تأثیر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات بیوشیمیایی گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)

اسماعیل قلی‌نژاد

گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار از آبان ماه تا اسفند ماه سال ۱۳۹۷ در گلخانه و آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه پیام‌نور ارومیه اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دور آبیاری با چهار سطح (۳، ٦، ۹ و ۱۲ روز) و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار، گلایسین بتائین با غلظت ۵ میلی‌مولار و سولفات روی با غلظت ۵ در هزار) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. بیشترین (۰/٤۱۹ گرم در گلدان) و کمترین (۰/۰٤٥ گرم در گلدان) وزن خشک ریشه به‌ترتیب از تیمار دور آبیاری سه روز در شرایط محلول‌پاشی با سولفات روی و دور آبیاری ۱۲ روز در شرایط بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد. با افزایش دور آبیاری از سه روز به ۱۲ روز ارتفاع بوته، طول ریشه، قطر ریشه، قطر ساقه، محتوای کلروفیل a و b و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت اما پرولین، نشت الکترولیت، درصد اسانس و دمای برگ افزایش معنی‌داری پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد در تمام سطوح آبیاری محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش محتوای کلروفیل a، محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت الکترولیت در تمام سطوح آبیاری مؤثرتر بود. میزان پرولین با کاربرد سولفات روی افزایش معنی‌داری یافت و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید باعث کاهش دمای داخلی برگ گردید. بیشترین دمای داخلی برگ (۲۳/۹۳ سانتی‌گراد) و پرولین (۱۸۰/۹۹ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) و کمترین دمای داخلی برگ (۲۱/۱۲ سانتی‌گراد) و پرولین (۱۳۱/۰۲ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) به‌ترتیب از تیمار دور آبیاری ۱۲ و ۳ روز حاصل شد. اگر چه بیشترین درصد اسانس (۰/۱۳ درصد) از دور آبیاری ۹ روز حاصل شد اما با توجه به کاهش شدید رشد گیاه عملکرد اسانس در این تیمار کاهش معنی‌داری یافت و کمترین مقدار عملکرد اسانس از دور آبیاری ۱۲ روز (۰/۰۰۷ گرم بر گلدان) به‌دست آمد. براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که هر چند با افزایش فواصل آبیاری و به‌تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد گیاه همیشه‌بهار کاسته می‌شود اما با کاربرد تعدیل‌کننده های تنش خشکی می‌توان تا حدی اثرات سوء تنش خشکی بر این گیاه را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، درصد اسانس، دمای برگ، ضریب آلومتری، کلروفیل، گلایسین بتائین، نشت الکترولیت

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Gholinezhad1358@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

مقدمه

گیاه دارویی همیشه‌بهار با نام علمی (*Calendula officinalis* L.) گیاه بوته‌ای از خانواده کاسنی (Asteracea) است که به اسامی همیشه‌بهار باغی، همیشه بار، آذرگون، زبیده و قرمهان معروف است (صمصام شریعت و معطر، ۱۳۸۳). گل‌های گیاه همیشه‌بهار برای مداوای بیماری‌های معدی و روده‌ای استفاده می‌شوند. همچنین از مواد استخراج‌شده از گل‌های این گیاه کرم‌هایی برای مداوای زخم‌های پوستی و کاهش تورم تهیه می‌شود. مواد رنگی همیشه‌بهار در رنگ‌کردن مواد غذایی کاربرد دارد (Omidbeigi, 2009).

تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده تولید گیاهان است (Zhang *et al*., 2018). گیاهان تحت شرایط کمبود آب تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی زیادی نشان می‌دهند (Kidokoro *et al*., 2009). با افزایش تنش خشکی تا سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی وزن خشک اندام‌های ساقه، ریشه، برگ و گل در مقایسه با آبیاری در حد ظرفیت زراعی کاهش یافت شرایط تغذیه‌ای بهینه توانست در بهبود رشد و عملکرد ارقام همیشه بهار مؤثر باشد و اثرات تنش خشکی را تعدیل کند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹٤). محققان با بررسی اثر رژیم‌های آبیاری مختلف بر رنگیزه‌های گیاهی، پرولین و قندهای محلول گیاه همیشه‌بهار اظهار داشتند که اثر تنش خشکی روی کلروفیل a و پرولین برگ معنی‌دار بود (Azimi *et al*., 2012). مرادی و پورقاسمیان (۱۳۹۷) نشان دادند افزایش تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در گیاه گل همیشه‌بهار شد و پرولین با کاهش آب آبیاری افزایش معنی‌داری یافتند. با افزایش سطح خشکی طول ریشه، کاروتنوئید، محتوی پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه دارویی همیشه‌بهار افزایش یافت (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۳). هلالی سلطان احمدی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که درصد اسانس همیشه‌بهار با اعمال تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر افزایش معنی‌داری را نشان داد.

روش‌های زیادی برای اجتناب از اثرات تنش خشکی در گیاهان وجود دارد که راهبرد سریع‌تر برای القاء تحمل خشکی گیاه کاربرد خارجی ترکیب‌های مختلف شامل محلول‌های آلی (اسمولیت‌های آلی و تنظیم‌کننده‌های رشد) مانند گلایسین بتائین، گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا)، سالیسیلیک اسید، هیومیک اسید و متیل جاسمونات است (Sparks, 2004). سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی با توزیع گسترده در گیاهان است که در پاسخ گیاه به تنش خشکی نقش مهمی ایفاء می‌کند. به‌طور خاص، کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از طریق افزایش پرولین داخلی در ایجاد مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی مؤثر است (Pedranzani and Viglioco, 2017). مرادی و پورقاسمیان (۱۳۹۷) نشان دادند افزایش سطوح سالیسیلیک اسید تا ۱/۵ میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شد. سایر محققان نیز گزارش کردند محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش داد (Anosheh *et al*., 2012). کاربرد خارجی و محلول‌پاشی گلایسین بتائین در گیاهان با مقدار کم گلایسین بتائین ممکن است به کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی کمک کند (Yang and Lu, 2005). محلول‌پاشی گلایسین بتائین باعث می‌شود سریعاً در برگ‌ها نفوذ کرده و به سایر اندام‌ها انتقال پیدا کند و در بهبود تحمل به تنش خشکی شرکت کند (Ashraf and Foolad, 2007). نقش تعدیل‌کنندگی گلایسین بتائین به عوامل متعددی از جمله نوع محصول، زمان و میزان کاربرد آن و شرایط محیطی بستگی دارد (Makela *et al*., 1998). روی نیز یکی دیگر از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاهان است. مقدار نیاز گیاهان به روی اندک و بین ۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. این مقدار کم روی نقش کلیدی در اعمال فیزیولوژیک گیاه مانند فتوسنتز، تشکیل قند، سنتز پروتئین، باروری و تولید دانه، تنظیم رشد گیاه و سیستم دفاعی گیاه دارد (Alloway, 2008). محققان نشان دادند محلول‌پاشی بابونه با سولفات آهن و روی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد گل، افزایش غلظت برخی از عناصر غذایی و رفع کمبود آنها در گیاه گردد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش شده است که بیشترین ارتفاع بوته، بیشترین وزن خشک ریشه، وزن دانه در بوته و تعداد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

