فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۴۳۳-۴۴۴
https://doi.org/10.22034/13.63.433

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و فیتوشیمیایی گل ماهور (*Verbascum phlomoides* L. var. Napfeny)

فائزه مختاریان[۱]، کرامت‌الله سعیدی*[۱]، مهدی قبادی نیا[۲] و احسان شهبازی[۳]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۲] گروه آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۳] گروه اصلاح و نباتات دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و فیتوشیمیایی گل ماهور، آزمایشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در چهار تیمار و چهار تکرار در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. چهار تیمار شامل تیمارهای T1 (بدون تنش)، T2 (۸۰ درصد ظرفیت زراعی)، T3 (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و T4 (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد برگ در بوته، قطر گل، عملکرد گل، محتوی رطوبت نسبی برگ، پرولین، کلروفیل، فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش کمبود آب به غیر از صفات تعداد برگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر سایر صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری داشت ($P<0/05$). با افزایش شدت تنش خشکی ویژگی‌های مورفولوژی، عملکرد گل، محتوی رطوبت نسبی برگ و کلروفیل a و b کاهش و میزان پرولین و فنل کل افزایش یافت. بیشترین (۹/۹۹) و کمترین (۹/۹۱) میلی‌گرم کوئرسیتین/گرم وزن خشک) میزان فلاونوئید کل به ترتیب مربوط به تیمار T1 و T4 بود. بیشترین تجمع فنل کل به میزان ۲۸/۰۱ (میلی‌گرم گالیک اسید/ گرم وزن خشک) مربوط به تیمار T4 و کمترین میزان مربوط به تیمار T1 و به میزان ۲۷/۴۷ میلی‌گرم گالیک اسید/ گرم وزن خشک بود.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، عملکرد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گل ماهور

مقدمه

گیاهان در طبیعت به‌طور پیوسته با انواع تنش‌های زنده یا غیرزنده مواجه می‌شوند. کمبود آب یکی از مهم‌ترین انواع تنش‌های غیرزنده است که علاوه بر بروز آسیب در گیاهان می‌تواند بر تولید محصول پایدار و امنیت غذایی تأثیر منفی بگذارد. تنش خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در جهان است که محصولات به‌صورت دائم یا دوره‌ای در معرض آن قرار می‌گیرند (Jaleel *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2021). گیاهان از نظر مقاومت با خشکی با هم متفاوت هستند که این تفاوت می‌تواند ناشی از سازگاری ریخت شناسی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی آن‌ها به شرایط تنش باشد. زمانی که گیاه با شرایط تنش خشکی مواجه می‌شود تغییرات

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: saeidi@sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

فیزیولوژیک در گیاهان مقاوم ایجاد می‌شود و مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند اسیدآمینه پرولین، قندها، برخی یون‌های معدنی و هورمون‌ها افزایش می‌یابند (Reddy *et al*., 2004).

گل ماهور (*Verbascum phlomoides* L. var. *Napfen*) از خانواده گل میمون، گیاهی بوته‌ای یک‌ساله است. گونه‌های متعلق به جنس گل ماهور در مناطق وسیعی از آسیا، شمال آفریقا، شمال آمریکا و اروپا می‌رویند. مواد مؤثره گل‌های گل ماهور خلط‌آور و ضدسرفه است و برای مداوای برخی ناراحتی‌های ریوی مانند برونشیت و سیاه‌سرفه استفاده می‌شود (Jamshidi-kia *et al*., 2018). براساس مطالعات صورت گرفته تاکنون تحقیقات زیادی در مورد واکنش گونه‌های مختلف گل ماهور به تنش خشکی صورت نگرفته است؛ اگر چه مطالعات متعددی در مورد تأثیر تنش خشکی بر طیف وسیعی از گیاهان صورت گرفته است. در مطالعه‌ای Karamian و همکاران (۲۰۲۰) برخی صفات فیزیولوژیکی گل ماهور گونه *V. sinuatum* تحت تنش خشکی را مورد مطالعه قرار دادند. Norouzi Esfahani و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گل ماهور گونه *V. thapsus* را مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق صفاتی نظیر اندازه گل آذین، تعداد گل، پرولین و کلروفیل کل تحت تأثیر تنش خشکی تفاوت معنی‌دار نشان دادند. محمدی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که تنش خشکی بر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گل ماهور گونه *V. thapsus* تأثیر معنی‌داری داشت.

تنش خشکی در بادرشبو (حسنی، ۱۳۸۵) موجب کاهش رشد کلیه اندام‌های هوایی شد. تنش خشکی در گیاه ریحان موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، قطر، حجم تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ شد (مقدم و همکارن، ۱۳۹۴). تنش کم آبی بر فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی تأثیرگذار است و موجب کاهش این رنگیزه‌ها و در نهایت تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌شوند (Osakabe *et al*., 2014). ترکیب‌های فنلی گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه هستند که مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده را افزایش می‌دهند (Shalaby and Horwitz, 2015). مطالعات پیشین افزایش میزان این ترکیبات در شرایط تنش خشکی در شوید (ستایش‌مهر و گنجعلی، ۱۳۹۲)، آویشن (صیادی و همکاران، ۱۳۹۳)، بومادران (Gharibi *et al*., 2016) و ریحان (Mulugeta *et al*., 2023; Radacsi *et al*., 2020) را گزارش کردند.

