

اثرات رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو گونه از اکالیپتوس (*E. sargentii* و *E. microtheca*)

محمد هادی راد^{۱*}، محمد حسن عصاره^۲ و مهدی سلطانی^۳

*۱- نویسنده مسئول مکاتبات، استادیار پژوهشی، 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 پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۲۲

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون سطح زیر کشت گونه‌های مختلف اکالیپتوس در مناطق خشک و نیمه خشک کشور بر معرفی گونه‌های مقاوم به خشکی برای جنگلکاری و توسعه فضای سبز در این مناطق تأکید شده است. به منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو گونه از اکالیپتوس (*E. sargentii* و *E. microtheca*) و انتخاب گونه برتر از نظر مقاومت به خشکی، آزمایشی با استفاده از لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار در شرایط طبیعی در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد به اجرا درآمد. آزمایش با سه تیمار ۱۰۰٪ (شاهد)، ۷۰٪ (تنش متوسط) و ۴۰٪ (تنش شدید) ظرفیت زراعی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که اعمال رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) بر صفاتی مانند سطح ویژه برگ، گنجایش نسبی آب برگ (صبحگاهان)، قابلیت آبی برگ در صبح و بعد از ظهر و گنجایش نسبی کلروفیل در هر دو گونه اختلاف معنی‌دار داشتند. در مجموع، می‌توان بیان کرد که با کاهش رطوبت خاک، گونه *E. sargentii* بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و نتوانست در شرایط مشابه، نسبت به گونه *E. microtheca* در برابر تنش خشکی مقاومت نماید.

واژه‌های کلیدی: *Eucalyptus. sargentii*، *Eucalyptus. microtheca*، تنش خشکی، لایسیمتر، شاخص‌های فیزیولوژیکی.

مقدمه

به طوری که با کاهش پتانسیل اسمزی، پتانسیل آب بخش هوایی و ریشه گیاه منفی‌تر از خاک می‌گردد و از این طریق آب جذب گیاه می‌شود. از شاخص‌های دیگر فیزیولوژیکی، دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش است. تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال شده و از این طریق موجب تجزیه کلروفیل و کاهش میزان آن می‌شود. در دوره

خشکی از مهمترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است. طی بروز تنش خشکی گیاهان با روش‌های گوناگون سعی در مقابله با تنش دارند. تجمع محلول‌های اسمزی در سلول‌های گیاهی بسیار سریع اتفاق می‌افتد،

قابل توجه از جمله افزایش پتانسیل اسمزی در گونه *E. globulus* با شدت گرفتن تیمارهای خشکی گزارش شده است (Osorio et al., 1998). در بین زیرگونه‌های مختلف از یک گونه نیز ممکن است تفاوت‌هایی از نظر بکارگیری سازوکارهای مقاومت به خشکی دیده شود. در این زمینه Correia و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کرده‌اند که در نهال‌های جوان *E. globulus subsp. globules* در انتهای فصل خشک، تطابق اسمزی برای مقابله با خشکی اتفاق می‌افتد. میزان RWC (Relative Water Content) برای *Eucalyptus globulus* ۸۳٪ (Garau et al., 2008)، نهال *E. globulus* و *E. camaldulensis* به ترتیب ۹۱/۹ و ۸۹/۹٪ (Gindaba et al., 2004) و برای گیاهان بالغ *E. camaldulensis* تحت شرایط رطوبتی ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۸۸/۱۳، ۸۴/۹۳ و ۷۹/۱۰ درصد گزارش شده است (Rad et al., 2012).

مواد و روش‌ها

آزمایش در سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری ایستگاه تحقیقاتی بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد انجام شد. تیمارهای مورد نظر شامل نوع گونه در دو سطح *E. microtheca* و *E. sargentii* و رژیم رطوبتی خاک در سه سطح آبیاری در حد ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای رطوبتی بر روی درختان دو ساله‌ای که در بهار سال ۱۳۸۸ در لایسیمتر کشت شده بودند، اعمال شد. لایسیمترها از نوع، لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار بوده که رطوبت خاک در آنها از طریق وزنی و همچنین استفاده از دستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک (TDR) کنترل شد. ارتفاع لایسیمترها ۱۷۰ سانتی‌متر و قطر آنها ۱۲۱ سانتی‌متر بود که با توجه به تعداد تیمار و تکرار مورد نظر از ۱۸ لایسیمتر استفاده شد. نیاز آبی هر یک از تیمارهای رطوبتی پس از اندازه‌گیری میزان موجودی آب در خاک، تأمین شد.

تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌شوند. کاهش فعالیت برگ‌ها برای سنتز مواد غذایی موجب کاهش انباشت مواد غذایی شده، در نتیجه وزن خشک برگ در واحد سطح یا به عبارتی سطح ویژه برگ کاهش می‌یابد. گنجایش نسبی آب بالاتر در گونه‌های مقاوم به خشکی، احتمالاً به دلیل کارایی بهتر این گیاهان در استفاده از آب به واسطه کنترل تبخیر و تعرق، تحت شرایط تنش خشکی به منظور دوری جستن از شرایط کمبود آب است. از گنجایش نسبی آب به عنوان شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی، کاهش یافته و سبب تغییراتی در غشاء یاخته‌ای و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌گردد (Salahverzi et al., 2008).

در ارتباط با تغییرات فیزیولوژیکی گیاهان در مواجهه با تنش خشکی مطالعات متعددی انجام شده است. از جمله Sasse و Sands (۱۹۹۶) گزارش کرده‌اند که در طول دوره-های خشکسالی، نهال‌های *E. globules* که تحت تأثیر خشکی قرار گرفتند، از پتانسیل آبی بالاتری نسبت به گیاهانی که در شرایط رطوبت کافی قرار گرفتند برخوردار بودند. در اکالیپتوس پتانسیل آبی برگ می‌تواند ۲ تا ۴ مگاپاسکال نیز افزایش یابد (White et al., 2000). پتانسیل آب برگ پایین تر از ۳/۵- مگاپاسکال در تعدادی از گونه-های اکالیپتوس در مناطق با بارندگی پایین دیده شده است (Bell & Williams, 1997). همچنین در مقایسه‌ای که در مورد چهار گونه اکالیپتوس انجام شده است، گزارش شده که پتانسیل آبی گیاهان در دوره‌های خشکی در صبحگاهان می‌تواند تا ۳ مگاپاسکال نیز افزایش یابد. این موضوع نشان‌دهنده تغییر در رفتار این گونه‌ها در سازگاری و دستیابی به آب بیشتر از خاک است (White et al., 2000). بخشی از تغییرات پتانسیل آب را می‌توان به تغییر در پتانسیل اسمزی سلول‌ها مرتبط دانست. پتانسیل اسمزی یکی از پاسخ‌های رایج جنس اکالیپتوس بوده و به بهبود توانایی گیاه در تحمل اثرات تنش خشکی بر این گیاهان کمک می‌کند (Guarnaschelli et al., 2003). البته تغییرات

فاکتورهای مورد ارزیابی

پتانسیل آب (Φ_w): برای اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ، از دستگاه بمب فشار قابل حمل استفاده شد. پتانسیل آب در دو مقطع زمانی قبل از طلوع آفتاب و در اواسط روز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پتانسیل آب از سرشاخه‌های در حال رشد به طول ۱۵ سانتی‌متر استفاده شد.

گنجایش نسبی آب (RWC): برای اندازه‌گیری گنجایش نسبی آب برگ از فرمول زیر استفاده شد (Martinez et al., 2007) برای این امر مقدار مشخصی از برگ گیاه را در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر قرار داده تا برگ به اندازه نیاز آب جذب نماید. پس از ۴ ساعت برگ‌ها را که به حالت آماس کامل درآمدند از آب خارج کرده و با کاغذ صافی آنها را خشک و وزن آماس شده برگ را اندازه‌گیری کردیم. با توزین برگ‌ها آنها را در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و با خشک شدن مجدد، آنها را توزین کردیم. با قراردادن اعداد به دست آمده در فرمول زیر، مقدار RWC برای دو زمان قبل از طلوع آفتاب و بعد از ظهر محاسبه شد.

$$RWC = (W_1 - W_2) / (W_3 - W_2) * 100$$

که در آن W_1 وزن برگ تازه، W_2 وزن برگ خشک شده و W_3 وزن برگ در حالتی است که دارای حداکثر مقدار آب ممکن یا حالت آماس باشد.