شاخه جانبی از محلول‌پاشی سولفات آهن و روی به مقدار ۷۰ میلی‌گرم در لیتر در گیاه زیره سبز به‌دست آمد (فاضلی کاخکی و همکاران، ۱۳۹۵). یادگاری و اعلاییان (۱۳۹۱) در تحقیقات خود روی گیاه همیشه‌بهار به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف آهن و روی و مصرف توأم آنها بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه مؤثر است و موجب افزایش عملکرد دانه و بیوماس شده است. در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی و آلی در گیاهان دارویی اسانس‌دار ضمن افزایش درصد و عملکرد اسانس در برخی از ترکیبات آن نیز تغییراتی ایجاد می‌نماید (Copertta *et al*., 2006). هدف از این تحقیق ارزیابی اثرات سالیسیلیک اسید، گلایسین بتائین و سولفات روی بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه گل همیشه‌بهار از طریق بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک و درصد و عملکرد اسانس بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار از آبان ماه تا اسفند ماه سال ۱۳۹۷ در گلخانه و آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه پیام‌نور ارومیه اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دور آبیاری با چهار سطح (۳، ٦، ۹ و ۱۲ روز) و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار، گلایسین بتائین با غلظت ۵ میلی‌مولار و سولفات روی با غلظت ۵ در هزار) بودند. بذرهای گل همیشه‌بهار از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد و پس از ضدعفونی در گلدان‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۷ سانتی‌متر حاوی ترکیبی از (۲ نسبت خاک + ۱ نسبت کود دامی + ۱ نسبت ماسه بادی) بودند، کاشته شد. خاک مورد نیاز از نهالستان دیگاله فضای سبز شهرداری ارومیه تهیه شد و جهت تجزیه به آزمایشگاه ارسال شد نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. گیاهان در طی مدت آزمایش در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ٦۰ درصد و دوره نوری ۱٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در گلخانه قرار گرفتند. در هر مرتبه آبیاری ۱۲۰ سی‌سی آب به هر گلدان اضافه شد (حجم آب آبیاری یکسان بود و فقط دور آبیاری متفاوت بوده است). محلول‌پاشی بعد از اعمال تنش و ٤۵ روز بعد از کاشت آغاز گردید و به تعداد سه بار به فاصله زمانی ۱۰ روز تکرار شد. زمان محلول‌پاشی‌ها ساعت ۸ صبح بود. پایان آزمایش ۲۷ اسفند ماه بود و گیاهان وارد مرحله گلدهی شده بودند و به مرحله رسیدگی کامل نرسیدند. برای محاسبه وزن تر ریشه، ساقه و برگ در پایان آزمایش جداگانه با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. برای محاسبه وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و عملکرد دانه در پایان آزمایش جداگانه و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت ٤۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آنها از هر تکرار با ترازوی Shimatzu توزین گردید. عملکرد خشک زیست‌توده از مجموع وزن خشک ریشه، برگ و ساقه به‌دست آمد. ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش به میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شد. برای محاسبه تعداد برگ در هر بوته نیز پنج بوته انتخاب و تعداد برگ در هر بوته محاسبه و سپس از آن میانگین گرفته شد. ضریب آلومتریک از تقسیم وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه به‌دست آمد (Hoseini *et al*., 2011).

محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ (Wikenz and Norfolk, 2010) محاسبه شد:

$$RWC=\frac{wf-wd}{ws-wd}\times 100$$ رابطه (۱)

که در آن RWC = محتوای نسبی آب برگ، Wf = وزن تر برگ، Wd = وزن خشک برگ و Ws = وزن اشباع برگ است.

اندازه‌گیری محتوای پرولین: ۰/۲ گرم ماده تر گیاهی با هاون خردشده و درون لوله آزمایش ریخته شد سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به آن اضافه شد و نمونه‌ها درون یخ قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال مخلوط شد. نمونه‌ها پس از قرارگیری در حمام آب گرم ۸۰ درجه به‌مدت ۱ ساعت درون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

بافت خاک	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	درصد اشباع	آهک	رس	لای	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
			(٪)							(ppm)	
لوم- لومی رسی	۱/۲۸	۷/٦۷	٤۸	۱۲	۱۷	۲٦	۵۷	۲/۵	۰/۲۵	۲۲/۳۱	٦٤۱

یخ سرد شدند. مقدار ٤ میلی‌لیتر تولوئن به محلول لوله‌ها اضافه و به‌مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس بهم زده شد. پس از اندازه‌گیری جذب محلول‌ها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر منحنی استاندارد رسم و معادله خط تعیین شد. با قراردادن جذب نمونه‌ها در معادله خط محتوای پرولین محاسبه شد (در طول آزمایش نمونه‌ها در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد) و برای رسم منحنی استاندارد از پرولین استفاده گردید (Bates *et al.*, 1973).

دمای داخلی برگ در مزرعه در ساعات ۱۲ تا ١٤ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل ۸۸۸۹ ساخت کارخانه AZ تایوان اندازه‌گیری شد (Singh *et al.*, 1985).

برای سنجش میزان نشت الکترولیت برگ نمونه‌های برگ تازه برداشت‌شده سه بار با آب‌مقطر شسته شد تا الکترولیت‌های چسبیده به سطح برگ از بین بروند. ۰/۱ گرم از برگ برداشته و در داخل آب‌مقطر به‌مدت یک ساعت قرار داده شد (داخل آنکوباتور و دمای ثابت). هدایت الکتریکی آن با هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (L_1). سپس محلول به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و هدایت الکتریکی آن مجدداً تعیین شد (L_2). نشت الکترولیت برگ از رابطه ۲ محاسبه گردید (Bai *et al.*, 1996):

رابطه (۲) $$EL = \frac{L_1}{L_2} \times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل: جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و b از روش آرنون (۱۹۷۵) و دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. در مرحله گلدهی از هر کرت پنج برگ برداشت و طبق توصیه (Ma and Dwyer, 1997) از قسمت میانی برگ‌ها یک گرم نمونه تازه تهیه گردید. نمونه تازه با مقداری استن ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده شد محلول به‌دست آمده چندین بار از کاغذ صافی عبور داده شد تا نمونه برگ کاملاً بی‌رنگ شود. حجم محلول به‌دست آمده با استفاده از استن ۸۰ درصد به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد و سپس با دستگاه اسپکترفتومتر (Zeletex Zx 50 ساخت آلمان) اپتیکال دانسیته عصاره برگ در طول‌موج‌های ٦٤۵ و ٦٦۳ خوانده شد و برای محاسبه غلظت کلروفیل a و b از روابط ۳ و ٤ (Arnon, 1975) استفاده شد:

رابطه (۳)

$$\text{Chl a} = [12.7\ (D_{663}) - 2.59\ (D_{645})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

رابطه (٤)

$$\text{Chl b} = [22.9\ (D_{645}) - 4.69\ (D_{663})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

اندازه‌گیری درصد و عملکرد اسانس: برای اسانس‌گیری از هر تیمار ۳۰ گرم برگ، ساقه و گل خشک‌شده با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر (۱:۱۰) درون بالون مخصوص دستگاه ریخته و اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب‌مقطر و توسط دستگاه کلونجر مدل HS-860 ساخت ایران به‌مدت ٤ ساعت انجام گردید (Clevenger, 1928). عملکرد اسانس از حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد خشک به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار رایانه‌ای SAS، MSTATC و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون توکی در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده دور آبیاری و تعدیل کننده‌های تنش و برهمکنش آنها بر صفات مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

ارتفاع بوته: با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته کاهش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین (١٤/۸۵ سانتی‌متر) و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گل همیشه‌بهار با کاربرد تعدیل‌کننده‌های در شرایط مختلف آبیاری

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن خشک ریشه	عملکرد تر	عملکرد خشک	قطر ساقه	قطر ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b
دور آبیاری	۳	۲۸۲/۶۹**	۶۰/۸۳**	۰/۲۱**	۵۷۳/۹۹**	۶۳/۷۷**	۲۳/۴۲**	۸/۱۰**	۱/۰۸**	۰/۰۵**
تعدیل‌کننده تنش	۳	۱۲/۱۸**	۴/۷۹**	۰/۰۱**	۴/۱۶*	۰/۴۶*	۰/۴۰*	۰/۲۸**	۰/۱۸**	۰/۰۰۱۲**
دور آبیاری×تعدیل‌کننده تنش	۹	۲/۱۴^{ns}	۰/۸۵^{ns}	۰/۰۰۱۸**	۰/۹۷^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۳**	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۳۷^{ns}
خطای آزمایشی	۳۲	۱/۰۳	۰/۶۴	۰/۰۰۵۷	۱/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۰۲۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۹۹	۹/۶۱	۱۲/۹۷	۲۲/۰۴	۲۲/۰۴	۱۵/۸۳	۱۵/۴۲	۱۲/۴۱	۶/۹۶

****، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیرمعنی‌دار**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات								
		نسبت کلروفیل a به b	دمای برگ	نشت الکترولیت	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	ضریب آلومتری#	طول ریشه به ساقه	درصد اسانس	عملکرد اسانس
دور آبیاری	۳	۱/۸۸**	۷/۳۸^{ns}	۹۸۲/۴۷**	۵۵۵۱/۵۳**	۵۲۶۴/۲۴**	۱/۸۱**	۱/۸۶**	۰/۰۰۸**	۰/۵۹**
تعدیل‌کننده تنش	۳	۱/۲۸**	۱/۱۱**	۲۲۱/۹۴**	۷۲۲/۰۰۱*	۸۵/۴۴**	۰/۲۲**	۰/۱۰۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۱۵**
دور آبیاری×تعدیل‌کننده تنش	۹	۱/۰۹**	۰/۰۳۳^{ns}	۲۹/۸۶**	۶۰/۸۳^{ns}	۲۱/۱۷^{ns}	۰/۱۷**	۰/۰۷**	۰/۰۰۰۰۴۴^{ns}	۰/۰۰۴۷^{ns}
خطای آزمایشی	۳۲	۰/۱۲۳	۰/۰۷۳	۵/۷۶	۲۱۹/۷۲	۱۶/۴۰	۰/۰۴۷	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۰۷۵	۰/۰۰۲۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۵۳	۱/۲۱	۶/۵۷	۹/۴۹	۶/۹۲	۳۰/۱۴	۱۴/۸۵	۸/۲۴	۳۱/۲۸

****، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار**

#(وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه)

کمترین (۳/۷۶ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به‌ترتیب از دور آبیاری ۳ و ۱۲ روز به‌دست آمد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ۶ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، ارتفاع بوته را به‌ترتیب به میزان ۷۵، ۵۳ و ۲۴ درصد کاهش داد. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول به خصوص در ساقه و برگ‌ها را به‌دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول اندازه اندام محدود می‌شود به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه کاهش ارتفاع و کوچک‌شدن اندازه برگ‌ها و در نهایت کاهش کل ماده خشک است (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعه‌ای کاهش ارتفاع بوته در گیاه جعفری با افزایش تنش خشکی مشاهده شده است (Petropoulos *et al*., 2008; Riaz *et al*., 2013). محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش ارتفاع بوته گردید. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش ارتفاع بوته مؤثرتر بوده است هر چند بین سطوح مختلف محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی)، ارتفاع بوته را به میزان ۲۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری و تعدیل کننده‌های تنش بر صفات مورد مطالعه

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	طول ریشه (cm)	عملکرد تر (g)	عملکرد خشک (g)	قطر ساقه (mm)	کلروفیل b ($mg.g\ FW^{-1}$)
دور آبیاری (روز)						
۳	۱٤/۸۵ a	۱۱/۰٤ a	۱۵/۰۹ a	۵/۰۳ a	٤/۱۲ a	۰/۲٦ a
٦	۱۱/۳٤ b	۹/۳٦ b	۳/۳۹ b	۱/۱۳ b	۲/٦٤ b	۰/۲٤ b
۹	۷/۰٤ c	۷/۰۵ c	۰/۸٦ c	۰/۲۸ c	۱/۳٦ c	۰/۱۸ c
۱۲	۳/۷٦ d	٦/۰۵ d	۰/۳۱ d	۰/۱۰ c	۱/۰٦ c	۰/۱۲ d
تعدیل‌کننده تنش						
شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۷/۸۹ b	۷/۵۹ b	٤/۱۹ b	۱/۳۹ b	۲/۰۵ b	۰/۱۸ b
سولفات روی	۹/۱۲ a	۹/۱۲ a	٤/٦٦ ab	۱/۵۵ ab	۲/۳۸ab	۰/۲۱ a
گلایسین بتائین	۱۰/۲۰ a	۸/٤۸ a	۵/٤۰ a	۱/۸۰ a	۲/۲۸ ab	۰/۲۱ a
سالیسیلیک اسید	۹/۷۸ a	۸/۳۱ ab	۵/۳۸ ab	۱/۷۹ ab	۲/٤۸ a	۰/۲۰ a

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین دارای یک حرف مشترک براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

ادامه جدول ۳-

تیمار	دمای داخلی برگ (°C)	پرولین ($mmol.kg\ DW^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	درصد اسانس (٪)	عملکرد اسانس (g)
دور آبیاری (روز)					
۳	۲۱/۱۲ d	۱۳۱/۰۲ d	۷۷/٤٤ a	۰/۰۹٦ b	۰/٤۹۱ a
٦	۲۲/۲۳ c	۱٤۷/۷۸ c	۷۱/۱۳ b	۰/۱۲ a	۰/۱۳۷ b
۹	۲۲/۵۹ b	۱٦٤/٤۸ b	۵٤/۸۵ c	۰/۱۳ a	۰/۰۳۷ c
۱۲	۲۳/۹۳ a	۱۸۰/۹۹ a	۳۰/٤۹ d	۰/۰۷۲ c	۰/۰۰۷ c
تعدیل‌کننده تنش					
شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۲۳/٦۱ a	۱٤۵/۱٤ b	۵۵/۱۲ b	۰/۰۹۰ b	۰/۱۱۹ b
سولفات روی	۲۲/۱۵ bc	۱٦۳/۳۹ a	۵۸/۸۲ ab	۰/۱۱۱ a	۰/۱٦٦ ab
گلایسین بتائین	۲۲/۲٤ b	۱۵۸/۵۹ ab	٦۱/٦٤ a	۰/۱۰٦ a	۰/۱۹۰ a
سالیسیلیک اسید	۲۱/۸۷ c	۱۵۷/۱۵ ab	۵۸/۳۳ ab	۰/۱۱۰ a	۰/۱۹۸ a

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین دارای یک حرف مشترک براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

درصد افزایش داد (جدول ۳). با توجه به اینکه عنصر روی از اجزای آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز و دهیدروژناز بوده و در ساخت اکسین که در فرآیند طویل‌شدن سلول‌ها نقش دارد شرکت می‌کند افزایش ارتفاع بوته مورد انتظار بوده است (Hatwar *et al*., 2003). سایر محققان نیز اظهار داشتند با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ارتفاع بوته در گیاه بارهنگ تخم مرغی (*Plantago ovata*) افزایش معنی‌داری یافت (Shekofteh *et al*., 2015). در مطالعات سایر پژوهشگران نیز محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و سولفات روی در گیاه گندم باعث افزایش طول ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) گردید (Sofy, 2015).

طول ریشه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دور آبیاری، طول ریشه کاهش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین (۱۱/۰٤ سانتی‌متر) و کمترین (٦/۰٥ سانتی‌متر) طول ریشه به ترتیب از دور آبیاری ۳ و ۱۲ روز به‌دست آمد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، طول ریشه را به‌ترتیب به میزان ٤٦، ۳۷ و ۱٦ درصد کاهش داد. سایر محققان گزارش کردند با افزایش تنش خشکی طول ریشه افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۳) که با یافته‌های ما در این تحقیق مغایرت داشت. در تأیید نتایج این تحقیق، علی‌آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که طول ریشه گیاه گشنیز در تنش خشکی کاهش می‌یابد. محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش طول ریشه گردید. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با سولفات روی در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش طول ریشه مؤثرتر بوده است هر چند بین سطوح مختلف محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. محلول‌پاشی با سولفات روی در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) طول ریشه را به میزان ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۳). مطالعه سایر محققان روی توت‌فرنگی نیز نشان داد محلول‌پاشی در سه مرحله رشدی با تیمارهای سولفات روی به مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر طول ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد (Kazemi, 2014).

وزن خشک ریشه: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه (۰/٤۱۹ گرم در گلدان) از تیمار دور آبیاری ۳ روز و محلول‌پاشی با سولفات روی به‌دست آمد و کمترین وزن خشک ریشه (۰/۰٤٥ گرم در گلدان) از دور آبیاری ۱۲ روز و بدون محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ٤). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، وزن خشک ریشه را به‌ترتیب به میزان ۷٥، ۷٥ و ٥٤ درصد کاهش داد. سایر پژوهشگران (Riaz *et al*., 2013) نیز گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه گردید که با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت داشت. احتمالاً کاهش خصوصیات رشدی به‌دلیل کاهش محتوای نسبی آب و متعاقباً کوچک‌شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و درنتیجه کندشدن رشد برگ، توقف تولید برگ، تسریع پیری و متعاقباً ریزش برگ‌ها است (Osuagwu *et al*., 2010). محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش وزن خشک ریشه گردید. در مطالعه‌ای علی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش دادند که تیمار بذرهای ذرت با محلول‌پاشی گلایسین بتائین منجر به افزایش وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت سطوح خشکی شدید شد. افزایش وزن گیاه بر اثر مصرف گلایسین بتائین می‌تواند به این دلیل باشد که گلایسین بتائین به‌عنوان یک اسمولیت مهم در گیاهان باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و درنتیجه با جذب آب توسط گیاه آماس سلول‌ها افزایش پیدا می‌کند. از آنجا که رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ‌شدن سلول‌های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس قادر به تقسیم سلولی هستند با ایجاد حالت آماس توسط گلایسین بتائین تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و رشد گیاه در حالت محلول‌پاشی این ماده را سبب شده است (کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳).