با توجه به اینکه گیاه گل ماهور خواص دارویی متعددی دارد و امکان گسترش کشت رقم Napfeny در مناطقی از ایران وجود دارد؛ همچنین با توجه به خشکسالی‌های اخیر در کشور ارائه راهکارهای مناسب جهت افزایش عملکرد، معرفی گونه و ارقام متحمل به خشکی و کاهش مصرف آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین انجام این پژوهش با هدف بررسی تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و فیتوشیمیایی گیاه دارویی گل ماهور رقم Napfeny اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی، کاشت و اعمال تیمارها: این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با ارتفاع ۲۰۹۱ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. مشخصات خاک مزرعه در جدول شماره ۱ ارائه شده است. چهار تیمار شامل تیمارهای T1 (بدون تنش)، T2 (۸۰ درصد ظرفیت زراعی)، T3 (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و T4 (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شدند. در شهریورماه ۱۳۹۵ کرت‌ها با ابعاد ۲ در ۳ مترمربع تهیه و کاملاً مسطح شدند. بذور از شرکت دارویی زردبند تهیه و در داخل کرت‌ها با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو گیاه در داخل ردیف ۴۰ سانتی‌متر در تاریخ ۲۰ شهریور کشت شدند. در سه نوبت علف‌زنی صورت گرفت و در اردیبهشت ماه گیاهان تنک و تیمارهای تنش از زمان ظهور ساقه گل‌دهنده (اواخر اردیبهشت ماه) اعمال شدند. عمق آب مورد نیاز گیاه برای تیمار آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

جدول ۱- برخی مشخصات خاک مزرعه

بافت خاک	شوری خاک ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	نیتروژن (٪)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)
سیلت لوم	۰/۲۲	۷/۸۳	۳۴	۰/۰۴۴	۳۳۹	۱۲/۹۲

کامل براساس سنجش رطوبت خاک تعیین شد. برای تعیین زمان و میزان آبیاری ابتدا رطوبت‌های θ_{FC} و θ_{pwp} اندازه‌گیری شدند سپس حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول با فرض حداکثر میزان تخلیه مجاز ۵۰ درصد، از رابطه ۱ محاسبه گردید. سپس رطوبت خاک مزرعه در تیمار آبیاری کامل به‌صورت روزانه با دستگاه رطوبت‌سنج لترون مدل PMS-714 سنجش شد. زمان آبیاری زمانی است که رطوبت خاک مزرعه به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول (محاسبه‌شده از رابطه ۱) می‌رسد و آبیاری به میزان محاسبه‌شده از رابطه ۲ برای تیمار آبیاری کامل اعمال می‌گردد. برای تیمار¬های تنش آبی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل به‌ترتیب ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد حجم آب تیمار شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری اعمال شد.

$$\theta_{MAD}= \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{pwp})\times MAD$$

$$V= (\theta_{FC}- \theta_{soil}) \times D\times A$$

در روابط فوق: θ_{FC} = رطوبت حجمی ظرفیت زراعی مزرعه θ_{pwp} = رطوبت حجمی نقطه پژمردگی دائم MAD = ضریب تخلیه مجاز θ_{soil} =رطوبت حجمی خاک D = عمق مؤثر ریشه گیاه موردنظر (m) A = ابعاد کرت (m^2) V = حجم آب موردنیاز (m^3) هستند.

اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و RWC: صفات ارتفاع بوته، طول گل آذین، تعداد برگ در بوته، قطر گل و عملکرد گل در مرحله گلدهی کامل مورد ارزیابی قرار گرفتند. قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل Digital caliper Guanglu 0-100mm) و ارتفاع بوته، طول گل آذین به‌وسیله متر اندازه‌گیری شدند. تعداد برگ‌ها پس از رشد کامل گیاه شمارش و ثبت شدند. به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) نمونه‌هایی از جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته از تیمارهای مورد مطالعه جدا و وزن شدند؛ سپس نمونه‌های برگ به مدت چهار ساعت در آب‌مقطر شناور شدند. پس از آب‌گیری، قطعات برگ بلافاصله وزن شدند تا وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس بدست آید. در مرحله بعد قطعات برگ در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت برای تعیین وزن وزن خشک نمونه‌های برگی خشک شدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه گردید(Gunes *et al.*, 2008).

$$RWC\ (\%)=[FW-DW)/(TW-DW] \times 100$$

FW= وزن تر نمونه برگی، TW= وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس و DW = وزن خشک نمونه برگی

استخراج و اندازه‌گیری کلروفیل a، b و پرولین: برای سنجش کلروفیل ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در مرحله گلدهی برداشت‌شده را با استون ۸۰ درصد به‌تدریج در هاون چینی ساییده تا کلروفیل وارد محلول استون شود؛ بعد از ۲۴ ساعت در تاریکی محلول حاصل را صافی کرده و به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول‌موج‌های ۶۶۳ (کلروفیل a) و ۶۴۵ (کلروفیل b) نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instruments T80 Plus) اندازه‌گیری شد. از روابط زیر برای محاسبه مقدار کلروفیل a، b و کل برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ استفاده گردید (Arnon, 1949).

$$Chl\ a\ (mg/g^{-1}) = [(12.7\times A663) - (2.6\times A645)] \times ml\ acetone/mg\ leaf\ tissue$$

$$Chl\ b\ (mg/g^{-1}) = [(22.9\times A645) - (4.66\times A663)] \times ml\ acetone/mg\ leaf\ tissue$$

$$Total\ Chl\ (mg/g^{-1}) = Chlorophyll\ a + Chlorophyll\ b$$

V: حجم محلول صاف‌شده برحسب میلی‌لیتر، W: وزن تازه نمونه استفاده‌شده برحسب گرم، A663: جذب نوری خوانده‌شده در طول‌موج ۶۶۳ نانومتر، A645: جذب نوری خوانده‌شده در طول‌موج ۶۴۵ نانومتر.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

میزان پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. به این منظور پس از توزین ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی و همگن‌سازی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد، نمونه‌ها سانترفیوژ شده و ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به عصاره صاف‌شده حاصل اضافه شد. پس از قراردادن نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و به‌مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شدند. در مرحله آخر محلول بالایی جدا و در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. پرولین با غلظت‌های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان استاندارد استفاده و با استفاده از معادله زیر میزان پرولین محاسبه گردید.

