



دانشگاه گوارش و صنایع غذایی

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸

۳۷-۵۶

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2019.14987.2342

بررسی تأثیر گلاسیسین بتائین و هیومی فورته بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens* L.) تحت تنش رطوبتی

مرجان نایب‌زاده^۱، *لیلا حکیمی^۲ و احمد خلیقی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،

^۲ استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران،

^۳ استاد بازنشسته گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: شمعدانی عطری گیاهی دارویی با کاربرد در صنایع پزشکی، آرایشی بهداشتی و غذایی است. مسأله کمبود آب در کشور و اثرات آن بر گیاهان از عوامل مهم زیست‌محیطی است که می‌توان آثار سو آن را تا حدودی با محرک‌های رشد و تعدیل‌کننده‌های تنش کاهش داد. بدین منظور، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر هیومی فورته و گلاسیسین بتائین بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی شمعدانی عطری انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت گلدانی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عامل تنش رطوبتی با ۳ سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی یا شاهد، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عامل کوددهی شامل محلول‌پاشی در ۵ سطح (شاهد، ۲/۵ میلی گرم در لیتر هیومی فورته، ۵ میلی گرم در لیتر هیومی فورته، گلاسیسین بتائین ۵۰ میلی مولار، گلاسیسین بتائین ۱۰۰ میلی مولار) بود. ویژگی‌های ارتفاع گیاه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، دمای کنوی، پرولین، محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و درصد، عملکرد و اجزای اسانس اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش رطوبتی و محرک‌های زیستی بر همه صفات معنی‌دار بود ($P \leq 0/05$)، اما اثر تنش متقابل فقط بر نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، دمای تاج، فعالیت آنزیم SOD و عملکرد اسانس معنی‌دار شد ($P \leq 0/05$). خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش ارتفاع گیاه، کلروفیل، درصد و عملکرد اسانس و افزایش دمای تاج، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و تجمع پرولین شد. در اکثر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی وجود نداشت. تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین سبب افزایش ارتفاع گیاه، کلروفیل، درصد و عملکرد اسانس و کاهش پرولین شد. ترکیبات اصلی اسانس به ترتیب بتا سیترونلول، سیترونیل فرمات و ژرانیول در برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلاسیسین بتائین ۱۰۰ میلی مولار و سیترونلول، ژرانیول و سیترونیل فرمات در برهمکنش تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد محلول‌پاشی بود.

* مسئول مکاتبه: hakimi_l@yahoo.com

نتیجه‌گیری: برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار مؤثرترین تیمار برای تقویت صفات مورفو- فیزیولوژیک شمعدانی عطری بود. درصد و عملکرد اسانس این گیاه دارویی تحت تأثیر تنش رطوبتی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) کاهش یافت و می‌توان تا حدی این کاهش را با تیمار گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار جبران کرد. هر چند هیومی فورته ترکیبی از چندین اسید آمینه آزاد است ولی در این پژوهش نتوانست اثر بخشی مناسبی به اندازه گلايسين بتائين داشته باشد. در نهایت می‌توان بیان کرد که جهت مدیریت منابع آبی، مقدار آب را می‌توان تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بدون تغییرات معنی‌دار در خصوصیات کمی و کیفی گیاه کاهش داد. همچنین می‌توان از گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط تنش شدید جهت تعدیل آثار نامطلوب تنش بهره برد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، اسانس، گیاه دارویی، محلول‌پاشی برگ

مقدمه

صدمات جدی به رشد و نمو و همچنین بر مواد مؤثره گیاهان دارویی وارد نماید. تنش رطوبتی از طریق کاهش توسعه برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد. در شرایط تنش رطوبتی مواد فنوستیزی محدود شده و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (۵۲). در شرایط تنش، قندها، اسیدهای آمینه، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سنتز می‌شوند (۵۲). از راهکارهای گیاهان برای مقاومت در شرایط تنش رطوبتی است. همچنین افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و مقدار پرولین پاسخی به تنش رطوبتی در گیاهان است (۲۷). وقتی گیاه تحت تنش است، می‌تواند از نظر ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای تغییراتی داشته باشد. از طرفی به‌منظور تعدیل این تغییرات و آثار سوء تنش، استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش، مانند کودها، در گیاهان می‌تواند مفید باشد. به‌دلیل اثرات مضر که کودهای شیمیایی مرسوم بر محیط از نظر کمیت و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، مدت‌هاست که استفاده از آن‌ها مورد انتقاد قرار گرفته است. کودهای زیستی گاه به‌عنوان جایگزین و در بیش‌تر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های گیاهان دارویی را تضمین کنند (۸).

شمعدانی عطری^۱ گیاهی کند رشد و چندساله از خانواده شمعدانی^۲ است. گیاهان این خانواده اغلب علفی هستند و به‌ندرت به حالت چوبی در می‌آیند. گونه‌های مختلف شمعدانی گیاهان گل‌داری هستند که از نظر اقتصادی دارای اهمیت می‌باشند. عصاره هیدرولیکی برگ گیاه شمعدانی عطری، غنی از ترکیبات فلاونوئیدی و اسیدهای چرب ضروری است (۱۰). انواع ویتامین‌ها مانند ویتامین A و E و کومارین نیز از ترکیبات شاخص این عصاره است. اسانس شمعدانی عطری بویی تند و شبیه عطر رز^۳ دارد و حاوی ترکیبات اسانسی شامل ژرانیول^۴، سیترونلول^۵، ترپینئول^۶ و الکل‌ها می‌باشد (۱۰). اسانس برگ‌های این گیاه با سه جنبه کاربرد طبی، عطری- ادویه‌ای و صنایع غذایی اهمیت ویژه‌ای دارد و خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی و ضد میکروبی آن گزارش شده است (۹).

آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و نمو و مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. کمبود آب در جریان تولید گیاهان می‌تواند

- 1- *Pelargonium graveolens* L.
- 2- Geraniaceae
- 3- Rose-Scent Geranium
- 4- Geraniol
- 5- Citronelol
- 6- Terpineol

نشان دادند که محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین در شرایط بدون تنش رطوبتی تأثیری روی خصوصیات فیزیولوژیکی و رشد گیاه نداشت، اما تنش رطوبتی سبب تجمع طبیعی این ماده در داخل گیاه شد. تاکور و تاکور (۲۰۱۸) در پژوهشی با مقایسه چهار گیاهان دارویی مختلف نشان دادند که بابا آدم (*Chlorophytum borivilianum*) و پنیرباد (*Withania somnifera*) از نظر فیزیولوژیکی دارای مقاومت بیش‌تری به تنش خشکی نسبت به آندروگرافیس پانیکولاتا (*Andrographis paniculata*) و استوبا (*Stevia rebaudiana*) بودند. سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomila* L.) نشان دادند که افزایش تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد گل در بوته، عملکرد گل خشک و محتوی رطوبت نسبی گردید، محلول‌پاشی ۲ کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در شرایط تنش خشکی از نظر صفات اندازه‌گیری بهتر از بقیه بود.

