



بررسی اثر تنش خشکی بر برخی از شاخص‌های فتوسنتزی و رشدی گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.)

سید حمزه حسینیان^۱، مهری سعیدی نیا^{۲*}، فرهاد بیرانوند^۳

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳. دانشجوی دکتری علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۲۲

چکیده

برای مدیریت بهتر عملکرد گیاه تحت شرایط تنش آبی و بررسی وضعیت رشد گیاه، تعرق، هدایت روزنه‌ای، توان فتوسنتزی گیاه (فرآیند اصلی تعیین‌کننده رشد گیاه) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید) آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در چهار سطح (شاهد، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) بودند. آبیاری به صورت وزنی انجام گرفت. اندازه‌گیری تبادل گاز و برداشت مورفولوژیکی به ترتیب ۸۰ و ۹۰ روز بعد از اعمال تنش انجام شد. نتایج نشان داد تنش آبی سبب کاهش معنی‌داری در هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، دی‌اکسید کربن درون سلولی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و کارایی کربوکسیلاسیون گردید. بیشترین مقادیر پارامترهای فوق مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقادیر مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی بود که نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۶۸/۰۸، ۵۹/۹۰، ۶۱/۴۲، ۳۷/۹۶، ۲۰/۷۹ و ۳۷/۵ درصد کاهش یافتند. رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش خشکی کاهش معنی‌داری را نشان دادند. بیشترین مقادیر کلروفیل a، b و کاروتنوئید در تیمار شاهد و کمترین این مقادیر در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید و در نهایت تنش خشکی به صورت معنی‌داری، باعث کاهش مقادیر پارامترهای رشد از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک گیاه گردید.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، مرزه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

دلیل میزان اسانس بالا و استفاده در صنایع غذایی، داروسازی دارای اهمیت اقتصادی و پزشکی زیادی است (Satil and Kaya., 2007). خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان شناخته شده است که مراحل مختلف رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ben Ahmed et al., 2009).

در میان شاخص‌های فیزیولوژیک، فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرآیندها در رشد و تولید محسوب شده و حفظ سرعت تثبیت کربن تحت شرایط تنش اهمیت اساسی در

گیاهان دارویی منابع طبیعی ارزشمندی هستند و به عنوان مواد اولیه جهت تبدیل به داروهای بی‌خطر برای انسان تلقی می‌شوند. ایران یکی از غنی‌ترین منابع گیاهان دارویی جهان به شمار می‌رود (Azimzadeh, 2009). کشور ایران خاستگاه گیاهان متنوعی است که بسیاری از این گیاهان به لحاظ خواص درمانی منحصر به فرد است (Khanimghadam, et al., 2010). مرزه (*Satureja hortensis* L.) گونه‌ای است علفی و یک‌ساله (متعلق به خانواده نعناع) یکی از گیاهان دارویی مهم در ایران محسوب می‌شود. این گونه گیاهی به

آزمایشی تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (T_{100})، ۸۰ درصد نیاز آبی (T_{80})، ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی (T_{60}) و ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی (T_{40}) و سه تکرار بود. قبل از کشت مرزه، ظرفیت زراعی خاک به صورت وزنی و توسط دستگاه صفحات فشار (*Pressure plate*) مشخص گردید. وزن مجموع واحدهای آزمایشی در ظرفیت زراعی ثبت گردید. در طول دوره رشد، اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و میزان آب مورد نیاز به صورت وزنی انجام شد و آبیاری به گونه‌ای اعمال گردید که رطوبت در تیمار شاهد، در حد رطوبت سهل الوصول باقی بماند، بر این اساس که هر روز گلدان‌ها وزن گردید و زمانی که رطوبت خاک به حد پایین رطوبت سهل الوصول (θ_m) رسید آبیاری انجام گردید. حد پایین رطوبت سهل الوصول از فرمول (۱) محاسبه شد (Gontia and Tiwari., 2008).

$$\theta_m = |\theta_{fc} - MAD(\theta_{fc} - \theta_{PWP})| \quad [1]$$

در رابطه فوق، MAD حداکثر میزان تخلیه است که در این تحقیق ۰/۵ در نظر گرفته شد. θ_{FC} میزان درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی و θ_{PWP} میزان درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی است. در نهایت میزان آب مورد نیاز هر یک از تیمارها نیز بر اساس مقادیر زیر تأمین گردید.

