

بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis*)

حمید سودائی زاده^{۱*}، مریم شمسایی^۱، مهدیه تجملیان^۱، سید علی محمد میرمحمدی میدی^۲
و محمدعلی حکیم زاده^۱

^۱ گروه مدیریت مناطق خشک، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶)

چکیده:

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه مرزه (*Satureja hortensis*)، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار در چهار تکرار و در سال ۱۳۹۳ در گلخانه دانشگاه یزد اجرا شد. در این آزمایش، تیمارهای رطوبتی ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. نتایج حاصل نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی دار ($P < 0.01$) ارتفاع، سطح و حجم تاج پوشش، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ضخامت ریشه و قندهای محلول شد. میزان پرولین، محتوی کلروفیل و همچنین طول ریشه تحت تنش خشکی افزایش یافت. بیشترین مقدار پرولین، کلرفیل *a* و *b* و کل و طول ریشه در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بیشترین ارتفاع، حجم تاج، سطح برگ مربوط به تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه و سطح تاج در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) مشاهده شد. به طور کلی نتایج بیانگر آن است که گیاه مرزه با به کارگیری برخی مکانیسم‌های دفاعی از قبیل کاهش معنی دار ارتفاع گیاه، قطر و حجم تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ و از طرف دیگر کاهش ضخامت و افزایش طول ریشه‌ها، افزایش محتوی پرولین و کلروفیل در مقابل تنش خشکی تا حدی مقاومت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اندام هوایی، ظرفیت زراعی، کلروفیل، پرولین، قند، مرزه (*Satureja hortensis*).

مقدمه:

اهمیت است. در این راستا بسیاری از کشاورزان بومی این مناطق، کشت گیاهان سازگار را انتخاب کرده‌اند (بنیان اول و همکاران، ۱۳۹۰). گونه‌های مختلف گیاهی از نظر مقاومت به خشکی دامنه وسیعی را نشان می‌دهند که به دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی آنها می‌باشد. عوامل مورفولوژیک مانند تغییر در سطح برگ، سطح و حجم تاج پوشش، وزن کل بیوماس و یا وزن تاج پوشش،

مقدار آب در دسترس گیاه از عوامل مهم اقلیمی مؤثر بر توزیع و پراکنش گیاهان در سرتاسر جهان بوده و می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه شود (حسنی و امیدبیگی، ۱۳۸۱). خشکی و شوری به عنوان دو مشکل مهم توسعه کشاورزی ایران مطرح است، لذا انتخاب گونه‌های مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار حائز

مورفولوژیک آویشن را بررسی و نشان دادند افزایش تنش خشکی موجب کاهش صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک و وزن تر اندام رویشی، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه کاهش می‌شود. همچنین احیایی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تاثیر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی سه گیاه دارویی خار مریم، همیشه بهار و سیاه‌دانه نشان دادند که بیشترین ماده خشک تولیدی، تعداد برگ، دانه، وزن هزاردانه در تک بوته، ساقه و برگ در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار در تیمار ۲۵ درصد مشاهده شد.

تغییرات فیزیولوژیکی گیاهان در مواجهه با تنش خشکی نیز موضوع مطالعات متعدد دانشمندان بوده است. عباس‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) بیان کردند که بیشترین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۰۰، ۲۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین تجمع پرولین مربوط به تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بالاترین قندهای محلول متعلق به تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و حداکثر محتوای آب نسبی بافت مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. صفی‌خانی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش کردند که تأثیر سال و تیمار تنش خشکی بر درصد اسانس و مقدار پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارها مشخص نمود که در سال اول بیشترین عملکرد اسانس، قندهای محلول و کلروفیل به ترتیب مربوط به تیمارهای ۶۰، ۴۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و در سال دوم بیشترین مقدار پرولین، قندهای محلول و کلروفیل به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود.

با توجه به نقش دارویی گیاه مرزه از نظر طب سنتی دارای خواص مختلف می‌باشد، و امکان توسعه کشت آن در مناطقی از کشور، اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک

ارتفاع، قطر، طول میان‌گره، قطر تنه، سطح مقطع تنه، زاویه انشعاب شاخه با تنه اصلی، زاویه انشعاب برگ با شاخه، رشد افقی و عمودی ریشه، تراکم ریشه در واحد حجم خاک می‌تواند بر میزان مقاومت گیاه به تنش خشکی نقش داشته باشند (صباغ پور، ۱۳۸۳؛ Thomas and Gausling, 2000). برخی تغییرات فیزیولوژیک گیاهان مقاوم به خشکی در طی بروز تنش خشکی نیز موجب ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها می‌شود (Reddy et al., 2004).

مرزه گیاهی است از خانواده نعنائیان و در ایران ۱۲ گونه علفی یکساله و چند ساله دارد که ۸ گونه آن مختص ایران است. *Satureja hortensis* که به مرزه تابستانه معروف است، گیاهی است یکساله که مناسب کشت در مناطق گرم و خشک با نور زیاد می‌باشد (مظفریان، ۱۳۷۵). این گیاه در درمان دردهای عضلانی، کرامپ، تهوع، بیماری‌های عفونی و اسهال کاربرد دارد و همچنین هضم‌کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، ضد درد، ضد سرطان، محرک و مقوی معده می‌باشد (تجلی و همکاران، ۱۳۹۱). بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده تاکنون مطالعه جامعی در زمینه واکنش این گیاه به تنش خشکی صورت نگرفته است. با این وجود عکس‌العمل گیاهان دارویی مختلف به تنش خشکی در تحقیقات متعددی بررسی شده است. برای مثال بزازی و همکاران (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه دارویی شنبلیله را ارزیابی کردند و کاهش تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه) در اثر تنش خشکی را گزارش نمودند. مختاری و برادران (۱۳۹۰) نیز بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی گیاه دارویی مرزه *Satureja hortensis* شد، به طوری که بیشترین آنها مربوط به تیمار بدون تنش (آبیاری معمول منطقه هر ۵ روز یکبار) و کمترین میانگین صفات مربوط به تیمار دور آبیاری ۹ روز بود. بابایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز اثر تنش خشکی بر صفات