عملکرد تر و خشک: نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دور آبیاری عملکرد تر و خشک کاهش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین (۱٥/۰۹ گرم در گلدان) و کمترین (۰/۳۱ گرم در گلدان) عملکرد تر به‌ترتیب از دور آبیاری ۳ و ۱۲ روز به‌دست آمد (جدول ۳ و ٤). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، عملکرد تر و خشک را به‌ترتیب به میزان ۹۸، ۹٥ و ۷۸ درصد کاهش داد. نتایج تحقیقات پژوهش حاضر با نتایج مطالعات پورقاسمیان و مرادی (۱۳۹٦) مطابقت دارد که گزارش کردند با افزایش میزان تنش خشکی وزن تر و خشک گیاه همیشه‌بهار کاهش یافت. محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی)، عملکرد تر و خشک را به میزان ۲۳ درصد افزایش داد (جدول ۳ و ٤). همسو با نتایج این تحقیق سایر محققان نیز اظهار داشتند مصرف گلایسین بتائین منجر به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و تعدیل‌کننده تنش بر صفات مورد مطالعه

تیمار (دور آبیاری × تعدیل‌کننده تنش)		وزن خشک ریشه (g)	قطر ریشه (mm)	کلروفیل a ($mg.g\ FW^{-1}$)	نشت الکترولیت (٪)	نسبت کلروفیل a به b	ضریب آلومتری	نسبت طول ریشه به طول ساقه
دور آبیاری	تعدیل‌کننده تنش							
× ۳	شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۰/۳٤۰ ^{b}	۲/۳۱ ^{abc}	۰/۷۳ ^{cd}	۲۷/۱۲ ^{g}	۲/۸۷ ^{cde}	۰/۰۷۳ ^{c}	۰/۷۹ ^{ef}
	سولفات روی	۰/٤۱۹ ^{a}	۲/۳۸ ^{ab}	۱/۱۰ ^{ab}	۲٦/۷۰ ^{g}	۳/۸۷ ^{abc}	۰/۰۹ ^{c}	۰/۸۵ ^{def}
	گلایسین بتائین	۰/۳٦٦ ^{ab}	۲/٤٦ ^{a}	۱/۲۳ ^{a}	۲٦/۷۱ ^{g}	٤/٦۲ ^{a}	۰/۰۷۳ ^{c}	۰/۷۰ ^{ef}
	سالیسیلیک اسید	۰/۳۷۸ ^{ab}	۲/۳۹ ^{ab}	۱/۱۲ ^{ab}	۲۷/۳۱ ^{g}	٤/۲۳ ^{ab}	۰/۰۷۰ ^{c}	۰/٦٦ ^{f}
× ٦	شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۰/۱۳۵ ^{cd}	۱/۵۷ ^{de}	۰/۵۹ ^{de}	۳۷/۰۷ ^{def}	۲/٤۹ ^{de}	۰/۱۹٦ ^{c}	۰/۸۲ ^{ef}
	سولفات روی	۰/۱۸٤ ^{c}	۱/٦۵ ^{cd}	۰/۷۷ ^{cd}	۳۳/۷۰ ^{defg}	۳/۰۸ ^{cde}	۰/۱۹۳ ^{c}	۰/۸٤ ^{def}
	گلایسین بتائین	۰/۱۷۸ ^{c}	۱/۷۱ ^{bcd}	۰/۹٤ ^{bc}	۲۷/۰۱ ^{g}	۳/۸۹ ^{abc}	۰/۱۳٦ ^{c}	۰/۷۸ ^{ef}
	سالیسیلیک اسید	۰/۱۹۹ ^{c}	۲/٤۱ ^{a}	۰/۹٤ ^{bc}	۳۱/۹٦ ^{fg}	۳/٦۹ ^{abc}	۰/۱۵۳ ^{c}	۰/۸۸ ^{def}
× ۹	شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۰/۰۷۹ ^{de}	۰/٦۹ ^{fg}	۰/۳۹ ^{efg}	٤٦/۱۳ ^{bc}	۲/۳۳ ^{e}	۰/٦۱۳ ^{bc}	۱/۱۷ ^{cde}
	سولفات روی	۰/۱۰۱ ^{de}	۱/۱۳ ^{def}	۰/٦۲ ^{def}	۳۹/٤٦ ^{cde}	۳/۳٤ ^{bcde}	۰/۵٤٦ ^{bc}	۱/۳۲ ^{bcd}
	گلایسین بتائین	۰/۰۹۸ ^{de}	۰/۹٦ ^{efg}	۰/٦۵ ^{de}	۳۲/٦٦ ^{efg}	۳/۵۱ ^{bcd}	۰/۱۹۳ ^{c}	۰/۷٦ ^{ef}
	سالیسیلیک اسید	۰/۱۰۰ ^{de}	۰/۸٤ ^{fg}	۰/۵۵ ^{defg}	۳٦/٦۳ ^{def}	۳/۰۳ ^{cde}	۰/۳٦۳ ^{bc}	۰/۹۲ ^{def}
× ۱۲	شاهد (عدم محلول‌پاشی)	۰/۰٤۵ ^{e}	۰/٤۳ ^{g}	۰/۳٤ ^{g}	۵۷/۳٦ ^{a}	۳/۸۳ ^{abc}	۰/۵۰۳ ^{bc}	۱/۸۲ ^{a}
	سولفات روی	۰/۱۷٦ ^{c}	۰/٦۳ ^{fg}	۰/۳٦ ^{fg}	٤۹/۸٦ ^{b}	۳/۰۱ ^{cde}	۱/۵۵ ^{a}	۱/۵۲ ^{abc}
	گلایسین بتائین	۰/۰٦٦ ^{de}	۰/۵۱ ^{fg}	۰/۳۷ ^{fg}	٤۰/۳۰ ^{cd}	۲/۵٦ ^{de}	۰/۷۱ ^{bc}	۱/۷۳ ^{ab}
	سالیسیلیک اسید	۰/۰۹۵ ^{de}	۰/۸٦ ^{fg}	۰/۳۵^{g}	٤٤/٦۳ ^{bc}	۲/۹۰ ^{cde}	۱/۰۰۳ ^{ab}	۱/٤۳ ^{abc}

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین دارای یک حرف مشترک براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

افزایش تحمل و ثبات تولید ماده خشک کلزا در دور آبیاری ٦ و ۹ روزه نسبت به دور آبیاری ۳ روزه شد. بهبود در عملکرد تر و خشک در اثر کاربرد خارجی گلایسین بتائین ممکن است ناشی از اثر سودمند گلایسین بتائین بر رشد و متابولیسم و نقش آن به‌عنوان محافظت‌کننده اسمزی باشد. البته اثر کاربرد خارجی گلایسین بتائین موقعی که در زمان شروع کمبود آب و در مرحله رشد رویشی و زایشی بکار برده شود آشکارتر است (Aldesuquy *et al*., 2012).

قطر ساقه و ریشه: بیشترین (٤/۱۲ میلی‌متر) و کمترین (۱/۰٦ میلی‌متر) قطر ساقه به‌ترتیب از دور آبیاری ۳ و ۱۲ روز به‌دست آمد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز قطر ساقه را به‌ترتیب به میزان ۷۵، ٦۷ و ۳٦ درصد کاهش داد. بیشترین قطر ریشه (۲/٤٦ میلی‌متر) از تیمار دور آبیاری ۳ روز و محلول‌پاشی با گلایسین بتائین به‌دست آمد و کمترین قطر ریشه (۰/٤۳ میلی‌متر) از دور آبیاری ۱۲ روز و بدون محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ٤). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز قطر ریشه را به‌ترتیب به میزان ۷۵، ٦۳ و ۲٤ درصد کاهش داد. کاهش قطر ریشه در مطالعه راد و همکاران (۱۳۸۹) و کاهش ۵٤ درصدی قطر ریشه در تیمار تنش خشکی در دو رقم فستوکای بومی و تجاری در مطالعه سلاح‌ورزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش قطر ساقه گردید. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش قطر ساقه مؤثرتر بوده است. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (عدم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