$$T_{100} = 100\% \text{ RAW}; T_{80} = 80\% \text{ RAW}; T_{60} = 60\% \text{ RAW}; T_{40} = 40\% \text{ RAW}$$

تمام اندازه‌گیری‌های مربوط به پارامترهای فتوسنتزی، در دوره گلدهی (بین ساعت ۹ تا ۱۱) انجام گرفت. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای بر اساس مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه، سرعت تعرق بر اساس میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه، سرعت فتوسنتز بر اساس میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه و دی‌اکسید کربن درون سلولی بر حسب میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه توسط دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز مدل LCA_4 ، ۴۵ روز پس از تنش در ساعت ۸ تا ۹ اندازه‌گیری شد (Sudhakar, 2016). برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به تبادلات گازی، قسمت میانی بالاترین برگ بوته از هر تیمار در اتاقک شیشه‌ای انبرک دستگاه قرار داده شد و پس از ثبات شرایط درون اتاقک، داده‌های مربوط ثبت شد. کارایی مصرف آب از طریق تقسیم مقدار فتوسنتز خالص بر تبخیر و تعرق محاسبه شد. میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی از تقسیم میزان فتوسنتز به تعرق محاسبه گردید (Ritchie et al., 1990). کارایی کربوکسیلاسیون که برخی از پژوهشگران آن را معادل هدایت

شکل‌گیری عملکرد دارد (Ardalani et al., 2015). تحت تنش خشکی، فتوسنتز از اولین فرآیندهایی است که تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با کاهش مقدار آب قابل دسترس، میزان آن کاهش می‌یابد و سرعت فتوسنتز عامل اصلی تعیین‌کننده تولید ماده خشک و توان تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Taiz and Zeiger, 2002). عدم کارایی دستگاه فتوسنتزی و آسیب دیدن آن در اثر کمبود آب به مصرف نشدن CO_2 و افزایش غلظت آن منجر می‌شود (Ashraf and Harris., 2013). گزارش شده است که تنش خشکی در گیاه توت‌فرنگی خاردار هدایت روزنه‌ای آن را کاهش داد و منجر به کاهش CO_2 مزوفیلی گردید و در نهایت فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داده است (Tezara, 2004). تغییر در سرعت فتوسنتز موجب صدمه به غشای سلول‌های مزوفیل، کاهش محتوای کلروفیل و آسیب به ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود که در نهایت افت عملکرد را در پی دارد (Abdoli and Saeidi., 2013). اسکندری (Eskandari, 2013) به بررسی اثر تنش خشکی بر روی اسانس گیاه دارویی مرزه بختیاری تحت تأثیر مواد تنظیم‌کننده رشد (-28 Homobrassinolid) پرداخت. نتایج ایشان نشان داد با افزایش تنش درصد اسانس گیاه نیز روند صعودی پیدا می‌کند و استفاده از تنظیم‌کننده‌ها باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد ماده خشک این گیاه شده و راهکار مناسبی برای مقابله با شرایط تنش آبی به شمار می‌رود. سودایی زاده و همکاران (Sodaii zadeh et al., 2016) با بررسی اثر تنش آبی بر صفات مورفولوژیکی ریشه گیاه مرزه بیان کردند که تنش خشکی بر وزن خشک ریشه، ضخامت و طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی اثر معنی‌داری داشت.

با توجه به اینکه در گیاه مرزه، نتایج قابل استنادی، در رابطه با وضعیت تبادلات گازی و اجزای کلروفیل تحت تنش خشکی انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش بر شاخص‌های تبادلات گازی این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان ۱۳۹۵ به صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با میانگین دمای روزانه ۲۸-۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۰-۶۰ درصد و نور ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد. هر کدام از گلدان‌ها با دهانه‌ای به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و از جنس پلاستیک بود. آزمایش شامل ۴ تیمار