گیاه شمعدانی عطری به‌دلیل کاربرد وسیع در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی بهداشتی و سهولت در تولید و نگهداری اهمیت ویژه‌ای در میان گیاهان دارویی دارد. از طرفی کمبود آب به‌عنوان امری ضروری در بخش کشت و پرورش گیاهان دارویی می‌تواند سبب کاهش رشد گیاه شود که می‌توان این آثار منفی را با کودهای زیستی تا حدودی تعدیل کرد. بنابراین در این مطالعه اثر محرک زیستی هیومی فورته و اسید آمینه گلاسیسین بتائین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و زیست-شیمیایی گل شمعدانی عطری تحت تنش رطوبتی بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر هیومی فورته و گلاسیسین بتائین روی شمعدانی عطری در شرایط

استفاده از کودهای بر پایه اسیدهای آمینه در گیاه از راهکارهای مهم در افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است. در بسیاری موارد تنش‌های محیطی مانند خشکی مانع از اثرگذاری آمینواسیدهای درون گیاه می‌شوند و آمینواسیدهایی که به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های تنش در ترکیبات کودی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نقش پررنگ‌تری دارند (۳). همچنین در شرایط سخت تنش‌های محیطی، می‌توان نقش آمینواسیدها در مقاومت به تنش‌ها را در صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای گیاه نام برد (۸). گلاسیسین بتائین اسمولیت آلی عمده با ترکیب آمونیومی چهارگانه در اغلب گونه‌های گیاهی است که در پاسخ به تنش رطوبتی سنتز می‌شود. گلاسیسین بتائین می‌تواند به‌طور سریع در برگ‌ها نفوذ کرده و به سایر اندام‌های گیاه منتقل شود (۶۶). هیومی فورته از معروف‌ترین کودهای اسید آمینه‌دار است که حاوی اسیدهای آمینه ضروری (پرولین، سیستئین، تریپتوفان، اسید هیومیک، اسید فولیک) و الیگوپپتیدهای زیستی است. این محرک زیستی برای افزایش مقاومت گیاهان در زمان تنش کاربرد دارد و تامین‌کننده عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد. کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین و اسیدهای آمینه جهت تعدیل آثار سو تنش رطوبتی توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است. برای مثال شاکری و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که محرک‌های زیستی کادوستیم، فسفوترن، هیومی فورته، آمینول فورته سبب افزایش صفات کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه شد. پاولیکوا و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی روی گل توتون (*Nicotiana tabacum* L.) نشان دادند که اسید آمینه‌های آلانین، لوسین و پرولین با تغییر در مسیرهای زیست-شیمیایی سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شدند. میک و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی روی پنبه الیاف کوتاه اتازونی (*Gossypium hirsutum* L.)

از کشت نسبت به نمونه‌گیری خاک اقدام و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، به آزمایشگاه خاک منتقل گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ قابل مشاهده است. هیومی فورته از شرکت ایناگروپارس (تهران) و گلایسین بتائین از شرکت پارسایی (تهران) خریداری شد. هیومی فورته حاوی اسید هیومیک، اسید فولیک، پرولین، سیستئین، تریپتوفان و نیتروژن است. گلایسین بتائین حاوی اسید آمینه گلایسین و ماده بتائین می‌باشد.

تنش رطوبتی در شرایط گلخانه‌ای با دوره نوری ۸/۱۶ ساعت (روشنایی / تاریکی) و دمای °C ۱۷/۲۹ (روز/ شب) در گروه زراعت دانشگاه تهران در کرج و در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت گرفت. برای این منظور، ۱۳۵ نشای ۴ برگی از شمعدانی عطری از دهکده گل و گیاهان زینتی محلات به صورت گلدانی تهیه شد. سپس به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۶ سانتی متر با محتوای ۲ کیلوگرم خاک منتقل شدند (جدول ۱). قبل

جدول ۱- مشخصات خاک گلدان‌های استفاده شده برای کاشت شمعدانی عطری.

Table 1. The properties of soil used in the study.

مقدار Value	صفت Trait
0.15	نیتروژن (درصد) N (%)
16.7	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)
235	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)
48	سیلت (درصد) Silt (%)
25	رس (درصد) Clay (%)
27	شن (درصد) Sand (%)
2.5	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)
7.2	اسیدیته pH
1.33	جرم مخصوص ظاهری (گرم در سانتی مترمربع) BD (g/cm ²)
24	ظرفیت زراعی (درصد) FC (%)
7.1	نقطه پژمردگی دائم (درصد) PWP (%)

استقرار گیاه شروع و هر ۱۰ روز یکبار اعمال شد. در هر نوبت ۱۰۰ میلی‌لیتر از ترکیب تهیه شده به‌ازای هر گلدان استفاده شد (۵).

متغیرهای تحقیق: در پایان دوره رویشی ارتفاع گیاه با خط‌کش دیجیتالی (۱۲) و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی گیاه با تقسیم وزن خشک ریشه بر وزن خشک اندام هوایی (۳۳) گیاه اندازه‌گیری شدند.

دمای تاج پوشش (با دماسنج تفنگی لیزری، مدل Raytek ساخت کشور چین) در ساعت ۲ بعد از ظهر اندازه‌گیری شد (به‌دلیل بیش‌ترین اختلاف دمای تاج در این ساعت) بدین‌صورت که نشانه‌گیری بر روی تاج بوته به‌وسیله نور لیزر و سپس کشیدن ماشه مانند یک تپانچه انجام شد، بعد از انجام این مراحل صفحه نمایش بلافاصله دما را نمایش داد (۱۵).

کلروفیل کل: اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل کل با روش آرنون (۱۹۴۹) انجام شد. بدین‌ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگ گیاهان را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سپس عصاره با استفاده از سانتی‌فیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت $5000 \times g$ صاف شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس با استفاده از رابطه ۲ زیر کلروفیل کل محاسبه شد (۴).

(۲)

$$= [(20.2 \times A645) + (8.02 \times A663)] \times V / 1000 \times W$$

میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ تر

که در آن، A میزان جذب در طول موج موردنظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد بر حسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه بر حسب گرم است.

تیمارهای آزمایشی: تیمارهای آزمایشی (تنش رطوبتی و محلول‌پاشی برگ) در مرحله ۶ برگی به‌مدت دو ماه اعمال شد. تنش رطوبتی با ۳ سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و کوددهی شامل محلول‌پاشی در ۵ سطح (شاهد، ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر هیومی فورته، ۵ میلی‌گرم در لیتر هیومی فورته، گلایسین بتائین ۵۰ میلی‌مولار، گلایسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار) بود. اعمال تنش بر اساس ظرفیت زراعی خاک اعمال شد. بدین‌صورت که آبیاری تا حد ظرفیت زراعی انجام شد. تعیین ظرفیت زراعی خاک ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک با استفاده از محفظه تحت فشار^۱ انجام شد. سپس طبق رابطه ۱ مقدار آب مورد نیاز برای هر گلدان مشخص شد.

$$V_n = (FC - PWP) / 100 \times \rho_b \times V_p \times F \quad (1)$$

که در آن، V_n مقدار آب داده شده (بر حسب میلی‌متر) به هر گلدان در هر نوبت آبیاری است. FC رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی است، PWP نقطه پژمردگی دائم (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، V_p حجم گلدان (سانتی‌متر مکعب)، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۲ است. سپس تنش در سه سطح (۱- شاهد (آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، ۲- تیمار تنش ملایم (آبیاری در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و ۳- تنش شدید (آبیاری در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد.

برای این منظور، ظرفیت زراعی خاک در این آزمایش با استفاده از دستگاه محاسبه شد، سپس با توجه به وزن خاک هر گلدان مقدار آب لازم برای هر تیمار مشخص شد. تیمارهای محلول‌پاشی برگی (گلایسین بتائین و هیومی فورته) یک ماه پس از

1- Pressure plate

عمل اسانس‌گیری با حرارت دادن بالن مزبور شروع شد. از لحظه به جوش آمدن، عمل اسانس‌گیری با استاندارد ۳ ساعته انجام شد، سپس دستگاه خاموش شد و پس از خنک‌شدن (۳۰ دقیقه)، اسانس استخراج شده درون لوله‌های باریک و سر بسته جمع‌آوری شد و با دقت ۰/۱ میلی‌گرم وزن گردیدند (۲۶). عملکرد اسانس بر اساس حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد اندام هوایی در بوته محاسبه شد (۲۶).

اجزای اسانس: اجزای اسانس به کمک دستگاه GC (گازکروماتوگراف Shimadzu، مدل 9A مجهز به ستون DB-5 و به طول ۳۰ سانتی‌متر و ضخامت لایه ساکن برابر ۰/۲۵ میلی‌متر) و GC/MS (گازکروماتوگراف ۳۴۰۰ کوپل شده با طیف‌سنج جرمی) در پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تعیین شد (۲۶).