سطح ویژه برگ (LAS = Leaf Area Specific): برای محاسبه سطح ویژه برگ که عبارت است از میانگین سطحی از برگ که وزن آن معادل یک گرم باشد، نسبت به برداشت ۳۰ عدد برگ از بخش‌های مختلف گیاه به‌طور تصادفی اقدام شد. سطح برگ‌های برداشت شده به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه‌گیری شد. در ادامه برگ‌ها در آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. پس از خارج کردن از آون، بلافاصله توزین و وزن خشک آنها اندازه‌گیری و از آنها میانگین گرفته شد. با داشتن وزن خشک و سطح برگ، سطح ویژه برگ محاسبه شد (Cutini et al., 1998).

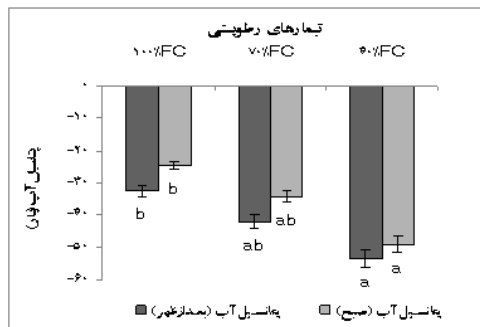
گنجایش نسبی کلروفیل (RCC = Relative Chlorophyll Content): به‌وسیله دستگاه کلروفیل‌متر قابل حمل مدل CCM-200، گنجایش نسبی کلروفیل برگ که شاخصی برای تعیین میزان سبزی‌نگی برگ می‌باشد استفاده شد. برای این امر در طول آزمایش نسبت به اندازه‌گیری آن در تعداد دو برگ که به‌طور تصادفی انتخاب شد و از ابتدای فصل رشد تا پایان از آنها استفاده شد، اقدام شد. اندازه‌گیری از قسمت ابتدایی، میانی و انتهایی برگ انجام شد. با چنین وضعیتی در هر بار اندازه‌گیری و برای هر درخت ۶ قرائت انجام گردید که در پایان از آنها میانگین گرفته شد. اندازه‌گیری برای یازده بار و به فاصله هر ۱۵ روز یکبار ادامه یافت.

تجزیه آماری داده‌ها: برای تجزیه آماری داده‌ها و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد.

نتایج

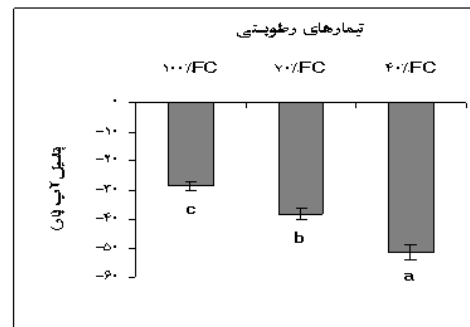
پتانسیل آب (Φ_w): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پتانسیل آب در دو زمان صبح و بعد از ظهر و بین دو گونه مورد بررسی و اثرات متقابل آنها نشان داد که اثر رژیم‌های رطوبتی خاک بر پتانسیل آب برگ‌ها در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱). همچنین اثر زمان اندازه‌گیری پتانسیل آب نیز اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) داشت به گونه‌ای که با افزایش دمای محیط (از صبحگاهان تا بعد از ظهر) پتانسیل آب افزایش یافت (جدول ۱). نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده همچنین نشان داد که با افزایش میزان رطوبت خاک، پتانسیل آب با افزایش بیشتری مواجه بوده است به گونه‌ای که پتانسیل آب در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی ۵۱/۲۵- بار و در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۵/۵۸- بار اندازه‌گیری شد (شکل ۱). مقدار پتانسیل آب صبحگاهان در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۴/۶۶- و در بعد از ظهر ۳۲/۵۰- بار اندازه‌گیری شد. در تیمار ۴۰