(۲) زمانی که قطر کمتر از ارتفاع باشد:

$$V = \frac{4}{3} \pi ab^2$$

که در این فرمول‌ها a برابر با ارتفاع گیاه، b قطر متوسط گیاه و V حجم تاج پوشش است.

ضخامت ریشه نیز با استفاده از یک کولیس دیجیتالی اندازه گیری شد. همچنین وزن خشک ریشه و اندام هوایی با قراردادن در آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (سلاح‌ورزی و همکاران، ۱۳۸۷).

برای اندازه‌گیری میزان آماس نسبی برگ یا مقدار محتوای آب (RWC) مقداری از برگ گیاه را در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر قرار داده تا برگ به اندازه نیاز آب جذب نماید. پس از ۴ ساعت که برگ‌ها به حالت آماس کامل درآمدند، از آب خارج نموده و با کاغذ صافی آنها را خشک و وزن آماس شده برگ اندازه‌گیری شد. پس از توزین، برگ‌ها در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و پس از خشک شدن مجدداً وزن شدند. با قرار دادن اعداد به‌دست آمده در فرمول زیر، مقدار RWC محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۴): (۳)

$$\text{میزان نسبی آب برگ} = \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تر برگ}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن برگ آماش کرده}} \times 100$$

برای محاسبه کلروفیل از روش Arnon (۱۹۶۷) استفاده شد. در این روش از هر نمونه مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاه توزین شده و به درون هاون ریخته شد و سپس با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و له شد و به لوله آزمایش انتقال داده شد و سپس درون سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. بعد از تنظیم نمودن دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Jenvey Uv/vis 6300) و کالیبره کردن با استون، عصاره جداشده، درون آن قرار داده شد و میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد و بر اساس فرمول مقدار هر کدام به دست آمد:

$$(۴) \quad a = \frac{12.7(a_{663}) - 2.29(b_{645})}{v/w} \times 1000$$

$$(۵) \quad b = \frac{22.9(b_{645}) - 4.73(a_{663})}{v/w} \times 1000$$

$$(۶) \quad \text{کلروفیل کل} = a + b$$

و فیزیولوژیک این گیاه و ارزیابی واکنش آن در مقابله با تنش خشکی در این تحقیق اجرا گردید.

مواد و روش‌ها:

این مطالعه در سال ۱۳۹۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در گلخانه دانشگاه یزد تحت شرایط دمایی ۲۶ درجه و رطوبت ۳۰ درصد انجام شد. تیمارهای رطوبتی شامل ۱۰۰ (شاهد)، ۵۰، ۷۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود.

برای کشت نهال‌ها از گلدان‌های مناسب و زهکش‌دار به ارتفاع ۲۱ و قطر ۲۰ سانتیمتر استفاده و به منظور کاهش تبادل حرارتی بین خاک داخل و محیط بیرون، سطح آنها با فوم عایق‌بندی شد. به‌منظور بهبود وضعیت زهکشی، در کف گلدان‌ها سنگریزه ریخته شد و در زیر گلدان‌ها از ظرفی جهت خارج‌شدن آب اضافی استفاده شد. جهت انجام آزمایش ابتدا گلدان‌های پلاستیکی انتخاب و پس از ریختن پنج سانتیمتر سنگریزه در کف گلدان، با نسبت یک به سه با خاک شنی و کود برگ پر شدند (جدول ۱). به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده و آبیاری بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت‌های زراعی تعیین شده انجام گرفت.

ویژگی‌های مورفولوژیک مورد بررسی در این پژوهش شامل ارتفاع گیاه، حجم و سطح تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول بزرگترین ریشه و ضخامت ریشه بود. ویژگی‌های فیزیولوژیکی نیز شامل کلروفیل a ، کلروفیل b ، کلروفیل کل، پرولین، قندهای محلول و محتوی نسبی آب بود.

در پایان فصل رشد ارتفاع گیاهان و قطر متوسط (شمال-جنوب و شرق-غرب) بر حسب سانتی‌متر مورد محاسبه قرار گرفت. با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر گیاهان در دو جهت شمال-جنوب و شرق-غرب میزان حجم گیاه با فرمول‌های ذیل محاسبه شد (خزاعی و کافی، ۱۳۸۲):

(۱) زمانی که ارتفاع کمتر از قطر باشد:

$$V = \frac{4}{3} \pi a^2 b$$

جدول ۱- برخی خصوصیات خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

هدایت الکتریکی (ds/m)	واکنش خاک (pH)	کربن آلی (درصد)	مواد آلی (درصد)	ظرفیت زارعی (%)
۲	۶/۹۹	۲/۹۹	۵/۱۵۴	۱۷/۲۲

۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. میزان پرولین بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد. در این روش برای کمی کردن تغییرات پرولین در نمونه های مورد آزمایش، یک منحنی استاندارد جذب بر اساس دامنه تغییر رنگ در نمونه‌هایی با مقادیر پرولین مشخص محاسبه شد. بدین منظور ابتدا محلول استاندارد پایه پرولین با حل کردن پرولین خالص در آب مقطر به غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون تهیه شد و سپس ۷ محلول استاندارد با غلظت صفر، ۲، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ قسمت در میلیون از محلول پایه مذکور تهیه شد. استاندارد صفر به عنوان بلانک دستگاه مورد استفاده قرار گرفت.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با توجه به نرمال بودن داده‌ها و تساوی واریانس‌ها از روش تجزیه واریانس یک طرفه و برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن استفاده شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم افزار آماری SPSS۱۶ استفاده گردید.