تجزیه و تحلیل آماری: همه داده‌های به دست آمده حاصل از سنجش متغیرها با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۵ درصد با آزمون چند دامنه دانکن بررسی شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه: تجزیه واریانس اثرات اصلی نشان داد که اثر تنش رطوبتی و تیمارهای محلول‌پاشی با هیومی فورته و گلايسين بتائين روی ارتفاع گیاه معنی‌دار شد ($P \leq 0/01$) (جدول ۲). ارتفاع گیاه در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با ۴۶/۶ و ۴۴/۵ سانتی‌متر بیش‌تر از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۵/۸ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۱). کاهش ۲۴ درصدی ارتفاع در اثر تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد مشاهده شد. تنش رطوبتی می‌تواند سبب کاهش ارتفاع گیاهان شود (۵۳). از نشانه‌های کمبود

پرویلین: سنجش میزان پرویلین نیز به کمک اسپکتروفتومتری و در دمای $25 \pm 1^\circ\text{C}$ با استفاده از روش بیتس (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. با استفاده از استانداردهای صفر و ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پرویلین، معادله رگرسیون منحنی استاندارد به روش اسپکتروفتومتری و در طول موج ۵۲۰ نانومتر رسم شد. پرویلین محلول در فاز تولوئن (فاز بالایی محلول) را به اندازه کافی در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و میزان پرویلین در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (۳).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD):

اندازه‌گیری فعالیت سوپراکسید دیسموتاز طبق روش دهنده‌سا و متووه (۱۹۸۱) انجام شد. بافر اصلی واکنش شامل بافر فسفات (pH=۷/۸) ۱۰۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیم ۷۵ میکرومولار، اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید^۱ ۱۰۰ میکرومولار و تریاتون ایکس-۱۰۰ ۲۵ درصد بود. از بافر اصلی به هر چاهک ۲۹۰ میکرولیتر اضافه شد. سپس از بافر ریوبفلاوین ۲ میکرومولار، ۵ میکرولیتر به مخلوط واکنش اضافه و دستگاه در طول موج ۵۶۰ نانومتر کالیبره شد. برای سنجش هر نمونه، ۱۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی استفاده شد. این واکنش براساس توانایی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ممانعت از احیای نوری نیتروبلوتترازولیم^۲ می‌باشد (۱۴).

درصد و عملکرد اسانس: استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه اسانس‌گیر (کلونجر) انجام گرفت. برای این منظور، از برگ‌های خشک شده در سایه (به مدت یک هفته) استفاده شد. ۱۵ گرم از برگ آسیاب شده همراه با مقدار کافی آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه ریخته شده و

1- EDTA
2- Nitroblue tetrazolium

می‌تواند تا ۱۷ روز پس از کاربرد بدون استفاده در متابولیسم باقی بماند و باعث افزایش در محتوای نسبی آب شده و کارایی استفاده از آب را افزایش می‌دهد و از طریق افزایش هدایت روزنه‌ای و تعدیل سنتز برخی از هورمون‌ها مانند اسید آبسزیک^۱ بر ریخت‌شناختی گیاه تأثیر می‌گذارد (۴۶). اسیدهای آمینه پس از ورود به سلول‌های گیاهی از طریق محلول‌پاشی، به دلیل خواص زیست-شیمیایی ساختاری آن‌ها به آسانی توسط گیاه جذب می‌شوند. این امر باعث می‌شود انرژی گیاه برای مقابله با تنش‌های محیطی ذخیره گردد. افزایش میزان کلروفیل در گیاه سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند (۱۳). هیومی فورته حاوی انواع اسید آمینه‌ها می‌باشد که امکان جذب سایر عناصر را برای گیاه تسهیل کرده و سبب افزایش فاکتورهای رشد گیاه از جمله ارتفاع گیاه می‌شود. محرک‌های زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی به افزایش فتوسنتز منجر می‌گردد که این امر سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که فراهم نمودن اسیدهای آمینه و نیتروژن در مراحل آغازین رشد، سبب طویل شدن اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (۳۴). نقدی‌بادی و همکاران (۲۰۱۵) افزایش ارتفاع گیاه آویشن باغی را تحت تأثیر محرک‌های زیستی کادوستیم^۲، فسنوترن^۳ و آمینول فورته^۴ را گزارش کردند. آن‌ها بیان نمودند که اسیدهای آمینه موجود در این محرک‌های زیستی سبب افزایش جذب نیتروژن در مقایسه با شاهد شد که در نهایت منجر به افزایش رشد اندام‌های هوایی آویشن باغی شد.

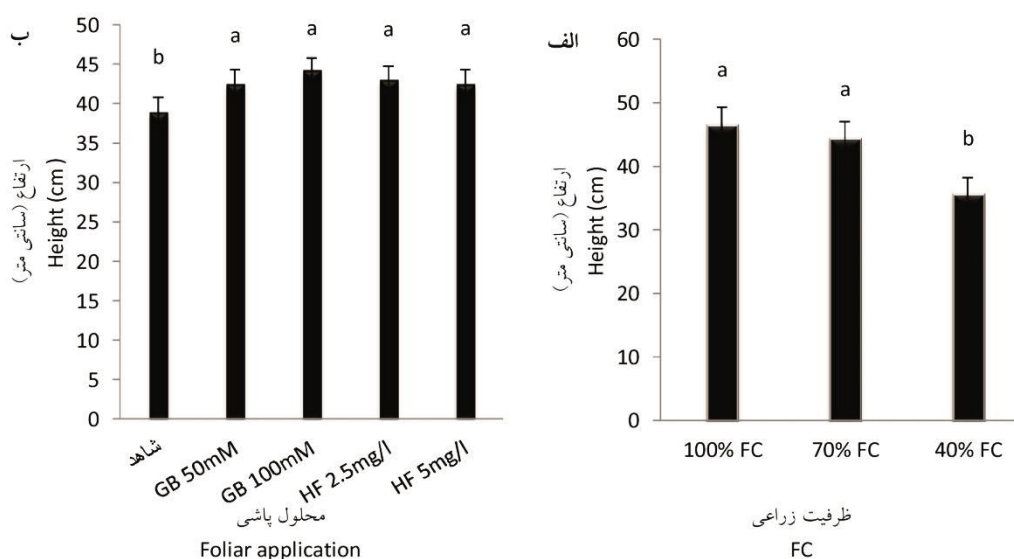
آب کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک برگ‌ها و ارتفاع گیاهان تشخیص داد. کاهش ارتفاع گیاهان به موازات افزایش تنش را می‌توان به اختلال در فتوسنتز و کاهش مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع دانست (۲۲). حسنی و امیدبیگی (۲۰۰۲) بیان نمودند تنش آبی سبب کاهش ارتفاع گیاه دارویی ریحان شد. به‌طور کلی در دسترس بودن آب از طریق افزایش میانگره‌ها و تعداد گره‌ها ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۴). از آن‌جا که تقسیم و افزایش اندازه سلول به تنش رطوبتی بسیار حساس است، به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه سبب کاهش ارتفاع گیاه گردد (۴۴). کاهش ارتفاع ۲۵ درصدی در نهال‌های نارنج در شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است (۵۸). همچنین تأثیر معنی‌دار تنش رطوبتی در کاهش ارتفاع گیاه بابونه آلمانی (۴۳) و مرزه گزارش شده است (۶).

در این مطالعه افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع گیاه در نمونه‌های محلول‌پاشی شده توسط گلاسیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۱). افزایش ارتفاع بابونه آلمانی توسط سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) در اثر محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین گزارش شده است. در واکنش به انواع تنش‌های محیطی، پس از کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین مقدار قندها در بخش‌های مختلف گیاهان به آسانی به قسمت‌های در حال رشد و نمو انتقال می‌یابد (۳۱). گلاسیسین بتائین

1- ABA
2- Kadostim
3- Fosnutren
4- Aminol-Forte

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس شمعذاتی عطری تحت تنش رطوبتی و محلول‌پاشی گلايسين بتاين و هيومي فورته.
 Table 2. The analysis of variance morphophysiological characteristics and essential oil of *Pelargonium graveolens* under water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi.

