

## نیاز آبی و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus flocktoniae* (Maiden) Maiden, *E. leucoxylon* F. Muell.)

محمدهادی راد<sup>۱\*</sup>، محمدحسن عصاره<sup>۲</sup> و مهدی سلطانی<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com  
۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
۳- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۷

### چکیده

پاسخ گیاهان به مقدار آب در دسترس برای تدوین برنامه‌های مربوط به مدیریت منابع آب و آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، مقدار تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی، عملکرد و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus flocktoniae* (Maiden) Maiden, *E. leucoxylon* F. Muell.) از طریق آزمایش‌های لایسیمتری و در شرایط سطوح مختلف تیمارهای رطوبتی (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بررسی شد. پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار در شرایط اقلیمی یزد انجام شد. نتایج نشان داد که در هر دو گونه با افزایش رطوبت خاک، مقدار تبخیر و تعرق افزایش یافت و بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. نیاز آبی *E. leucoxylon* و *E. flocktoniae* در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۱۸۵ و ۱۶۱۷ میلی‌متر و ضریب گیاهی نیز به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۸۸ اندازه‌گیری شد. مقدار ماده خشک تولیدی در تمام بخش‌های گیاه و مقدار کارایی مصرف آب در *E. leucoxylon* به‌طور معنی‌داری بیشتر از *E. flocktoniae* بود. کارایی مصرف آب در *E. flocktoniae* معادل ۱/۲۲ گرم بر لیتر و در *E. leucoxylon* معادل ۱/۴۱ گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. اگرچه *E. leucoxylon* تندرشدتر بوده و برای عملکرد بیشتر به آب زیادتری نیاز دارد، اما به دلیل به‌کارگیری سازوکارهای مناسب برای سازگاری در شرایط خشک و بهبود کارایی مصرف آب، برای جنگل‌کاری و تولید چوب در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، تنش خشکی، عملکرد، ظرفیت زراعی.

### مقدمه

برنامه‌ریزی آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا مقدار تبخیر و تعرق و عملکرد گیاه دارای رابطه خطی است. استقرار درازمدت و کارایی مؤثر برای گونه‌های جنگلی از

اطلاع از مقدار آب مورد استفاده توسط گیاه و یا نیاز روزانه گیاه برای تبخیر و تعرق به‌عنوان اجزای سازنده

آب بیشتر از خاک بود. تفاوت بین کلن‌ها در کارایی مصرف آب برای گونه‌های مشابه‌ای که در یک مکان رویش داشتند، مربوط به تفاوت در مقدار ماده خشک تخصیص یافته به ریشه در کل ماده خشک تولیدی گزارش شده است (Le Roux *et al.*, 1996). بهبود کارایی مصرف آب در *E. camaldulensis* در شرایط ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (۲/۴۴ گرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم آب مصرف شده) و عدم وجود اختلاف معنی‌دار با تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش شد (Rad *et al.*, 2011). در این پژوهش به این موضوع اشاره شد که در شرایط کمبود آب برای آبیاری و یا دسترسی محدود این گیاه به آب، بیشینه توان تنش خشکی که عملکردی معادل ۶۱ درصد از شرایط بدون تنش را به دنبال داشته باشد، ۳۰ درصد است. کاهش بیشتر تنش خشکی، ضمن کاهش شدید رشد و عملکرد، موجب کاهش کارایی مصرف آب نیز شد. آن‌ها گزارش کردند که در *E. camaldulensis* با وجود شرایط تنش ملایم، بهبود کارایی مصرف آب اتفاق افتاد، هر چند ممکن است عملکرد گیاه به شدت کاهش یابد.

گیاهان می‌توانند با تغییر در شرایط ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی با تنش خشکی مقابله و با این شرایط کارایی مصرف آب خود را بهبود بخشند. سرعت بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب (Marron *et al.*, 2002)، سرعت زیاد در تطابق اسمزی (Gebre *et al.*, 1994)، جلوگیری از گسترش سطح برگ و مقدار ریزش برگ و به عبارتی نسبت سطح جذب داخلی تشعشع به سطح تعرق برگ و چگونگی جهت‌گیری روزانه شاخ و برگ گیاه و همچنین بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی (Sinclair *et al.*, 1984; Bolger & Matches, 1990; Marron *et al.*, 2003) از راهکارهای مهمی هستند که گیاهان برای بهبود کارایی مصرف آب به‌کار می‌گیرند. به‌طور معمول ضریب تعرق یا نسبت بین مقدار آب مصرف شده و ماده خشک ساخته شده برای گیاهان مختلف متفاوت است. در برخی از پژوهش‌ها کارایی مصرف آب در گیاه را به مقدار CO<sub>2</sub> تثبیت شده توسط گیاه به مقدار آب تعرق یافته معرفی می‌کنند (Medrano *et al.*, 2015). این