محلول‌پاشی) قطر ساقه را به میزان ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). نتایج این بررسی با یافته‌های (Seyed Hajizadeh and Aliloo, 2013) مطابقت دارد این محققان گزارش کردند کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش قطر ساقه گل‌دهنده لیلیوم شده و غلظت‌های بیشتر اثر منفی داشتند. منصوری و همکاران (۱۳۹٤) نیز گزارش کردند بیشترین قطر ساقه در تیمار سالیسیلیک اسید ۱۵۰ میکرومولار به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید روی خصوصیات رشدی نتیجه افزایش جذب دی‌اکسید کربن و افزایش غلظت کلروفیل نسبی و نسبت فتوسنتز باشد (Karlidag *et al*., 2009).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی نشان داد با افزایش دور آبیاری محتوای کلروفیل a کاهش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین محتوای کلروفیل a (۱/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار دور آبیاری ۳ روز و محلول‌پاشی با گلایسین بتائین به‌دست آمد و کمترین محتوای کلروفیل a (۰/۳٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از دور آبیاری ۱۲ روز و بدون محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ٤). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، محتوای کلروفیل a را به‌ترتیب به میزان ٦۷، ٤۸ و ۲۳ درصد کاهش داد. دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز محتوای کلروفیل b را به‌ترتیب به میزان ٥٤، ۳۱ و ۸ درصد کاهش داد. مرادی و پورقاسمیان (۱۳۹۷) نشان دادند افزایش تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b گیاه گل همیشه بهار شد و محتوای پرولین با کاهش آب آبیاری افزایش معنی‌داری یافت. سایر محققان نیز گزارش کردند با افزایش دور آبیاری از ٤ به ۸ روز محتوای کلروفیل a و b کاهش معنی‌داری پیدا کرد (میری و ضمانی مقدم، ۱۳۹۳). کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به‌دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین باشد. شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین است کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل قرار گیرد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۰). محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش محتوای کلروفیل a گردید. به‌نظر می‌رسد در تمام سطوح آبیاری محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش محتوای کلروفیل a مؤثرتر بوده است. سایر محققان نیز گزارش کردند کاربرد خارجی گلایسین بتائین باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد (میری و ضمانی مقدم، ۱۳۹۳). احتمالاً افزایش غلظت گلایسین بتائین موجب افزایش داخلی پیش‌ماده کولین در برگ شده و از تخریب کلروفیل و فعالیت آنزیم کلروفیلاز ممانعت کرده است لذا بر پایداری کلروفیل a افزوده است (میری و ضمانی مقدم، ۱۳۹۳). بین سطوح مختلف محلول‌پاشی از نظر کلروفیل b، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تأیید نتایج این تحقیق، گزارش شده است که محلول‌پاشی سولفات آهن و روی موجب افزایش قابل توجه میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین و فنل‌ها در گیاه سنا شد (Shitole and Dhumal, 2012).

نسبت کلروفیل a به b: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی نشان داد بیشترین نسبت کلروفیل a به b (٤/٦۲) از تیمار دور آبیاری ۳ روز و محلول‌پاشی با گلایسین بتائین به‌دست آمد و کمترین نسبت کلروفیل a به b (۲/۳۳) از دور آبیاری ۹ روز و بدون محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ٤). در دور آبیاری ۳، ٦ و ۹ روز محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها نسبت کلروفیل a به b را افزایش داد.

دمای داخلی برگ: با افزایش دور آبیاری دمای داخلی برگ افزایش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین دمای داخلی برگ (۲۳/۹۳ سانتی‌گراد) از تیمار دور آبیاری ۱۲ روز به‌دست آمد و کمترین دمای داخلی برگ (۲۱/۱۲ سانتی‌گراد) از دور آبیاری ۳ روز حاصل شد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز دمای داخلی برگ را به‌ترتیب به میزان ۱۲، ۷ و ٥ درصد افزایش داد. در شرایط کاهش پتانسیل آب خاک بر اثر خشکی یا شوری گیاهان با به کارگیری مکانیسم‌های مختلفی ازجمله افزایش مقاومت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

روزنه‌ای یا کاهش هدایت روزنه‌ای و حتی بستن کلی روزنه‌ها از انجام پدیده تعرق جلوگیری می‌کنند. بسته‌شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش تعرق سبب بالارفتن دمای برگ گیاه می‌شود (Levitt, 1980). بهادر و همکاران (۱۳۹٦) نیز در گیاه شاهدانه نشان دادند با افزایش تنش خشکی دمای کانوپی افزایش یافت که با یافته‌های ما در این تحقیق مشابهت دارد. محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث کاهش دمای داخلی برگ گردید به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در کاهش دمای داخلی برگ مؤثرتر بوده است. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی)، دمای داخلی برگ را به میزان ۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). سالیسیلیک اسید با اثر مثبت بر روی محتوای نسبی آب برگ و تعرق روزنه‌ای باعث شد تا گیاه آب کافی در اختیار داشته باشد و دمای برگ در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی کمتر باشد. یافته‌های ما در این تحقیق با نتایج عبداللهی و شکاری (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

نشت الکترولیت: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی نشان داد با افزایش دور آبیاری نشت الکترولیت افزایش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین نشت الکترولیت (۵۷/۳٦ درصد) از تیمار دور آبیاری ۱۲ روز و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد و کمترین نشت الکترولیت (۲٦/۷۰ درصد) از دور آبیاری ۳ روز و محلول‌پاشی با سولفات روی حاصل شد در این شرایط آبیاری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز، نشت الکترولیت را به‌ترتیب به میزان ٤٤، ۳۱ و ۱۷ درصد افزایش داد. مشابه با یافته‌های ما در این تحقیق سایر محققان اظهار داشتند که با افزایش دور آبیاری در گیاه گندم نشت الکترولیت افزایش معنی‌داری پیدا کرد (Sofy, 2015). تحت شرایط تنش خشکی تثبیت دی‌اکسید کربن به دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد در حالیکه انتقال الکترون و واکنش‌های نوری ادامه پیدا می‌کنند. تحت چنین شرایطی $NADP^+$ کمی جهت پذیرش راحت الکترون یافت می‌شود و اکسیژن به‌عنوان گیرنده الکترون عمل می‌کند و باعث ساخته‌شدن گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های پراکسید، سوپراکسید و رادیکال هیدروکسید می‌شود. پیشرفت گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت اکسیداتیو در بسیاری از اجزای سلولی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای هسته می‌شود و در نهایت منجر به افزایش نشت الکترولیت و تخریب غشای سلولی می‌شود (Jiang and Huang, 2001).

محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث کاهش نشت الکترولیت گردید. در تمام سطوح آبیاری محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در کاهش نشت الکترولیت مؤثرتر بوده است. بررسی آثار کاربرد برگی گلایسین بتائین بر محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و هدایت روزنه‌ای گیاهان کلزا تحت شرایط آبیاری با آب شور در مرحله رشد رویشی نشان داد که محلول‌پاشی گلایسین بتائین در غلظت ۱۰ میلی‌مولار موجب بهبود شرایط رشد گیاه در مواجهه با تنش شوری شد. همچنین افزایش غلظت گلایسین بتائین بیشتر از ۱۰ میلی‌مولار منجر به کاهش رشد گیاهان مورد بررسی شد (علی و همکاران، ۱۳۸۹). همسو با نتایج این تحقیق سایر محققان بیان کردند که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و سولفات روی در دورهای مختلف آبیاری نشت الکترولیت برگ را کاهش داد (Sofy, 2015). سایر پژوهشگران نیز نشان دادند کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید درصد نشت الکترولیت را کاهش داد (Zarghami *et al.*, 2014).

پرولین: با افزایش دور آبیاری میزان پرولین افزایش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین میزان پرولین (۱۸۰/۹۹ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) از تیمار دور آبیاری ۱۲ روز به‌دست آمد و کمترین میزان پرولین (۱۳۱/۰۲ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) از دور آبیاری ۳ روز حاصل شد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز میزان پرولین را به‌ترتیب به میزان ۲۸، ۲۱ و ۱۲ درصد افزایش داد. از آنجا که پرولین یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های افزایش تحمل به تنش است. تجمع پرولین در هنگام تنش باعث حفظ ساختار سلولی و جلوگیری از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

آسیب‌های سلولی خواهد شد (Wang *et al.*, 2014). سایر محققان نیز گزارش کردند افزایش سطوح تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین در گیاه همیشه‌بهار شد (پورقاسمیان و مرادی، ۱۳۹۶). محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین گردید به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با سولفات روی در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش میزان پرولین مؤثرتر بوده است هرچند بین سطوح مختلف محلول‌پاشی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). سایر محققان نیز بیان داشتند تنش خشکی میزان پرولین را در کلزا افزایش داد در حالیکه محلول‌پاشی با گلایسین بتائین نیز باعث افزایش غلظت پرولین نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) گردید (کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳). درباره افزایش تولید پرولین در گیاه بر اثر مصرف گلایسین بتائین می‌توان به این نکته اشاره کرد که سنتز آمینواسیدهایی نظیر پرولین در داخل سلول‌های گیاهی از طریق گلوکز شروع می‌شود گلایسین بتائین در اولین مسیر چرخه از طریق 3-p-glycerate و سرین به وجود آمده در صورتیکه سنتز پرولین در مراحل پایانی چرخه سنتز آمینواسیدها قرار دارد. محلول‌پاشی گلایسین بتائین و جذب سلولی آن سبب می‌شود که مسیر سنتز آمینواسیدها به سمت تولید پرولین و دیگر آمینواسیدها بجای سنتز گلایسین بتائین حرکت کند به همین سبب میزان پرولین با محلول‌پاشی گلایسین بتائین در گیاه کلزا افزایش نشان داد (کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳). سایر محققان نیز در تأیید نتایج پژوهش حاضر اظهار داشتند با افزایش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید مقدار پرولین افزایش معنی‌داری یافت (Dianat *et al.*, 2016).