[(µg proline/ml × ml toluene) / 115.5 µg/ µg mole]/[(g sample)/5] -= µg moles proline/ g FW

استخراج و اندازه‌گیری فنل و فلاونوئید کل: برای استخراج ترکیبات فنلی از متانول ۷۰٪ استفاده شد. اندازه‌گیری مواد فنلی در مرحله گلدهی و با روش فولین–سیوکالتیو صورت گرفت. ۰/۱ گرم عصاره خشک‌شده حاصل از استخراج با متانول ۷۰٪ را در متانول ۶۰٪ حل کرده و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از آن به لوله آزمایش منتقل و روی آن ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱۰٪ واکنشگر فولین–سیو کالتیو اضافه و پس از ۳ الی ۸ دقیقه به آن ۰/۴ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم ۷/۵ ٪ اضافه شد، آنگاه لوله‌های آزمایش به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه نگهداری و پس از آن میزان جذب نوری به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر (PG Instruments T80 Plus) در طول‌موج ۷۶۵ nm خوانده شد. منحنی استاندارد بر اساس غلظت‌های ۰–۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر ترسیم و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اکی‌والانت اسید گالیک بر وزن خشک بیان شد (Liang *et al.*, 2010). اندازه‌گیری فلاونوئید کل با روش Liang و همکاران (۲۰۱۰) با کمی تغییرات انجام شد. میزان ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول عصاره (۰/۰۳ گرم در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۶۰ درصد با ۰/۵ میلی‌لیتر کلراید آلومینیم ۲ درصد و مقدار ۳ میلی‌لیتر استات پتاسیم ۵ درصد به آن‌ها اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. هم‌زمان با آزمایش رقت‌های مختلف روتین تهیه و مانند روش فوق آزمایش و منحنی استاندارد تهیه گردید. جذب نمونه‌ها با منحنی استاندارد مقایسه و مقدار فلاونوئید هر عصاره برحسب میلی‌گرم در هر گرم عصاره خشک بیان شد.

تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی با روش DPPH: فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های نمونه‌های گل، با استفاده از روش ۲ و ۲ دی فنیل ۱– پیکریل هیدرازیل (DPPH) بر مبنای درصد مهار تولید رادیکال آزاد اندازه‌گیری شد. ابتدا غلظت‌های مختلف عصاره تهیه شده و ۲۰۰ میکرولیتر از نمونه‌ها با غلظت‌های متفاوت با ۱ میلی‌لیتر از محلول ۹۰ میکرومولار DPPH مخلوط شده و با متانول ۹۵ درصد به حجم ۴ میلی‌لیتر رسانده شد و برای مدت زمان ۶۰ دقیقه در تاریکی توسط دستگاه هم‌زن تکان داده شد. جذب نمونه‌ها و شاهد بعد از این مدت زمان، در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instruments T80 Plus) خوانده شد. یک نمونه حاوی متانول و محلول DPPH به‌عنوان نمونه کنترل مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از فرمول زیر مقادیر IC50 محاسبه شد (Moein *et al.*, 2007).

IC50 = [(جذب کنترل – جذب نمونه) / جذب کنترل]×۱۰۰

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (v.9.2) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی بر صفات ارتفاع بوته، طول ساقه گل‌دهنده، قطر گل، عملکرد گل، محتوی رطوبت نسبی برگ، پرولین، کلروفیل، فنل کل، فلاونوئید معنی‌دار بود و بر صفات تعداد برگ در بوته و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گل نمونه‌های گیاهی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه به شدت کاهش یافت (جدول ۴). به طوریکه ارتفاع گیاه در تیمار ۱۰۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورفولوژیکی و عملکرد و RWC تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طول ساقه گل‌دهنده	قطر گل	تعداد برگ	ارتفاع گیاه	عملکرد	RWC
بلوک	۳	۳۵۹/۸ ns	۰/۰۹ ns	۲/۸ ns	۳۵۹/۱ ns	۲۶۷۹/۳ ns	۱۴/۸ ns
تنش	۳	۲۵۹۷/۲ *	۰/۸۲ *	۱۳/۸ ns	۴۲۲۵/۵ *	۸۱۲۷۲ *	۱۵۹/۲ *
خطا	۹	۱۴۷/۳۷	۰/۲۴	۸	۱۷۷/۳۸	۸۹۷۴/۲۴	۷۶/۶۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۸۹	۱۲/۶	۱۲/۲۹	۹/۱۸	۱۶/۹۹	۱۲/۳

ns و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	فنل	فلاونوئید	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
بلوک	۳	۳۱۳۷/۹ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۰۱ *	۰/۰۰۴ ns
تیمار	۳	۳۰۱۴۹/۹ *	۰/۰۱۸ *	۰/۰۰۲ *	۰/۰۳۲ *	۰/۲۳ *	۰/۰۰۴ *	۰/۰۱۰ ns
خطا	۹	۲۰۲۶/۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۷/۴	۱۷/۳	۱۹/۰۵	۱۷/۹	۱/۰۷	۰/۲	۹/۲۷

ns و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی و عملکرد و RWC تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