اجزای مهم عملکردی این گیاهان محسوب می‌شود. رابطه بین عملکرد و مقدار تبخیر و تعرق می‌تواند تابع تولید تبخیر و تعرق (Et production function) را برای گیاه تعریف کند (Al-Jamal *et al.*, 2002). رطوبت خاک، غلظت نمک‌ها، مواد غذایی و تنش‌های ناشی از حمله آفات و بیماری‌ها بر مقدار تبخیر و تعرق تأثیر گذاشته و موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود (Miller & Hang, 1982). در این رابطه، مقدار آب وارد شده به منطقه ریشه به‌عنوان مهم‌ترین شاخص رشد و استقرار طولانی‌مدت گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است. نتیجه تنش بیش از اندازه آب در گیاه، کاهش تعرق خواهد بود که پیرو آن در جذب CO<sub>2</sub> و سنتز مواد غذایی محدودیت ایجاد شده و منجر به کاهش رشد، عملکرد و افزایش مرگ‌ومیر گیاه خواهد شد (Xu and Li, 2006).

در پژوهشی مشخص شد که در اکالیپتوس، شیب تابع تولید تبخیر و تعرق، به‌وسیله کارایی مصرف آب تعیین می‌شود. در این پژوهش مقایسه‌ای بین سه جمعیت اکالیپتوس در سطوح مختلف تنش خشکی انجام و مقدار کارایی مصرف آب در آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. بر اساس نتایج، رابطه قوی بین رشد و کارایی مصرف آب گزارش شد (Li, 1999). اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق در *E. maculata* برای توسعه مدل سالانه تبخیر و تعرق و به‌ویژه تلفات ناشی از تعرق با استفاده از یک لایسیمتر وزنی در شرق استرالیا انجام شد (Dunin & Mackay, 1982). آن‌ها کارایی مصرف آب را در این گونه از اکالیپتوس، پنج گرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم آب مصرف شده به‌دست آوردند. البته این مقدار طی فصول مختلف تفاوت‌هایی نشان داد که ناشی از اثر رطوبت خاک و کمبود بخار اشباع هوا بود. مقادیر مشابه کارایی مصرف آب برای گونه *E. grandis* بر هر واحد آب تعرق یافته در دامنه یک تا پنج گرم وزن خشک ساقه بر هر کیلوگرم آب گزارش شد (Dye, 2000). این مقدار طی فصل‌های مختلف، تفاوت‌هایی را نشان داد که این تغییرات مربوط به افزایش سازگاری گیاه به‌وسیله توسعه ریشه‌ها طی دوره‌های خشک برای برداشت

و تعرق گیاه مرجع نیز از یک عدد لایسیمتر استفاده شد. از یونجه (*Medicago sativa* L.) به عنوان گیاه مرجع استفاده شد. لایسیمترها از خاک مناسب با بافت لومی - شنی با وزن مخصوص ظاهری ۱/۶۱ پر شدند. پس از پر کردن لایسیمترها، به منظور متعادل کردن و برطرف کردن شوری خاک، نسبت به آبشویی آن اقدام شد.

در بهار ۱۳۹۳ یک اصله نهال یک ساله در هر یک از لایسیمترها کاشته شد. نهالها به مدت شش ماه به فاصله ۱۵ روز یکبار با مقدار ۵۰ لیتر آب، آبیاری شدند. در ابتدای پاییز ۱۳۹۳، نسبت به اعمال تیمارهای مورد نظر شامل نوع گونه در دو سطح (*E. leucyxylon* و *E. flocktoniae*) و تیمار رطوبتی در سه سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اقدام شد. با هدف کسب اطلاعات لازم در خصوص وضعیت رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی، یکی از لایسیمترها به مقدار کافی تا حد خروج آب از زهکش، آبیاری شد. سطح لایسیمتر برای جلوگیری از تبخیر آب، با پلاستیک پوشانده شد. بعد از خروج کامل آب تغلی از زهکش، با دستگاه رطوبت سنج (TDR مدل TRAM) رطوبت خاک در اعماق مختلف قرائت و میانگین اعداد قرائت شده به عنوان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، مبنای اعمال تیمارهای رطوبتی قرار گرفت. برای اعمال تیمارهای رطوبتی، مقدار رطوبت خاک در پنج عمق ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی متری اندازه گیری و میانگین آن‌ها مبنای آبیاری قرار گرفت. تیمارهای رطوبتی ذکر شده به مدت یک سال زراعی (از مهر ۱۳۹۳ تا پایان شهریور ۱۳۹۴) اعمال شدند.

شاخص‌های مورد ارزیابی

- تبخیر و تعرق (ET): مقدار تبخیر و تعرق برای گیاهان مورد آزمایش از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Xu et al., 1998).

$$\text{ETc} = (I + P + W1) - (D - W2) \quad \text{رابطه (۱)}$$

نسبت می‌تواند به عنوان یک شاخص بسیار مهم برای گیاهانی باشد که بهره‌وری آب در آن‌ها زیاد و مساعد رویش در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند.