نتایج و بحث:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ویژگی‌های مورفولوژیکی اندام هوایی مرزه نشان داد که اثر تنش خشکی بر ارتفاع، سطح و حجم تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج به دست آمده مقایسه میانگین آزمون دانکن، افزایش تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیکی اندام هوایی شد. بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار ۷۵ درصد بود که با تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱- a). همچنین بیشترین مقدار سطح برگ در تیمار ۷۵ درصد و کمترین مقدار در تیمار ۲۵ درصد بود که با تیمار ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱- b). رشد رویشی در گیاهان تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد که از مهمترین این عوامل میزان آب در

W: وزن نمونه بر حسب گرم
V: حجم نمونه قرار گرفته در دستگاه اسپکتروفوتومتر

a: میزان جذب صورت گرفته در طول موج ۶۶۳

b: میزان جذب صورت گرفته در طول موج ۶۴۵

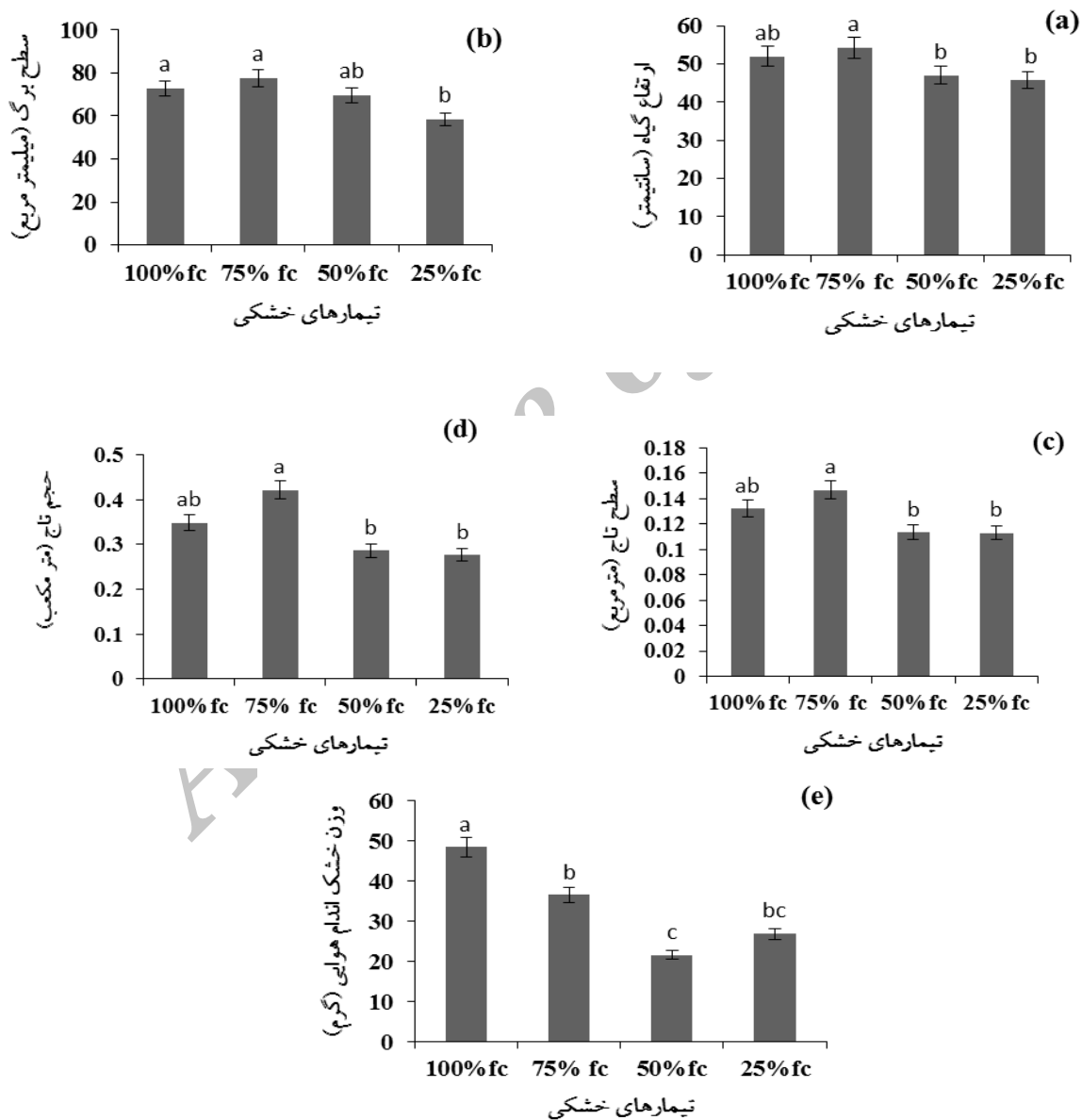
همچنین برای سنجش قندهای محلول از روش Kochert (۱۹۷۸) استفاده شد در این روش، ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت یک هفته، ۱ میلی لیتر از محلول رویی نمونه برداشته و سپس بر روی آن ۱ میلی لیتر فنول ۵ درصد اضافه کرده و خوب بهم زده و پس از آن ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد. محلول زرد رنگی به دست آمد که به مرور زمان تغییر رنگ داده و به قهوه‌ای روشن تمایل پیدا کرد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و کالیبره کردن با اتانول، در طول موج ۴۸۵ نانومتر، میزان جذب قرائت گردید و میزان قند محلول بر حسب میلی گرم بر گرم وزن خشک به دست آمد.

برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۹۳) استفاده شد و در این روش مقدار ۰/۵ گرم از اندام های هوایی (برگ و ساقه) را توزین و در ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف گردید. ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک خالص به نمونه‌ها در داخل لوله آزمایش افزوده شد و سپس لوله‌ها در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. در مرحله بعد لوله‌ها در حمام یخ به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. بعد از گذشت این مدت، به هر لوله آزمایش ۴ میلی لیتر تولوئن افزوده گردید و لوله‌ها خوب تکان داده شدند. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و کالیبره کردن آن، میزان جذب لایه رنگی فوقانی در طول موج

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف خشکی بر روی صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده در اندام هوایی مرزه

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	سطح تاج	حجم تاج	وزن خشک اندام هوایی	سطح برگ
تیمارهای خشکی	۳	۱۴۱/۶۶**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۱۵**	۸۵۷/۲۶**	۲۶۷/۳۲**
خطا	۱۲	۳/۲۵۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۱۴/۳۶	۲۱۷/۵
ضریب تغییرات	-	۱۱	۱۱/۱۱	۶/۶	۲۷/۱۴	۱۴/۶۳

ns،**،* به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵درصد، معنی‌داری در سطح ۱ درصد، عدم وجود تفاوت معنی‌دار



شکل ۱- تاثیر تیمارهای مختلف خشکی بر میانگین برخی صفات مورفولوژیکی اندام هوایی مرزه (a) ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، (b) سطح برگ (میلیمتر مربع)، (c) سطح تاج (مترمربع)، (d) حجم تاج (مترمربع)، (e) وزن خشک اندام هوایی (گرم) (میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند).

خشک ریشه، ضخامت و طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی اثر معنی داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ریشه گیاه مرزه نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد بود و کمترین مقدار با ۴۴ درصد کاهش مربوط به تیمار ۲۵ درصد بود که با ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۲-۲). کاهش معنی دار ماده خشک ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به عنوان یکی از مهمترین اجزاء گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. در واقع با پیشرفت تنش خشکی همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری متوقف می‌گردد (مختاری و برادران، ۱۳۹۰).

بیشترین میانگین ضخامت ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۲۵ درصد بود و تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از این نظر اختلاف معنی داری باهم نداشتند (شکل ۲-۲). بنابراین در این آزمایش مشخص گردید که گیاه مرزه با تولید ریشه‌های نازک‌تر در پاسخ به تنش خشکی از یک استراتژی مناسب استفاده کرده و بدین وسیله جذب عناصر غذایی را با حداقل صرف انرژی ادامه داده است. اسید آبسزیک که در زمان تنش در گیاهان تجمع پیدا می‌کند دلیل اصلی کاهش ضخامت و تولید تارهای کشنده است (گزانچیان و همکاران، ۱۳۸۴). کاهش ضخامت ریشه در تاج در مطالعه راد و همکاران (۱۳۸۷) و کاهش ۵۴ درصدی ضخامت ریشه در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در دو رقم فستوکای بومی و تجاری در مطالعه سلاح ورزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

بیشترین مقدار طول ریشه مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود که با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت، کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد بود (شکل ۲-۲). این نتایج نشان می‌دهد که رفتار ریشه گیاه متأثر از تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش تنش رطوبتی

دسترس می‌باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (سلاح‌ورزی و همکاران، ۱۳۸۷) که در مطالعه حاضر نیز ارتفاع گیاه و سطح برگ با افزایش تنش کاهش یافت. بابایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک در آویشن به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی اثر معنی دار و کاهشی بر پارامترهای رشدی و عملکرد اندام رویشی از جمله ارتفاع و سطح برگ گیاه داشت.