تنش خشکی	ارتفاع گیاه (cm)	طول ساقه گل‌دهنده (cm)	قطر گل (cm)	عملکرد (kg/h)	RWC (%)
T1	۱۷۲/۳۲^{a}	۱۰۵/۱۴۶^{a}	۴/۳۶^{a}	۷۴۰/۲۷^{a}	۷۶/۵۴^{a}
T2	۱۶۴/۸۷^{a}	۹۵/۷۳^{ab}	۴/۰۴^{ab}	۶۰۰/۶۲^{a}	۷۴/۸۸^{ab}
T3	۱۴۲/۸۳^{b}	۷۷/۹۴ ^{b}	۳/۸۳^{ab}	۴۴۹/۰۶^{b}	۷۰/۱۸^{ab}
T4	۱۰۰/۰۲^{c}	۴۷/۲۴^{c}	۳/۲۸^{b}	۴۳۹/۴۷^{b}	۶۲/۴۵^{b}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

درصد ظرفیت زراعی (T1) از ۱۷۲/۳۲ سانتی‌متر به ۱۰۰/۰۲ سانتی‌متر در تیمار تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (T4) کاهش پیدا کرد؛ تیمار T1 با تیمار T2 از نظر صفت ارتفاع گیاه تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با دیگر تیمارها تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. طول ساقه گل‌دهنده در تیمار شاهد بیشترین میزان بود (۱۰۵/۱۴۶ سانتی‌متر) که با سایر تیمارها به غیر از تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (T2) تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین طول ساقه گلدهنده مربوط به تیمار تنش ۴۰ (T4) درصد ظرفیت زراعی و به میزان ۴۷/۲۴ سانتی‌متر بود (جدول ۴). قطر گل در تیمار شاهد ۴/۳۶ سانتی‌متر بود که با تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت اما با تیمار T4 (۳/۲۸ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نشان داد. بیشترین میزان عملکرد گل در این تحقیق از تیمار شاهد و به میزان ۷۴۰/۲۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با تیمار تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

T2 تفاوت معنی‌داری نداشت اما با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد؛ کمترین میزان عملکرد گل (۴۳۹/۴۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تنش T4 به‌دست آمد که با تیمار T3 تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیشترین محتوی نسبی آب برگ به میزان ۷۶/۵۴ درصد و مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمارهای T2 و T3 تفاوت معنی‌داری نداشت اما با تیمار T4 (۶۲/۴۵ درصد) تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان پرولین در تیمار T1 که عدم اعمال تنش بود کمترین میزان (۱۶۹/۸۳ میکروگرم/گرم) بود که با تیمار T2 تفاوت معنی‌داری نشان نداد و بیشترین میزان پرولین از تیمار تنشی T4 (۳۵۶/۹ میکروگرم/گرم) حاصل شد که با تیمار T3 (۳۰۲/۶۲ میکروگرم/گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار T1 (۰/۳۲ میلی‌گرم/گرم) بود، اما در تیمار تنشی T4 به ۰/۱۶ میلی‌گرم/گرم کاهش پیدا کرد. همچنین حداکثر میزان کلروفیل b و کلروفیل کل مربوط به تیمار عدم اعمال تنش بود. میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد بدون تنش به میزان ۰/۴۳ میلی‌گرم/گرم بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت؛ میزان کلروفیل کل در تنش T4 به میزان ۰/۲۲ میلی‌گرم/گرم کاهش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان فلاونوئید از تیمار شاهد به‌دست آمد و با سایر تیمارها به جز T4 تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). نتایج نشان داد حداکثر میزان فنل کل مربوط به گیاهان تحت تنش T4 بودند که با تیمار عدم تنش تفاوت معنی‌داری نشان داد اما با تیمارهای T3 و T4 تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اگرچه نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای مورد مطالعه بود، اما بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار T2 و به میزان ۱/۱۵ (میلی‌گرم/میلی لیتر) بود؛ کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از تیمار T1 و به میزان ۱/۳۵ (میلی‌گرم/میلی‌لیتر) بود.

بررسی اثر تنش خشکی بر میزان صفات رشدی، عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه، میزان پرولین بافت برگ و برخی فاکتورهای بیوشیمیایی نظیر فنل و فلاونوئید کل و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی این واریته گل ماهور در ایران در نوع خود برای نخستین بار انجام شد. عوامل متعددی مانند ژنتیک، شرایط محیطی و اثر متقابل آن‌ها در سرعت رشد، عملکرد و ترکیبات گیاه تأثیر می‌گذارند (Sestak *et al.*, 1971; Manivannan *et al.*, 2007). از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس، پژمردگی، بسته‌شدن روزنه‌ها، در نتیجه کاهش رشد و توسعه به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست. در شرایط کمبود آب تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و رشد اندام‌های رویشی می‌گردد. به عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به‌علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه‌های گلدار می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته، وزن تر و خشک سرشاخه‌های گل‌دار مانند هر اندام رویشی و زایشی دیگر به شدت تحت تأثیر کم‌آبی قرار می‌گیرند (Cabuslay *et al.*, 2002; Kusaka *et al.*, 2005).

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش شدت تنش ارتفاع گل ماهور کاهش یافت. با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد؛ محدودشدن ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به عنوان مکانیسم سازگاری در نظر گرفت، زیرا در مواقع بحرانی مانند کم‌آبی، گیاه تلاش می‌کند رشد رویشی خود را سریع‌تر تمام کرده تا به مرحله زایشی و گلدهی برسد تا بقای نسل خود را حفظ کند (Alkire and simon, 1993). ارتفاع گیاه شاخصه‌ای است که به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و ارتباط نزدیکی با بزرگ‌شدن سلول و پیری برگ دارد. کاهش ارتفاع گیاه به طور عمده به‌دلیل کاهش انبساط سلولی، افزایش ریزش برگ و اختلال در میتوز در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد (Yang *et al.*, 2021).