محتوای نسبی آب برگ: با افزایش دور آبیاری محتوای نسبی آب برگ کاهش معنی‌داری یافت به طوریکه بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۷/٤٤ درصد) از تیمار دور آبیاری ۳ روز به‌دست آمد و کمترین محتوای نسبی آب برگ (۳۰/٤۹ درصد) از دور آبیاری ۱۲ روز حاصل شد (جدول ۳). دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با دور آبیاری ۳ روز محتوای نسبی آب برگ را به‌ترتیب به میزان ٦۱، ۳۰ و ۸ درصد کاهش داد. می‌توان علت کاهش محتوای رطوبت نسبی را کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک دانست (Colom and Vazzana, 2003). محققان معتقدند که کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم آبی مربوط به بسته‌ترشدن روزنه‌ها است و علت بسته‌شدن روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌دانند به طوریکه در شرایط تنش خشکی در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Khan *et al.*, 2007). به‌نظر می‌رسد رابطه مستقیمی بین رطوب خاک و محتوای نسبی آب برگ وجود دارد بنابراین کاهش مقدار رطوبت خاک با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد (Sofy, 2015). محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با سایر تعدیل‌کننده‌ها در افزایش محتوای نسبی آب برگ مؤثرتر بوده است هر چند بین سطوح مختلف محلول‌پاشی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و گلایسین بتائین در گیاه گندم باعث کاهش اثرات تنش خشکی شد و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد (Aldesuquy, 2014). سایر محققان نیز بیان کردند با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش معنی‌داری یافت ولی محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و سولفات روی از کاهش جلوگیری کرد (Yavas and Unay, 2016).

ضریب آلومتری (نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه): مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دور آبیاری ضریب آلومتری افزایش یافت به طوریکه دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با ۳ روز ضریب آلومتری را به‌ترتیب به میزان ۹۲، ۸۳ و ۵۵ درصد افزایش داد (جدول ٤). در دورهای آبیاری ۳، ٦ و ۹ روز محلول‌پاشی با سولفات روی، گلایسین بتائین و سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر ضریب آلومتری نداشت اما در دور آبیاری ۱۲ روز محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های مختلف تنش خشکی در مقایسه با شاهد باعث افزایش ضریب آلومتری شد و بیشترین ضریب آلومتریک با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

استفاده از کاربرد سولفات روی (۱/۵۵) به‌دست آمد.

ضریب آلومتری در واقع شاخصی از توازن رشد میان اجزای ریشه و اندام‌های هوایی گیاه است. یکی از شاخص‌های رشد گیاه نسبت ریشه به اندام هوایی است که گیاهان به‌طور معمول این نسبت را در یک سطح معین ثابت نگه می‌دارند. اگر چه ضریب آلومتری تحت کنترل ژنتیکی است ولی به‌طور شدیدی تحت تأثیر محیط هم قرار می‌گیرد (استادیان بیدگلی و همکاران، ۱۳۹٦). تنش خشکی باعث کاهش رشد اندام هوایی و ریشه می‌شود. در بیشتر موارد رشد اندام هوایی نسبت به ریشه افزایش می‌یابد (Wang *et al*., 2001). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نیز نشان داد که وزن خشک ریشه در مقایسه با وزن خشک اندام هوایی کاهش بیشتری داشته است. نتایج سایر مطالعات نیز نشان داد که بیشترین و کمترین نسبت وزن ریشه به وزن ساقه به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی حاصل شد (Riaz *et al*., 2013) که با یافته‌های ما در این تحقیق مغایرت داشت. در مطالعه تاتاری و همکاران (۱۳۹٤) نیز گزارش شد که نسبت وزن ریشه به وزن اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی بیشتر از آبیاری مطلوب بود که با نتایج ما مطابقت داشت. در مطالعه‌ای بیان شد که کاربرد سالیسیلیک اسید در سطوح پایین غلظت‌های شوری (صفر، ۱۲۰ و ۱۸۰میلی‌مولار) نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی کاهش یافت اما در غلظت‌های ۲٤۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی شد (دهقان و همکاران، ۱۳۹۷).

نسبت طول ریشه به طول ساقه: مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دور آبیاری نسبت طول ریشه به طول ساقه افزایش یافت به طوریکه دور آبیاری ۱۲، ۹ و ٦ روز در مقایسه با ۳ روز نسبت طول ریشه به طول ساقه را به‌ترتیب به میزان ٥٤، ۲۸ و ۱۰ درصد افزایش داد (جدول ٤). آزمایشات مختلف بیانگر این است که در اثر تنش خشکی طول ریشه و طول ساقه هر دو کاهش می‌یابد ولی نسبت طول ریشه به طول ساقه افزایش می‌یابد زیرا در مراحل اولیه تنش خشکی سرعت رشد ریشه به‌دلیل حساسیت کمتر آن به تنش خشکی و به‌منظور افزایش جذب آب بیشتر است (Kafi *et al*., 2005). در دورهای آبیاری ۳، ٦ و ۹ روز محلول‌پاشی با سولفات روی در مقایسه با شاهد تأثیر مثبت معنی‌داری روی نسبت طول ریشه به طول ساقه داشت و باعث افزایش آن شد. اما در دور آبیاری ۱۲ روز بیشترین نسبت طول ریشه به طول ساقه از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) (۱/۸۲) به‌دست آمد. نسبت طول ریشه به ساقه به ارزیابی سلامت گیاه کمک می‌کند و جهت بررسی پتانسیل اجتناب از خشکی استفاده می‌شود (Bush, 1995). بسیاری از گیاهان به خشکی از طریق افزایش نسبت طول ریشه به طول ساقه و دسترسی به حجم آب بیشتر پاسخ می‌دهند. افزایش در نسبت طول ریشه به ساقه می‌تواند به‌دلیل حساسیت نسبت طول ریشه به ساقه به ABA درونی یا تنظیم اسمزی بیشتر در ریشه در مقایسه با ساقه تحت شرایط تنش خشکی باشد (Samarah *et al*., 2007).

درصد و عملکرد اسانس: تأثیر دور آبیاری و تعدیل کننده‌های تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش دور آبیاری از ۳ روز تا ۹ روز درصد اسانس افزایش معنی‌داری یافت به طوریکه تنش خشکی ٦ و ۹ روز در مقایسه با شاهد (۳ روز) درصد اسانس را به‌ترتیب به میزان ۲۰ و ۲٦ درصد افزایش داد ولی افزایش تنش خشکی خیلی شدید (۱۲ روز) باعث کاهش درصد اسانس به میزان ۲٥ درصد گردید. بنابراین در تنش‌های خیلی شدید (دور آبیاری ۱۲ روز) گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، گلایسین بتائین، و ترکیبات قندی مانند ساکارز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد درنتیجه درصد اسانس کاهش می‌یابد (رضائی چیانه، ۱۳۹۱). بیشترین و کمترین میزان عملکرد اسانس به‌ترتیب از دور آبیاری ۳ و ۱۲ روز به‌دست آمد (جدول ۳). کاهش عملکرد اسانس درنتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثرات زیان‌آور تنش خشکی بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. در سایر آزمایشات نیز کاهش رطوبت خاک باعث افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

