

تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی بر عملکرد ماده خشک، روابط آبی، فلئورسانس کلروفیل و تبادلات گازی *Salvia sahendica* L.

کامران پروانک^{۱*}

*۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پست الکترونیک: ka.parvanak@gmail.com

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۷

چکیده

کاهش فتوسنتز مهمترین دلیل افت تولید در شرایط تنش خشکی به حساب می‌آید. به همین منظور، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر عملکرد خشک اندام هوایی، روابط آبی، فلئورسانس کلروفیل، فتوسنتز و تبادلات گازی در گونه مریم‌گلی سهندی (*Salvia sahendica* L.) در سال ۱۳۹۵ در شهرستان مبارکه انجام شد. سطوح تنش رطوبتی شامل دور آبیاری ۴ (شاهد)، ۸، ۱۲ و ۱۶ روزه بود که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در شرایط مزرعه اجرا گردید. براساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد سطوح مختلف دور آبیاری بر عملکرد خشک اندام هوایی، روابط آبی، سرعت فتوسنتز و تبادلات گازی برگ‌ها اثر معنی‌دار داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۶ روز، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای، عملکرد فتوسیستم II، عملکرد خشک اندام هوایی و شاخص برداشت برگ به ترتیب به میزان ۵۵، ۶۲، ۷۳، ۵۷، ۵۸ و ۴۵ درصد کاهش معنی‌دار و کارآیی مصرف آب و تبادلات گازی به ترتیب به میزان ۳۵ و ۹۲ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روزه با تیمار شاهد برای صفات ذکر شده تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. با افزایش شدت تنش میزان دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای تغییر معنی‌داری پیدا نکرد اما درجه حرارت برگ‌ها افزایش یافت. ضرایب همبستگی نشان داد، عملکرد اندام هوایی گیاه با میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و عملکرد فتوسیستم II همبستگی مثبت و معنی‌دار و با درجه حرارت برگ، کارآیی تبادلات گازی و کارآیی مصرف آب همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار شاخص‌های مورد مطالعه در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روزه نسبت به تیمار شاهد می‌توان نتیجه گرفت که دور آبیاری ۱۲ روزه، رژیم آبیاری بهینه برای استفاده از این گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

واژه‌های کلیدی: کارآیی مصرف آب، عملکرد فتوسیستم II، کارآیی تبادلات گازی، شاخص برداشت، سرعت فتوسنتز.

مقدمه

گیاه مریم‌گلی سهندی (*Salvia sahendica* L.) از جمله گونه‌های بومی، چندساله و با ارزش ایران از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است. امروزه اسانس آن در صنایع دارویی برای درمان عفونت‌های باکتریایی، قارچی، برونشیت، اختلالات دستگاه گوارش، بهبود التهاب دهان، حلق و خونریزی لته و رفع سوءهاضمه مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از اسانس مریم‌گلی در صنایع عطرسازی و صنایع غذایی به‌عنوان چاشنی و طعم‌دهنده استفاده می‌شود (Zhiming et al., 2013). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و واقع شدن در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیز وجود بحران شدید آب، انتخاب گیاهان سازگار به خشکی و دارای نیاز آبی کم، مؤثرترین راه برای مقابله با خشکی است. بنابراین لزوم بکارگیری معیارهای مناسب برای گزینش گیاهان متحمل به خشکی ضروری به‌نظر می‌رسد. از آنجا که فتوسنتز جزء اولین فرایندهایی است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، از این رو با مطالعه تغییرات فتوسنتز، تبادلات گازی و پارامترهای فلئورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی، می‌توان ضمن بررسی تأثیر تنش بر سامانه فتوسنتزی گیاه، فاکتورهای مؤثر در مقاومت به این تنش را شناسایی نمود (Anjum et al., 2011). به‌عنوان مثال Babaei و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند تنش خشکی با تأثیر منفی بر هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد این گیاه گردید. مطالعات انجام شده توسط Bastam و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که در گیاه *Kandelia candel* کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی می‌تواند مربوط به کاهش تعداد و نیز کوچکتر و متراکم‌تر شدن سلول‌های مزوفیلی برگ‌های گیاه باشد. علاوه بر عوامل روزنه‌ای، عوامل غیرروزنه‌ای مانند هدایت مزوفیلی نیز باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد. Zolfaghari و Sisakht Nejad (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر تبادلات گازی دو گونه بلوط ایرانی *Quercus libani* و *Quercus brantii* دریافتند که در هر دو گونه محدودیت غیر روزنه‌ای (هدایت

مزوفیلی) و محدودیت روزنه‌ای ناشی از تنش کمبود آب سبب کاهش معنی‌دار تعرق و فتوسنتز گردید. نتایج تحقیقات Farhoudi (۲۰۱۷) نشان داد، تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب تقلیل فرایند فتوسنتز و به‌دنبال آن کاهش عملکرد گیاهان کاسنی و بابونه آلمانی گردید. تحقیقات انجام شده توسط Askary و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تنش خشکی روی گیاه آویشن باغی و دناپی نشان داد، تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی برگ موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کمی و کیفی گیاه گردید.