بیشترین پتانسیل آب با ۵۵- بار مربوط به بعد از ظهر و گونه *E. microtheca* در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین پتانسیل آب در همین گونه و مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، در صبحگاهان با ۲۱- بار مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- وضعیت پتانسیل آب برگ در دو مقطع زمانی صبح و بعد از ظهر و در تیمارهای مختلف رطوبتی خاک

درصد ظرفیت زراعی پتانسیل آب صبحگاهان و بعد از ظهر به ترتیب به ۴۹- بار و ۵۳/۵- بار رسید. شکل ۲ وضعیت پتانسیل آب را در دو مقطع زمانی اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف رطوبتی نشان می‌دهد. نتایج بررسی اثرات متقابل گونه، تیمار و زمان اندازه‌گیری پتانسیل آب نشان داد که

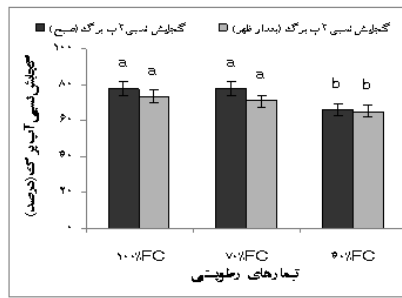


شکل ۱- پتانسیل آب برگ در تیمارهای مختلف رطوبتی خاک

مربوط به گونه *E. sargentii* در بعد از ظهر و در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۵).

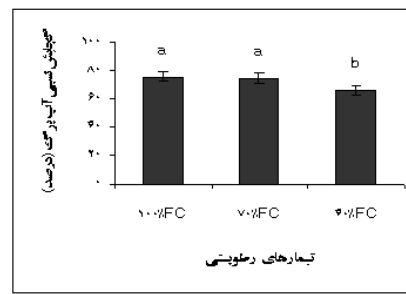
سطح ویژه برگ (LAS): با کاهش میزان رطوبت خاک سطح ویژه برگ افزایش یافت، به گونه‌ای که بین رژیم‌های مختلف رطوبتی اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) مشاهده شد (جدول ۱). با انجام مقایسه میانگین بین داده‌ها مشخص شد که بیشترین میزان سطح ویژه برگ مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با ۲۶/۶۳ سانتی‌متر مربع بر گرم و کمترین میزان در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۱۶/۹۹ سانتی‌متر مربع بر گرم اندازه‌گیری شد (جدول ۲). بررسی اثر متقابل بین تیمارهای رطوبتی و گونه نیز نشان داد که اگرچه بین آنها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بیشترین میزان سطح ویژه برگ مربوط به گونه *E. sargentii* در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با سطح ویژه برگ ۳۱/۴ سانتی‌متر مربع بر گرم و کمترین میزان مربوط به همین گونه با ۱۶/۸ سانتی‌متر مربع بر گرم در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود.

گنجایش نسبی آب (RWC): نتایج بررسی‌های به عمل آمده در این خصوص نشان داد که بین تیمارهای مختلف رطوبتی اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) وجود داشت (جدول ۱). به طوری که بیشترین مقدار نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳). نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل گونه و تیمارهای مختلف رطوبتی نشان داد که بیشترین گنجایش نسبی آب برگ مربوط به گونه *E. microtheca* و در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با گنجایش نسبی ۸۱/۳۳ درصد و کمترین میزان مربوط به گونه *E. sargentii* در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با ۶۲/۳۳ درصد بود (شکل ۴). بررسی اثر متقابل گونه، تیمار و زمان اندازه‌گیری این فاکتور نیز نشان داد که بیشترین میزان گنجایش نسبی آب برگ با ۸۴ درصد مربوط به صبحگاهان و با اعمال تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در گونه *E. microtheca* و کمترین میزان با ۶۱/۶۶ درصد