گیاه ریحان شده است (حسنی و امید بیگی، ۱۳۸۱) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. یافته‌های ما در این پژوهش با نتایج عزیزی و همکاران (۱۳۹٤) در خصوص تأثیر مثبت تنش خشکی بر افزایش درصد اسانس در همیشه‌بهار مغایرت داشت. به‌نظر می‌رسد خشکی متوسط موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه (اسانس) که تأثیر حفاظتی نسبت به تنش‌ها از جمله تنش خشکی در گیاه دارند می‌شود (کبیری، ۱۳۹۰). استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس در مقایسه با سطح شاهد (عدم محلول‌پاشی) شد. سایر محققان نیز گزارش کردند اثر متقابل تنش خشکی متوسط (۷۰ درصد طرفیت زراعی) و غلظت ۱۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش ۱۵۰ درصدی مقدار اسانس سیاهدانه شد (جامی و همکاران، ۱۳۹٤). مقدار مناسب سالیسیلیک اسید نیز با خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولیدشده در اثر تنش خشکی در گیاهان سبب افزایش مقدار اسانس در گیاهان دارویی می‌شود (کبیری، ۱۳۹۰). در نتایج سایر تحقیقات نیز تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش صفات کیفی از جمله مقدار اسانس گزارش شده است (فرهودی و مکی‌زاده تفتی، ۱۳۹۱).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد افزایش دور آبیاری باعث کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک (وزن خشک ساقه و ریشه، قطر ریشه و ساقه، ارتفاع بوته و طول ریشه)، صفات فیزیولوژیک (رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد اسانس گردید. با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۱۲ روز ضریب آلومتری، نسبت طول ریشه به طول ساقه، مقدار پرولین، نشت الکترولیت، دمای برگ و درصد اسانس افزایش معنی‌داری پیدا کرد. محلول‌پاشی با تعدیل‌کننده‌های مختلف تنش خشکی سبب افزایش صفات مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی، صفات فیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ و درصد و عملکرد اسانس شد و نشت الکترولیت و دمای برگ را کاهش داد. براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که هر چند با افزایش فواصل آبیاری و به‌تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد گیاه همیشه‌بهار کاسته می‌شود اما با کاربرد خارجی تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی (سولفات روی، گلایسین بتائین و سالیسیلیک اسید) می‌توان تا حدی اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد این گیاه را کاهش داد.

منابع

استادیان بیدگلی، ر.، بلوچی، ح. ر.، سلطانی، ا. و مرادی، ع. (۱۳۹٦) اثرات دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه زنی بذر گلرنگ رقم صفه. نشریه علوم و فناوری بذر ایران ٦: ۲۲-۱۱.

بابایی، ک.، امینی‌دهقی، م.، مدرس ثانوی، ع. م. و جباری، ر. (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر صفات موفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲٦: ۲۵۱-۲۳۹.

بهادر، م.، تدین، م. ر.، رفیع الحسینی، م. و صالحی، م. ح. (۱۳۹٦) تغییرات دمای سایه‌انداز و برخی صفات فیزیولوژیک شاهدانه تحت تنش کم‌آبی و سطوح زئولیت. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۰: ۲۷۹-۲٦۹.

پورقاسمیان، ن. و مرادی، ر. (۱۳۹٦) بررسی اثر تنش خشکی و آسکوربیک اسید بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی در گیاه همیشه‌بهار. فرآیند و کارکرد گیاهی ٦: ۸۸-۷۷.

تاتاری، م.، فتوحی قزوینی، ر.، موسوی، ا. و اعتمادی، ن. (۱۳۹٤) بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیک سه گونه چمن در شرایط تنش خشکی. دو فصلنامه علمی پژوهشی خشک بوم ۵: ۲۷-۱۱.

جامی، ن.، موسوی نیک، س. م. و نقی‌زاده، م. (۱۳۹٤) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در شرایط آب و هوایی کرمان. به زراعی کشاورزی ۱۷: ۸٤۰-۸۲۷.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

جعفرزاده، ل.، امیدی، ح. و بستانی، ع. (۱۳۹۳) بررسی تنش خشکی و کود زیستی نیتروژنه بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). نشریه پژوهش‌های گیاهی ۲۷: ۱۹۳-۱۸۰.

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

حیدری شریف‌آباد، ح. (۱۳۸۰) گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

دهقان، ز.، موحدی دهنوی، م.، بلوچی، ح. ر. و صالحی، ا. (۱۳۹۷) تأثیر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه خرفه تحت تنش سدیم کلرید. فرآیند و کارکرد گیاهی ۷: ۱۱۰-۹۷.

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

رضائی چیانه، ا. (۱۳۹۱) اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر تجمع اسانس، ترکیبات آن و برخی صفات اکوفیزیولوژیکی در رازیانه. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تبریز.

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

صمصام شریعت، ه. و معطر، ف. (۱۳۸۳) گیاهان و داروهای طبیعی. نشر روزبهان.

عبداللهی، م. و شکاری، ف. (۱۳۹۳) تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان گندم بر اثر تیمار بذری با سالیسیلیک اسید تحت شرایط کشت دیر هنگام. زیست‌شناسی کاربردی ۲۷: ۶۲-۴۵.

عزیزی، ا.، بهشتی، ف. و سپهری مقدم، ح. (۱۳۹۴) اثر مقادیر ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و کیفی ارقام همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه تولید گیاهان زراعی ۸: ۱۹۴-۱۷۱.

علی، س.، اسلامی، و.، بهدانی، م. و جامی الاحمدی، م. (۱۳۸۹) اثر استعمال خارجی گلایسین بتائین بر تخفیف اثرات تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گیاهچه ذرت. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۸: ۸۴۴-۸۳۷.

علی‌آبادی فراهانی، ح.، ارباب، ع. و عباس‌زاده، ب. (۱۳۸۷) تأثیر سوپر فسفات تریپل، تنش کم‌آبی و کود بیولوژیک *Glumos hoi* بر تعدادی از صفات کمی و کیفی گیاه دارویی *Coriandrum sativum* L.. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۴: ۳۰-۱۸.

فاضلی کاخکی، س. ف.، نباتی، ج.، امامی، م. و علوی‌کیا، ع. (۱۳۹۵) ارزیابی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز تحت تأثیر سولفات آهن و روی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۵: ۵۰-۴۱.

فرهودی، ر. و مکی‌زاده تفتی، م. (۱۳۹۱) ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر رشد و نمو، عملکرد، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی سه رقم بابونه در شرایط خوزستان. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۰: ۷۴۱-۷۳۵.

کبیری، ر (۱۳۹۰) بررسی اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی در کشت هیدروپونیک گیاه سیاهدانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کرمان.

کدخدایی، ه.، سودائی‌زاده ، ح. و مصلح آرانی، ا. (۱۳۹۳) اثر محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر روی رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت تنش خشکی در مزرعه. مهندسی اکوسیستم بیابان ۳: ۹۰-۷۹.

مرادی، ر. و پورقاسمیان، ن. (۱۳۹۷) اثر سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرهای منفی تنش خشکی در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). نشریه دانش آب و خاک ۲۸: ۲۸-۱۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

منصوری، م.، شور، م.، تهرانی‌فر، ع. و سلاح‌ورزی، ی. (۱۳۹٤) اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و تیامین بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل ژربرا رقم پینک الگانس. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ٦: ۲۳-۱۵.

میری، ح. ر. و ضمانی مقدم، ع. (۱۳۹۳) کاربرد خارجی گلایسین بتائین به‌منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت، پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۷۱۷-۷۰٤.

نصیری، ی.، زهتاب سلماسی، س.، نصراله‌زاده، ص.، قاسمی گلعذانی، ک.، نجفی، ن. و جوانمرد، ع. (۱۳۹۳) ارزیابی اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد گل و غلظت عناصر غذایی در بخش هوایی بابونه آلمانی. دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۳: ۱۱۵-۱۰۵.

هلالی سلطان احمدی، ف.، عامریان، م. ر.، قیاسی، م. و عباس دخت، ح. (۱۳۹۷) بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر بر عملکرد، اجزاء عملکرد و غلظت عنصر معدنی فسفر تحت تنش خشکی در همیشه‌بهار. تحقیقات گیاهان دارویی و مغطر ایران ۳٤: ۵۷۸-۵٦۵.

یادگاری، م. و اعلاییان، ن. (۱۳۹۱) اثرات محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها روی برخی صفات عملکردی گیاه همیشه‌بهار. مجله پژوهش‌های به زراعی (تنش‌های محیطی در علوم گیاهی) ٤: ۸٤-۷۵.

Aldesuquy, H. (2014) Glycine betaine and salicylic acid induced modification in water relations and productivity of drought wheat plants. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 10: 55-73.

Aldesuquy, H. S., Abbas, M. A., Abohamed, S. A., Elhakem, A. H. and Alsokari, S. S. (2012) Glycine betaine and salicylic acid induced modification increase productivity of two different cultivars of wheat grown under water stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8: 72-89.

Alloway, B. J. (2008) Zinc in soil and crop nutrition. 2nd Ed. IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.

Anosheh, H. P., Emam, Y., Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2012) Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. Advanced Studies in Biology 4: 501-520.

Arnon, D. I. (1975) Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. Plant Physiology 45: 1-15.

Ashraf, M. and Foolad, M. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

Azimi, G., Pirzad, A. and Hadi, H. (2012) The effect of drought stress on pigments, proline and soluble carbohydrates of *Calendula officinalis* L. 12th Iranian Crop Science Congress, Eslamic Azad University of Karaj, Karaj.