میانگین مربعات MS	درجه										منبع تغییرات S.O.V
	عملکرد اسانس Essential oil yield	درصد اسانس Essential oil	پروлін Proline	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کلروفیل کل Total chlorophyll	دمای تاج Canopy Temperature	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی Root/Shoot weight	ارتفاع گیاه plant height	آزادی Df	تشنه رطوبتی Water stress	
25382**	56**	1.6**	95**	0.69**	7.04**	19.6**	492**	2	تشنه رطوبتی Water stress		
9674**	0.22 ^{ns}	0.1**	0.3 ^{ns}	0.09*	2.07 ^{ns}	4.6**	35**	4	محلول‌پاشی Foliar application		
899*	0.6*	0.007 ^{ns}	2.2**	0.02 ^{ns}	7.37*	2.8*	4.4 ^{ns}	8	برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی Interaction of water and foliar application		
392	0.2	0.02	0.4	0.03	2.4	0.001	4.06	30	خطا Error		
17.5	13.9	19.7	10	12.9	7.4	16.9	4.7		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		



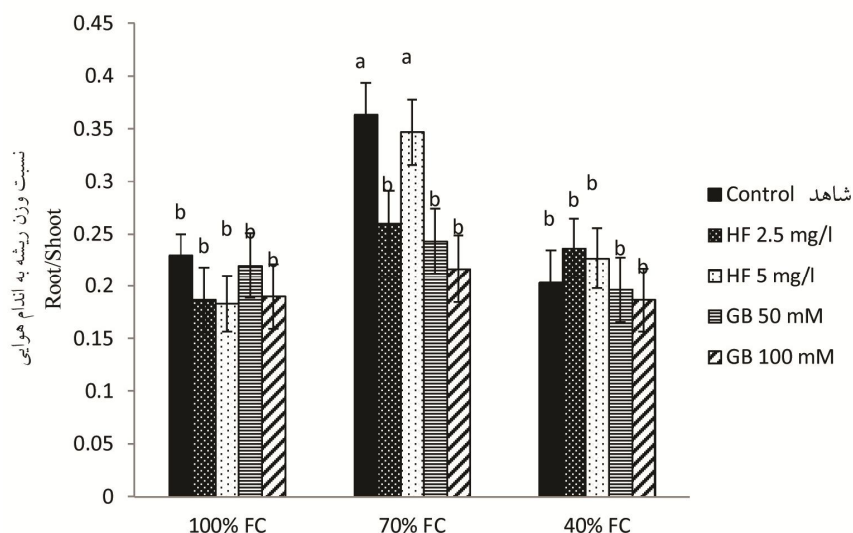
شکل ۱- اثرات اصلی تنش رطوبتی (الف) و محلول‌پاشی (ب) با گلیسین بتائین (GB) و هیومی فورته (HF) بر ارتفاع گیاه.
Fig. 1. The effect of water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi on plant height.

از کاهش آن در ریشه بود (۳۲). همچنین عباسعلی‌پور و همکاران (۲۰۰۷) کاهش ۳۹ درصدی وزن اندام هوایی بایونه را تحت تنش رطوبتی گزارش کردند. اسیدهای آمینه با فراهم کردن زمینه لازم جهت جذب عناصر غذایی سبب افزایش حجم سلولی که در نهایت سبب افزایش وزن گیاه می‌شود (۳۹). در این پژوهش، نسبت ریشه به ساقه در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تغییر معنی‌داری نداشت. اما در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با توجه به این‌که گیاه تنش ملایمی را حس می‌کند، ریشه‌های خود را گسترش می‌دهد. اما در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی دوباره ریشه‌ها به شکل نرمال (شاهد) برمی‌گردد که احتمال می‌رود چون اندام هوایی گیاه خیلی ضعیف شده است، بنابراین برای حفظ تعادل نسبت ریشه به اندام هوایی نیاز به کاهش حجم ریشه باشد (۴۸). حتی و همکاران افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را در شرایط تنش رطوبتی ملایم گزارش کردند که هم‌سو با پژوهش حاضر است. اختلاف معنی‌دار

نسبت وزن ریشه به اندام هوایی: نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در تیمارهای برهمکنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد محلول‌پاشی (۰/۳۶) و برهمکنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و هیومی‌فورته ۵ میلی‌گرم در لیتر (۰/۳۴) بیش‌تر از سایر تیمارها گزارش شد (شکل ۲). شایان ذکر است که وزن خشک ریشه در تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بیش‌تر از شاهد بود. دلیل این امر می‌تواند به این صورت باشد که گیاه در صورت پی بردن به کاهش آب، سیستم ریشه‌ای خود را توسعه داده که بتواند آب و مواد غذایی بیش‌تری جذب کند. اما در تنش شدید چنین روند افزایشی مشاهده نشد که می‌تواند به دلیل حفظ تعادل نسبت وزن ریشه به اندام هوایی در تنش شدید باشد (۲۴). بازده گیاه تحت‌تأثیر تنش رطوبتی به‌شدت وابسته به نسبت ماده خشک و توزیع زمانی زی‌توده تحت تنش می‌باشد (۲۴). کاهش زی‌توده اندام هوایی و ریشه تحت‌تأثیر تنش رطوبتی در گیاه دارویی بادرنجبویه گزارش شد (۳۶). کاهش زی‌توده اندام هوایی در گیاه چغندر تحت تنش رطوبتی بیش‌تر

لیتر مشاهده شد. گلایسین بتائین سبب افزایش معنی‌دار در اندام هوایی شده است و همین نکته سبب کاهش معنی‌دار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نسبت به تیمار هیومی‌فورته شده است.

محلول‌پاشی‌ها در فقط تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. افزایش ۳۸ درصدی این صفت در تیمار برهمکنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و هیومی‌فورته ۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت به برهمکنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و گلایسین بتائین ۱۰۰ میلی‌گرم در

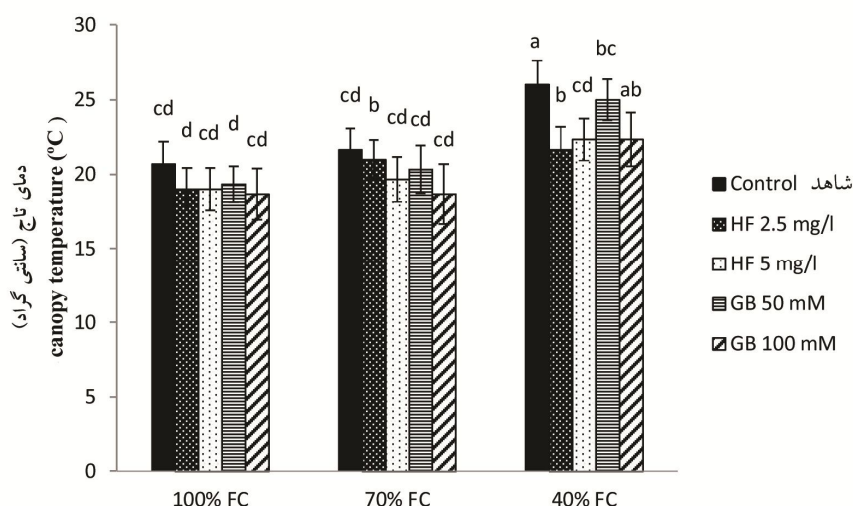


شکل ۲- برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر نسبت وزن ریشه به اندام هوایی (هیومی فورته=HF، گلایسین بتائین=GB).

Fig. 2. The interaction of water stress and foliar application of glycine betaine and humi-forthi on Root/Shoot ratio.

گزارش شده است (۵۱ و ۵۶). غلظت‌های مختلف گلایسین بتائین و هیومی‌فورته سبب تعدیل آثار نامطلوب تنش شده است. یکی از دلایل بهبود و بازیابی رشد در بوته‌های تیمار شده با گلایسین بتائین و هیومی‌فورته مرتبط با افزایش مقاومت روزنه‌ای است (۵). پژوهش‌ها نشان داده است که اسیدهای آمینه سبب افزایش بازدهی مصرف آب و بازدهی فتوسنتز می‌گردد که چنین امری می‌تواند روی دمای تاج گیاه تأثیرگذار باشد (۵۶).