برخی از پژوهشگران از جمله Gindaba و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، کارایی مصرف آب ممکن است کاهش یابد. آن‌ها به این نکته اشاره داشتند که با اعمال تنش خشکی، کارایی مصرف آب به مقدار ۲ تا ۵ گرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم آب کاهش یافت، که این کاهش بسته به نوع گونه گیاهی متفاوت بود. در *Cordia africana* و *Croton macrostachyus* مقدار کمتر و در *E. camaldulensis* و *E. globulus* مقدار بیشتری کاهش یافته بود.

تنوع شرایط اقلیمی کشور و کمبود منابع آب، ایجاب می‌کند تا ضمن بررسی سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس، به نیاز واقعی آن‌ها به آب و مقدار تولید به ازای آب مصرف شده توجه شود. دو گونه *E. flocktoniae* (Maiden) Maiden و *E. leucoxyton* F. Muell. از جمله اکالیپتوس‌هایی هستند که سال‌های اخیر در طرح‌های سازگاری مورد استفاده قرار گرفته و نتایج امیدبخشی به سازگاری آن‌ها در شرایط اقلیمی نقاط مختلف مورد آزمایش گزارش شده است (Asareh, 2001; Saleheh, Shushtari et al., 2011). در این پژوهش، ضمن تعیین نیاز آبی، مقدار مقاومت به خشکی دو گونه ذکر شده از طریق برآورد کارایی مصرف آب در شرایط لایسیمتری مورد توجه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### روش پژوهش

پژوهش پیش‌رو در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد با مختصات جغرافیایی ۹° ۱۱' ۵۴" طول شرقی و ۳۰° ۳۲' ۴۱" عرض شمالی انجام شد. از ۲۰ عدد لایسیمتر وزنی زهکش‌دار با ارتفاع ۱۶۰ و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح خاک و محاسبه مقدار تعرق از یک عدد لایسیمتر و برای اندازه‌گیری تبخیر

درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت، وزن خشک آن‌ها به تفکیک محاسبه شد. با محاسبه مقدار تعرق و زی‌توده تولیدی در هر یک از تیمارها، کارایی مصرف آب بر مبنای گرم ماده خشک تولیدی به ازای هر لیتر آب مصرف شده برای تعرق گیاه با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Rad et al., 2013).

$$\text{WUE} = D/W \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

برای محاسبه نسبت اندام هوایی به ریشه (S/R) از اعداد به‌دست آمده از وزن زی‌توده خشک اندام هوایی و ریشه استفاده شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آزمون شاپیرو-ویلک برای سنجش نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. برای نرمال کردن داده‌های مربوط به تمام شاخص‌های مورد ارزیابی از روش تبدیل لگاریتمی و مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن و در سطح آماری ۹۵ درصد انجام شد. نرمال کردن، تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد.

#### نتایج

نتایج تجزیه واریانس متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثر هر دو عامل گونه و تیمار رطوبتی بر تمام متغیرها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود، اما معنی‌داری اثر متقابل تیمار و گونه فقط برای متغیرهای تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی، وزن خشک اندام هوایی، نسبت زی‌توده خشک اندام هوایی به ریشه و کارایی مصرف آب کل مشاهده شد ( $p < 0.01$ ).

که در آن: ETC تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)، I آب آبیاری (میلی‌متر)، P ارتفاع بارندگی (میلی‌متر)، D آب خروجی از زهکش (میلی‌متر) و  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب مقدار آب ذخیره شده در خاک پیش و پس از آبیاری در طول دوره‌ای ثابت که در این آزمایش به طور هفتگی در نظر گرفته شد. مقدار  $W_1$  و  $W_2$  با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ به‌دست آمد:

$$W_1 = \sum_{i=1}^n \theta_{1i} Z_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$W_2 = \sum_{i=1}^n \theta_{2i} Z_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن‌ها:  $\theta_{1i}$  و  $\theta_{2i}$  محتوای آب خاک (درصد حجمی) در لایه‌های مختلف به ترتیب پیش و پس از دوره اندازه‌گیری،  $Z_i$  عمق خاک در هر لایه و n تعداد لایه‌های مورد آزمایش است. به دلیل عدم ریزش بارش مؤثر در پاییز ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴، این شاخص از رابطه فوق حذف شد. ضریب گیاهی (Kc): برای اندازه‌گیری ضریب گیاهی پس از محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع و همچنین تبخیر و تعرق گیاهان مورد نظر در هر یک از تیمارهای رطوبتی از رابطه ۴ استفاده شد.

$$Kc = ETC/ET_0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: Kc، ETC و  $ET_0$  به ترتیب ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر، تبخیر و تعرق بالقوه (تبخیر و تعرق گیاه مرجع) است. مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط آزمایش ۱۸۳۶/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

#### کارایی مصرف آب (WUE)

در پایان آزمایش، نسبت به برداشت بخش‌های هوایی و ریشه گیاه اقدام شد و با قرار دادن در کوره در دمای ۷۵

جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت زیست توده خشک اندام هوایی به ریشه، کارایی مصرف آب (چوب) و کارایی مصرف آب (کل) تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و نوع گونه