Zelatev و Yordanov (۲۰۰۹) بیان کردند که اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و جریان الکترون در فتوسیستم تخمینی از نحوه عمل فتوسنتز را امکان‌پذیر می‌سازد. Joao-Correia و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در شرایط تنش، کارایی کوانتومی فتوسیستم II، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در گیاه آفتابگردان کاهش یافت. نتایج مطالعه Rahbarian و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد، میزان آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن، تعرق و کارایی فتوسیستم II در ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما در مقابل کارایی مصرف آب افزایش نشان داد. نتایج تحقیقات Dashti و همکاران (۲۰۱۵) روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth.) نشان داد با کاهش قابلیت ماتریکی خاک به ۱/۹۲- مگاپاسکال، سرعت فتوسنتز خالص، سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای گیاه در مقایسه با شاهد کاهش و در مقابل کارایی مصرف آب و کارایی تبادلات گازی افزایش یافت. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه همیشه‌بهار نشان دادند که تنش خشکی علاوه بر خسارت به غشاء سلولی، کارایی فتوسیستم II و عملکرد گیاه را کاهش داد. با توجه به خواص مختلف و نقش دارویی گیاه مریم‌گلی سهندی و نیز در راستای ضرورت ارزیابی امکان تولید و توسعه کشت آن در

۸ (تنش ملایم)، ۱۲ (تنش متوسط) و ۱۶ روزه (تنش شدید) اعمال گردید. در پایان فصل تابستان صفات مربوط به تبادلات گازی شامل سرعت فتوسنتز خالص (P_n)، هدایت روزنه‌ای (g_s)، سرعت تعرق (E_t)، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای (C_i) و دمای برگ (T_l) توسط دستگاه فتوسنتز متر IRGA قابل حمل (مدل LCA-4) بر روی جوان‌ترین برگ بالغ در حالت اتصال به گیاه در یک روز صاف و آفتابی، بین ساعات ۹/۳۰ تا ۱۴ بعدازظهر اندازه‌گیری و ثبت گردید (Bastam *et al.*, 2013). هدایت مزوفیلی از رابطه (P_n/C_i)، کارایی مزوفیلی از رابطه (C_i/g_s)، کارایی لحظه‌ای مصرف آب برگ از رابطه (P_n/E) و کارایی لحظه‌ای تبادلات گازی از رابطه (P_n/g_s) تعیین گردید (Sisakht Nejad & Zolfaghari, 2015; Dashti *et al.*, 2015).

پس از برداشت گیاه مورد مطالعه برگ‌های آن جدا و به همراه سایر بخش‌های هوایی گیاه (ساقه و گل) پس از قرار دادن در آن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن گردید. شاخص برداشت از تقسیم وزن خشک برگ به وزن خشک کل گیاه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای فلوتورسانس کلروفیل، ابتدا سطح برگ‌های جوان توسعه یافته با قرار گرفتن گیره بر روی آنها به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند و بعد با اتصال رابط دستگاه به برگ و تنظیم دستگاه، سنجش عملکرد فتوسیستم [II نسبت F_v (تفاوت حداکثر فلوتورسانس با حداقل فلوتورسانس) $(F_m - F_0)$ به F_m (حداکثر فلوتورسانس)]، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز آنها به وسیله دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل OS5-FI اندازه‌گیری شد (Maxwell & Giles, 2000). در هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری بر روی شش بوته تصادفی به‌طور جداگانه انجام شد و در نهایت میانگین آنها گزارش گردید. اطلاعات بدست‌آمده برای هر فاصله آبیاری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح ۵٪ انجام گردید.

شرایط تنش خشکی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر عملکرد، روابط آب، فلوتورسانس کلروفیل، فتوسنتز و پارامترهای تبادلات گازی وابسته به آن و نیز تعیین بهترین سطح تنش برای این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه مرکز تحقیقات شرکت فولاد مبارکه در ۴۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهر اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی انجام گردید. در اوایل بهار سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مراحل آماده‌سازی مزرعه، نمونه‌برداری از خاک و آماده‌سازی سیستم آبیاری قطره‌ای قبل از کاشت انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها مطابق روش‌های استاندارد (Page, 1992) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). نیاز کودی از منبع کود دامی پوسیده براساس نتایج تجزیه خاک محاسبه و به خاک مزرعه تا عمق توسعه ریشه (۳۵ سانتی‌متری) اضافه گردید. بذر گیاه مورد مطالعه از ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی شهید فزوه اصفهان تهیه و برای تهیه نشاء در گلخانه مجمع فولاد در اسفندماه کشت شد. بعد از آماده‌سازی مزرعه مطالعاتی، در هر کرت به ابعاد $1/5 \times 1/5$ متر (با فاصله $0/6$ متر از یکدیگر و فاصله بلوک $2/5$ متر)، تعداد ۹ نشاء از گیاه مورد مطالعه در اوایل اردیبهشت‌ماه با فاصله کاشت 50×50 سانتی‌متر در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار کشت و بلافاصله با آب چاه منطقه آبیاری گردید. با اندازه‌گیری ضراب FC و PWP خاک محل کشت، در نظر گرفتن تخلیه مجاز رطوبتی برابر ۵۰٪، عمق توسعه ریشه گیاه برابر ۳۰ سانتی‌متر، مقدار آب آبیاری محاسبه و بعد با توجه به ابعاد کرت‌ها حجم آب آبیاری (۲۳ لیتر در مترمربع) محاسبه گردید. در ابتدای کاشت، تمام کرت‌ها هر یک تا دو روز یک‌بار تا حدود دو هفته آبیاری شدند تا گیاه کاملاً استقرار یافت. سپس تأثیر تنش آبیاری از طریق تیمارهای دور آبیاری شامل دور آبیاری ۴ روزه (شاهد، که حد مطلوب آبیاری این گیاه برای منطقه مورد مطالعه است)،