دمای تاج: تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر دمای تاج معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که دمای تاج در تیمار برهمکنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و هیومی فورته ۵ میلی‌گرم در لیتر بیش‌تر از سایر تیمارها بود (شکل ۳). دمای تاج رابطه قوی با رطوبت نسبی گیاه دارد به‌طوری‌که با افزایش رطوبت نسبی، دمای تاج کاهش می‌یابد (۵۶). افزایش دمای تاج در اثر تنش رطوبتی توسط پژوهشگران مختلفی



شکل ۳- برهمکنش خشکی و محلول‌پاشی بر دمای تاج (هیومی فورته=HF، گلیسین بتائین=GB).

Fig. 3. The interaction of water stress and foliar application of glycine betaine and humi-forthi on canopy temperature.

در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود و کاهش محتوای کلروفیل به‌عنوان یک عامل غیرروزی‌ای می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ شود (۲۱). در زمان بروز تنش رطوبتی انتقال الکترون از سامانه نوری دو به سامانه نوری یک گیرنده اصلی الکترون (نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات^۱) مختل شده و الکترون به مولکول اکسیژن منتقل می‌شود و سبب افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن^۲ می‌شود که اثرات تخریبی فراوانی بر کلروپلاست و سلول دارد و با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (تجزیه‌کننده کلروفیل) بیش‌تر می‌شود که باعث تجزیه بیش‌تر کلروفیل می‌شود، اما از طرفی توانایی حفظ کلروفیل توسط گیاه تحت تنش می‌تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاهچه شود (۲). همچنین افزایش ۱۵ درصدی کلروفیل کل در تیمار محلول‌پاشی گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد مشاهده شد. هیومی فورته ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری سبب

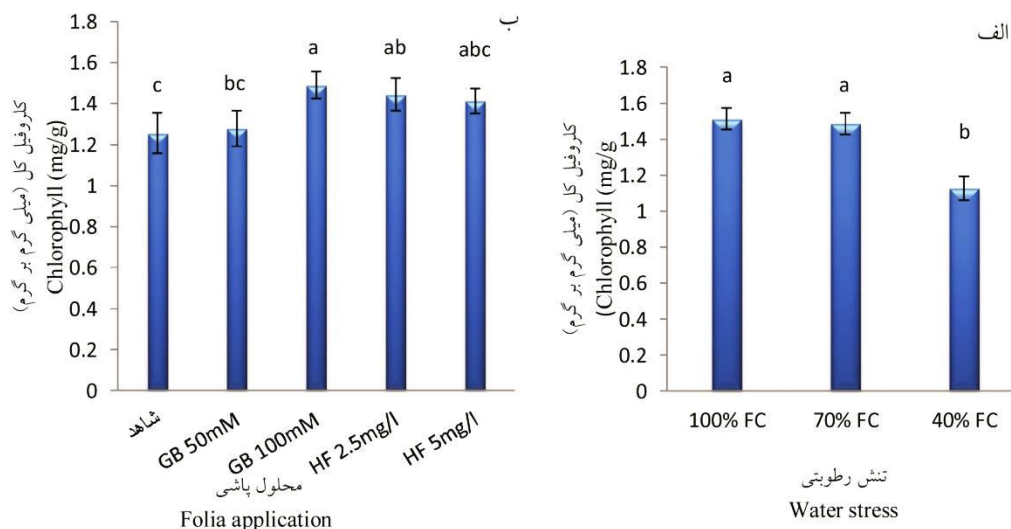
کلروفیل کل: اثرات اصلی تنش رطوبتی و تیمارهای محلول‌پاشی با هیومی فورته و گلیسین بتائین روی کلروفیل کل برگ معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). کلروفیل کل در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (به‌ترتیب با ۱/۵ و ۱/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بیش‌تر از مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۱/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۴). همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین کلروفیل کل در تیمارهای محلول‌پاشی گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار (۱/۴۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و شاهد (۱/۲۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد (شکل ۴). اثرات دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (۲۹). احمدی و بیکر (۲۰۰۱) بیان کردند که محدودکننده اصلی فتوسنتز در گیاه در شرایط تنش رطوبتی هدایت مزوفیلی است. اما در کل می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فتوسنتز در اثر کمبود آب تحت‌تأثیر موازی هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی است (۴۵). محتوای کلروفیل برگ به‌عنوان یک عامل مهم

1- NADP+

2- Reactive oxygen species (ROS)

شرایط محلول‌پاشی برگ‌گی با گلیاسین بتائین گزارش کردند که همسو با پژوهش حاضر است (۳۱).

افزایش مقدار کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. اشرف و فولاد (۲۰۰۷) افزایش مقدار کلروفیل کل را در

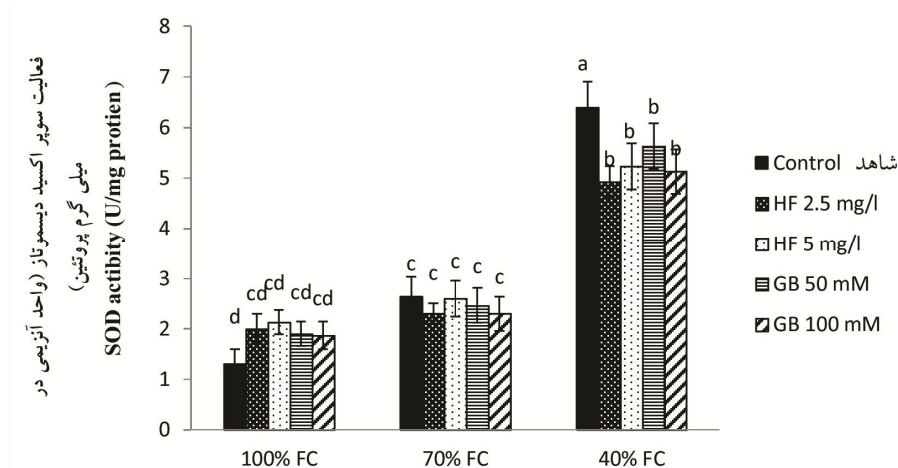


شکل ۴- اثر تنش رطوبتی (الف) و محلول‌پاشی (ب) با گلیاسین بتائین (GB) و هیومی فورته (HF) روی کلروفیل کل.

Fig. 4. The effect of water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi on total chlorophyll.

محلول‌پاشی شاهد نسبت به برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی شاهد به دست آمد. تنش رطوبتی سبب افزایش ROS در گیاه شده و سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابل ROS فعال می‌شود و باعث تبدیل رادیکال O_2^0 به H_2O_2 می‌شود، در ادامه H_2O_2 ایجاد شده به مولکول آب و اکسیژن توسط کاتالاز تجزیه می‌شود (۱۸). در شرایط تنش، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود (۶). افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش رطوبتی در گیاهان مختلف گزارش شده است (۲۳ و ۳۹).