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	تبخیر و تعرق	ضریب گیاهی (Kc)	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت زی توده خشک اندام هوایی به ریشه (S/R)	کارایی مصرف آب (چوب)	کارایی مصرف آب (کل)
تیمار رطوبتی	۲	۸۲۹۵۶۲/۰۳**	۳/۹۹۱**	۲۶۵۲۳۴/۷۲**	۴۸۵۷۶۹/۳۸**	۰/۰۶۹**	۰/۰۲۴**	۰/۱۷۱**
گونه	۱	۳۹۷۴۱۵/۸۴**	۴/۱۴۸۴**	۲۹۸۷۱۶/۶۶**	۲۲۵۱۴۷/۷۲**	۰/۰۴۵**	۰/۰۰۶**	۰/۰۴۳**
تیمار × گونه	۲	۲۴۳۱۰/۴۱**	۱/۶۴۹**	۵۸۷۳۸/۸۸**	۴۱۲۱/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۴**	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۸**
خطا	۱۲	۲۴۷۴/۴۹	۱/۱۰۳	۶۳۰/۵۵	۲۴۷۳/۲۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲
CV		۱/۴	۴/۴	۳/۸۹	۷/۱۱	۸/۲۶	۵/۱۱	۳/۷۸

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ \* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

۱/۴ گرم ماده خشک به ازای هر لیتر آب مصرفی داشت که تأثیر تیمار رطوبتی را در بهبود کارایی مصرف آب نشان داد (جدول ۲). تأثیر تیمار رطوبتی بر کارایی مصرف آب در رابطه با چوب تولیدی نیز نتایج مشابهی را نشان داد، هر چند اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۴۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد.

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به نوع گونه نشان داد که *E. leucyloxylon* به دلیل تبخیر و تعرق بیشتر در تمامی سطوح تیمار رطوبتی از نیاز آبی بیشتری نسبت به *E. flocktoniae* برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری را نشان داد. همچنین، مقایسه میانگین دو گونه نشان داد که وزن خشک اندام هوایی در *E. leucyloxylon* بیشتر از *E. flocktoniae* بود، به طوری که از اختلاف آماری معنی‌داری برخوردار شد. بیشترین مقدار ریشه نیز در *E. leucyloxylon* تولید شد که با *E. flocktoniae* اختلاف معنی‌داری را نشان داد. با محاسبه نسبت اندام هوایی به ریشه مشخص شد که *E. flocktoniae* از توان کمتری در تولید ریشه برخوردار بوده، به طوری که از نسبت زی توده خشک اندام هوایی به ریشه بیشتری برخوردار بود و نسبت

با مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق و همچنین ضریب گیاهی در سطوح مختلف تیمار رطوبتی مشخص شد که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق و همچنین ضریب گیاهی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اتفاق افتاد، به طوری که بین سطوح مختلف تیمارهای رطوبتی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تیمار رطوبتی در خصوص وزن خشک زی توده اندام هوایی و همچنین وزن خشک زی توده ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک در هر دو اندام مورد بررسی، مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود که بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). بین سطوح مختلف تیمار رطوبتی در نسبت زی توده اندام هوایی به ریشه نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، هر چند در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی این اختلاف معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تیمار رطوبتی بر کارایی مصرف آب دلالت بر افزایش معنی‌دار آن در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با

به *E. leucxylon* اختلاف معنی داری داشت. کارایی مصرف آب در *E. leucxylon* و *E. flocktoniae* به ترتیب ۱/۲۲ و ۱/۴۱ گرم ماده خشک به ازای هر لیتر آب مصرفی بود که بین آنها اختلاف معنی داری مشاهده شد. همچنین کارایی مصرف آب (چوب) در *E. leucxylon* و *E. flocktoniae* به ترتیب ۰/۳۶۹ و ۰/۴۳۹ گرم چوب به ازای هر لیتر آب مصرفی اندازه گیری شد که از اختلاف معنی داری برخوردار بود (جدول ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارهای رطوبتی بر تبخیر و تعرق (میلی متر در سال)، ضریب گیاهی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت شاخه به ریشه، کارایی مصرف آب (چوب) و کارایی مصرف آب (کل)

شاخص							
تیمار رطوبتی	تبخیر و تعرق (میلی متر)	ضریب گیاهی (Kc)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت زی توده خشک اندام هوایی به ریشه (S/R)	کارایی مصرف آب- چوب (گرم/لیتر)	کارایی مصرف آب- کل (گرم/لیتر)
۱۰۰ FC	۱۴۰۱/۵۰ <sup>a</sup>	۰/۷۶ <sup>a</sup>	۸۸۷/۵۰ <sup>a</sup>	۸۷۶/۳۳ <sup>a</sup>	۱/۰۰۶ <sup>a</sup>	۰/۴۰۸ <sup>a</sup>	۱/۲۴ <sup>b</sup>
۷۰ FC	۱۰۱۷/۴۹ <sup>b</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	۵۹۵/۸۳ <sup>b</sup>	۷۳۰/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۸۳۸ <sup>b</sup>	۰/۳۶۷ <sup>b</sup>	۱/۳۱ <sup>b</sup>
۴۰ FC	۶۵۷/۹۶ <sup>c</sup>	۰/۳۵ <sup>c</sup>	۴۴۹/۱۷ <sup>c</sup>	۴۹۲/۵۰ <sup>c</sup>	۰/۹۵۸ <sup>a</sup>	۰/۴۳۴ <sup>a</sup>	۱/۴۱ <sup>a</sup>