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مطالعاتی

عمق (cm)	بافت خاک	pH	جرم مخصوص ظاهری gr.cm ⁻³	EC _e dS.m ⁻¹	ماده آلی %	نیترژن کل %	فسفر قابل جذب mg.kg ⁻¹	پتاسیم mg.kg ⁻¹	آب قابل استفاده (%)
صفر تا ۳۰	لوم	۷/۷	۱/۵۵	۱/۸	۱/۴۶	۰/۱۵	۵/۱	۲۰۷	۱۱

نتایج

فتوسنتز و پارامترهای تبادلات گازی آن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، سطوح مختلف دور آبیاری بر پارامترهای تبادلات گازی تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۶ روز سرعت فتوسنتز خالص، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی کاهش یافت. اما تفاوت میانگین پارامترهای یادشده بین تیمار شاهد (دور آبیاری ۴ روزه) با دور ۸ و ۱۲ روزه معنی‌دار نبود. با افزایش دور آبیاری از ۱۲ به ۱۶ روزه، سرعت فتوسنتز خالص، سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای به ترتیب به میزان ۵۵/۵، ۶۲/۲۰ و ۷۷/۳۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. بر اساس نتایج حاصل از همبستگی (جدول ۴)، همبستگی بالا و معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز خالص با هدایت روزنه‌ای ($r=0/99^{**}$)، هدایت مزوفیلی ($r=0/97^{**}$) و نیز سرعت تعرق ($r=0/96^{**}$) مشاهده شد. غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای بین سطوح مختلف تنش تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۳). با وجود این بیشترین و کمترین غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای به ترتیب در تیمارهای تنش ملایم، دور آبیاری ۸ روزه (۳۳۶ میلی‌مول CO₂ بر مترمربع در ثانیه) و تیمار شاهد (۲۹۷ میلی‌مول CO₂ بر مترمربع در ثانیه) مشاهده شد. کمترین میزان کارایی لحظه‌ای تبادل گازی (GEEi) (با میانگین ۸۵/۴۶ میکرومول CO₂ در هر مول آب) مربوط به دور آبیاری ۴ روزه بود که با دور ۸ و ۱۲ روزه تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان GEEi گیاه (۱۶۹/۲۳ میکرومول CO₂ در هر مول آب) مربوط به دور آبیاری ۱۶ روزه بود که با سایر دوره‌های

آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که تنش رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، دمای برگ در تنش ملایم (دور آبیاری ۸ روزه) نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان نداد. اما در تنش متوسط (دور آبیاری ۱۲ روزه) و تنش شدید (دور آبیاری ۱۶ روزه) دمای برگ نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۳/۵ و ۶/۱ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳).

پارامترهای فلئوئورسانس کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری بر عملکرد فتوسیستم II، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد، با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۶ روزه میزان عملکرد فتوسیستم II، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز کاهش یافت، اما این کاهش برای دوره‌های ۸ و ۱۲ روزه نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود و فقط دور ۱۶ روزه با سایر دوره‌های آبیاری برای صفات ذکر شده کاهش معنی‌دار نشان داد. به طوری که میزان عملکرد فتوسیستم II، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز در دور آبیاری ۱۶ روزه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۵/۷۰، ۳۶/۲۲ و ۶۰/۶۷ درصد کاهش معنی‌دار یافت.

کارایی لحظه‌ای مصرف آب

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر سطوح مختلف دور آبیاری بر میزان کارایی لحظه‌ای مصرف

(۵۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به دور آبیاری ۴ روزه و کمترین عملکرد ماده خشک اندام هوایی (۲۱۲۱ گرم کیلوگرم در هکتار) مربوط به دور آبیاری ۱۶ روزه بدست آمد.