در مطالعه‌ای، حسنی (۱۳۸۵) گزارش کرد که با کاهش مقدار رطوبت خاک ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

تنش خشکی	پرولین (میکروگرم/گرم)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل (میلی‌گرم/گرم)	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرسیتین/گرم وزن خشک)	فنل (میلی‌گرم گالیک اسید/گرم وزن خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی(میلی گرم/میلی‌لیتر)
T1	۱۶۹/۸۳^{b}	۰/۳۲^{a}	۰/۱۱^{a}	۰/۴۳^{a}	۹/۹۹^{a}	۲۷/۴۷^{b}	۱/۳۵^{a}
T2	۲۰۲/۶۲^{b}	۰/۲۰^{b}	۰/۰۸^{ab}	۰/۲۸^{b}	۹/۹۷^{a}	۲۷/۵۹^{ab}	۱/۱۵^{a}
T3	۳۰۲/۶۲^{a}	۰/۱۹^{b}	۰/۰۷^{ab}	۰/۲۵^{b}	۹/۹۶^{a}	۲۷/۵۵^{ab}	۱/۳۱^{a}
T4	۳۵۶/۹۰^{a}	۰/۱۶^{b}	۰/۰۶^{b}	۰/۲۲^{b}	۹/۹۱^{b}	۲۸/۰۲^{a}	۱/۲۲^{a}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

شاخه‌های جانبی، گیاه بادرشبو کاهش یافت. مطالعه نورزاد و همکارانش (۱۳۹۳) نشان داد که با افزایش تنش خشکی تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ در گیاه گشنیز کاهش یافت. بر اساس نتایج این تحقیق تنش خشکی موجب کاهش عملکرد گل ماهور در شرایط زراعی شد. با کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی عملکرد گیاه دچار نقصان می‌شود. در شرایط تنش خشکی تعداد و سطح برگ کاهش می‌یابد که درنهایت موجب کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و به‌تبع عملکرد گیاه می‌شود (Hughes *et al.*, 2017).

تعیین محتوی نسبی آب برگ از شاخص‌هایی است که مقاومت گیاه به خشکی را می‌توان از طریق آن تخمین زد. در این تحقیق نشان داده شد که با افزایش تنش خشکی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی محتوی نسبی آب برگ کاهش یافت که با مطالعات پیشین در مورد دیگر گیاهان مانند بابونه (رحیمی و همکاران (۱۳۹۲)، شنبلیله (Sadak, 2016) و سیاه دانه (کبیری و همکاران، ۱۳۹۳) مطابقت داشت. وضعیت آب گیاه منعکس‌کننده پاسخ گیاه به تنش خشکی است و محتوی نسبی آب بالا نشان‌دهنده وضعیت سلامت گیاه است. محتوی نسبی آب برگ یک نشانگر درست برای سنجش حساسیت گیاه به کم آبی است (Nor *et al.*, 2021). در شرایط تنش خشکی به دلیل منفی‌تر بودن پتانسیل آب محیط کاهش مقدار آب در بافت برگ وجود دارد. از طرف دیگر گیاه با افزایش سنتز ترکیبات اسمولیتی مانند قندها و پرولین و ... می‌تواند پتانسیل آب در سلول‌های خود را منفی‌تر کند که منجر به جذب آب شود اما در این تحقیق به نظر می‌رسد که سنتز اسمولیت‌ها در اندازه‌ای نبوده است که بتواند موجب ورود آب زیاد به درون سلول‌های برگ گیاه گل ماهور شود.

در این تحقیق با افزایش سطوح تنش خشکی میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاهش یافت (جدول ۴). تنش خشکی موجب فعال‌شدن آنزیم کلروفیلاز، شکستن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Dhakal, 2021). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش کم آبی بیشتر به خاطر تخریب کلروپلاست، تخریب پیش‌ماده‌های بیوسنتز کلروفیل‌ها و فعال‌شدن آنزیم‌هایی مانند کلروفیلاز است (Valifard *et al.*, 2012). در گیاه ریحان کاهش محتوای کلروفیل در شرایط کم آبی ممکن است به دلیل افزایش تجزیه کلروفیل توسط کلروفیلاز باشد. در این فرآیند، اولین مرحله شامل جداسازی فیتول، یک الکل ایزوپرنوئیدی است که در پیوند استری به کلروفیل، توسط کلروفیلاز متصل شده است (افکاری، ۱۳۹۶). عباس‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه خود بر روی بادرنجبویه دریافتند که تنش خشکی باعث کاهش شدید محتوای کلروفیل a می‌شود. به نظر می‌رسد که کاهش چشمگیر کلروفیل a عمدتاً به دلیل تولید رادیکال‌های اکسیژن و پراکسیداسیون است که در نتیجه باعث تجزیه این رنگدانه می‌شود. با تشدید تنش خشکی، مقدار کلروفیل b

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

افزایش می‌یابد و به گیاهان اجازه می‌دهد تا شرایط خشک را با افزایش فتوسنتز و پردازش مواد غذایی کارآمدتر تحمل کنند (Fani, 2012). کلروفیل به عنوان مهمترین و مؤثرترین رنگدانه در فتوسنتز می‌تواند وضعیت رشد گیاهان و میزان تنش را منعکس کند. در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید تغییر می‌کند که به نوبه خود باعث تغییر در عملکرد فتوسنتزی می‌شود. دلیل کاهش کلروفیل در برگ‌ها ممکن است ناشی از تخریب کلروفیل باشد که به‌طور مستقیم ناشی از خشکی است (Yang *et al*., 2021).