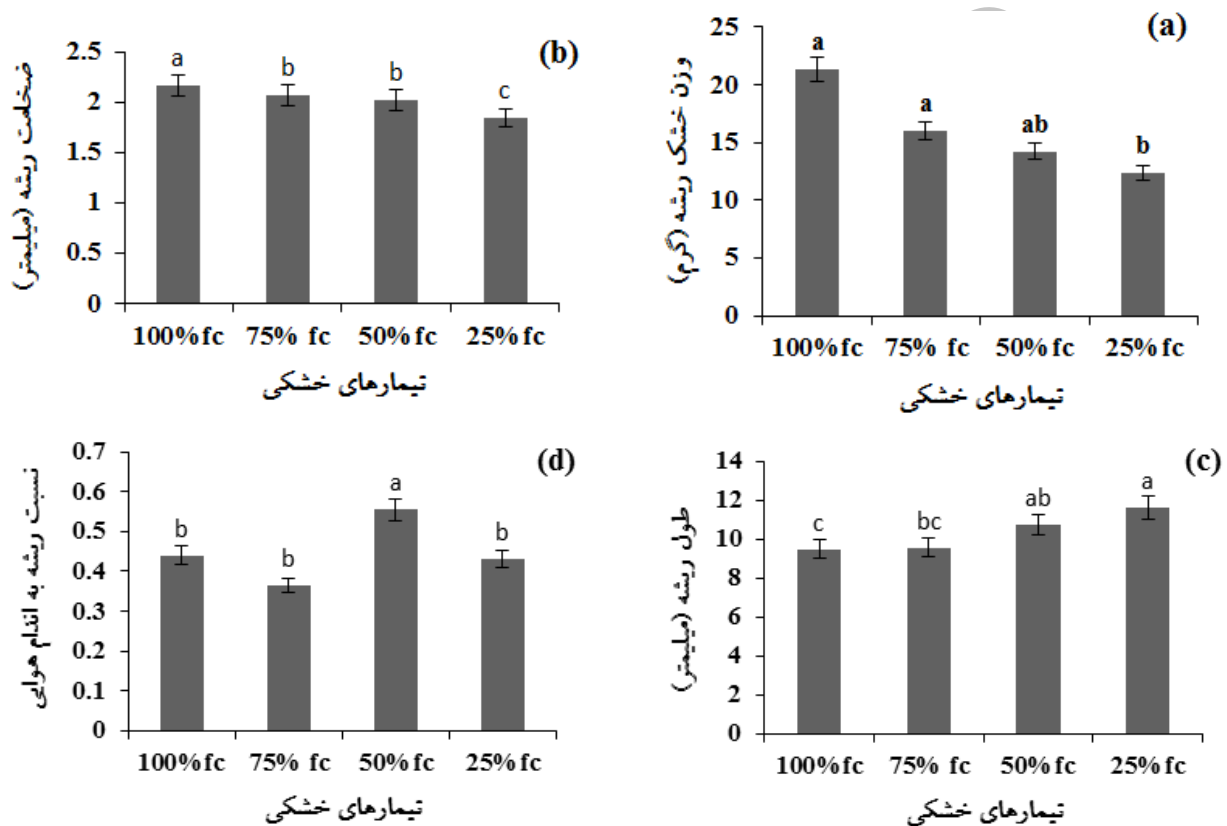
نتایج بررسی سطح و حجم تاج نیز نشان داد که بیشترین سطح تاج مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین مقدار حجم تاج در تیمار ۷۵ درصد به‌دست آمد. کمترین مقدار این دو صفت به ترتیب مربوط به تیمار ۲۵ درصد بود که با تیمار ۵۰ درصد از این نظر تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۱-۱ c و d). گیاه در مواجهه با تنش خشکی به‌منظور کاهش میزان جذب تشعشع، زاویه انشعاب شاخه‌های خود را نسبت به ساقه اصلی کاهش داده که این عمل باعث کاهش قطر تاج و در نتیجه حجم گیاه می‌گردد (حسینی و امیدبیگی، ۱۳۸۹). نتایج به‌دست آمده توسط اردکانی و همکاران بر روی بادرنجبویه (۱۳۸۹)، صفی‌خانی و همکاران (۱۳۸۷) در مورد گیاه بادرنجبویه نیز با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

بیشترین ماده خشک در بخش هوایی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که با تیمار ۲۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۱-۱ e). در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه باشد (Lawlor, 2002). باهرنیک و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد بوته و اسانس گیاه مرزه به این نتیجه رسیدند که وزن تر و وزن خشک کل تحت تنش کاهش یافته است. بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک ریشه گیاه مرزه نشان داد که تنش خشکی بر وزن

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر روی صفات مورفولوژیکی اندازه گیری شده در ریشه مرزه

منابع تغییرات					میانگین مربعات
تیمارهای خشکی	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	ضخامت ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی
تیمارهای خشکی	۳	۱۲۹/۲۴**	۴/۰۶**	۰/۶۶**	۰/۲۵**
خطا	۱۲	۱/۸۵	۰/۵۹۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات		۲۴/۹	۱۰/۸۹	۵/۹۷	۴/۵

ns, **, * به ترتیب معنی داری در سطح ۵ درصد، معنی داری در سطح ۱ درصد، عدم وجود تفاوت معنی دار



شکل ۲- تأثیر تیمارهای خشکی بر (a) وزن خشک ریشه (b) ضخامت ریشه (c) طول ریشه (d) نسبت ریشه به اندام هوایی (میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند).

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی در اختلاف معنی داری از این نظر مشاهده نشد (شکل ۲-d). افزایش این نسبت در تیمار ۵۰ درصد نشان دهنده کارایی این گیاه در توسعه ریشه‌ها در استفاده از آب در شرایط تنش خشکی متوسط است.

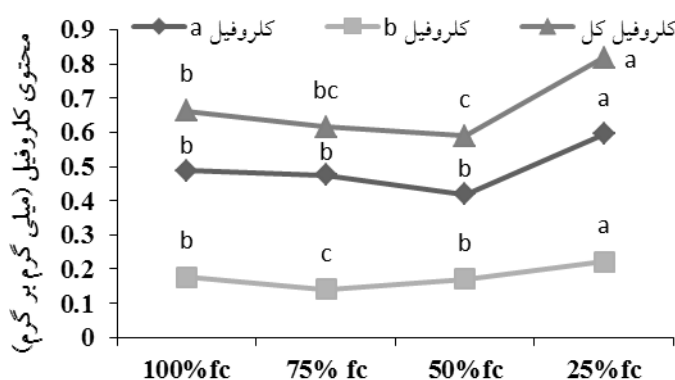
نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی مرزه بیانگر آن است که اثر تنش خشکی بر همه صفات مورد اندازه گیری به جز