با افزایش شدت تنش خشکی، کاهش معنی‌داری در میزان هدایت روزنه‌ای ایجاد شد به طوری که بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ مربوط به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی) (۰/۳۲۹ مول بر مترمربع بر ثانیه) و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی (۰/۱۰۵ مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به کاهش ۶۸/۰۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۰/۳۲۹ مول بر مترمربع بر ثانیه) گردید (جدول ۲). تنظیم روزنه‌ای (کاهش هدایت روزنه‌ای در پاسخ به تنش خشکی) برای حفظ بافت از خسارت پسابیدگی (هدر رفت آب) از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌ویژه آنکه این نوع پاسخ در مقایسه با سایر پاسخ‌های بلندمدت (از جمله کاهش سطح برگ) سریع‌تر بوده و در ضمن قابل برگشت است (Hossinzadeh et al., 2014). در آزمایش اثرات تنش آبی بر ارقام گندم مشاهده شد که گیاهان تنش دیده، به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای کمتری نسبت به گیاهان آبیاری شده داشتند، که این امر سبب کاهش میزان تعرق برگ در شرایط کم‌آبی گردید (Gupta et al., 2001). ردی و همکاران (Reddy et al., 2004) بیان کردند که تحت شرایط تنش خشکی، دلیل کاهش فتوسنتز بسته شدن روزنه‌ها (محدودیت روزنه‌ای) یا آسیب به مجموعه عوامل بیوشیمیایی تثبیت‌کننده دی‌اکسید کربن است.

بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به تیمار شاهد بود و با افزایش خشکی از میزان فتوسنتز کاسته شد، به‌گونه‌ای که کمترین میزان فتوسنتز مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی (۷/۰۱ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به کاهش ۶۱/۴۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۱۸/۱۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) گردید. کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. به‌عبارتی فتوسنتز از دو طریق، تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، اول آنکه بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی‌اکسید کربن محدود می‌کند، دوم آنکه پایین بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد (Heidari, 2015). به‌طور معمول پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین‌کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی است (Cornic, 2000). محقق‌های دیگر نیز کاهش سرعت فتوسنتز در اثر تنش خشکی را در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و یا نتیجه خسارت به دستگاه فتوسنتزی دانسته‌اند که در اثر کاهش محتوای کلروفیل اتفاق می‌افتد (Baker and

مزوفیلی در نظر گرفته‌اند از تقسیم میزان فتوسنتز به دی‌اکسید کربن درون سلولی به دست آمد (Tiwari et al., 1998). برای سنجش اجزای کلروفیل و کاروتنوئید، مقدار ۰/۱ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی به‌وسیله نیتروژن مایع ساییده شد. پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن، مخلوط همگن شده به تیوپ‌ها انتقال و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس فاز روئی جدا و مقداری از آن را در کیووت اسپکتروفتومتر ریخته و میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a (فرمول ۲)، کلروفیل b (فرمول ۳) و کاروتنوئیدها (فرمول ۴) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1949).

$$\text{ChloChlophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.63 \times A_{645}) V / 100 W \quad [2]$$

$$\text{ChloChlophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V / 100 W \quad [3]$$

$$\text{Carotenoids} = 100(A_{470}) - 3.27(\text{mg chl.a}) - 104(\text{mg chl.b}) / 227 \quad [4]$$

در روابط فوق، V حجم محلول سانتریفوژ شده، A جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W وزن تر نمونه برحسب گرم است.

نمونه‌برداری از گیاهان برای محاسبه پارامترهای رشد، در دوره گلدهی گیاه مرزه انجام شد. برای این منظور، گیاهان را به همراه ریشه‌ها، از گلدان خارج کرده و صفات مورفولوژیک موردنظر شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد برگ، عملکرد ماده خشک اندازه‌گیری و محاسبه شد. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز به‌وسیله نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد، اثر تنش خشکی بر هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز و سایر پارامترهای فتوسنتزی گیاه مرزه، معنی‌دار گردید (جدول ۱).

گزارش شده است (Rahbarian et al., 2011). در پژوهشی که روی گیاه لوبیا انجام شد، گزارش کردند که کاهش غلظت دی‌اکسید کربن درون‌سلولی در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌های برگ و جلوگیری از ورود دی‌اکسید کربن به درون برگ است. غلظت دی‌اکسید کربن درون‌سلولی نشان‌دهنده‌ی مصرف یا فقدان دی‌اکسید کربن در چرخه‌ی کلوین است و میزان آسیب به عوامل تثبیت‌کننده‌ی آن را نشان می‌دهد. در وضعیت تنش خشکی آسیب وارد شده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت دی‌اکسید کربن سبب می‌شود که اسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن کاهش و در نتیجه دی‌اکسید کربن درون‌سلولی افزایش یابد (Reddy et al., 2004). باینکه بسته شدن روزنه‌ها در طی تنش خشکی، اتلاف آب را کاهش می‌دهد اما میزان فتوسنتز و دی‌اکسید کربن درون‌سلولی را کاهش می‌دهد (Karimi et al., 2015).