حروف انگلیسی مشابه در ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

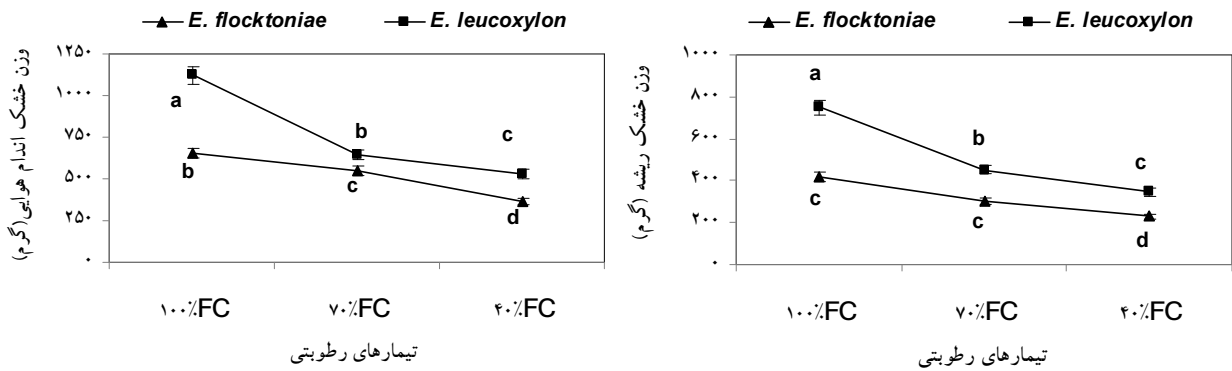
جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نوع گونه بر تبخیر و تعرق (میلی متر)، ضریب گیاهی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت شاخه به ریشه، کارایی مصرف آب (چوب) و کارایی مصرف آب (کل)

شاخص							
گونه	تبخیر و تعرق (میلی متر)	ضریب گیاهی (Kc)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت زی توده خشک اندام هوایی به ریشه (S/R)	کارایی مصرف آب- چوب (گرم/لیتر)	کارایی مصرف آب- کل (گرم/لیتر)
<i>E. flocktoniae</i>	۸۷۷/۰۶ <sup>b</sup>	۰/۴۸ <sup>b</sup>	۵۲۲/۷۸ <sup>b</sup>	۵۳۵/۳۳ <sup>b</sup>	۰/۹۹۶ <sup>a</sup>	۰/۳۶۹ <sup>b</sup>	۱/۲۲ <sup>b</sup>
<i>E. leucxylon</i>	۱۱۷۴/۲۴ <sup>a</sup>	۰/۶۴ <sup>a</sup>	۷۶۵/۵۶ <sup>a</sup>	۸۶۳/۸۹ <sup>a</sup>	۰/۸۷۱ <sup>b</sup>	۰/۴۳۹ <sup>a</sup>	۱/۴۱ <sup>a</sup>

حروف انگلیسی مشابه در ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

دادند، به نحوی که کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه به موازات کاهش رطوبت خاک در گونه *E. flocktoniae* به تدریج و در گونه *E. leucxylon* با شیب بسیار تندتری رخ داد (شکل ۱).

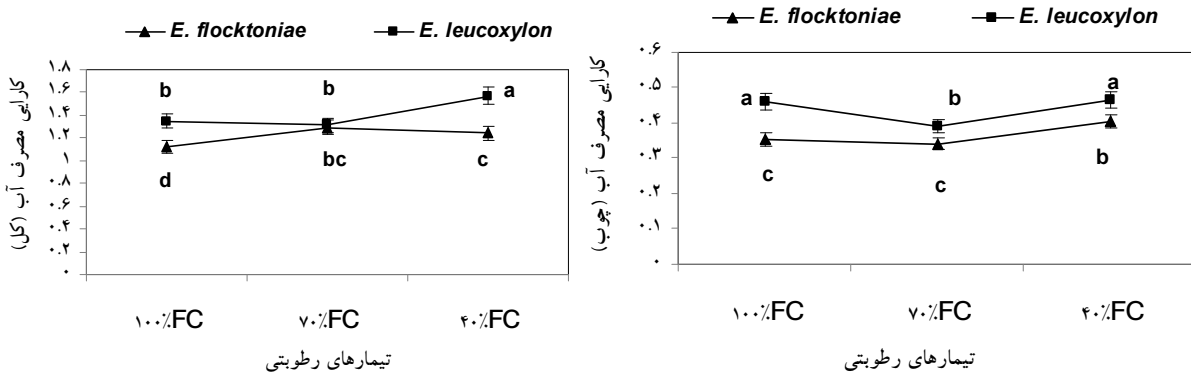
مقایسه میانگین تیمارهای ترکیبی گونه و رطوبت بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشان داد که گونه های مورد مطالعه رفتار متفاوتی در تیمارهای رطوبتی مختلف نشان