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (۶/۴ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار برهمکنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی شاهد و کم‌ترین مقدار آن (۱/۳ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار برهمکنش ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی شاهد به‌دست آمد (شکل ۵). افزایش ۸۰ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برهمکنش تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و



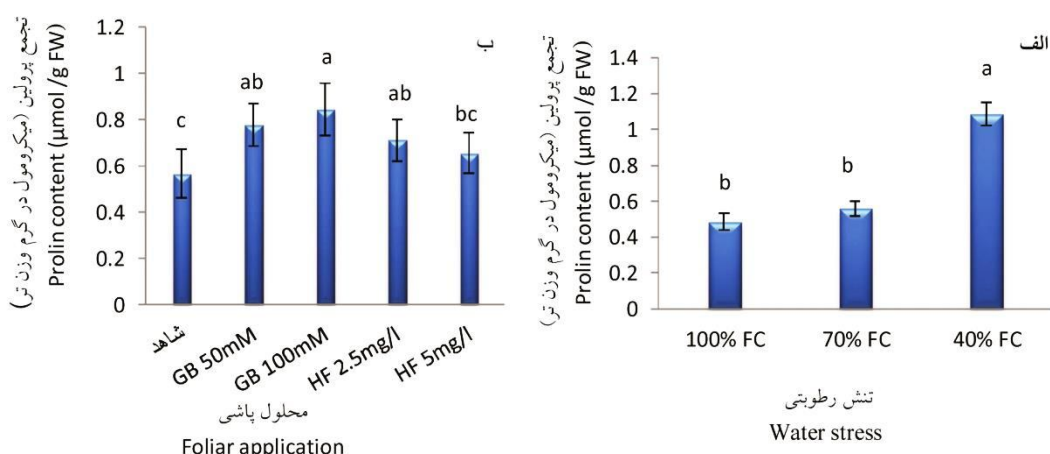
شکل ۵- برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (هیومی فورته=HF، گلیاسین بتائین=GB).

Fig. 5. The interaction of water stress and foliar application of glycine betaine and humi-forthi on SOD activity.

(۳۱). مطالعات روی گیاه جهش‌یافته گوش‌موشی^۱ که فاقد توانایی تجمع پرولین کافی بودند نشان داد که این گیاهان نسبت به گونه طبیعی، فاقد توانایی جوانه‌زنی در محیط شور و ادامه رشد در این محیط بودند (۵۵). همچنین پرولین موجب افزایش بیان پروتئین‌های مرتبط با افزایش تحمل تنش و توسعه تحمل به تنش در گیاهان می‌شود (۲۷). ماتیسک و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که تنش شدید موجب توقف فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان می‌شود، اما فعالیت این آنزیم‌ها در حضور پرولین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از زمانی بود که پرولین کم‌تری وجود داشت. چنین بیان شده است که افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی توسط پرولین، گیاهان را در مقابل خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌نماید (۳۰). در شرایط تنش با افزایش پرولین، گیاه برای حفظ آب درون سلولی روزنه‌های خود را بسته و طی این فرایند روزنه‌ای مقدار فتوسنتز کاهش یافته و رشد گیاه کم می‌شود (۴۸).

تجمع پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش رطوبتی و تیمارهای محلول‌پاشی با هیومی فورته و گلیاسین بتائین روی پرولین معنی‌دار شد ($P \leq 0/01$) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین پرولین در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۱/۰۸ میکرومول در گرم وزن تر) و کم‌ترین مقدار آن در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۴۸ میکرومول در گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۶). همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین پرولین در تیمارهای محلول‌پاشی گلیاسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار (۰/۸۴ میکرومول در گرم وزن تر) و شاهد (۰/۵۶ میکرومول در گرم وزن تر) به‌دست آمد (شکل ۶). تجمع اسمولیت‌هایی همچون پرولین، یکی از شناخته‌شده‌ترین سازوکارهای افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌باشد. همچنین پیشنهاد شده که تجمع پرولین ملاک مناسبی برای انتخاب گونه‌های متحمل نسبت به شرایط استرس می‌باشد (۳۱). در پاسخ به تنش شوری و خشکی در گیاهان عالی، پرولین در سیتوسول تجمع می‌یابد (۲۵). مطالعات متعدد پرولین را به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان معرفی کرده‌اند و پیشنهاد شده است که مخرب گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد

1- *Arabidopsis thaliana*

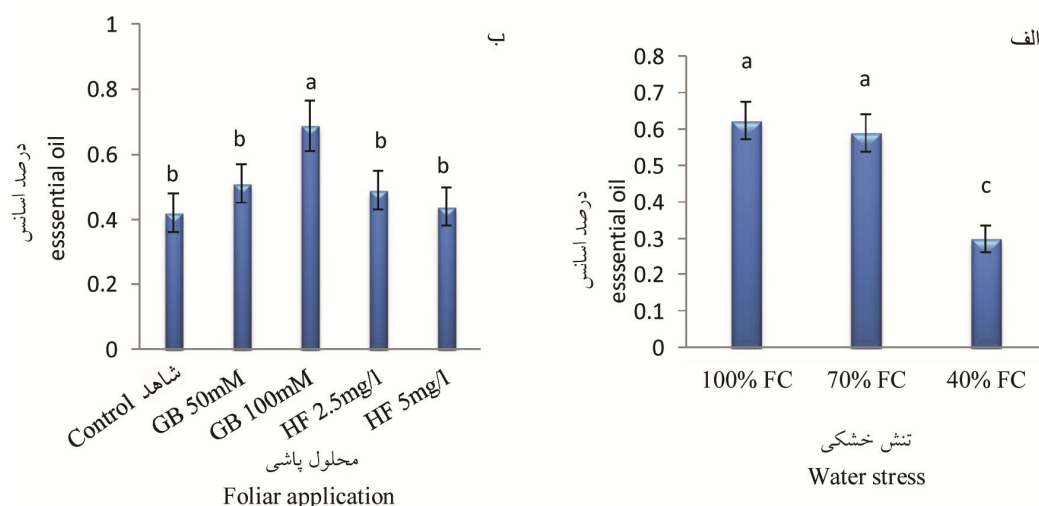


شکل ۶- اثر تنش رطوبتی (الف) و محلول‌پاشی (ب) با گلیسین بتائین (GB) و هیومی فورته (HF) روی تجمع پرولین.

Fig. 6. The effect of water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi on proline accumulation.

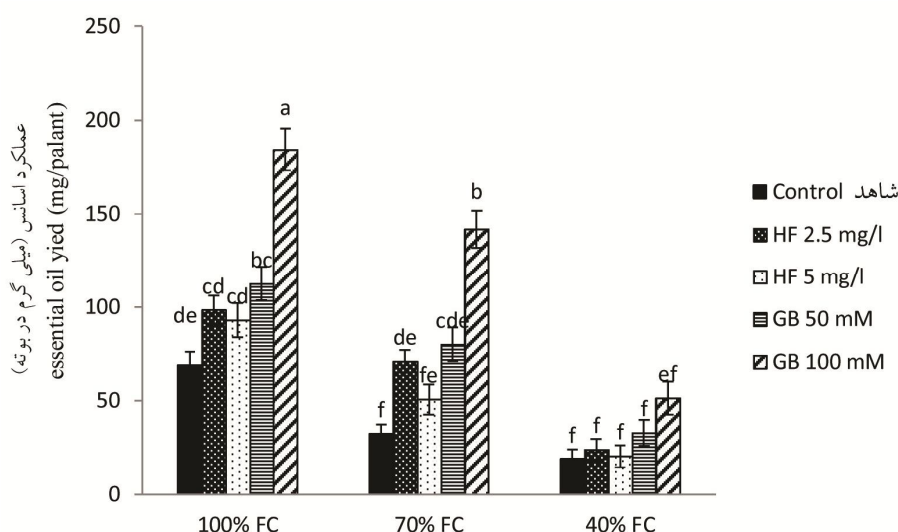
ملایم درصد اسانس افزایش ولی با افزایش شدت تنش مقدار اسانس کاهش می‌یابد هر چند در پژوهش حاضر اختلافی معنی‌داری بین تنش ملایم (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد مشاهده نشد. در تنش‌های شدید گیاه مقدار زیادی از مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی مانند پرولین، گلیسین بتائین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند تا بتواند شرایط لازم جهت ادامه حیات خود را فراهم کند. این ترکیبات برای گیاهان هزینه‌بر است و برای جبران آن‌ها نیاز به کاهش تولید متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس می‌باشد (۴۷) که چنین روندی نیز در پژوهش حاضر مشاهده شد. رمضان و عباس‌زاده (۲۰۱۶) روی گونه پونه‌سای و امیدبگی و همکاران (۲۰۰۳) روی گیاه دارویی ریحان نشان دادند که بیش‌ترین درصد و عملکرد اسانس مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش) بوده و با افزایش شدت تنش رطوبتی مقدار و عملکرد اسانس کاهش یافت. از نتایج پژوهش حاضر استنباط می‌گردد که کمبود رطوبت برای گیاه شمعدانی عطری یک عامل منفی در جهت تولید اسانس به‌شمار می‌آید.