کمترین میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی (۸/۴۶ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) بود که منجر به کاهش ۲۰/۷۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۱۰/۶۸ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) گردید (جدول ۲). با افزایش میزان تنش، کاهش کارایی مصرف آب فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش میزان دی‌اکسید کربن درون‌سلولی باشد که بیشتر متأثر از عوامل غیر روزنه‌ای است تا عوامل روزنه‌ای (Flexas et al., 2008).

(Rosenqvist., 2004). کاهش سرعت فتوسنتز در پژوهش‌های مختلف به‌عنوان مهم‌ترین اثر منفی ناشی از تنش خشکی بیان شده است (Rahbarian et al., 2011).

کمترین میزان سرعت تعرق برگ مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی (۰/۸۳ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به کاهش ۵۹/۹۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۲/۰۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) گردید. کاهش میزان تعرق در تیمارهای تحت تنش احتمالاً به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای است (Bastam et al., 2013) که علاوه بر تولید اسید آبسزیک در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، در اثر کاهش پتانسیل آماسی در برگ نیز به وجود می‌آید و به احتمال زیاد از طریق اسید آبسزیک تولید شده در خود برگ‌ها عمل می‌کند (Yamori et al., 2013). کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدر رفتن آن طی تعرق بیان شود (Kimbal et al., 2002).

بیشترین و کمترین مقادیر دی‌اکسید کربن درون‌سلولی به ترتیب از تیمار شاهد و تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی به میزان ۴۵۰/۰۵ و ۲۷۹/۱۹۰ میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه به دست آمد و باعث کاهش ۳۷/۹۶ درصدی تیمار اخیر نسبت به شاهد شد. علت اصلی کاهش میزان دی‌اکسید کربن درون‌سلولی در برخی گیاهان در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها به‌منظور کاهش هدر رفت آب

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر مؤلفه‌های فتوسنتزی گیاه مرزه

Table 1. Analysis of variance of drought stress on photosynthetic components of *Satureja hortensis* L. plant.

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات					
		سرعت فتوسنتز Photosynthetic Rate	سرعت تعرق Transpiration Rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal Conductance	کارایی کربوکسیلاسیون Carboxylation Efficiency	دی‌اکسید کربن درون سلولی CO ₂ Substomatal	کارایی مصرف آب فتوسنتزی PWUE
تکرار Repeat	2	0.017 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0000006 ^{ns}	0.0000001 ^{ns}	4.71 ^{ns}	0.44 ^{ns}
خشکی Drought	3	68.343 ^{**}	0.853 ^{**}	0.298188 ^{**}	0.0001567 ^{**}	15937.40 ^{**}	3.73 ^{**}
خطای آزمایشی Error	6	0.0141	0.01	0.000024	0.0000008	56.13	0.16
ضریب تغییرات (٪) C.V. (%)		0.91	3.34	2.07	2.53	2.09	4.25

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

ns and ** are not significant and significant at the probability level of 1%, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر مؤلفه‌های فتوسنتزی گیاه مرزه

Table 2. Comparison of the effect of drought stress on photosynthetic components of *Satureja hortensis* L. plant.

تیمار Treatment	سرعت فتوسنتز Photosynthetic Rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	سرعت تعرق transpiration Rate ($\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای Stomatal Conductance ----- ($\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) -----	کارایی کربوکسیلاسیون Carboxylation Efficiency	دی‌اکسید کربن دریون سلولی CO ₂ Substomatal ($\text{mmolCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی PWUE (μmolCO_2 $\text{molH}_2\text{O}^{-1}$)
T100	18.17 ^a	2.07 ^a	0.329 ^a	0.040 ^a	450.05 ^a	10.68 ^a
T80	15.12 ^b	1.46 ^b	0.293 ^b	0.040 ^a	373.47 ^b	10.37 ^a
T60	11.90 ^c	1.12 ^c	0.209 ^c	0.036 ^b	326.65 ^c	8.78 ^b
T40	7.01 ^d	0.83 ^d	0.105 ^d	0.025 ^c	279.19 ^d	8.46 ^b

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال $P \leq 0/05$ است.

T100: ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T80: ۸۰ درصد نیاز آبی، T60: ۶۰ درصد نیاز آبی و T40: ۴۰ درصد نیاز آبی.