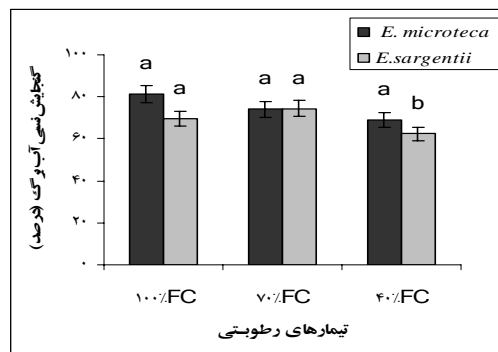
شکل ۴ - گنجایش نسبی آب برگ (RWC) در دو

مقطع زمانی اندازه گیری و در تیمارهای مختلف رطوبتی



شکل ۳- گنجایش نسبی آب برگ در تیمارهای

رطوبتی



شکل ۵- گنجایش نسبی آب برگ (RWC) در گونه‌های گیاهی مورد بررسی و در تیمارهای مختلف رطوبتی

درصد ظرفیت زراعی با ۳۶/۲۸ درصد بود (جدول ۲). در دو گونه مورد بررسی، گونه *E. sargentii* با ۴۸/۷۹ درصد بیشترین میزان و گونه *E. microtheca* با ۳۹/۱۳ درصد کمترین میزان را به خود اختصاص داد. همچنین بررسی اثر متقابل تیمارهای رطوبتی و گونه حکایت از آن داشت که گونه *E. sargentii* در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۵۸/۸۹ درصد بیشترین میزان و گونه *E. microtheca* با ۳۹/۱۳ درصد کمترین میزان را به خود اختصاص دادند.

گنجایش نسبی کلروفیل (RCC): تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی بر گنجایش نسبی کلروفیل در سطح آماری یک درصد اختلاف معنی‌داری ($p < 0.001$) را نشان داد. همچنین تفاوت معنی‌داری در سطح آماری یک درصد ($p < 0.001$) بین گونه‌های مختلف مشاهده شد (جدول ۱). با مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف مشخص شد که بیشترین گنجایش نسبی کلروفیل مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۵۲/۰۸ درصد و کمترین میزان مربوط به تیمار ۴۰

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فاکتورهای فیزیولوژیک در رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک

منابع تغییر	df	LAS	RCC	RWC _{pd} *	RWC _{md} **	پتانسیل آب صبحگاهی	پتانسیل آب بعد از ظهر
تیمار	۲	۲۹۴/۸۱**	۳۷۵/۲۲**	۲۷۶/۱۶**	۱۰۰/۵*	۹۰۰/۶۶**	۶۶۳/۸۳**
گونه	۱	۳/۲۶۸ ^{ns}	۴۱۹/۸۲**	۲۲۷/۵۶**	۱۰۲/۷۱*	۳۷/۵۵ ^{ns}	۱/۶۸ ^{ns}
تیمار × گونه	۲	۸/۰۹ ^{ns}	^{ns} ۱۷/۷۸	۳۱/۰۵ ^{ns}	۸۴/۳۸*	۳۲/۸۸ ^{ns}	۳۵/۶۸ ^{ns}
خطا	۱۲	۱۴/۹۵	۰/۱۸۰	۲۶/۸۶	۱۹/۵۶	۶۲/۰۳	۱۹/۵۶
ضریب تغییرات		۳۰/۱۰	۱۹/۹۴	۱۱/۰۲	۹/۱۴	۳۴/۲۵	۲۲/۷۳

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد. *: صبحگاهان **md: بعد از ظهر

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف رژیم‌های رطوبتی خاک
در دو گونه *E. microtheca* و *E. sargentii*