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف تیمار رطوبتی بر میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه در *E. leucoxyton* و *E. flocktoniae*

به چوب نتایج متفاوتی را به دنبال داشت. در *E. leucoxyton* اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ظرفیت کامل زراعی مشاهده نشد، در حالی‌که در *E. flocktoniae* بیشترین کارایی مصرف آب زمانی اتفاق افتاد که درختان شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی را تحمل کردند. به عبارتی، در این گونه با افزایش تنش خشکی، کارایی مصرف آب مربوط به چوب افزایش یافت (شکل ۲).

مقایسه میانگین تیمارهای ترکیبی گونه و رطوبت بر متغیر کارایی مصرف آب کل نشان داد که گونه‌های مورد مطالعه رفتار متفاوتی در تیمارهای رطوبتی مختلف نشان دادند، به نحوی که در *E. leucoxyton* با کاهش مقدار رطوبت خاک کارایی مصرف آب کل افزایش یافت، در حالی‌که در *E. flocktoniae* در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین کارایی مصرف آب کل اتفاق افتاد، هرچند اختلاف معنی‌داری را با تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (شکل ۲). این موضوع در مورد کارایی مصرف آب مربوط



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف تیمارهای رطوبتی بر میانگین کارایی مصرف آب (کل) و کارایی مصرف آب (چوب)

در *E. leucoxyton* و *E. flocktoniae*

گونه بود. با اعمال ۳۰ درصد تنش خشکی (تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی)، مقدار تبخیر و تعرق از ۱۴۰۱/۵۰ به ۱۰۱۷/۴۹ میلی‌متر کاهش یافت که این مقدار با تشدید

## بحث

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که افزایش مقدار رطوبت خاک عامل مؤثری بر مقدار تبخیر و تعرق در هر دو

با افزایش دسترسی گیاهان به آب، مقدار ماده خشک تولیدی در تمام قسمت‌های آن‌ها افزایش یافت، هرچند کاهش مقدار ماده خشک در اندام‌های مختلف به نوع گونه نیز بستگی دارد. کاهش نسبت اندام هوایی به ریشه یکی از سازوکارهای مقاومت به خشکی است که در برخی از گونه‌ها در مواجهه با تنش خشکی اتفاق می‌افتد. نسبت اندام هوایی به ریشه در *E. leucyxylon* کاهش بیشتری در مقایسه با *E. flocktoniae* نشان داد که برتری این گونه را در سازگاری به شرایط تنش خشکی مشخص می‌کند. هرچند ویژگی‌های ژنتیکی یک گونه نقش مؤثری در بهره‌برداری بیشتر از آب موجود در خاک دارد، با این شرایط نباید نقش تنش‌های محیطی و از جمله تنش خشکی را نادیده گرفت. بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و تثبیت بیشتر کربن با برداشت آب کافی از خاک به وسیله سازوکارهای مختلف و در نهایت بهبود کارایی مصرف آب (Medrano et al., 2015)، از مواردی است که در انتخاب گونه مناسب برای جنگل‌کاری باید مورد توجه قرار داد. در هر دو گونه مورد آزمایش با افزایش تبخیر و تعرق، کارایی مصرف آب کاهش یافت. بهبود کارایی مصرف آب در اثر بروز تنش خشکی در *E. leucyxylon* بیشتر از *E. flocktoniae* بود. این موضوع نشان داد که *E. leucyxylon* می‌تواند در شرایط تنش خشکی، ماده خشک بیشتری تولید کند.

در گیاهان چوبی، اولین واکنش گیاه به کم‌آبی، کاهش هدایت روزنه‌ای برگ‌ها همراه با بهبود کارایی مصرف آب است (Girona et al., 1993). در گونه‌های مقاوم به خشکی با افزایش تنش خشکی به دلیل افزایش تراکم روزنه‌ها و همچنین کوچک شدن دهانه روزنه‌ها، مقدار تعرق کاهش و بازده تثبیت CO<sub>2</sub> افزایش می‌یابد که عاملی مؤثر در بهبود کارایی مصرف آب است (Yoo et al., 2009). کاهش کارایی مصرف آب در اثر افزایش تنش خشکی برای *E. globulus* و *E. amaldulensis* گزارش شده است (Gindaba et al., 2005). کارایی مصرف آب در *E. camaldulensis* برای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱/۸، ۴، ۴/۵ و ۴/۹ گرم ماده

تنش خشکی به ۶۰ درصد (تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به شدت کاهش و به ۶۵۷/۹۶ میلی‌متر رسید. ضریب‌های گیاهی مربوط به سطوح مختلف تیمار رطوبتی نیز نشان‌دهنده این موضوع بود که در شرایطی که خاک از محدودیت رطوبتی برخوردار نبود (تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) از مقدار به نسبت زیادی (۰/۷۶) برخوردار بود که بیانگر مصرف آب قابل توجه توسط هر دو گونه است. به‌رغم اینکه گونه‌های مورد آزمایش را می‌توان به‌عنوان گونه‌های مقاوم به خشکی اکالیپتوس معرفی کرد، با این وجود برای رشد مطلوب و تولید چوب مناسب به آب به نسبت زیادی نیاز دارند.