The same letters indicate no significant difference with the Duncan test at the probability level of $P \leq 0 / 05$.

T100: 100% water requirement, T80: 80% water requirement, T60: 60% water requirement and T40: 40% water requirement.

خشک اندام‌های هوایی مانند ریشه، برگ، ساقه و ارتفاع گیاهان لوبیا، ریحان و مرزه، کاهش صورت گرفته است. اسماعیل‌پور و همکاران (Esmailpour et al., 2013) نیز گزارش دادند که با افزایش شدت تنش خشکی تمام صفات رویشی از قبیل تعداد برگ، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک ساقه، طول و وزن خشک ریشه در گیاه مرزه کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین مقادیر برای تمامی این صفات در تیمار آبیاری کامل حاصل شد و کمترین مقادیر نیز در شرایط تنش آبی شدید به دست آمد. رشد کم در شرایط تنش یک حالت سازگار کننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که در این حالت، گیاه مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهداری کننده در برابر تنش، هدایت می‌کند؛ به عبارت دیگر، کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد و پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌شود (Esmailpour et al. 2013).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر رژیم‌های آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی مرزه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین صفات در تیمارهای مختلف رژیم رطوبتی نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل و همچنین کارتنوئید مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و با افزایش شدت تنش خشکی این صفات در گیاه مرزه کاهش یافتند به گونه‌ای که کمترین

بیشترین و کمترین مقادیر کارایی کربوکسیلاسیون به ترتیب از تیمار شاهد و تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی به میزان ۰/۰۴۰ و ۰/۰۲۵ مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه حاصل شد و باعث کاهش ۳۷/۵ درصدی تیمار اخیر نسبت به شاهد شد. در ارتباط با محدودیت‌های غیر روزنه‌ای گزارش شده که عامل اصلی محدودکننده فتوسنتز، کاهش کارایی کربوکسیلاسیون است (Barutcular et al., 2000).

صفات مورفولوژیک

اثر تنش آبی بر صفات مورفولوژیک مورد بررسی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، برخی از صفات مورفولوژیک تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه داده شده است.

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیک نشان داد که اثر تنش خشکی بر روی همه صفات مورفولوژیک مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی، صفات مختلف مورفولوژیکی مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد برگ، وزن خشک برگ، ریشه و ساقه در گیاه مرزه کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین مقادیر برای تمامی این صفات در تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) حاصل شد و کمترین مقادیر نیز در شرایط تنش آبی شدید (تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد (جدول ۴). پسراکلی و همکاران (Pessarakli et al., 1989) و باهر و همکاران (Baher et al., 2002) بیان کردند که در وزن

اکسیداتیو نوری به‌عنوان رنگ‌دانه کمکی و دیگری نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده که در سمیت‌زدایی از کلروفیل مؤثر هستند (Moosavifar et al., 2018). روند تغییرات کاروتنوئید نسبت به افزایش تنش خشکی در گیاهان مختلف متفاوت است. برخی از محققین همچون موسوی‌فر و همکاران (Moosavifar et al., 2018) نشان دادند میزان کاروتنوئید در گیاه کوشیا، با افزایش تنش خشکی افزایش می‌یابد اما محققین دیگری مانند سنجری و همکاران (Sanjari et al., 2015) و فابریکی و همکاران (Fabriki et al., 2016) نشان دادند برای گیاهانی همچون چای ترش و مرزه، با افزایش تنش خشکی، میزان کاروتنوئید کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

مقادیر در شرایط تنش آبی شدید (۴۰ درصد تأمین نیاز آبی) به دست آمد (جدول ۶). از صدمات اکسیداتیو مهمی که در شرایط تنش خشکی ایجاد می‌شود، تخریب مولکول کلروفیل است. کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، تحت تأثیر خشکی ممکن است ناشی از کاهش سنتز کمپلکس پروتئینی اصلی رنگ‌دانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی رنگ‌دانه‌های a و b که محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست، رنگ‌دانه‌ها و پروتئین‌ها یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از باشد (Sanjari et al., 2015 and Xiao et al., 2008). کاروتنوئید دو وظیفه اصلی در فتوسنتز تحت شرایط تنش خشکی دارد، یکی محافظت از کلروپلاست در مقابل خطرات

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک گیاه مرزه تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Analysis of variance of morphological traits of *Satureja hortensis* L. plant under drought stress conditions