به عنوان یک عامل محدودکننده، ریشه‌ها به دنبال رطوبت بوده و در اعماق که رطوبت بیشتری در دسترس بوده است، توسعه بیشتری یافته‌اند (راد و همکاران، ۱۳۸۷). خزاعی و کافی (۱۳۸۸) (۱۳۸۲) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد ریشه و توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوایی در ارقام مقاوم و حساس گندم بیان کردند که ارقام مقاوم در برابر ارقام حساس در شرایط تنش خشکی طول ریشه بیشتری داشتند. همچنین

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف خشکی بر روی صفات فیزیولوژیکی گیاه مرزه

منابع تغییرات		میانگین مربعات					درجه آزادی	
محتوای نسبی آب برگ	قندهای محلول	پرولین	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a			
۲۶/۲۹ ^{ns}	۰/۲۸ ^{**}	۰/۱۴ ^{**}	۰/۴۲ ^{**}	۰/۰۰۴ ^{**}	۰/۲۲ ^{**}	۳	تیمارهای خشکی	
۳/۲۵۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱۲	خطا	
۱۱/۳۵	۱۴/۵	۷/۰۷	۱۴/۶۱	۱۸/۷۵	۱۵/۶۸	-	ضریب تغییرات	

** معنی داری در سطح ۱ درصد* معنی داری در سطح ۵ درصد،^{ns} عدم وجود تفاوت معنی دار



شکل ۳- تاثیر تیمارهای خشکی بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل (میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند).

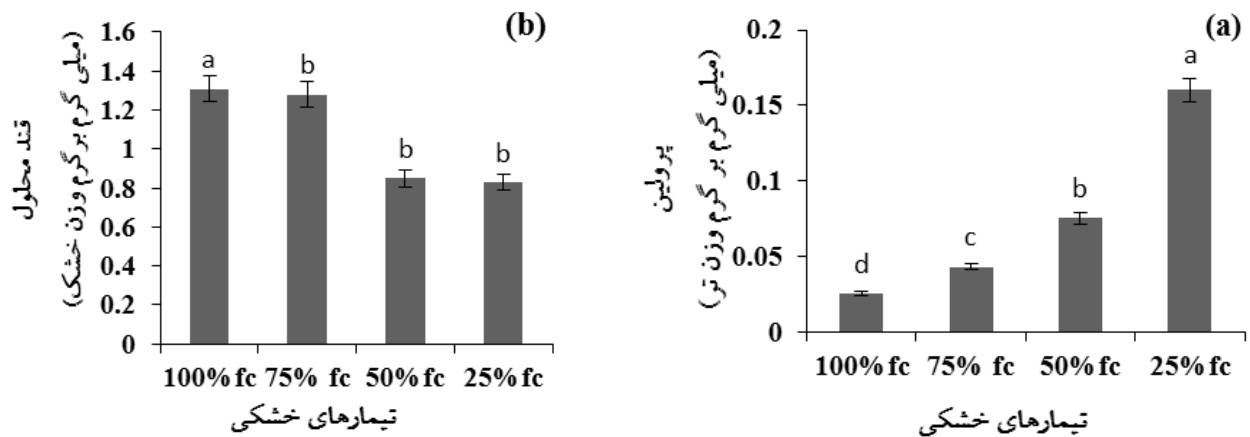
شکل ۳- تاثیر تیمارهای خشکی بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل (میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند).

گنجایش نسبی آب برگ که بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری نداشت، در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود که با سایر تیمارها از این نظر اختلاف معنی داری داشت. کمترین میزان مربوط به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بود که با تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت. بیشترین مقدار کلروفیل b نیز مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۷۵ درصد بود. در مورد کلروفیل کل نیز بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۵۰ درصد بود که با تیمار ۷۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۳). افزایش کلروفیل در شرایط تنش نشان می‌دهد که در تنش خشکی رنگدانه‌های

کلروفیل تا حدی به کاهش آب مقاوم هستند (Schutz and Fangmeir, 2001). در نتایج مشابه با این تحقیق، گلدانی و سرو آزاد (۱۳۹۰) افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در اکوتیپ‌های ریحان (*Ocimum basilicum* L) در اثر اعمال تنش رطوبتی را گزارش نمودند. Luvha و همکاران (۲۰۰۸) نیز با بررسی گیاه *Mangifera indica* گزارش کردند که با افزایش تنش، کلروفیل a و کلروفیل کل به صورت یکنواختی افزایش یافتند.

بیشترین مقدار پرولین مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری داشت (شکل ۴-ا). بررسی محتوای پرولین در بین تیمارهای رطوبتی مختلف نشان داد که بیشترین مقدار پرولین مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری

بیشترین مقدار کلروفیل b نیز مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۷۵ درصد بود. در مورد کلروفیل کل نیز بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۲۵ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۵۰ درصد بود که با تیمار ۷۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۳). افزایش کلروفیل در شرایط تنش نشان می‌دهد که در تنش خشکی رنگدانه‌های



شکل ۴- تأثیر تیمارهای تنش خشکی بر (a) پروتئین (b) قند محلول و (میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند).