پرولین از اسیدهای آمینه مهمی است که به‌طور معمول در پاسخ به تنش‌ها و به‌ویژه تنش خشکی در گیاه افزایش می‌یابد. میزان پرولین ذخیره‌شده با توانایی گیاه برای بقاء در شرایط تنش آب در ارتباط است. گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، در مقایسه با گیاهانی که بدون تنش رشد می‌کنند، سطح پرولین آزاد به طور قابل توجهی بالاتری دارند. به عنوان یک ماده محلول، پرولین به تنظیم فشار اسمزی کمک می‌کند، از دست دادن آب از سلول‌ها را محدود می‌کند و یکپارچگی سلول را حفظ می‌کند (Hayat *et al*., 2021). در این تحقیق میزان پرولین با افزایش تنش در گیاهان گل ماهور تحت تنش افزایش یافت که با مطالعات پیشین در مورد گیاهان دارویی مانند ترخون (لطفی و همکاران، ۱۳۹۳)، سیاه دانه (کبیری و همکاران، ۱۳۹۳)، پونه‌سای خوشه‌ای (لایق حقیقی و همکاران، ۱۳۹۴) و همچنین گل ماهور گونه *V. thapsus* (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸) هم‌خوانی داشت. میزان ترکیبات فنلی در این تحقیق نیز با افزایش شدت تنش کم آبی افزایش یافت. گیاهان در پاسخ به تنش کم آبی معمولاً میزان آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز که یک آنزیم کلیدی در سنتز دامنه وسیعی از فنولیک و فلانوئیدهاست را افزایش می‌دهد (Oh *et al*., 2010). در شرایط تنش، تجمع رادیکال‌های آزاد در بخش‌های مختلف گیاه رخ داده و گیاه دچار صدمه می‌شود؛ در چنین شرایطی یکی از سازوکارهای دفاعی گیاه، افزایش بیان ژن‌های مسیر بیوسنتز فنول‌ها به عنوان شناخته‌شده‌ترین مسیر در متابولیسم متابولیت‌های ثانویه و مشتق‌شده از مسیر سنتز فنیل پروپانوئید است (Shih *et al*., 2008). افزایش میزان فنل‌ها و فلاونوئیدها تحت شرایط تنش خشکی شدید می‌تواند ناشی از تجمع کربوهیدرات‌های محلول در سلول‌های گیاهی باشد که به علت کاهش انتقال قند محلول تحت تنش آبی است (Jaafar *et al*., 2012; Ibrahim *et al*., 2010)؛ همچنین افزایش فنل‌ها تحت شرایط تنش کم آبی هم‌بستگی بالایی با تولید آنتی‌اکسیدان‌های مختلف در گیاهان و در مدت و شدت تنش دارد (Reddy *et al*., 2004; Fischer *et al*., 2013). غلظت ترکیبات فنلی در گیاهان تحت تنش کم آبی به عنوان یک شاخص تحمل تنش معرفی شده است (Gharibi *et al*., 2016). مطالعات پیشین نشان دادند در گیاهانی مانند سرخارگل (Gray *et al*, 2003)، ریحان (Luna *et al*., 2015)، بومادران (Gharibi *et al*., 2016) تنش کم‌آبی باعث افزایش فنل‌های کل شد که با نتایج این مطالعه مطابقت داشتند.

گیاهان همواره در محیط رشد پیرامون خود در معرض انواع تنش‌ها هستند و فرآیندهای فیزیولوژیکی آن‌ها مانند فتوسنتز و رشد و نمو آنها متأثر از شرایط تنشی خواهد بود که با اعمال تغییرات متنوعی در ساختار و ترکیب‌های خود می‌توانند شرایط زیست خود در شرایط تنش را فراهم کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تنش خشکی به غیر از صفات تعداد برگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر سایر صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، طول گل آذین، قطر گل، عملکرد گل، محتوی رطوبت نسبی برگ، پرولین، کلروفیل، فنل کل، فلاونوئید گل ماهور رقم *Napfeny* تأثیر معنی‌داری داشت. با افزایش شدت تنش خشکی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد گل، محتوی رطوبت نسبی برگ و کلروفیل a و b کاهش و میزان پرولین و فنل کل افزایش یافت. با توجه به اینکه گیاه گل ماهور تحمل خوبی نسبت به شرایط تنش خشکی داشت می‌توان نسبت به کشت و پرورش آن در مناطق کم آب اقدام کرد؛ و همچنین برای مناطقی که بارش تقریباً مناسبی وجود دارد به‌صورت کشت دیم توصیه نمود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از جناب آقای مهندس محمدرضا باستان مدیر بخش کشاورزی شرکت دارویی زردبند در راستای کمک به این تحقیق سپاسگزاری به‌عمل می‌آورند.

منابع

افکاری، احمد (۱۳۹۶). تأثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژنه بر میزان و عملکرد اسانس و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۳(۶)، ۱۰۴۷-۱۰۵۹. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.112686.2085

حسنی، عباس (۱۳۸۵). بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو. *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۲ (۳)، ۲۵۶-۲۶۱.

رحیمی، تورج، حسن‌پور درویشی، حسین، نورالوندی، توحید، و مظفری، حمید (۱۳۹۲). اثر تنش خشکی بر اسانس و خصوصیات مورفولوژیکی توده‌های بومی گیاه بابونه ایران در شرایط آبیاری با زه‌آب فاضلاب خانگی. تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی، ۵(۱)، ۵۵-۴۷.