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات (Means of squares)						
		ارتفاع بوته Height Plant	ارتفاع شاخه فرعی Sub-branch height	تعداد شاخه فرعی تک بوته Number of single plant sub-branches	قطر ساقه Stem diameter	وزن خشک ریشه تک بوته Dry weight of the root Single plant	وزن خشک ساقه تک بوته Dry weight of the stem Single plant	وزن خشک برگ و گل تک بوته Dry weight of leaves and flowers Single plant
Repeat	2	0.09	0.646	1	0.0002	0.00	0.00	0.00
Treatment	3	35.67**	56.243**	117.64**	2.29**	0.002**	0.002**	0.015**
Error	6	1.08	0.368	0.56	0.0012	0.00	0.00	0.00
ضریب تغییرات (%) CV. (%)	-	2.41	37.2	2.50	1.58	0.22	0.24	0.14

** Significantly at a level of 1%.

** معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک گیاه مرزه تحت شرایط تنش خشکی

Table 4. Comparison of Morphological Characteristics of *Satureja hortensis* L. Plant under Drought Conditions

سطح تنش آبی Water stress level	ارتفاع بوته (cm) Height Plant	ارتفاع شاخه فرعی (cm) Sub-branch height	تعداد شاخه فرعی تک بوته Number of single plant sub-branches	قطر ساقه (mm) Stem diameter	وزن خشک ریشه تک بوته (g) Dry weight of the root Single plant	وزن خشک ساقه تک بوته (g) Dry weight of the stem Single plant	وزن خشک برگ و گل و سرشاخه تک بوته (g) Dry weight of leaves, flowers and branches of a single plant (g)
T100	48.0 ^a	31.5 ^a	36.7 ^a	3.2 ^a	0.220 ^a	0.890 ^a	0.866 ^a
T80	44.8 ^b	27.2 ^b	32.3 ^b	2.7 ^b	0.211 ^b	0.823 ^b	0.820 ^b
T60	42.0 ^c	24.2 ^c	28.0 ^c	1.9 ^c	0.196 ^c	0.762 ^c	0.765 ^c
T40	39.0 ^d	20.4 ^d	22.0 ^d	1.2 ^d	0.161 ^d	0.717 ^c	0.705 ^d

میانگین‌هایی با حروف غیر یکسان در هر ستون بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.

T100: ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T80: ۸۰ درصد نیاز آبی، T60: ۶۰ درصد نیاز آبی و T40: ۴۰ درصد نیاز آبی.

Averages with non-identical letters in each column based on the Duncan test have a significant statistical difference at a probability level of 0.05.

T100: 100% water requirement, T80: 80% water requirement, T60: 60% water requirement and T40: 40% water requirement.

جدول ۵. میانگین مربعات اثر تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی مرزه

Table 5. Mean Squares of the effect of the drought stress on photosynthetic pigments of *Satureja hortensis* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات (Mean squares)				
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	
Repeat	تکرار	3	00.0008 ^{ns}	00.0012 ^{ns}	00.0039 ^{ns}	00.0013 ^{ns}
Drought Stress	تنش خشکی	3	0.2177 ^{**}	0.2108 ^{**}	0.8568 ^{**}	0.2046 ^{**}
Error	خطای آزمایشی	9	0.0021	0.0020	0.0081	0.0019
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)	-	0.72	0.83	0.76	3.47

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, **: Not significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی مرزه

Table 6. Mean Comparison of the effects of drought stress on photosynthetic pigments in *Satureja hortensis* L.

تیمار Treatment	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.gr fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.gr fw)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.gr fw)	کارتنوئید Carotenoid (mg.gr fw)
T ₁₀₀	6.61 ^a	5.75 ^a	12.36 ^a	1.55 ^a
T ₈₀	6.37 ^b	5.53 ^b	11.90 ^b	1.34 ^b
T ₆₀	6.23 ^c	5.38 ^c	11.61 ^c	1.19 ^c
T ₄₀	6.06 ^d	5.21 ^d	11.27 ^d	1.01 ^d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

T₁₀₀: ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T₈₀: ۸۰ درصد نیاز آبی، T₆₀: ۶۰ درصد نیاز آبی و T₄₀: ۴۰ درصد نیاز آبی

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

T₁₀₀: 100% water requirement, T₈₀: 80% water requirement, T₆₀: 60% water requirement and T₄₀: 40% water requirement.