شاخص برداشت برگ

مطابق نتایج تجزیه واریانس، شاخص برداشت برگ تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین مقدار شاخص برداشت برگ با میانگین ۷۰٪ در دور آبیاری ۴ روزه بدست آمد (جدول ۶). با افزایش دور آبیاری به بیش از ۴ روز مقدار این شاخص کاهش یافت. هرچند بین این تیمار و تیمارهای دور آبیاری ۸ و ۱۲ روزه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما با افزایش دور آبیاری به بیش از ۱۲ روز مقدار شاخص برداشت برگ کاهش معنی‌دار نشان داد. به طوری که کمترین مقدار شاخص برداشت برگ (۳۸/۷٪) در دور آبیاری ۱۶ روزه (تنش شدید رطوبتی) بدست آمد. در این تحقیق مقدار شاخص برداشت برگ همبستگی مثبت و بالایی را با هدایت روزنه‌ای ($r=0/99^{**}$)، سرعت تعرق ($r=0/91^{**}$)، فتوسنتز ($r=0/99^{**}$) و عملکرد خشک اندام هوایی ($r=0/99^{**}$) نشان داد (جدول ۴) و با افزایش هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز، مقدار شاخص برداشت برگ افزایش یافت.

آب معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) نشان داد، بیشترین میزان کارآیی لحظه‌ای مصرف آب (۶/۴۰ میکرومول CO_2 در هر میلی‌مول H_2O) مربوط به دور آبیاری ۱۲ روزه بود که نسبت به تیمار شاهد و نیز دور آبیاری ۸ روزه به ترتیب ۴۲ و ۳۹ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. با افزایش دور آبیاری به بیش از ۱۲ روز این شاخص در دور آبیاری ۱۶ روزه به طور معنی‌دار به میزان ۳۳/۵٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج حاصل از همبستگی صفات نشان داد، بین کارآیی لحظه‌ای مصرف آب با سرعت تعرق ($r=-0/80^{**}$)، هدایت روزنه‌ای ($r=-0/60^{**}$) و سرعت فتوسنتز ($r=-0/61^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴).

عملکرد ماده خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که اثرهای سطوح مختلف دور آبیاری برای وزن خشک اندام هوایی گیاه مورد مطالعه معنی‌دار است (جدول ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۶ روزه سبب کاهش میانگین وزن خشک اندام هوایی گیاه گردید (جدول ۶). میزان این کاهش در تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه بیشتر از دور ۸ روزه در مقایسه با دور آبیاری ۴ روزه بود، اما تفاوت‌ها در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. با افزایش دور آبیاری از ۱۲ به ۱۶ روزه، وزن خشک اندام هوایی گیاه به میزان ۵۸/۲۰٪ کاهش معنی‌دار نشان داد. بیشترین عملکرد ماده خشک اندام هوایی

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری بر فتوسنتز و تبادلات گازی آن در مریم گلی سهندی

منابع تغییرات	درجه آزادی	سرعت فتوسنتز	سرعت تعرق	هدایت روزنه‌ای	غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای	کارآیی لحظه‌ای تبادلات گازی	هدایت مزوفیلی	کارآیی هدایت مزوفیلی	دمای برگ
تکرار	۲	۲/۷۴۸**	۰/۷۳۰**	۰/۰۰۸**	۹۹/۷۵۰**	۲۰/۲۲۸**	۰/۰۰۹**	۲۰۴۶/۰۰۱**	۳/۰۰۱**
دور آبیاری	۳	۷۳/۵۶۷**	۳/۱۸۰**	۰/۰۰۲**	۸۸۲/۷۵۰**	۲۰۳۶/۰۶۷**	۰/۰۰۷**	۳۷۹۰۹/۰۱۱**	۲۱/۴۸۸**
خطای آزمایش	۶	۱/۰۶۴	۰/۶۰۷	۰/۰۰۱	۱۲۳/۰۸۳	۱۸۲/۶۱۱	۰/۰۰۲	۹۷۶۷/۶۶۷	۱/۱۷۳

ns، * و **، به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف دور آبیاری بر فتوسنتز و تبادلات گازی آن در مریم گلی سهندی

میانگین مربعات								دور آبیاری (روز)
دمای برگ (°C)	کارآیی هدایت مزوفیلی	هدایت مزوفیلی (mmolCO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)	کارآیی لحظه‌ای تبادلات گازی (μmol CO ₂ .mol H ₂ O)	غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای (mmolCO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)	هدایت روزنه‌ای (molCO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)	سرعت تعرق (mmolH ₂ O.m ⁻² .s ⁻¹)	سرعت فتوسنتز (μmolCO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)	
۲۷/۱۰c	۱۷۳۲bc	۰/۰۳۸a	۸۵/۴۶bc	۲۹۷ab	۰/۱۷۲a	۲/۹۱a	۱۴/۷۰a*	۴
۲۸/۴۰c	۲۱۲۶bc	۰/۰۳۵a	۸۷/۹۷bc	۳۳۶a	۰/۱۵۸ab	۲/۷۲a	۱۳/۹۰a	۸
۳۰/۶۰b	۲۳۵۷b	۰/۰۳۳a	۹۰/۷۱b	۳۳۰a	۰/۱۴۰b	۲/۰۱a	۱۲/۷۰a	۱۲
۳۳/۲۰a	۴۲۰۵a	۰/۰۱۱b	۱۶۹/۲۳a	۳۲۰ab	۰/۰۳۹c	۱/۱۰b	۶/۶۰b	۱۶

** میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۴- ضریب همبستگی خطی (r) بین برخی از صفات مطالعه شده در مریم گلی سهندی

صفات	سرعت فتوسنتز	سرعت تعرق	هدایت روزنه‌ای	غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای	کارآیی لحظه‌ای تبادل گاز	هدایت مزوفیلی	دمای برگ	عملکرد فتوسیستم II	عملکرد کوانتومی فتوسنتز	کارآیی لحظه‌ای مصرف آب	خشک اندام	عملکرد شاخص برداشت برگ
سرعت فتوسنتز	۱											
سرعت تعرق	۰/۹۶۲**	۱										
هدایت روزنه‌ای	۰/۹۹۹**	۰/۹۶۰**	۱									
غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای	-۰/۴۱۱*	-۰/۴۶۷*	-۰/۴۵۲*	۱								
کارآیی لحظه‌ای تبادل گاز	-۰/۹۸۵**	-۰/۹۰۳**	-۰/۹۸۶**	-۰/۰۳۱ns	۱							
هدایت مزوفیلی	۰/۹۹۷**	-۰/۹۴۰**	۰/۹۹۸**	-۰/۱۰۲ns	-۰/۹۹۳**	۱						
دمای برگ	-۰/۹۴۱**	-۰/۹۹۴**	-۰/۹۳۸**	۰/۳۳۵ns	۰/۸۶۹**	-۰/۹۱۷**	۱					
عملکرد فتوسیستم II	۰/۹۹۸**	۰/۹۴۶**	۰/۹۹۸**	-۰/۰۷۱ns	-۰/۹۹۳**	۰/۹۹۹**	-۰/۹۲۰**	۱				
عملکرد کوانتومی فتوسنتز	۰/۹۸۷**	۰/۹۰۹**	۰/۹۸۸**	۰/۰۰۲ns	-۰/۹۹۸**	۰/۹۹۴**	-۰/۸۷۸**	۰/۹۹۵**	۱			
کارآیی لحظه‌ای مصرف آب	-۰/۶۰۹**	-۰/۸۰۱**	-۰/۶۰۱**	۰/۳۵۳ns	۰/۵۷۳**	-۰/۵۴۹*	۰/۸۲۴*	-۰/۵۶۸*	-۰/۴۸۷*	۱		
عملکرد خشک اندام هوایی	۰/۹۸۴**	۰/۹۰۱**	۰/۹۸۵**	۰/۰۱۱ns	-۰/۹۹۸**	۰/۹۹۲**	-۰/۸۶۶**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۸**	-۰/۴۷۱*	۱	
شاخص برداشت برگ	۰/۹۹۱**	۰/۹۱۷**	۰/۹۹۲**	۰/۰۶۷ns	-۰/۹۹۲**	۰/۹۹۸**	-۰/۸۸۹**	۰/۹۹۶**	۰/۹۹۷**	-۰/۴۹۶*	۰/۹۹۷**	۱

ns، * و **، به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل مریم‌گلی سهندی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد فتوسیستم II	سرعت انتقال الکترون	عملکرد کوانتومی فتوستنز	کارآیی لحظه‌ای مصرف آب	عملکرد خشک اندام هوایی	شاخص برداشت برگ
تکرار	۲	۰/۰۱۰**	۱۹۳/۷۵۰**	۰/۰۳۲**	۰/۶۲۸**	۳۴۳/۳۵۰**	۱۰/۰۸۳۰**
دور آبیاری	۳	۰/۱۲۲**	۱۳۸۵/۷۵۰**	۰/۲۰۶**	۷/۷۰۴**	۲۶۶۲/۰۰۱**	۲۷۲/۱۱۲**
خطای آزمایشی	۴	۰/۰۱۲	۴۶/۴۱۷	۰/۰۴۹	۲/۲۷۳	۱۵۱۰/۹۱۷	۳/۱۹۴

ns, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف دور آبیاری بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل مریم‌گلی سهندی

میانگین مربعات							دور آبیاری (روز)
شاخص برداشت برگ (%)	عملکرد خشک اندام هوایی (Kg.h ⁻¹)	کارآیی لحظه‌ای مصرف آب (μmol CO ₂ .mmol H ₂ O)	عملکرد کوانتومی فتوستنز (Y)	سرعت انتقال الکترون (mmol electron.m ⁻² .s ⁻¹)	عملکرد فتوسیستم II		
۷۰/۳۰a	۵۰۷۰a	۴/۵۰c	۰/۸۹۰a	۱۷۷۸a	۰/۷۵۹a	۴	
۶۷/۱۷a	۵۰۲۱a	۴/۶۰c	۰/۸۸۰a	۱۷۷۰ab	۰/۷۳۱a	۸	
۶۶/۵۰a	۴۹۱۰a	۶/۴۱a	۰/۸۵۰a	۱۷۵۹b	۰/۶۷۸a	۱۲	
۳۸/۷۲b	۲۱۲۱b	۶/۰۱b	۰/۳۵۰b	۱۱۳۴c	۰/۳۲۴b	۱۶	