ΦW_{md}^{**}	ΦW_{pd}^*	RWC_{md}^{**}	RWC_{pd}^*	RCC	SLA	منابع تغییرات
-۳۲/۵b	-۲۴/۶۶b	۷۳/۳۳a	۷۸a	۵۲/۰۸a	۱۹/۹۹a	100%FC
-۴۱/۹۱ab	-۳۴/۳۳ab	۷۰/۸۳a	۷۷/۸۳a	۴۳/۵۳b	۱۸/۰۶b	70%FC
-۵۳/۵a	-۴۹a	۶۵/۳۳b	۶۶/۱۶b	۳۶/۲۸c	۲۰/۶۳b	40%FC
-۳۰d	-۲۱c	۷۸/۶۶a	۸۴a	۴۵/۲۶dc	۱۷/۲b	<i>E. microtheca</i> × 100%
-۴۳/۸b	-۳۲/۶۶bc	۶۹bc	۷۹/۳۳ab	۳۹/۷۴d	۱۸/۳b	<i>E. microtheca</i> × 70%
-۵۵a	-۵۰a	۶۹c	۶۹/۳۳cd	۳۲/۳۹e	۱۹/۲۷a	<i>E. microtheca</i> × 40%
-۳۵cd	-۲۸/۳۳bc	۶۸bc	۷۲bcd	۵۸/۸۹a	۱۶/۸b	<i>E. sargentii</i> × 100%
-۴۰bc	-۳۶ab	۷۲/۶۶ab	۷۶/۳abc	۴۷/۳۱b	۱۷/۸b	<i>E. sargentii</i> × 70%
-۵۲a	-۴۸a	۶۱/۶۶c	۶۳b	۴۰/۱۶cd	۳۱/۴a	<i>E. sargentii</i> × 40%

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.
Pd*: صبحگاهان md**: بعد از ظهر

بحث

در صبحگاهان مشخص شد که به دلیل بسته بودن روزنه‌ها در شب، پتانسیل آبی برگ کمتر بود، هرچند به دلیل اعمال تنش خشکی و محدودیت رطوبت در خاک، به‌ویژه در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، بازگشت پتانسیل آب به حالت معمول و نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در شب به‌کندی انجام شد.

بررسی‌ها نشان داد که گونه *E. microtheca* نسبت به گونه *E. sargentii* در حفظ آب در بافت‌های خود و به‌ویژه در برگ‌ها از توانایی بالاتری برخوردار است. گنجایش نسبی آب در این گیاه و در تیمار ظرفیت زراعی، در صبحگاهان ۸۴ درصد اندازه‌گیری شد که این مقدار در بعد از ظهر به ۷۸ درصد کاهش یافت، در حالی که در گونه *E. sargentii* این مقدار در صبحگاهان ۷۲ درصد و در بعد از ظهر ۶۸ درصد اندازه‌گیری شد. مقادیر ذکر شده برای تیمار شدید تنش خشکی (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) برای *E. microtheca* در صبحگاهان و بعد از ظهر به ترتیب ۶۳/۳ و ۶۹ درصد و برای گونه *E. sargentii* به ترتیب ۶۳

اندازه‌گیری پتانسیل آب در دو گونه مذکور نشان داد که تغییرات پتانسیل آب در صبح نسبت به بعد از ظهر قابل توجه بوده و بخشی از نیاز آبی گیاه که به دلیل تعرق زیادتر در بعد از ظهر اتفاق می‌افتد در اثر افزایش پتانسیل آب در بعد از ظهر از خاک دریافت می‌گردد. البته مقدار پتانسیل آب در تیمارهای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۴/۶۶- بار در صبحگاهان به ۳۲/۵۰- بار در بعد از ظهر افزایش یافت. در حالی که در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مقادیر ذکر شده به ترتیب ۴۹- و ۵۲/۵- بار اندازه‌گیری شد. بالاترین مقدار پتانسیل آبی اندازه‌گیری شده ۵۵- بار در *E. microtheca* بود که در صبحگاهان اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار نیز مربوط به همین گونه و در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و در صبحگاهان اندازه‌گیری شد. این موضوع بیانگر آن است که گونه مذکور در مقابل گونه *E. sargentii* از قدرت بیشتری برای مقابله با خشکی برخوردار بود. با بررسی رابطه پتانسیل آب با رطوبت خاک