نتیجه‌گیری کلی

میزان هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فتوسنتز بیشترین اثرپذیری تحت تأثیر تنش خشکی را نسبت به سایر پارامترهای مربوط به تبادلات گازی داشتند. اثر تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز معنی‌دار بود. با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید کاهش یافت. با توجه به این پژوهش و تحقیقات اندکی که روی گیاهان دارویی به‌ویژه مرزه انجام‌شده، پیشنهاد می‌شود از تیمارهای تنش در مراحل مختلف نموی برای بررسی دقیق‌تر و بهتر واکنش گیاه مرزه به تنش خشکی نیز استفاده گردد.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش تبادلات گازی شامل شاخص هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، دی‌اکسید کربن درون‌سلولی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و کارایی کربوکسیلاسیون شد. بیشترین مقادیر پارامترهای فوق مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقادیر مربوط به تیمار ۴۰ درصد تأمین نیاز آبی بود که نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۶۸/۰۸، ۵۹/۹۰، ۶۱/۴۲، ۳۷/۹۶، ۲۰/۷۹ و ۳۷/۵ درصد کاهش یافتند. بر اساس نتایج،

منابع

- Abdoli, M., Saeidi, M., 2013. Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phenological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. *Albanian Journal of Agriculture Sciences*. 12 (2), 255-265.
- Ardalani, S., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S., Ghobadi, M., Abdoli, M., 2015. Effect of post anthesis drought stress on some agronomic and physiological traits related to source strength in four bread wheat genotypes. *Cereal Research*. 5(1), 45-65. [In Persian with English summary].
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-10.
- Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*. 51(2), 163-190.
- Azimzadeh, M., 2009. Genetic Evaluation of Iranian *Bunimimom persicom* Using ITS. Tehran University Press. 81 pages. [In Persian].
- Baher, Z. F., Mirza, M., Ghorbanli, M., Bagher Rezaei, M., 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. *Flavour and Fragrance Journal*. 17(4), 275-277.
- Baker, N.R., Rosenqvist, E., 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*. 55(403), 1607-1621.
- Barutcular, C., Genc, I., Koc, M., 2000. Photosynthetic water use efficiency of old and modern durum wheat genotypes from southeastern Turkey. In Proc. Seminar on durum wheat improvement in the Mediterranean region. New challenges, Series A. 40, 233-238.
- Bastam, N., Baninasab, B., Ghobadi, C., 2013. Interactive effects of ascorbic acid and salinity stress on the growth and photosynthetic capacity of *pistachio* seedlings. *Horticultural Science and Biotechnology*. 88(5), 610-616.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M., Ben Abdallah, F., 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*. 67, 345-352.
- Cornic, G., 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in plant science*. 5(5), 187-188.
- Eskandari, M., 2013. Changes in growth parameters and essential oil content of *Satureja bachtiarica* Bunge under the effects of 28-Homobrassinolid and drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 29(1), 176-186. [In Persian with English summary].
- Esmailpour, B., Jalilvand, P., Hadian, J., 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*. 5(2), 169-177. [In Persian with English summary].
- Fabriki, O.S., Mehrabad, P.S., 2016. The effects of drought and salt stresses on some morphological and biochemical parameters of savory (*Satureja hortensis* L.). *Eco-Phytochemical Journal of Medical Plants*. 4(3), 23-35. [In Persian with English summary].
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1987. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research*. 29, 897- 912.
- Gontia, N.K., Tiwari, K.N., 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural water management*. 95(10), 1144-1152.
- Gupta, N.K., Gupta, S., Kumar, A., 2001. Effect of Water Stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*. 186, 55-62.
- Heidari, N., 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Plant Researches*. 27(5), 829-839. [In Persian with English summary].
- Hossinzadeh, S., Salimi, A., Ganjeali, A., Ahmadpour, R., 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer*

- arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology. 5(18), 115-132. [In Persian with English summary].
- Jia, Y., Gray, V.M., 2004. Interrelationship between nitrogen supply and photosynthetic parameters in *Vicia faba* L. Journal of Photosynthetic. 41 (4), 605 – 610.
- Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A., Aghaalikhani, M., 2015. Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. Photosynthetic. 53(1), 29-34.
- Kimbal, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free air CO₂ enrichment. Advances in Agronomy. 77, 293-368.
- lexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., Medrano, H., 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. Plant, Cell & Environment. 31(5), 602-621.
- Mehdi Khanimghadam, A., Haghighikarizak, H. And the tightening of the global demand, M., 2010. Major Diseases of Medicinal Plants. Publications University of Mashhad. 196 pages. [In Persian].
- Moosavifar, B., Khazaei, H., Kafi, M., 2018. The effect of drought stress on some photosynthetic characteristics of kochia (*Kochia scoparia* L.) in a greenhouse trial. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11(3), 603-614. [In Persian with English summary].
- Pessaraki, M., Huber, J. T., Tucker, T. C. 1989. Protein synthesis in green-beans under salt stress with two nitrogen sources. Journal of Plant Nutrition. 12(11), 1361-1377.
- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. 53(1), 47-56.
- Reddy, R., Choityana, K.V.A., Ivekanadan A., 2004. Drought-induced response of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Plant Physiology. 161(11), 1189-1202.
- Ritchie, S., Nguyen, H., Holaday, A., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30(1), 105-111.
- Sanjari, M.M, Siroosmehr, A.R., and Fakheri, B.A., 2015. Effect of Drought Stress and Humic Acid on Some Physiological Properties of Sour Tea. Journal of Agriculture. 17(2), 403-414. [In Persian with English summary].
- Satil, F., Kaya, A., 2007. Leaf anatomy and hairs of Turkish *Satureja* L. (Lamiaceae). Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. 49(1), 67-76.
- Sodaiizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A. M., Hakim zadeh, M. A., 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. Plant Process and Function. 5 (15), 1-11. [In Persian with English summary].
- Sudhakar, P., Latha, P., Reddy, P.V., 2016. Phenotyping Crop Plants for Physiological and Biochemical Traits. Academic Press. 196 p.
- Taiz, E., Zeiger, L., 2002. Plant Physiology, Third edition. Jhon Wiely. New York.
- Tezara, W., Martinez, D., Rengifo, E., Herrera, A., 2003. Photosynthetic responses of the tropical Spiny shrub *Lycium nodosum* (Solanaceae) to drought, soil salinity and saline spray. Annals of Botany. 92(6), 757-765.
- Tiwari, H., Agarwal, R., Bhatt, P., 1998. Photosynthesis, stomata resistance and related characteristics as influenced by potassium under normal water supply and water stress condition in rice. Indian Plant Physiology. 3(4), 314-316.
- Xiao, X., Xu, X., Yang, F., 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. Silva Fennica. 42, 705-719.
- Yamori, M., Hikosaka, K., Way, D.A., 2013. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. Photosynthesis Research. 13(98), 74-76.



Original article

Investigation of the drought stress on some photosynthetic and morphological indicators of summer savory (*Satureja hortensis* L.)

S.H. Hosseinian¹, M. Saeedinia^{2*}, F. Beiranvand³

1. Ph.D. Student of Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

3. Ph.D. Student of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

Received 13 April 2019; Accepted 12 June 2019

Abstract

In order to better management of plant performance under conditions of drought stress and study of the condition of plant growth, transpiration, plant stomatal conductance, plant photosynthesis (main determinant of plant growth), photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid), a completely randomized block design with three replications was conducted in the Faculty of Agriculture of Lorestan University in 2017. The water stress treatments including 100, 80, 60 and 40 Percent of water requirement were applied. Irrigation was performed based on weighing method. Gas exchange measurements and morphological harvesting were done 80 and 90 days after stress. Results showed that water stress treatment has a significant reduction of stomatal conductance, transpiration rate, photosynthesis rate, intercellular CO₂ concentration, photosynthetic water use efficiency and carboxylation efficiency. The highest values of the above parameters were related to control treatment and the lowest values were observed in treatment of 40% of water requirement. these values were decreased 68.08%, 59.99%, 61.42%, 37.96%, 20.79% and 37.5%, respectively, compared to the control treatment. As the result showed, the amount of stomatal conductance, transpiration rate, photosynthesis rate are affected by drought stress more than other parameters. Photosynthetic pigments were decreased significantly by increasing drought stress. The highest and lowest of chlorophyll a and b and carotenoid observed in control and heavy drought stress. Finally, drought stress significantly reduced the growth parameters such as plant height, stem diameter, dry weight of the plant.

Keywords: Drought stress, Photosynthetic rate, Summer savory, Stomatal conductance, Transpiration rate

*Correspondent author: Mehri Saeedinia; E-Mail: saeedinia.m@lu.ac.ir