*: میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

بحث

گردید. البته مشاهده همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت مزوفیلی و فتوسنتز مؤید این مطلب است. در این مطالعه نیز همزمان با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۶ روزه دمای برگ به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. افزایش دمای برگ بر اثر تنش رطوبتی در گیاه لیمو (Perez *et al.*, 2009) و نوروزک (Dashti *et al.*, 2015) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

طبق نتایج این تحقیق، تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش کارایی تبادلات گازی و کارایی مصرف آب گردید (جدول ۳). افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش کمبود آب ممکن است به دلیل اثر بیشتر کمبود آب بر هدایت روزه‌ای در مقایسه با تثبیت کربن باشد. زیرا زمانی که هدایت روزه‌ای بیشتر از فتوسنتز به‌وسیله تنش رطوبتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد کارایی مصرف آب بالا می‌رود که نشان‌دهنده بهینه‌سازی مصرف CO₂ در مقابل کمبود آب است (Zhang *et al.*, 2010). افزایش کارایی مصرف آب و نیز کارایی تبادلات گازی تحت تنش رطوبتی در بابونه آلمانی (Baghalian *et al.*, 2011) و در دو گونه بلوط ایرانی (Sisakht Nejad & Zolfaghari, 2015) گزارش شده است که منطبق بر نتایج این تحقیق است.

در این بررسی، میزان کارایی فتوسیستم II، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافت. کاهش کارایی فتوسیستم II (نسبت Fv/Fm) در شرایط تنش رطوبتی نشان می‌دهد که انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (Dashti *et al.*, 2015). کاهش سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز گیاه در شرایط تنش رطوبتی ممکن است به دلیل تخریب سیکل کالوین، به تأخیر افتادن احیای کوئینون‌ها و همچنین تخریب زنجیره انتقال الکترون غشاء تیلاکوئید باشد (Heidari *et al.*, 2015). در تأیید نتایج فوق، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان آسیمیلیاسیون CO₂ و کارایی فتوسیستم II ($r = -0.98^{**}$) وجود داشت. این نتایج با یافته‌های (Kiani *et al.*, 2008) روی آفتابگردان،

نتایج این تحقیق نشان داد، تنش رطوبتی سبب کاهش هدایت روزه‌ای و سرعت تعرق گردید (جدول ۳). کاهش هدایت روزه‌ای و به تبع آن کاهش سرعت تعرق می‌تواند به دلیل بسته شدن روزه‌ها، کاهش تعداد و تراکم روزه‌ها، کوچکتر و مترکم‌تر شدن سلول‌های مزوفیلی برگ‌ها تحت شرایط تنش در مقایسه با تیمار شاهد باشد (Bastam *et al.*, 2013). از این رو تنظیم هدررفت آب از طریق بسته شدن روزه‌ها به‌عنوان یک سازوکار مقاومت به خشکی عمل می‌کند. بررسی‌های انجام شده روی تبادلات گازی ریحان (Radacsi *et al.*, 2010)، نوروزک (Dashti *et al.*, 2015)، آویشن دناهی و آویشن ولگار (Askary *et al.*, 2017) تحت تنش رطوبتی ثابت کرده است که تنش رطوبتی باعث کاهش هدایت روزه‌ای و سرعت تعرق می‌شود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

در این مطالعه میزان CO₂ زیر روزه‌ای و سرعت فتوسنتز خالص با افزایش شدت تنش کاهش یافت. کاهش این دو شاخص تحت شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ، بسته شدن روزه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزه‌ای و مزوفیلی، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل باشد (Farhoudi, 2017). وجود همبستگی بالا و معنی‌دار بین سرعت فتوسنتز خالص با هدایت روزه‌ای ($r = 0.99^{**}$)، هدایت مزوفیلی ($r = 0.97^{**}$) و نیز سرعت تعرق ($r = 0.96^{**}$) مؤید این مطلب است (جدول ۴). کاهش هدایت روزه‌ای و به تبع آن کاهش فتوسنتز انیسون (Heidari *et al.*, 2015)، بابونه آلمانی و کاسنی (Farhoudi, 2017) تحت تأثیر تنش خشکی با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

در این مطالعه، هدایت مزوفیلی تحت تنش رطوبتی کاهش یافت (جدول ۳). این نشان می‌دهد که به دلیل آسیب دیدن سیستم فتوسنتزی، CO₂ وارد شده به فضای زیر روزه‌ای به خوبی مورد استفاده قرار نگرفته و غلظت CO₂ افزایش یافته است. بنابراین می‌توان بیان کرد که محدودیت غیرروزه‌ای در تنش رطوبتی نیز باعث کاهش فتوسنتز گونه مورد مطالعه

به دلیل تأثیرگذاری خشکی بر عملکرد اندام هوایی، شاخص برداشت برگ در تیمار تنش کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق انطباق دارد.