و کاهش میزان نور در داخل تاج پوشش بود، به گونه‌ای که برگ‌ها از نور کمتری برای انجام فتوسنتز مطلوب برخوردار شده و گنجایش نسبی کلروفیل آنها کاهش یافت. با اندازه‌گیری سطح ویژه برگ مشخص شد که هرچند برگ‌ها به دلیل عدم دسترسی به نور کافی کارایی خوبی نداشتند، اما تیمار شاهد که از رطوبت کافی برخوردار بود (در هر دو گونه)، در مقایسه با سایر تیمارها (۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) با وجود سطح ویژه برگ کمتر از ذخیره بالاتری از مواد غذایی برخوردار بود. میانگین سطح ویژه برگ از ۱۷/۲ به ۲۷/۸۶ در *E. microtheca* و در *E. sargentii* از ۱۶/۷ به ۳۱/۴ سانتی‌متر مربع بر گرم در اثر افزایش تنش خشکی از ظرفیت زراعی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافت. هنگامی که برگ‌ها تازه باشند طبیعی است که مقدار سطح ویژه برگ بسیار بالا و با بالغ شدن برگ‌ها و در انتهای فصل رشد مقدار آن به شدت کاهش می‌یابد، همچنین وقتی نهال‌های اکالیپتوس در محیط‌های کنترل شده کشت شوند مقدار سطح ویژه برگ به شدت افزایش و مقدار آن حتی به ۱۸۳ سانتی‌متر مربع بر گرم نیز می‌رسد (White et al., 1996). سطح ویژه برگ در *E. camaldulensis* به میزان دسترسی گیاه به آب وابسته بوده و با کاهش رطوبت خاک مقدار آن از ۶۸/۴ به ۸۱/۱ افزایش می‌یابد (Rad et al., 2011). عوامل متعدد دیگری غیر از دسترسی به آب بر سطح ویژه برگ 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 کرد. در مجموع، می‌توان بیان داشت که با کاهش رطوبت خاک، گونه *E. sargentii* بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و نتوانسته است در شرایط مشابه نسبت به گونه *E. microtheca* در برابر تنش خشکی مقاومت نماید.

و ۶۱/۶ درصد اندازه‌گیری شد. به هر حال اطلاعات به دست آمده نشان از توانایی بیشتر گونه *E. microtheca* نسبت به *E. sargentii* در مقاومت به خشکی از طریق بهبود شرایط فیزیولوژیکی و جذب بیشتر آب از خاک و ماندگاری در شرایط تنش رطوبتی دارد. در همین رابطه Merchant و همکاران (۲۰۰۷) افزایش پتانسیل آب را برای بیشتر گونه‌های اکالیپتوس در مناطق کم باران کمتر از ۳/۵- مگاپاسکال یا ۳۵- بار ذکر کردند، این در حالیست که نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پتانسیل آب در *E. microtheca* می‌تواند تحت شرایط کمبود رطوبت خاک تا ۵۵- بار نیز افزایش یابد، هرچند ممکن است بسیاری از فاکتورهای رشد و نمو از جمله تولید بیوماس به شدت کاهش یابد. آنان همچنین گزارش کردند که غالب گونه‌های اکالیپتوس برای حفظ تورژانس سلولی و مقابله با کمبود-های کوتاه مدت آب، گنجایش نسبی آب خود را در سطح بالایی حفظ می‌کنند و مقدار آن را برای گونه‌های مختلف و در شرایط رطوبت کافی خاک بین ۸۰ تا ۹۰ درصد ذکر کردند. در ضمن Gindaba و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که پس از شش روز از اعمال تنش خشکی بر روی نهال‌های *E. camaldulensis* در شرایط گلخانه مقدار گنجایش نسبی آب (RWC) در بعد از ظهر از ۸۹/۹ درصد به ۳۰/۶ درصد کاهش یافت. در این شرایط گیاه با کاهش سطح برگ از طریق ریزش برگ‌های مسن‌تر، با پرمردگی دائم مقابله می‌کند، موضوعی که در مورد گونه‌های *E. microtheca* و *E. sargentii* نیز در طول پژوهش حاضر مشاهده شد. از نکات مهم و برجسته در حفظ تورژانس سلولی و مقابله با تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب از طریق کاهش پتانسیل اسمزی سلول و یا به عبارتی تطابق اسمزی است. در تحقیق دیگری Lemcoff و همکاران (۲۰۰۲) تطابق اسمزی و افزایش خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی در *E. camaldulensis* را راهکار مقابله با تنش خشکی دانستند.