در شرایط ظرفیت زراعی، ضریب گیاهی برای *E. leucyxylon* و *E. flocktoniae* به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۶۴ اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده برتری *E. leucyxylon* نسبت به *E. flocktoniae* در مصرف آب است. همچنین تحت تأثیر تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، *E. flocktoniae* از ضریب گیاهی ۰/۳۱ برخوردار شد، در حالی که با همین شرایط، ضریب گیاهی برای *E. leucyxylon* ۰/۴۱ محاسبه شد. اعداد به دست آمده نشان داد که هر دو گونه در شرایطی که محدودیتی از نظر رطوبت خاک وجود نداشته باشد، از تبخیر و تعرق کمتری نسبت به *E. camaldulensis* برخوردارند. با انجام آزمایشی در شرایط مشابه، مقدار تبخیر و تعرق در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برای *E. camaldulensis* ۲۲۱۳/۸ میلی‌متر و ضریب گیاهی ۱/۷۵ اعلام شد (Rad et al., 2011). مقدار تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب در شرایط لایسیمتری و با مقدار رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برای *E. microtheca* و *E. sarjantii* به ترتیب ۸۳۳/۴ و ۱۲۲۷/۹ میلی‌متر و ۰/۴۵ و ۰/۶۷ گزارش شد (Rad et al., 2013). این موضوع نشان می‌دهد که *E. leucyxylon* دارای نیاز آبی بیشتر نسبت به دو گونه ذکر شده و *E. flocktoniae* دارای نیاز آبی در محدوده نیاز آبی *E. sarjantii* است.

با بررسی تأثیر مقدار آب مصرفی بر تولید ماده خشک در اندام‌های مختلف گیاهان مورد آزمایش، مشخص شد که



- Information Science and Technology (ACIST), available at: <http://77.104.98.72/simwebclt>, N.R: 39817 (In Persian).
- Bolger, T.P. and Matches, A.G., 1990. Water use efficiency and yield of sainfoin and alfa. *Crop Science*, 30: 143-148.
  - Dunin, F.X. and Mackay, S.M., 1982. Evaporation of eucalypt and coniferous forest communities: 18-25. In: O'Loughlin, E.M. and Bren, L.J. (Eds.). *Proceedings of the First National Symposium on Forest Hydrology*. Published by Institution of Engineers, Melbourne, Australia, 11-13 May. 1982: 18-25.
  - Dye, P.J., 2000. Water use efficiency in South African Eucalyptus plantations: a review. *South African Forestry Journal*, 189: 17-26.
  - Gebre, G.M., Kuhns, M.R. and Brandle, J.R., 1994. Organic solute accumulation and dehydration tolerance in tree water-stressed *Populus deltoides* clones. *Tree Physiology*, 14: 575-587.
  - Gindaba, J., Rozanov, A. and Negash, L., 2005. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two Eucalyptus and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205(1): 127-138.
  - Girona, J., Mata, M., Goldhamer, D.A., Johnson, R.S. and DeJong, T.M., 1993. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(5): 580-586.
  - Le Roux, D., Stock, W.D., Bond, W.J. and Maphanga, D., 1996. Drymass allocation, water use efficiency and  $\delta^{13}C$  in clones of *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* and *E. nitens* grown under two irrigation regimes. *Tree Physiology*, 16: 497-502.
  - Li, C., 1999. Carbon isotope composition, water-use efficiency and biomass productivity of *Eucalyptus microtheca* populations under different water supplies. *Plant and Soil*, 214: 165-171.
  - Marron, N., Delay, D., Petit, J.M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F.M. and Brignolas, F., 2002. Physiological traits of two *Populus euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22: 849-858.
  - Marron, N., Dreyer, E., Boudouresque, E., Delay,

خشک در هر کیلوگرم آب گزارش شد (Gindaba *et al.*, 2005). کارایی مصرف آب *E. camaldulensis* در شرایط لایسیمتری و با اعمال ۳۰ درصد تنش خشکی (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) ۲/۴۴ گرم ماده خشک به ازای هر لیتر آب گزارش شد (Rad *et al.*, 2011). کارایی مصرف آب در سه توده از اکالیپتوس که تحت تأثیر سه سطح از تنش خشکی قرار گرفته بودند، بررسی و گزارش شد که رابطه قوی بین مقدار رشد و کارایی مصرف آب در این سه توده وجود داشت (Li, 1999). وی معتقد است که مقدار رشد اکالیپتوس در گرو مقدار تعرق بوده و تنش بیش از حد می‌تواند کارایی مصرف آب را کاهش دهد.