نتیجه‌گیری:

از راه‌های رایج برای تنظیم آب گیاه و حفظ تورژسانس سلول‌های آن، کاهش تعرق است. مکانیسم‌های مختلفی چون کاهش جذب تشعشع، افزایش مقاومت روزنه ای و کوتیکولی برای تحقق این کاهش در گیاه انجام می‌شود. طرز قرارگرفتن برگ، زاویه انشعاب شاخه با تنه اصلی، زاویه انشعاب برگ با شاخه، تغییر در سطح برگ در کاهش جذب تشعشع موثر بوده که کاهش میزان حرارت برگ و در نهایت کاهش سرعت تعرق را به دنبال خواهد داشت. به‌طور کلی نتایج این تحقیق بیانگر آن است که گیاه مرزه با به کارگیری برخی مکانیسم‌های دفاعی از قبیل کاهش معنی‌دار قطر و حجم تاج‌پوشش، ارتفاع گیاه، وزن اندام هوایی و کاهش سطح برگ، سطوح تعرق کننده خود را کاهش داده است. از طرف دیگر این گیاه با کاهش ضخامت ریشه‌ها و تولید ریشه‌های نازک‌تر، واکنش مناسبی در مقابل تنش خشکی نشان داده و بدین وسیله جذب عناصر غذایی را با حداقل صرف انرژی ادامه می‌دهد.

همچنین بر اساس نتایج این مطالعه، تجمع میزان پروتئین در اندام‌های هوایی مرزه در مواجهه با تنش خشکی از دیگر مکانیسم‌های مقاومت به خشکی این گیاه به حساب می‌آید. تجمع سریع مواد آلی تنظیم کننده فشار اسمزی نظیر پروتئین منجر به کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی شده و از این طریق آب جذب گیاه می‌شود. از طرف دیگر گیاه مرزه با

داشتن در واقع تجمع پروتئین در اثر تنش خشکی یک واکنش عمومی است که به علت ساخت پروتئین در بافت‌ها (Schonfeld *et al.*, 1988)، ممانعت از اکسیداتیو پروتئین و جلوگیری از شرکت پروتئین در ساخت پروتئین‌ها صورت می‌گیرد (Pedrol *et al.*, 2000). صفی‌خانی و همکاران (۱۳۸۶) نیز در بررسی تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L) گزارش کردند که تنش رطوبتی باعث افزایش مقدار پروتئین شد. همچنین بابایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر میزان پروتئین در آویشن به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر انباشت پروتئین داشته و میزان آن را افزایش داده است.

بیشترین مقدار قند محلول مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۲۵ درصد بود که با سایر تیمار ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-ب). قندهای محلول به‌عنوان محافظت کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند و منبع اصلی ذخیره کربن آلی می‌باشند. اما قند محلول تنها پارامتر مهم در تنظیم اسمزی و حفظ فشار اسمزی نیست (تجمیلیان و همکاران، ۱۳۹۰). تجمیلیان و همکاران (۱۳۹۱) نیز کاهش اندک میزان قند محلول در اثر تنش خشکی را در گیاه قلم (*Fortuynia bungei* Boiss) گزارش کردند.

که واکنش گیاه مذکور به تنش خشکی و سایر تنش‌های غیر زیستی در شرایط مزرعه نیز بررسی شود.

۲۸۳.

تهرانی‌فر، ع.، سلاح ورزی، ی.، گزانچیان، ع. و آروبی، ح. (۱۳۸۸). بررسی پاسخ‌های گراس‌های بومی و وارداتی در چگونگی اجتناب از خشکی (بخش هوایی)، علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳: ۹-۱.

حسینی، ع. و امیدبیگی، ر. (۱۳۸۱) اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان، دانش کشاورزی ۱۲: ۵۹-۴۷.

خزاعی، ک. و کافی، م. (۱۳۸۲) تاثیر تنش خشکی بر رشد ریشه و توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوایی در ارقام مقاوم و حساس گندم، پژوهش‌های زراعی ایران ۱: ۳۳-۴۱.

راد، م. ه.، عصاره م. و سلطانی، م. (۱۳۸۹) واکنش ریشه اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) نسبت به تنش خشکی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸ (۲): ۲۸۵-۲۹۶.

راد، م. ه.، مشکوه، م. ع. و سلطانی، م. (۱۳۸۸) تاثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۶: ۴۳-۳۴.

رسول‌زادگان، ی. (۱۳۶۸) میوه‌کاری در مناطق معتدله، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.

سلاح ورزی، ی.، تهرانی‌فر، ع. و گزانچیان، ع. (۱۳۸۷) بررسی تغییرهای فیزیومورفولوژیک سبز فرش‌های بومی و خارجی، در تنش خشکی و آبیاری دوباره، علوم و فنون باغبانی ایران ۹: ۲۰۴-۱۹۳.

صباغ‌پور، س. ح. (۱۳۸۳) شاخص‌ها و مکانیزم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی. معاونت زراعت. کمیته ملی مدیریت خشکی و خشکسالی کشاورزی، تهران.

صفی‌خانی، ف.، حیدری شریف‌آباد، ح.، شریفی عاشورآبادی،

افزایش میزان کلروفیل موجود در برگ‌های خود تا حدی به کاهش آب مقاوم نشان داده است. با این‌حال پیشنهاد می‌گردد

منابع:

احیایی، ح. ر.، رضوانی مقدم، پ. و امیری ده احمدی، ر. (۱۳۸۸) بررسی تاثیر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی سه گیاه دارویی خار مریم، همیشه بهار و سیاهدانه در شرایط گلخانه، اولین همایش ملی تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی، بیرجند، ایران.

اردکانی، م. ر.، عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م. ح.، معاونی، پ. و محبتی، ف. (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشد بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)، گیاه و زیست بوم ۶: ۴۷-۵۸.