بالا بودن رطوبت خاک، شرایط را برای رشد رویشی فراهم کرد که نتیجه آن افزایش تعداد برگ، تراکم تاج پوشش

responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. *Annals of Botany*, 100: 1507-1515.

- Osorio, J., Osorio, M.L., Chaves, M.M. and Pereira, J.S., 1998. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 18: 363-373.
 - Rad, M.H., Assare, M.H., Meshkat, M.A. and Soltani, M., 2011. Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) in response to drought stress. *Iranian Journal of Rangelands Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19: 13-27.
 - Rad, M.H., Assare, M.H., Soltani, M. and Shariat, A., 2012. Water relationship of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) under soil drought stress. *Iranian Journal of Forest*, 4: 89-99.
 - Sasse, J. and Sands, R., 1996. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. *Tree Physiol.*, 16: 287-294.
 - Salahverzi, Y., Tehranifar, A. and Gazanchian, A., 2008. Physiomorphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic turfgrasses. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 9: 193-204.
 - White, D.A., Beadle, C.L. and Worledge, D., 1996. Leaf water relations of *Eucalyptus globulus* spp. *globulus* and *E. nitens*: seasonal, drought and species effects. *Tree Physiol.*, 16: 469-476.
 - White, D.A., Turner, N.C. and Galbraith, J.H., 2000. Leaf water relations and stomatal behaviour of four allopatric *Eucalyptus* species in Mediterranean south-Western Australia. *Tree Physiol.*, 20: 1157-65.
- منابع مورد استفاده**
- Bell, D.T. and Williams, J.E., 1997. Eucalypt ecophysiology. In: *Eucalypt Ecology*, Williams, J. and Woinarsky, J., eds. Cambridge: Cambridge University Press, 168-196.
 - Correia, M.J., Torres, F. and Pereira, S.J., 1989. Water and nutrient supply regimes and the water relations of juvenile leaves of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.*, 5: 459-471
 - 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
 - Garau, A.M., Lemcoff, J.H., Ghersa, C.M. and Beadle, C.L., 2008. Water stress tolerance in *Eucalyptus globules* labill. Sub. Sp. Maidenii (F. Muell) saplings induced by water restrictions imposed by weeds. *Forest Ecology and Management*, 255: 2811-2819.
 - 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.
 - Guarnaschelli, A., Lemcoff, J. H., Prystupa, P. and Santiago, B., 2003. Responses to drought preconditioning in *Eucalyptus globules* Labill. Provenances. *Trees*, November, 17: 501-509.
 - Lemcoff, J.H., Guarnaschelli, A.B., Garau, A.M. and Prystupa, P., 2002. Elastic and osmotic adjustment in clones of *Eucalyptus camaldulensis*. *Flora*, 197: 134-142.
 - Merchant, A., Callister, M., Arndt, S., Tausz, M. and Adams, M., 2007. Contrasting physiological

Effects of different soil moisture regimes on some physiological characteristics of two eucalypts (*E. microtheca* and *E. sargentii*).

M.H. Rad*¹, M.H. Assare² and M. Soltani³

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- M.Sc., Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd, I.R.Iran

Received: 13.10.2012

Accepted: 24.02.2013

Abstract

Introduction of drought-resistant species of *Eucalyptus* for planting in arid and semi-arid areas of Iran for silviculture and landscaping is emphasized. In order to determine the effects of different soil moisture regimes on physiological characteristics of *E.microtheca* and *E. sargentii*, the experiment was carried out in Shahid-Sadoghi Desertification Research Station of Yazd, in center part on Iran. An experiment was carried out based on a completely randomized design with three replications and three treatments: 100% (control), 70% (moderate stress) and 40% (severe stress) of field capacity. Results indicated that water potential, relative water content, specific leaf area and relative chlorophyll content revealed significant different effects between the stress treatments at 1% level. With reduction of soil moisture, *E.sargentii* was more sensitive to drought stress than *E.microtheca* in similar conditions.

Keywords: *Eucalyptus microtheca*, *E. Sargentii*, physiological characteristics, lysimeter, drought stress.