در مجموع می‌توان بیان داشت که هرچند *E. leucxylon* به دلیل تندرشد بودن نسبت به *E. flocktoniae* به آب بیشتری برای رشد مطلوب نیاز دارد، لیکن از توانایی بیشتری در سازگاری با شرایط خشک برخوردار است و می‌تواند کارایی مصرف آب (کل و چوب) خود را بهبود بخشد. به همین دلیل، می‌توان آنرا به‌عنوان یکی از گونه‌های مناسب برای جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی کرد.

### سپاسگزاری

از کلیه افرادی که در اجرای این پژوهش همکاری داشتند، به‌ویژه مسئول محترم بخش تحقیقات جنگل و مرتع مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد و همچنین مسئول ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

### References

- Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A. and Zachritz, W.H., 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management*, 56(1): 57-79.
- Asareh, M.H., 2001. Adaptation of new species of eucalyptus in tropical regions of Iran. Final Report, Published by Agricultural Center for

- lysimetry experiments. Iranian Water Research Journal, 7(12): 71-78 (In Persian).
- Saleheh Shushtari, M.H., Behnamfar, K., Ghadiripour, P. and Farzad, M., 2011. Introduction of some well adapted tree and shrub species in different ecological regions of Khouzestan province. Proceedings of the First Conference of National Botanical Garden of Iran. Tehran, 27 Oct. 2011: 1-14 (In Persian).
  - Sinclair, T.R., Tanner, C.B. and Bennet, J.M., 1984. Water-use efficiency in crop production. Biological Science, 34(1): 36-40.
  - Xu, H. and Li, Y., 2006. Water-use strategy of three central Asian desert shrubs and their responses to rain pulse events. Plant and Soil, 285(1-2): 5-17.
  - Xu, X., Zhang, R., Xue, X. and Zhao, M., 1998. Determination of evapotranspiration in the desert area using lysimeters. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 29(1-2): 1-13.
  - Yoo, C.Y., Pence, H.E., Hasegawa, P.M. and Mickelbart, M.V., 2009. Regulation of transpiration to improve crop water use. Critical Reviews in Plant Science, 28(6): 410-431.
  - D., Petit, J.M., Delmotte, F.M. and Brignolas, F., 2003. Impact of successive drought and re-watering cycles on growth and specific leaf area of two *Populus canadensis* (Moench) clones, 'Dorskamp' and 'Luisa-Avanzo'. Tree Physiology, 23: 1225-1235.
  - Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., Pou, A., Escalona, J.M. and Bota, J., 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: limitations of leaf WUE as a selection target. The Crop Journal, 3(3): 220-228.
  - Miller, D.E. and Hang, A.N., 1982. Deficit, high-frequency sprinkler irrigation of wheat. Soil Science Society of America Journal, 46(2): 386-389.
  - Rad, M.H., Asareh, M.H., Dashtegian, K. and Soltani, M., 2011. Water requirement and production function of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) in arid environment. Iranian Journal of Forest, 2(1): 71-78 (In Persian).
  - Rad, M.H., Asareh, M.H., Soltani, M. and Tajamolijan, M., 2013. Determination of water requirement, crop coefficient and water use efficiency of two Eucalyptus species under the

## Water requirement and water use efficiency in *Eucalyptus flocktoniae* (Maiden) Maiden and *E. leucoxylon* F. Muell.

M.H. Rad <sup>\*1</sup>, M.H. Assareh <sup>2</sup> and M. Soltani <sup>3</sup>

1\* - Corresponding author, Assistant Prof, Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran. E-Mail: mohammadhadirad@gmail.com

2- Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Research Expert, Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

Received: 17.08.2016

Accepted: 01.01.2017

### Abstract

The response of plants to water available for strategy codification of water resources and irrigation is very important. In this study, evapotranspiration, crop coefficient, yield and water use efficiency in two species of Eucalyptus (*Eucalyptus flocktoniae* (Maiden) Maiden, *E. leucoxylon* F. Muell.) through lysimeter experiments were determined under different soil moisture levels (100%, 70% and 40% of field capacity). The research was designed as a factorial experiment on a completely randomized design with three replications in Yazd climatic conditions. The results showed that with increasing soil moisture in both species, evapotranspiration increased, so that there were significant differences between the different levels of soil moisture treatments ( $p < 0.001$ ). *E. flocktoniae* and *E. leucoxylon* had water requirement in 100% of field capacity treatment, 1185 mm and 1617 mm with 0.65 and 0.88 crop coefficients, respectively. Dry matter produced in all parts and the water use efficiency (WUE) of *E. leucoxylon* were significantly higher than that of *E. flocktoniae*, Water use efficiency measured in *E. flocktoniae* and *E. leucoxylon*, were 1.22 g/lit and 1.41 g/lit, respectively. Although the growth rate of *E. leucoxylon* is faster than *E. flocktoniae*, therefore its water requirement is higher, but considering an appropriate mechanisms for drought adaptation, it could be introduced for afforestation and wood production in arid and semi-arid regions.

**Keywords:** Evapotranspiration, drought stress, field capacity, yield.