به طور کلی با توجه به عدم کاهش معنی‌دار کلیه شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه برای گونه مریم‌گلی سهندی در دور آبیاری ۸ و ۱۲ روزه نسبت به تیمار شاهد، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه مورد مطالعه یک گیاه مقاوم به خشکی بوده و رژیم آبیاری بهینه برای استفاده از آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک که باعث صرفه‌جویی در مصرف منابع محدود آب آبیاری می‌گردد دور آبیاری ۱۲ روزه می‌باشد. از این رو استفاده از گونه مریم‌گلی سهندی با دور آبیاری ۱۲ روزه برای کاربرد در منطقه مورد مطالعه و سایر مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه مدیران و کارشناسان محترم مرکز تحقیقات و اداره نظارت بر فضای سبز شرکت فولاد مبارکه و دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری که حمایت‌کننده این تحقیق بودند، قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Anjum, S.H., Xie X., Wang, L.C., Farrukh Saleem, M., Man, C. and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.
- Afkari, A., 2018. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer rate on some physiological characteristics, essential oil percentage, and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(6): 1047-1059.
- Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Jamialahmadi, M. and Mahmoodi, S., 2017. Effects of water stress and manure on stomatal conductance, relative water content, photosynthetic pigments and quantitative and qualitative yield of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(5): 793-811.
- Babaei, K., Amini Dehghi, M., Modares Sanavi, S.A.M. and Jabbar, R., 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage

(Rahbarian *et al.*, 2013) روی نخود و (Ebrahimi *et al.*, 2017) روی گیاه همیشه‌بهار مبنی بر کاهش کارایی فتوسیستم II، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی مطابقت دارد.

در این مطالعه کاهش عملکرد خشک اندام هوایی گیاه مورد مطالعه در دور آبیاری ۸ و ۱۲ روزه نسبت به دور ۴ روزه معنی‌دار نبود و نسبتاً ناچیز بود. بنابراین تیمار دور آبیاری ۸ و ۱۲ روزه با کاهش و صرفه‌جویی در مصرف آب توانسته عملکرد مناسبی در گونه مورد مطالعه نسبت به دور ۴ روزه داشته باشد. بیشترین کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه در دور آبیاری ۱۶ روزه (تنش شدید) نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶). انتظار می‌رود در شرایط تنش شدید رطوبتی، از یک سو جذب عناصر غذایی محدود شود و از سوی دیگر در چنین شرایطی گیاه برای کاهش تعرق اقدام به بسته نمودن روزنه‌های خود نماید که نتیجه آن ممانعت از ورود CO₂ و کاهش فتوسنتز خواهد بود (Anjum *et al.*, 2011). بروز این رویدادها منجر به کاهش رشد و گسترش اندام هوایی گیاه گردید. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه با هدایت روزنه‌ای ($r=0.98^{**}$)، تعرق ($r=0.90^{**}$) و فتوسنتز ($r=0.98^{**}$) مؤید همین مطلب است. اثر کاهنده کمبود آب بر عملکرد اندام هوایی انیسون (Mohammadi Alborzi *et al.*, 2013)، دو گونه همیشه‌بهار (Rasouli & Fakheri, 2016) و ریحان (Afkari *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است که منطبق بر نتایج این تحقیق است.

در این بررسی، میزان شاخص برداشت برگ در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافت. کاهش شاخص برداشت برگ در شرایط تنش رطوبتی، ممکن است به دلیل همبستگی مثبت و بالا بین ماده خشک با فتوسنتز و شاخص سطح برگ باشد. همچنین کاهش تعداد ساقه در بوته که سهم مهمی در تولید عملکرد دارد از دلایل مهم کاهش شاخص برداشت برگ در تیمار تنش محسوب می‌شود (Rassam *et al.*, 2015). نتایج تحقیقات Heidari و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه انیسون و Rassam و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه زوفا نشان داد که