بابایی، ک.، امینی‌دهقی، م.، مدرس ثانوی، ع. م. و جباری، ر. (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۶: ۲۳۹-۲۵۱.

بهرنیک، ز.، رضایی، م. ب.، قربانی، م.، عسگری، ف. و عراقی، م. ک. (۱۳۸۲) بررسی تغییرات متابولیسمی حاصل از تنش-های خشکی در گیاه مرزه (*sturefa hortensis*)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۰: ۲۶۳-۲۷۵.

بزاز، ن.، خدام‌باشی، م. و محمدی، ش. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه دارویی شنبلیله، تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۱۱: ۳-۲۳.

بنایان اول، م. ف.، خانی‌نژاد، س. ف.، قربانی، ص. و حسام‌عارفی، ا. (۱۳۹۰) ارزیابی نوسان برخی مولفه‌های تولیدی گیاه در گیاهان دارویی، پژوهش‌های زراعی ایران ۹: ۳۶۸-۳۷۸.

تجمیلیان، م.، ایران‌نژاد پاریزی، م. ح.، ملکی‌نژاد، ح.، راد، م. ه. و سودائی زاده، ح. (۱۳۹۱) اثر تنش کم آبی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه مرتعی قلم (*Fortuynia bungei* Boiss.)، دوفصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۲۰: ۲۷۳-

- Ingram, J. and Bartels, D. (1996) the molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Plant Physiology* 47: 377-403.
- Kochert, A. (1978) Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In: *Handbook of physiological and biochemical methods* (Eds, Hellebust, J.A. and Craige, J. S.). Pp: 95-97. Cambridge University Press, London,
- Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant, *cell and Environment* 25:275-249.
- Lu, Z. and Neumann, PM. (1998) Water stressed maize, barley and rice seedling shoe species specific diversity in mechanisms of leaf growth inhibition, *Experimental Botany* 49:1945-1952.
- Luvha, E., Netondo, G.W. and Ouma, G. (2008) Effect of water deficit on physiological and Morphological characteristics of mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. *American Journal of Plant Physiology* 3:1-15.
- Ogbonnaya, C. L., nwalozie, M. C., Roy- Macauley, H. and nonerose, D. (1998) Growth and water relations of Kanaf under water deficit on a sandy soil, *Industrial Crops and Products* 8: 65-76.
- Pedrol, N., Ramos, P. and Riegosa, M. J. (2000) phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet-grass: a long-term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology, photosynthesis and stress-induced metabolites. *Plant Physiology* 157: 383-393.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F. and Mornhinweg, D.W. (1988) Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28:526-531.
- Schutz, M. and Fangmeir, E. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
- Sofa A., Tuzio, A. C., Dichio, B. and Xiloyannis, C. (2005) Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-gluta-thione cycle in four interspecific Prunus hybrids. *Plant Science* 69: 403-412.
- Thomas, M.T. and Gausling, T. (2000) Morphological and physiological responses of oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderat drought, *Annals of Forest Science* 57:325-333.
- Vurayai, R., Emongor, V. and Moseki, B. (2011) Effect of water Stress Imposed at Different Growth and Development Stages on Morphological Traits and Yield of *Bambara Groundnuts* (*Vignasubterranean* L.Verdc). *Plant Physiology* 6:17-2.
۱. سیادت، ع.، سیدنژاد، م. و عباس زاده، ب. (۱۳۸۷) اثر کم آبی بر عملکرد و اندام‌های مختلف بادرشبو (*Dracocephalum moldavical*) در شرایط گلخانه. مجله پژوهش و سازندگی (ویژه نامه)، ۲: ۱۲-۱۲.
- عباس‌زاده، ب.، شریفی‌عاشورآبادی، ا. و فرج‌اللهی، م. (۱۳۸۶) تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)، دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران. گرگان.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۴) رابطه آب و خاک و گیاه، چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
- گزانچیان، ع.، خوش‌خلق‌سیمما، ن.، ملبویی، م. ع. و مجیدی، ا. (۱۳۸۴) بررسی اثر تنش خشکی و آبیاری مجدد در مراحل اولیه رویشی گراس‌های دایمی فصل سرد پس از استقرار، مجله منابع طبیعی ایران ۵۸: ۲۳۰-۲۱۷.
- گلدانی، م. و سرو آزاد، ن. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندام هوایی و ریشه و ماده موثره، همایش ملی گیاهان دارویی.
- مختاری، ا. و برادران، ر. (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های رشدی گیاه دارویی مرزه *Satureja hortensis*، همایش منطقه ای اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. شوشتر.
- مظفریان، و. (۱۳۷۵) فرهنگ نام‌های گیاهان ایران، انتشارات فرهنگ معاصر. تهران.
- راد، م. ه.، میرحسینی، س. ر.، مشکوه، م. ع. و سلطانی، م. (۱۳۸۷) بررسی تأثیر رطوبت خاک بر چگونگی توسعه ریشه گیاه تاغ (*Haloxylon* spp.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۶: ۱۲۳-۱۱۲.
- Amon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23:112-121.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207
- Corlette, J. E., Jones, H. G. and Masojidek, J. (1994) Water deficit, leaf rolling and susceptibility to photo inhibition of field grown sorghum. *Plant Physiology*, 92:4223-4230.
- Homes, J. (1979) Induction of root hairs from maize roots and abscisic acid. In: (ed Pilet, P. E.) Pp. 148-149 Collected Abstracts. The 9th International Conference on Plant Grow.