ستایش‌مهر، زهرا، و گنجعلی، علی (۱۳۹۲). بررسی اثرات تنش خشکی بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.). *مجله علوم باغبانی*، ۲۷ (۱)، ۳۵-۲۷. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.20782

صیادی، افسانه، احمدی، جعفر، اصغری، بهور، و حسینی، محسن (۱۳۹۳). بررسی اثر تنش خشکی و شوری بر میزان ترکیبات فنلی گیاه دارویی *Thymus vulgaris* L. *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۴ (۸)، ۶۱-۵۰.

عباس‌زاده، بهلول، شریفی عاشور آبادی، ابراهیم، لباسچی، محمدحسین، نادری، محمود، و مقدمی، فوزیه (۱۳۸۶). اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی بادرنجبویه (*Melisa officinalis*). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۳ (۴)، ۵۱۳-۵۰۴. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2008.10090

کبیری، رزیتا، فرح‌بخش، حسن، و نصیبی، فاطمه (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۰(۴)، ۶۱۰-۶۰۰. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.9841

لایق حقیقی، معصومه، صمدیان، وحیده، طبایی عقدایی، رضا، و عباس‌زاده، بهلول (۱۳۹۴). واکنش مورفوفیزیولوژیک پونه‌سای خوشه‌ای (*Nepeta racemosa* Lam) به تنش خشکی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۰(۴)، ۶۱۰-۶۰۰. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.102677

لطفی، محبوب، عباس‌زاده، بهلول، و میرزا، مهدی (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون *Artemisia dracunculus* L. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۰(۱)، ۱۹-۲۹. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.5266

محمدی، زینب، آزادی، پژمان، قنبری جهرمی، رضیه، و غالبی، سعید (۱۳۹۸). ارزیابی مقاومت به تنش کم آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) و معرفی آن به عنوان یک گیاه زینتی در فضای سبز شهری. *نشریه پژوهش‌های گیاهی*، ۲۷ (۴)، ۲۲۷-۲۴۳. doi: 10.22069/jopp.2019.15884.2439

مقدم، محمد، علیرضایی، مرتضی، سلاح‌ورزی، یحیی، و گلدانی، مرتضی (۱۳۹۴). تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیوشیمیایی سه رقم ریحان. *علوم باغبانی ایران*، ۴۶(۳)، ۵۰۹-۵۲۱. 20 https://doi.org/20.1001.1.2008482.1394.46.3.15.8

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

نورزاد، سودابه، احمدیان، احمد، مقدم، محمد، و دانشفر، الهام (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی گشنیز تحت تأثیر انواع کود آلی و شیمیایی. *به‌زراعی کشاورزی*، *۱۶*(۲)، ۳۰۲-۲۸۹. https://doi.org/10.22059/jci.2014.53044

Alkire, B. H., & Simon, J. E. (1993). Water management for midwestern peppermint (*Mentha x piperita* L.) growing in highly organic soils, Indiana, USA. In International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants. 10.17660/ActaHortic.1993.344.63.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Bates, L. S., Waldeen, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002). Physiological evaluation of rice (*Oryza sativa*) to water deficit. *Plant Science*, *163*, 815-827. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00217-0

Dhakal, A. (2021). Effect of drought stress and management in wheat–a review. *Food and Agribusiness Management*, *2*(2), 62-66. http://doi.org/10.26480/fabm.02.2021.62.66

Fani, E. (2012). Changes chlorophyll b in response to drought stress in alfalfa (vs. Nick Urban) in climatic conditions of the southwest Iran. *Advanced Studies in Biology*, *4*(12), 551-556. http://doi.10.12988/asb

Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., & Aranda, M. (2013). Variation in antioxidante capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) subjected to drought stress. *Industrial Crops and Products*, *46*, 341-349. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.037

Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G., & Goli, S. A. H. (2016). Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *178*(4), 796-809. https://doi.org/10.1007/s12010-015-1909-3

Gray, D. E., Pallardy, S. G., Garrett, H. E., & Rottinghaus, G. E. (2003). Acute drought stress and plant age effects on alkamide and phenolic acid content in purple coneflower roots. *Planta Medica Stuttgart: Georg Thieme Verlag*, 50-55. https://doi.org/10.1055/s-2003-37026

Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A., & Coban, S. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *39*(13-14), 1885-1903. https://doi.org/10.1080/00103620802134651

Hayat, K., Khan, J., Khan, A., Ullah, S., Ali, S., Salahuddin, & Fu, Y. (2021). Ameliorative effects of exogenous proline on photosynthetic attributes, nutrients uptake, and oxidative stresses under cadmium in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Plants*, *10*(4), 796. https://doi.org/10.3390/plants10040796

Hughes, J., Hepworth, C., Dutton, C., Dunn, J. A., Hunt, L., Stephens, J., Waugh, R., Cameron, D. D., & Gray, J. E. (2017). Reducing stomatal density in barley improves drought tolerance without impacting on yield. *Plant Physiology*, *174*, 776-787. https://doi.org/10.1104/pp.16.01844

Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., & Rahman, Z. A. (2010.) The relationship between phenolics and flavonoids production with total non structural carbohydrate and photosynthetic rate in *Labisia pumila* Benth. under high CO_2 and nitrogen fertilization. *Molecules*, *16*(1), 162-174. https://doi.org/10.3390/molecules16010162

Jaafar, H. Z., Ibrahim, M. H., & Mohamad Fakri, N. F. (2012). Impact of soil field water capacity on secondary metabolites, phenylalanine ammonialyase (PAL), maliondialdehyde (MDA) and photosynthetic responses of Malaysian kacip fatimah (*Labisia pumila* Benth). *Molecules*, *17*(6), 7305-7322. https://doi.org/10.3390/molecules17067305

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural Biological*, *11*, 100-105.

Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., Asgari, S., & Saeidi, K. (2018). Iranian species of *Verbascum*: A review of botany, phytochemistry, and pharmacological effects. *Toxin Reviews*. https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1457055

Karamian, R., Ghasemlou, F., & Amiri, H. (2020). Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in *Verbascum sinuatum* plants treated with methyl jasmonate, salicylic acid and titanium dioxide nanoparticles. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *154*(3), 277-287. https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1591535

Kusaka, M., Ohta, M., & Fujimura, T. (2005). Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. *Physiologia Plantarum*, *125*(4), 474-489. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00578.x

Liang, T., Yue, W., & Li, Q. (2010). Comparison of the phenolic content and antioxidant activities of *Apocynum venetum* L. (Luo-Bu-Ma) and two of its alternative species. *International Journal of Molecular Sciences*, *11*(11), 4452-4464. https://doi.org/ 10.3390/ijms11114452

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

Luna, M. C., Bekhradi, F., Ferreres, F., Jordan, M. J., Delshad, M., & Gil, M. I. (2015). Effect of water stress and storage time on anthocyanins and other phenolics of different genotypes of fresh sweet basil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(42), 9223-9231. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04131

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., Sridharan, R., & Panneerselvam, R. (2007). Changes in antioxidant metabolism of *Vigna unguiculata* L. Walp. by propiconazole under water deficit stress. *Colloids Surf B: Biointerf*, *57*, 69-74. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.01.004

Moein, S., Farzami, B., Khaghani, S., Moein, M. R., & Larijani, B. (2007). Antioxidant properties and protective effect on cell cytotoxicity of *Salvia mirzayani*. *Pharmaceutical Biology*, *45*, 1-6.

Mulugeta, S. M., Sarosi, S., & Radacsi, P. (2023). Physio-morphological trait and bioactive constituents of *Ocimum* species under drought stress. *Industrial Crops and Products*, *205*, 117545.

Nor, N. M., Pa'ee, F., & Manan, N. A. (2021). The effect of water stress on growth rate in *Mentha arvensis*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. https://doi:10.1088/1755-1315/736/1/012040

Norouzi Esfahani, R., Khaghani, S., Gomarian, M., Azizi, A., & Mortazaeinezhad, F. (2023). The effect of using different levels of vermicompost on the growth and morphological and physiological characteristics of medicinal-ornamental plant of mullein (*Verbascum thapsus*) under drought stress conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *14*(2), 41-60. 10.47176/jspi.14.2.20891

Oh, M., Carey, E. E., & Rajashekar, C. B. (2010). Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *135*, 223-229. https://doi.org/10.21273/JASHS.135.3.223

Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, *5*, 76566. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086

Radacsi, P., Inotai, K., Sarosi, S., Hari, K., Seidler-Lozykowska, K., Musie, S., & Zamborine, E. N. (2020). Effect of irrigation on the production and volatile compounds of sweet basil cultivars (L.). *Herba Polonica*, *66*(4), 14-24. https://doi.org/10.2478/hepo-2020-0021

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 1189-1202. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013

Sadak, M. S. (2016). Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. *International Journal of Chemistry Technology Research*, *9*, 147-155.

Sestak, Z., Catsky, J., & Jarvis, P. G. (1971). Plant Photosynthetic Production. Manual of Methods.

Shalaby, S. & Horwitz, B. A. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal–plant interactions. *Current Genetics*, *61*(3), 347-357. https://doi.org/10.1007/s00294-014-0458-6

Shih, C. H., Chu, H., Tang, L. K., Sakamoto, W., Maekawa, M., Chu, I. K., ... & Lo, C. (2008). Functional characterization of key structural genes in rice flavonoid biosynthesis. *Planta*, *228*, 1043-1054. https://doi: 10.1007/s00425-008-0806-1

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, *7*(3), 50. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

Valifard, M., Moradshahi, A., & Kholdebarin, B. (2012). Biochemical and physiological responses of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to drought stress applied at seedling stage. *JAST*, *14*, 1567-1578. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2012.14.7.13.5

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]

Effect of Drought Stress on Morphological, Yield and Phytochemical Characteristics of Mullein (*Verbascum phlomoides* L. var. *Napfeny*)

Faezeh Mokhtarian[1], Keramatollah Saeidi[1*], Mahdi Ghobadinia[2], Ehsan Shahbazi[3]

[1] Department of Horticultural Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2] Department Irrigation Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[3] Department of Plant Breeding, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(Received: 2024/05/18, Accepted: 2024/08/27)

Abstract

The purpose of this study was to evaluate how various morphological, phytochemical, and morphological traits of Mullein were affected by drought stress. A randomized completely blocks design with four treatments and four replications was used for this study. T1 (100% of field capacity), T2 (80% of field capacity), T3 (60% of field capacity), and T4 (40% of field capacity) were the stress treatments. Plant height, length of inflorescence, number of leaves per plant, flower diameter, flower yield, relative moisture content, proline, chlorophyll a and b, total phenol, flavonoid, and antioxidant activity were the characteristics that were examined. The analysis of variance results indicated that antioxidant activity and leaf number were not significantly affected by drought stress, but other variables were significantly affected ($p < 0.05$). The findings demonstrated that drought stress resulted in a significant increase in proline and total phenol content and a significant decrease in morphological traits, flowers production, relative water content, and chlorophyll a and b. T1 and T4 had the greatest (9.99 mg Q/g DW) and lowest (91.9 mg Q/g DW) total flavonoid contents, respectively. Total phenol contents ranged from 28.1 (mg GAE/g DW) for T4 treatment to 27.47 (mg GAE/g DW) for T1 treatment.

Keywords: Antioxidant activity, Drought Stress, Mullein, Yield

Corresponding author, Email: saeidi@sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.433]