درصد و عملکرد اسانس: طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش رطوبتی و تیمارهای محلول‌پاشی با هیومی فورته و گلیسین بتائین روی درصد اسانس معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). کاهش ۵۸ درصدی درصد اسانس در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. از طرف دیگر، افزایش ۴۰ درصدی برای درصد اسانس در تیمارهای محلول‌پاشی گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار (۰/۶۸ درصد) نسبت به شاهد (۰/۴۱ درصد) مشاهده شد (شکل ۷). برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر عملکرد اسانس معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد اسانس در برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن در برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی شاهد (کاهش ۹۰ درصدی) به‌دست آمد (شکل ۸). کاهش درصد و عملکرد اسانس در گیاهان مختلف تحت تأثیر تنش رطوبتی گزارش شده است (۱۶ و ۴۳). سانگوان و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در تنش‌های



شکل ۷- اثر تنش رطوبتی و محلول‌پاشی با گلیسین بتائین (GB) و هیومی فورته (HF) بر درصد اسانس.

Fig. 7. The effect of water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi on essential oil percent.



شکل ۸- برهمکنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی بر عملکرد اسانس (هیومی فورته=HF، گلیسین بتائین=GB).

Fig. 8. The interaction of water stress and foliar application of glycine betaine and humi-forthi on essential oil yield.

ظرفیت زراعی و شاهد محلول‌پاشی) مقدار بودند، برای این منظور انتخاب شدند. ترکیبات اصلی اسانس بتا سیترونلول، سیترونیل فرمات^۱ و ژرانیول به ترتیب با ۳/۳، ۱۲/۱ و ۱۱ درصد در برهمکنش ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار بوده

ترکیبات اسانس: برای بررسی تغییرات اجزای اسانس، دو تیمار که از نظر صفات مورد بررسی در این پژوهش (صفات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و زیست-شیمیایی) دارای بیش‌ترین (برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار) و کم‌ترین (برهمکنش تیمار ۴۰ درصد

1- Citronellyl formate

ژرانیول بودند که با منابع کود فسفره افزایش یافتند. پتروپولوس و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که تنش خشکی سبب تغییر در برخی اجزای اسانس گیاه جعفری شد که این تغییرات برای هر رقم متفاوت از رقم دیگر بود. روند و شدت تغییرات در ترکیبات اسانس در شرایط تنش رطوبتی، بسته به نوع گیاه، ژنتیک گیاه و نوع ترکیبات اسانس دارای تغییرات متفاوتی می‌باشد (۳۸). لاریبی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که ترکیبات اصلی زیره سیاه شامل کارون و لیمونن بودند که در شرایط تنش رطوبتی افزایش یافتند. در پژوهش حاضر ترکیبات اسانس در شرایط تنش تغییر معنی‌داری نداشتند.

و بتا سیترونلول، ژرانیول و سیترونیل فرمات به ترتیب با ۳۱/۵، ۱۳/۲ و ۱۲/۲ درصد در برهمکنش تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد محلول‌پاشی شد (جدول ۳). تغییرات معنی‌داری از نظر ترکیبات اسانس در بهترین تیمار نسبت به بدترین تیمار مشاهده نشد. مقدار بتاسیترونلول با افزایش تنش رطوبتی و عدم محلول‌پاشی کاهش یافت، در حالی‌که سیترونیل فرمات و ژرانیول هر دو با افزایش تنش زیاد شدند. ترکیبات اصلی شمعدانی عطری شناسایی شده در این پژوهش در گروه مونوترپن‌ها قرار می‌گیرند که کاربرد ویژه‌ای در عطرسازی دارند. پراساد و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که ترکیبات اصلی اسانس در گیاه شمعدانی عطری سیترونیل‌ها و

جدول ۳- درصد ترکیبات اسانس گیاه شمعدانی عطری تحت تنش رطوبتی و محلول‌پاشی گلیسین بتائین و هیومی فورته.

Table 3. The essential oil composition percent of *Pelargonium graveolens* under water stress and foliar application with glycine betaine and humi-forthi.

ردیف Row	نام ترکیب Composition name	شاخص بازداری Retention Index	برهمکنش ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلیسین بتائین ۱۰۰ میلی‌مولار 100%FC×100mM GB	برهمکنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی برگ 40%FC×no foliar application
1	α -pinene	934	1.1	1.2
2	linalool l	1092	5	4.9
3	cis-ocimene	1106	2.7	2.9
4	rose oxide-trans	1123	1.5	1.3
5	Para-menthone	1155	2.5	2.3
6	isomenthone	1164	7.6	7.6
7	α -terpineol	1178	0.6	0.7
8	β -citronellol	1225	34.3	31.5
9	neral	1240	0.5	0.6
10	geraniol	1255	11	13.2
11	citronellyl formate	1272	12.1	12.2
12	geraniol formate	1303	2.9	2.8
13	α -cubebene	1336	0.9	1
14	lavandulyl acetate	1355	0.7	0.6
15	α -cofaene	1377	0.6	0.6
16	Gerany acetate	1386	0.5	0.7
17	β -caryophyllene	1408	3.7	3.6
18	aromadendrene	1435	0.7	0.5
19	α -Humulene	1445	0.8	0.9

اسانس را به‌ترتیب تا ۳۹ و ۶۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. ترکیبات اصلی اسانس بتاسیترونلول، سیترونلیل فرمات و ژرانیول هستند که با افزایش تنش مقدار بتاسیترونلول کاهش و مقدار سیترونلیل فرمات و ژرانیول افزایش یافت. هر چند هیومی فورته ترکیبی از چندین اسید آمینه آزاد است ولی در این پژوهش نتوانسته است اثربخشی مناسبی به اندازه گلايسين بتائين داشته باشد. گلايسين بتائين به‌دلیل نوع ترکیبات (اسید آمینه گلايسين و ماده بتائين) و اثرگذاری این ترکیبات با هم در سلول‌های گیاهی شمعدانی عطری، از نظر محلول‌پاشی برگی نسبت به هیومی فورته برای این گیاه دارویی برتری داشت. در نهایت می‌توان بیان کرد که مقدار آب را می‌توان تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش داد و از گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط تنش شدید استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تأثیر محرک‌های زیستی گلايسين بتائين و هیومی فورته بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس شمعدانی عطری در شرایط تنش رطوبتی بررسی شد. نتایج کلی پژوهش نشان داد که تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش ارتفاع گیاه، درصد و عملکرد اسانس، کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم SOD و تجمع پرولین شد. گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار مؤثرترین تیمار جهت تعدیل آثار سوء ناشی از تنش بود. برهمکنش تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار مؤثرترین تیمار برای تقویت صفات مورفو- فیزیولوژیک شمعدانی عطری بود. درصد و عملکرد اسانس این گیاه دارویی تحت‌تأثیر تنش رطوبتی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌ترتیب ۳۰ و ۷۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) کاهش یافت. از طرفی گلايسين بتائين ۱۰۰ میلی‌مولار توانست درصد و عملکرد

منابع

1. Abasalipour, H., Hoshmand, S., Tadvin, A. and Zaiali, H. 2007. The effect of water stress on some morphological properties of German chamomile. In proceeding of 3rd national conference of medicinal plants, 25 October, Tehran. (In Persian)
2. Ahmadi, A. and Baker, D.A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. J. Agri. Sci. 136: 3. 257-269.
3. Arnao, M.B. and Hernández-Ruiz, J. 2014. Melatonin: plant growth regulator and/or biostimulator during stress?. Trends Plant Sci. 19: 12. 789-797.
4. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1. 1-15.
5. Ashraf, M.F. and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59: 2. 206-216.
6. Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M. and Bagher Rezaii, M. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flav. Fragr J. 17: 4. 275-277.
7. Bates, L.S., Waldren., R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 1. 205-207.
8. Cakmak, I., Pfeiffer, W.H. and McClafferty, B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chem. 87: 1. 10-20.
9. Carmen, G. and Hancu, G. 2014. Antimicrobial and antifungal activity of *Pelargonium roseum* essential oils. Adv. Pharm. Bull. 4: 2. 511-521.
10. Čavar, S. and Maksimović, M. 2012. Antioxidant activity of essential oil and aqueous extract of *Pelargonium graveolens* L'Her. Food Control. 23: 1. 263-267.