Bai, B. Z., Yu, S. Q., Tian, W. X. and Zhao, J. Y. (1996) Plant Physiology. China Agricultural Science Press.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teave, I. D. (1973) Rapid determination of free praline for water stress standees. Plant and Soil 39: 205-207.

Bush, D. S. (1995) Calcium regulation in plant cells and its role increase signaling. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 46: 95-122.

Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349.

Colom, M. R. and Vazzana, C. (2003) Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. Environmental and Experimental Botany 49: 135-144.

Copertta A., Lingua, G., Berta, G., Bardi, L. and Ma-soero, G. (2006) Three arbuscular mycorrhizal fungi differently affect growth, distribution of glan- dular trichomes and essential oil composition, in *Ocimum basilicum* var. Genovese. Acta Horticulturae 723: 151-156.

Dianat, M., Saharkhiza, M. J. and Tavassolian, I. (2016) Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia citriodora* L.: Effects on biochemical traits and essential oil yield. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 8: 286-293.

Hatwar, G. P., Gondane, S. M., Urkade, S. M. and Gahukar, O. V. (2003) Effect of micronutrients on growth and yield of chilli. Soils and Crops 13: 123-135.

Hoseini, F., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A. M. and Chab, A. N. (2011) Evaluate the effect of oxygen tension on germination and seedling growth of five components of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 9: 631-638.

Jiang, Y. and Huang, N. (2001) Drought and heat stress injury to two cool season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science 41: 436-442.

Kafi, M., Nezami, A., Hoseyni, H. and Masoomi, A. (2005) Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Journal of Iranian Field Crop Research 3: 69-81.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

Karlidag, H., Yildirim, E. and Turan, M. (2009) Exogenous application of salicylic acid affects quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition 172: 270-276.

Kazemi, M. (2014) Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfat on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry CV. Pajaro. Trakia Journal of Sciences 1: 21-26.

Khan, H. U., Link, W., Hocking, T. and Stoddard, F. (2007) Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Plant and Soil 1: 205-217.

Kidokoro, S., Maruyama, K., Nakashima, K., Imura, Y., Narusaka, Y., Shinwari, Z. K., Osakabe, Y., Fujita, Y., Mizoi, J., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. (2009) The phytochrome-interacting factor PIF7 negatively regulates DREB1 expression under circadian control in Arabidopsis. Plant Physiology 151: 2046-2057.

Levitt, J. (1980) Responses of Plants to Environmental Stresses. II. Water, Radiation, Salt, and Other Stresses. Academic Press, New York.

Ma, B. L. and Dwyer, L. M. (1997) Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. Journal of Plant Nutrition 20: 1-8.

Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu, E. and Somersalo, S. (1998) Foliar application of glycine betaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. Industrial Crop Production 7: 139-148.

Omidbeigi, R. (2009) Production and processing of medicinal plants. 2nd Ed. Publication Designers.

Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. and Osuagwu, A. N. (2010) The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology 2: 27-33.

Pedranzani, P. and Viglioco, A. (2017) Regulation of jasmonic acid and salicylic acid levels in abiotic stress tolerance: past and present. In: Mechanisms behind Phytohormonal Signalling and Crop Abiotic Stress Tolerance. (eds. Singh, V. P. and Prasad, S. M.) Pp. 329-370. Nova Science Publishers.

Petropoulos, S. A., Polissiou, M. G. and Passam, H. C. (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae 115: 393-397.

Riaz, A., Younis, A., Riaz Taj, A., Karim, A., Tariq, U., Munir, S. and Riaz, S. (2013) Effect of drought stress on growth and flowering of marigold (*Tagetes erecta* L.). Pakestan Journal of Botany 45: 123-131.

Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S. (2007) Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. Journal of Plant Nutrition 27: 815-835.

Seyed Hajizadeh, H. and Aliloo, A. A. (2013) The effectiveness of pre-harvest salicylic acid application on physiological traits in Lilium (*Lilium longiflorum* L.) cut flower. International Journal of Environmental Science and Technology 1: 344-350.

Shekofteh, H., Shahrokhi, H. and Solimani, E. (2015) Effect of drought stress and salicylic acid on yield and mucilage content of the medicinal herb *Plantago ovata* Forssk. Desert 20: 245-252.

Shitole, S. M. and Dhumal, K. N. (2012) Influence of foliar application of micronutrients on photosynthetic pigments and organic constituents of medicinal plant *Cassia agustifolia* Vahl. Annals of Biological Research 3: 520-526.

Singh, D. P., Singh, P., Kumar, A. and Sharma, H. C. (1985) Transpiration cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. Annals of Botany 56: 815-820.

Sofy, M. (2015) Application of salicylic acid and zinc improves wheat yield through physiological processes under different levels of irrigation intervals. International Journal of Plant Research 5: 136-156.

Sparks, D. L. (2004) Advances in Agronomy 82nd Ed. Academic Press.

Wang, D., Shannon, M. C. and Grieve, C. M. (2001) Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. Field Crops Research 69: 267-277.

Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S. and Du, R. (2014) Effect of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. Scientia Horticulturae 168: 132-137.

Wikenz, J. E. and Norfolk, I. (2010) Eco-physiology of economic plants in arid and semi-arid regions. In: Adaptations for Desert Living Creatures (eds. Shahriyari, A. A. and Javadi, M. R.) Pp. 370. Tehran University Press.

Yang, X. and Lu, C. (2005) Photosynthesis is improved by exogenous glycine betaine in salt-stressed maize plants. Physiologia plantarum124: 343-352.

Yavas, I. and Unay, A. (2016) Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 26: 1012-1018.

Zarghami, M., Shoor, M., Ganjali, A., Moshtaghi, N. and Tehranifar, A. (2014) Effect of salicylic acid on morphological and ornamental characteristics of petunia hybrida at drought stress. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4: 523-532.

Zhang, J., Zhang, S., Chang, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., Lu, X., Zhang, M. and Jin, J. (2018) Effect of drought agronomic traits of rice and wheat: A meta-analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health 15: 1-14.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]

Effect of drought stress and stress modifier on biochemical traits of pot marigold (*Calendula officinalis* L.)

Esmaeil Gholinezhad

Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University
(Received: 30/05/2019, Accepted: 30/10/2019)

Abstract

In order to investigate the effect of different levels of drought stress and spraying with stress modifiers, an experiment was conducted in a factorial layout based on completely randomized design in three replications from November to March 2018 at Agricultural greenhouse and laboratory of Payame Noor University of Urmia. The experimental factors included irrigation intervals with 4 levels (3, 6, 9 and 12 days) and drought stress modifiers at four levels (control (no-spraying), spraying with salicylic acid (2 mM), glycine betaine (5 mM) and zinc sulfate (5 g L^{-1}). The results indicated that the effect of different levels of drought stress and stress modifiers were significant on morphological traits, photosynthetic pigments, physiological, essential oil concentration and yield traits. The highest (0.419 g per pot) and the lowest (0.045 g per pot) root dry weight, were obtained from irrigation intervals of 3 days under zinc sulfate and 12 days irrigation without spraying conditions, respectively. With increasing irrigation interval from three days to 12 days, plant height, root length, root diameter, stem diameter, chlorophyll content a and b and relative water content decreased, whereas proline, electrolyte leakage, essential oil concentration and leaf temperature increased significantly. It seemed that at all levels of irrigation, spraying with glycine betaine in comparison with other modifiers was more effective in increasing the content of chlorophyll a and relative water content and decreasing electrolyte leakage at all irrigation levels. By application of zinc sulfate, the amount of proline was significantly increased. Spraying with salicylic acid reduced the internal leaf temperature. The highest internal leaf temperature (23.93 $^{\circ}$C) and proline (180.199 mmol/kg DW) and the lowest internal leaf temperature (21.12 $^{\circ}$C) and proline (131.02 mmol/kg DW) were obtained from irrigation intervals of 12 and 3 days, respectively. Although the highest essential oil concentration (0.13%) was obtained from the irrigation interval of 9 days, however, due to the severe decline in plant growth, essential oil yield decreased significantly in this treatment. The lowest essential oil yield was obtained from irrigation interval of 12 days (0.007 g per pot). Based on the results obtained in this experiment, it can be stated that although increasing the irrigation intervals and consequently the occurrence of drought stress, yield of marigold plant is reduced, by using drought stress modifiers we can reduce the effects of drought stress on this plant.

Key words: Allometric index, Chlorophyll, Electrolyte leakage, Essential oil concentration, Glycine betaine, Irrigation, Leaf temperature.

Corresponding author, Email: Gholinezhad1358@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.29.9]