایی مصرف آب (WUE) در گیاه تاغ (*Haloxylon spp*). دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ۱۱۰۹- ۱۱۱۰.
- زایگر، ا.، ۱۹۹۹. فیزیولوژی گیاهی، جلد اول، (ترجمه: محمد کافی، مهرداد لاهوتی، اسکندر زند، حمید رضا شریفی و مرتضی گلدانی). جهاد دانشگاهی مشهد، ٤٥٦ صفحه.
- عصاره، م.ح. و سردابی، ح.، ۱۳۸٦. اکالیپتوس، جلد اول، شناخت، معرفی و ازدیاد با استفاده از فناوری‌های نوین. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ٦۷۲ 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: 2062-2074.
- Apel, P., 1994. Water use efficiency in *Flaveria* and *Moricandia* species. Biologia Plantarum, 36: 243-246.
- 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.
- Bargali, K. and Tewari. A., 2004. Growth and water relation parameters in drought-stress *Coriaria nepalensis* seedling. Journal of Arid Environment, 58, 505-512.
- Blake, T1., Tchaplinski, TJ., Eastham, A., 1984. Stomatal control of water use efficiency in poplar clones and hybrids. Canadian J. of Botany, 62: 1344-1351.
- Burton, A.J., Pregitzer, K.S. and Reed, D.D., 1991. Leaf area and foliar biomass relationships in northern hardwood forests located along an 800 Km acid deposition gradient. Forest Science, 37: 1041-1059.
- 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.
- Clifton-Brown, J.C. and Lewandowski, I., 2000. Water use efficiency and biomass partitioning of tree different miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply. Annals Of Botany, 86: 191-200.
- Collino, D.J., Dardanelli, J.L. and Wu, N., 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedling. Environmental And Experimental Botany, 62: 248-255.

efficiency of *Caragana microphylla, C. intermedia,* and *C. korshinskii*. *Phoyosynthetica*, 42 : 65-70.
– 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.
– Merchant, a., Callister, M., Arndt, S., Tausz, M. and Adams, M., 2007. Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. Annals of Botany, 100 : 1507-1515.
– Muller, L., Behrendt, A., Schalitz, G. and Schindler, U., 2005. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. Agricultural Water Management, 75: 117-136.
– Newmann, H.H., Denhartog,G. and Shaw, R.H., 1989, Leaf area measurements based on hemispheric photographs and leaf-litter collection in a deciduous forest during autumin leaf-fall. Agricultural and Forest Meteorology, 45,325-345.
– Saeed, I.A.M. and EI-Nadi, A.H., 1998. Forage sorghum yield water use efficiency under variable irrigation. Irrig. Sci, 18: 67-71.
– Specht, R.L. and Rundel, P.W., 1990. Sclerophyll and foliar nutrient status of Mediterranean-climate plant communities in southern Astralia. Australian J. of Botany, 38: 459-474.
– Susiluoto, S. and Berninger, F., 2007. Interactions between Morphological and Physiological Drought Responses in *Eucalyptus microtheca*. Silva Fennica, 41: 221-233.
– Turner, N.C., Begg, J.E. and Tonnet, M.L., 1978. Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water deficits and its influence on the water potential at which stomata close. Australian Journal Of Plant Physiology, 5: 597-608.
– Wittwer S.H., 1975. Food production: Technology and the Resource Base Science, 188: 579-584.
– Wu, F., Bao, W., Li, F. and Wu, N., 2008. Effects of drought stress and Nsupply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. Environmental and Experimental Botany, 63: 248–255.
– White, D.A., 1996. Physiological responses to drought of *Eucalyptus globules* and *E. nitens* in plantation. Ph.D. thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia.
– 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.
– Cutini, A., Matteucci, G. and Mugnozza, G.S. 1998. Estimation of leaf area index with the Li-cor LAI 2000 in deciduous forests. Forest Ecology and Management, 105: 55-63.
– Davidson, G., 1989. The *Eucalyptus* dilemma arguments for and against *Eucalyptus* planting in Ethiopia. The Forestry Research Ceminar, No (1) Addisababa.
– 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.
– Gindaba, J., Rozanov, A. and Negash, L., 2005. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two Eucalyptus and tree indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. Forest Ecology and Management, 205 : 127-138.
– Gindaba, J., Rozanov, A. and Negash, L., 2004. Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. Forest Ecology and Management, 201: 119-129.
– Hamada, A.M., 1996. Effects of NaCl, water stress or both on gas exchange and growth of wheat. Biologia plantarum, 3: 405-412.
– Herwitz, S.R, and Gutterman, Y., 1990. Biomass production and transpiration efficiencies of Eucalyptus in the Negev Desert. Forest Ecology and Management, 31: 81-90.
– Howell, T.A., 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agronomy Journal, 93: 381-289.
– Hsiao, T.C., and Acevedo, E., 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. Agricultural Meteorology 14: 59–84.
– 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. Academic Press, San Diego.
– Li, C., 1999. Carbon isotope composition, water-use efficiency, and biomass productivity of *Eucalyptus microtheca* populations under different water supplies. Plant Soil, 214: 165-171.
– Li, C. and Wang, K., 2003. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell populations. Forest Eology and Management, 179: 377-385.
– Liu, F. and Stutzel, H., 2004. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetabl amaranth (*Ammarantus spp*.) in response to drought stress. Scientia Horticulturae, 102: 15-27.
– Ma, C.C., Gao, Y.B., Guo, H.Y. and Wang, J.L., 2004. Photosynthesis, ranspiration, and water use

Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) in response to drought stress.

M.H. Rad*[1], M.H. Assare[2], M.A. Meshkat[3] and M. Soltani[4]

1*- Corresponding author, M.Sc., Agricultural and Natural Resource Research Center of Yazd, I.R.Iran,
E-Mail: mohammadhadirad@gmail.com
2- Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R.Iran
3- Asist. Prof., Agricultural and Natural Resource Research Center of Yazd, I.R.Iran
3- M.Sc., Agricultural and Natural Resource Research Center of Yazd, I.R.Iran

Received: 26.06.2009 Accepted: 13.06.2010

Abstract

Biomass production, shoot, root, leaf, root to shoot ratio (R/S), specific leaf area (SLA) and water use efficiency (WUE) of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) were investigated under three different soil water regimes, 100%, 70% and 40% of field capacity (FC). The research was conducted based on a complete randomized design with 3 replications under lysimetery and natural conditions in an arid region. The experiment was carried out during 2006-2008 at Shahid Sadouqi Desert Research station of Yazd. Results showed that biomass production, shoot, root, leaf, root to shoot ratio and shoot to life ratio decreased significantly with reduction in soil water content. Specific leaf area increased significantly with reduction of soil water content. Water use efficiency increased significantly with reduction of soil water content but was not significant between 70% and 40% field capacity treatments. Regarding wood production, water use efficiency increased significantly for 70% field capacity treatment, compared to other treatment.

Key Words: Eucalypt, Drought stress, Biomass, Growth parameter, Water use efficiency (WUE).