11. Chakraborty, U. and Pradhan, D. 2011. High temperature-induced oxidative stress in *Lens culinaris*, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. *J. Plant Intract.* 6: 1. 43-52.
12. Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E. and Pausas, J.G. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Aus. J. Bot.* 51: 4. 335-380.
13. Dahab, T.A. and El-Aziz G.A. 2006. Physiological effect of Diphenylamin and Tryptophan on the growth and chemical constituents of *Philodendron erubescens* plants. *World J. Agri. Sci.* 2: 1. 75-81.
14. Dhindsa, R.S. and Matowe, W. 1981. Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.* 32: 1. 79-91.
15. Diaz, R.A., Matthias, A.D. and Hanks, R.J. 1983. Evapotranspiration and Yield Estimation of Spring Wheat from Canopy Temperature I. *Agron. J.* 75: 5. 805-810.
16. Farahani, H.A. and Khalvati, M.A. 2011. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil in drought stress condition. In 46th Croatian & 6th International Symposium on Agriculture.
17. Fry, J. and Huang, B. 2004. Applied turfgrass science and physiology. Wiley. 320p.
18. Gratão, P.L., Polle, A., Lea, P.J. and Azevedo, R.A. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Funct. Plant Biol.* 32: 6. 481-494.
19. Hasani, A. and Omidbaighi, R. 2002. Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolic properties of Basil. *JAS.* 12: 3. 47-59. (In Persian)
20. Hojati, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Karimi, M. and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta. Physiol. Plant.* 33: 1. 105-112.
21. Hossain, F.M., Nishii, J., Takagi, S., Ohtomo, A., Fukumura, T., Fujioka, H. and Kawasaki, M. 2003. Modeling and simulation of polycrystalline ZnO thin-film transistors. *J. Appl. Phys.* 94: 12. 7768-7777.
22. Hsiao, T.C. and Xu, L.K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Bot.* 51: 350. 1595-1616.
23. Jiang, Y. and Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.* 41: 2. 436-442.
24. Kage, H., Kochler, M. and Stützel, H. 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *Eur J. Agric.* 20: 4. 379-394.
25. Ketchum, R.E., Warren, R.S., Klima, L.J., Lopez-Gutiérrez, F. and Nabors, M.W. 1991. The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cell cultures of the halophytic grass *Distichlis spicata* L. *J. Plant. Physiol.* 137: 3. 368-374.
26. Khan, M.M. and Azam, Z.M. 1999. Change in the essential oil constituents of *Foeniculum vulgare* in relation of basal and foliar application of nitrogen and phosphorus. *J. Plant. Nutr.* 11: 2205-2515.
27. Khedr, A.H.A., Abbas, M.A., Wahid, A.A., Quick, W.P. and Abogadallah, G.M. 2003. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to salt-stress. *J. Exp. Bot.* 54: 392. 2553-2562.
28. Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Indus. Crop. Prod.* 30: 3. 372-379.
29. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C. and Sohrabi, Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Aus. J. Crop. Sci.* 4: 8. 580-592.

30. Matysik, J., Alia Bhalu, B. and Mohanty P. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Cur. Sci.* Pp: 525-532.
31. Maurel, C. and Prado, K. 2017. Aquaporins and Leaf Water Relations. In *Plant Aquaporins* (pp. 155-165). Springer International Publishing.
32. Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H. and Sadeghian, S.Y. 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Tur. J. Agric. For.* 29: 5. 357-368.
33. Mokany, K., Raison, R.J. and Prokushkin, A.S. 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biol.* 12: 1. 84-96.
34. Naghdibadi, H.A., Labafi, M.R., Ghavami, N., Ghaderi, A., Abdosi, V. and Mehrafrin, A. 2015. Phytochemical and morphological responses of *Thymus vulgaris* L. for biomimetic sprays based on amino acids and methanol. *Ir. J. Med. Aron. Plant.* 14: 54. 146-158. (In Persian)
35. Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *J. Ess. Oil. Bear. Plant.* 6: 2. 104-108. (In Persian)
36. Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A.R.İ.F. and Gurbuz, B. 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pak. J. Bot.* 36: 4. 787-792.
37. Pan, Y., Wu, L.J. and Yu, Z.L. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant. Growth. Regul.* 49: 2-3. 157-165.
38. Petropoulos, S.A., Daferera, D., 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. *Hort. Sci.* 115: 4. 393-397.
39. Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *J. Exp. Bot.* 55: 403. 1743-1750.
40. Prasad, A., Kumar, S., Pandey, A. and Chand, S. 2012. Microbial and chemical sources of phosphorus supply modulate the yield and chemical composition of essential oil of rose-scented geranium (*Pelargonium species*) in sodic soils. *Biol. Fertil. Soils.* 48: 1. 117-122.
41. Putievsky, E., Ravid, U. and Dudai, N. 1990. The effect of water stress on yield components and essential oil of *Pelargonium graveolens* L. *J. Ess. Oil. Res.* 2: 3. 111-114.
42. Ramazan, G.H. and Abbaszadeh, B. 2016. The effect of drought stress on yield, content and percentage of essential oil of *Nepeta pogonosperma* Jamzad et Assadi under different plant density. *J. Med. Arom. Plant.* 31: 24-32.
43. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P. and Sabzalian, M.R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of Matricaria chamomile. *IJAB*, 10: 4. 451-454.
44. Ros, C.O.D., Matsuoka, M., Silva, R.F.D. and Silva V.R.D. 2017. Interference from the vertical variation of soil phosphorus and from water stress on growth in maize, the soybean and sunflower. *Rev. Ciên. Agron.* 48: 3. 419-427.
45. Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Shukla, D.S. 1997. Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *J. Agron. Crop. Sci.* 178: 3. 171-178.
46. Sakamoto, A. and Murata, N. 2002. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant. Cell. Environ.* 25: 2. 163-171.
47. Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F. and Sangwan, R.S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant growth regul.* 34: 1. 3-21.
48. Shabala, S. 2017. *Plant stress physiology*. Cabi. University of Tasmania, Australia. 376p.

49. Shekari, F., Mehrafarin, A., Naghdibadi, H.A. and Hajiaghaie, R. 2014. Foliar application of biotic stimulators on yield and yield components of *Plantago psyllium* L. Iran. J. Med. Arom. Plant. 30: 5. 811-820. (In Persian)
50. Siddique, M.R.B., Hamid, A. and Islam, M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. 41: 232-240.
51. Simoglou, K.B. and Dordas, C. 2006. Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. Crop Protec. 25: 7. 657-663.
52. Soltani, M.K., Heshmat, A., Habibi, H. and Zarezadeh, A. 2011. The effect of different levels of glycinebetaine on morphological traits and yield of German chamomile cultivars under water stress in Yazd. Iran. J. Med. Arom. Plant. 27: 2. 279-289. (In Persian)
53. Thakur, A. and Thakur, C.L. 2018. Evaluation of four medicinal herb species under conditions of water-deficit stress. Ind. J. Plant Physiol. Pp: 1-8.
54. Werner, J.E. and Finkelstein, R.R. 1995. Arabidopsis mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. Physiol. Plant. 93: 4. 659-666.
55. Winterhalter, L., Mistele, B., Jampatong, S. and Schmidhalter, U. 2011. High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. Eur. J. Agron. 35: 1. 22-32.
56. Wu, A.H., Koh, W.P., Wang, R., Lee, H.P. and Yu, M.C. 2008. Soy intake and breast cancer risk in Singapore Chinese Health Study. Brit. J. Canc. 99: 1. 196-200.