- Mohammadi Alborzi, M., Safikhani, F., Sinaki, M. and Abbaszadeh, B., 2013. The effect of drought stresses on dry matter yield and essential oils of Anisum (*Pimpinella anisum* L.). *Crop Production in Environmental Strees*, 5(1): 11-22.
- Page, A.L., 1992. *Methods of soil Analysis*. ASA and SSSA Publishers Madison, Wisconsin USA, 1173p.
- Perez, J.G., Robles, J.M., Tovar, J.C. and Botía, P., 2009. Response to drought and salt stress of *lemon Fino 49'* under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturæ*, 122: 83-90.
- Rassam, Gh., Dadkhah, A. and Khoshnood Yazdi, A., 2015. Evaluation of water deficit on morphological and physiological traits of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Agronomy Sciences*, 10(5): 1-12.
- Radacsi, P., Inotai, K., Sarosi, S., Czovek, P., Bernath, J. and Nemeth, E., 2010. Effect of water supply on the physiological characteristic and production of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *European Journal of Horticultural Scienc*, 75: 193-197.
- Rahbarian, R., Khavari Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. and Najaf, F., 2013. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 4(2): 87-98.
- Rasouli, D. and Fakheri, B., 2016. Effects of drought stress on quantitative and qualitative yield, physiological characteristics and essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum americanum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(5): 900-914.
- Sisakht Neghad, M. and Zolfaghari, R., 2015. The effect of water stress on gas exchange in t two Iranian oak species (*Quercus brantii*) and *V yvl (Quercus libani)*. *Journal of Zagros Forests Researche*, 1(2): 15-30.
- Zelatev, Z.S. and Yordanov, I.T., 2009. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in Bean plants. *Journal of Plant Physiology*, 30(3-4): 3-18.
- Zhang, B., Liu, W., Chang, S.X. and Anyia, A.O., 2010. Water-deficit and high temperature affected water use efficiency and arabinoxylan concentration in spring wheat. *Journal of Cereal Science*, 52: 263-269.
- Zhiming, F.W., Hang, H., Iaofei, X., Zhaolin, S. and Chunchao, H., 2013. The pharmacological properties of *Salvia* essential oil. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(7): 122-127.
- of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2): 239-251.
- Bastam, N., Baninasab, B. and Ghobadi, C., 2013. Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. *Plant Growth Regulation*, 69: 275-284.
- Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-Sigaroodi, F. and Paknejad, F., 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 49: 201-207.
- Dashti, M., Kafi, M., Tavakoli, H. and Mirza, M., 2015. The effect of water deficit stress on water relationships, photosynthesis and osmolithic accumulation in the *Salvia leriifolia* Benth Medicinal Plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4): 813-821.
- Ebrahimi, M., Zamani, Gh.R. and Alizadeh, Z., 2017. A study on the effects of water deficit on physiological and yield-related traits of pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(3): 492-508.
- Farhoudi, R., 2017. Effect of drought stress on photosynthesis, percentage and yield of essential oil of german chamomile (*Matricaria recutita* L) and chicory (*Cichorium intybus* L) Khuzestan local mass in northern Khuzestan climatic conditions, *Journal of Horticultural Science*, 31(1): 122-130.
- Heidari, N., Pouryousef, M. and Tavakoli, A., 2012. Effects of drought stress on photo synthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of plant Researches (Iranian Journal of Biology)*, 27(5): 829-839.
- Heidari, N., Pouryousef, M. and Tavakoli, A., 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of Anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Plant Research*, 27(5): 829-839.
- Joao-Correia, M., Leonor-Osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M. and David, M.M., 2010. Influence of transient shade periods on the effect of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sunflower leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 58: 75-84.
- Kiani, S.P., Maury, P., Sarrafi, A. and Grieu, P., 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, 175: 565-573.
- Maxwell, K., and Giles, N.J., 2000 Chlorophyll fluorescence- a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.

Effects of moisture stress on dry matter yield, water relations, chlorophyll fluorescence and gas exchanges in *Salvia sahendica* L.

K. Parvanak^{1*}

^{1*}-Corresponding author, Department of Agriculture, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH), Share-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: ka.parvanak@gmail.com

Received: August 2018

Revised: January 2019

Accepted: February 2019

Abstract

The reduction of photosynthesis is the most important reason for the decrease in productivity under drought stress conditions. For this purpose, this research was carried out to investigate the effect of moisture stress on shoot dry matter yield, water relations, chlorophyll fluorescence, photosynthesis, and gas exchanges in *Salvia sahendica* L. at Mobarakeh city, Isfahan, in 2016. The treatments included irrigation intervals of 4 (control), 8, 12 and 16 days conducted in a randomized complete block design under field conditions. The results of the analysis of variance showed that the effect of irrigation intervals treatments was significant on shoot dry matter yield, water relations, chlorophyll fluorescence, photosynthesis rate, and leaf gas exchanges. Based on the results of mean comparison, with increasing irrigation interval from 4 to 16 days, photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, photosystem II efficiency, shoot dry matter yield, and harvest index decreased significantly by 55, 62, 73, 57, 58 and 45 percentage, and water use efficiency and gas exchanges increased significantly by 35 and 92 percentage, respectively. For the attributes mentioned above, the irrigation intervals of 8 and 12 days had no significant difference with control treatment. By increasing stress, the amount of intercellular carbon dioxide below the stomatal cells did not change significantly, but the leaf temperature increased significantly. Correlation coefficients showed that the shoot dry matter yield had a positive and significant correlation with photosynthesis and transpiration rate, stomatal conductance, and photosystem II efficiency, and a negative and significant correlation with leaf temperature, gas exchanges, and water use efficiency. Regarding the absence of significant difference between the indices studied at 8 and 12-day irrigation intervals in comparison with normal irrigation regime (control treatment), it can be concluded that the irrigation interval of 12 days is an optimum irrigation regime for using this plant in arid and semi-arid regions.

Keywords: Water use efficiency, PSII photochemical efficiency, gas exchange, harvesting index, photosynthesis rate.