دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2018.120931.2274
جلد ۳۴، شماره ۳، صفحه ۵۰۹-۴۹۲ (۱۳۹۷)

برهم‌کنش تنش خشکی انتهای فصل و کاربرد برگی اسمولیت‌ها بر روی عملکرد و اجزای عملکرد بابونه آلمانی (*Chamomilla recutita* L.)

فرهاد مسعودی صدقیانی[۱]، مجید امینی دهقی[۲*]، علیرضا پیرزاد[۳] و محمدحسین فتوکیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

پست الکترونیک: mdehaghi96@gmail.com

۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۶ تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد برگی اسمولیت‌ها بر عملکرد کمّی و کیفی بابونه آلمانی در شرایط خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح [(آبیاری پس از ۵۰ (بدون تنش)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید)] و محلول‌پاشی به‌عنوان عامل فرعی در هفت سطح [(عدم محلول‌پاشی (NS)، محلول‌پاشی با آب مقطر (W)، متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار= MJ)، سالیسیلیک اسید (۲ میلی‌مولار= SA)، هیومیک اسید (۲/۵ لیتر در هزار= HA)، گلایسین بتائین (۵ میلی‌مولار= GB) و گاماآمینوبوتیریک اسید (۵۰ میلی‌مولار= GABA)] بود. هدایت الکتریکی آب آبیاری ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که GABA توأم با تنش شدید بیشترین عملکرد اسانس (۳/۰۷ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. در گیاهان تیمار شده با GABA در تنش شدید شاخص برداشت اسانس به‌ترتیب افزایش ۶۰ و ۵۸ درصدی نسبت به گیاهان تیمار شده با W و NS نشان داد. بیشترین و کمترین شاخص برداشت کاپیتول با ۷۰/۸۱٪ و ۲۸/۲۳٪ به‌ترتیب از ترکیب تیماری GB و بدون تنش و W همراه با تنش شدید بدست آمد. SA، GB و GABA باعث افزایش عملکرد کاپیتول در تنش شدید در مقایسه با تنش متوسط شدند. تنش شدید باعث افزایش معنی‌دار محتوای اسانس از ۰/۶۶٪ به ۱/۱۳٪، کاهش ۳۵ درصدی شاخص برداشت بذر نسبت به تیمار شاهد و کاهش معنی‌دار عملکرد بیوماس نسبت به تنش متوسط شد. MJ و SA در مقایسه با NS، عملکرد بذر را در تنش متوسط افزایش دادند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد کمّی، رژیم‌های آبیاری، محتوای اسانس، متیل جاسمونات.

مقدمه

بابونه آلمانی (*Chamomilla recutita* L.)، یکی از گیاهان دارویی مهم و معطر است که متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae) می باشد و گلهای آن دارای رایحه علفی خوشبو است. به غیر از خواص دارویی، بابونه آلمانی گیاهی معطر است و به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان طعم‌دهنده در غذا و

در عطرسازی استفاده می‌شود (Das, 2014). بابونه آلمانی به طور طبیعی در غرب، شمال‌غرب و جنوب ایران گسترده و مصرف آن دارای تاریخچه طولانی در طب سنتی ایرانی است. بیش از ۱۲۰ ترکیب در اسانس بابونه آلمانی شناسایی شده‌است، به‌طوری که کامازولن، بیسابولول اکسید A و B، فارنزن و α-بیسابولون اکسید مهمترین آنها هستند (Farhoudi, 2010). بابونه به‌عنوان ضد التهاب، ضد حساسیت، ضد اسپاسم و ضد باکتری شناخته شده است (Wu *et al*., 2011).

تنش خشکی بر روی فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تأثیر می‌گذارد که منجر به کاهش رشد و عملکرد محصول نهایی می‌شود. سازوکارهای سازگاری در برخی از گونه های گیاهی ناشی از تغییرات مورفوآناتومیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی است. تنظیم اسمزی (Osmoregulation) به‌عنوان شایع‌ترین سازگاری فیزیولوژیکی است که با کاهش قابلیت آب سلولی به‌وجود می‌آید و باعث جذب آب از یک محیط با قابلیت آب پایین می‌شود تا پروسه‌های فیزیولوژیکی طبیعی لازم را برای رشد و توسعه حفظ کند (Ashraf *et al*., 2011). اسمولیت‌های سازگار یا محلول‌های سازگار نه تنها به تنظیم اسمزی کمک می‌کنند، بلکه ممکن است از ساختار مولکول های زیستی و غشاء نیز محافظت کنند (Murata *et al*., 1992). روش‌های زیادی برای اجتناب از اثرات تنش خشکی در گیاهان وجود دارد که راهبرد سریعتر و جایگزین برای القاء تحمل خشکی گیاه کاربرد خارجی ترکیب های مختلف شامل محلول های آلی (اسمولیت های آلی و تنظیم‌کننده های رشد) مانند گلایسین بتائین، گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا)، سالیسیلیک اسید، هیومیک اسید و متیل جاسمونات است (Sparks, 2004).

گلایسین بتائین یک ترکیب آمونیومی چهارگانه است که به‌عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی قوی در برابر خشکی محسوب می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007). گلایسین بتائین در کاربرد برگی، به راحتی می تواند از طریق اپیدرم برگ نفوذ کرده و به اندام های دیگر حرکت کند تا به طور مؤثر به تحمل استرس کمک کند (Makela *et al*., 1998).

گابا یک اسید آمینه غیر پروتئینی چهار کربنی در گونه های گیاهی است و به‌سرعت در گیاهان در پاسخ به خشکی تجمع می‌یابد (Fait *et al*., 2005). البته گابا در کاربرد خارجی ممکن است بر پاسخ های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تأثیر بگذارد (Krishnan *et al*., 2013). 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 & Viglioco, 2017). هیومیک اسید می تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد برای تنظیم سطح هورمون، بهبود رشد گیاه و افزایش تحمل استرس استفاده شود. هیومیک اسید در کاربرد برگی به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و فتوسنتز و کربوهیدرات ها تحمل گیاه به شرایط تنش را افزایش می‌دهد (Hu *et al*., 2006). متیل جاسمونات، به‌عنوان یک هورمون گیاهی محسوب می‌شود. کارکرد اصلی متیل جاسمونات و متابولیت‌های مختلف آن تنظیم واکنش گیاه به تنش خشکی و همچنین رشد و تکامل گیاه است. هنگامی که متیل جاسمونات به صورت خارجی اعمال می شود سنتز اتیلن، مهار رشد ریشه، تولید کلروفیل و جوانه‌زنی گرده را تحریک می‌کند (Pedranzani & Viglioco, 2017).

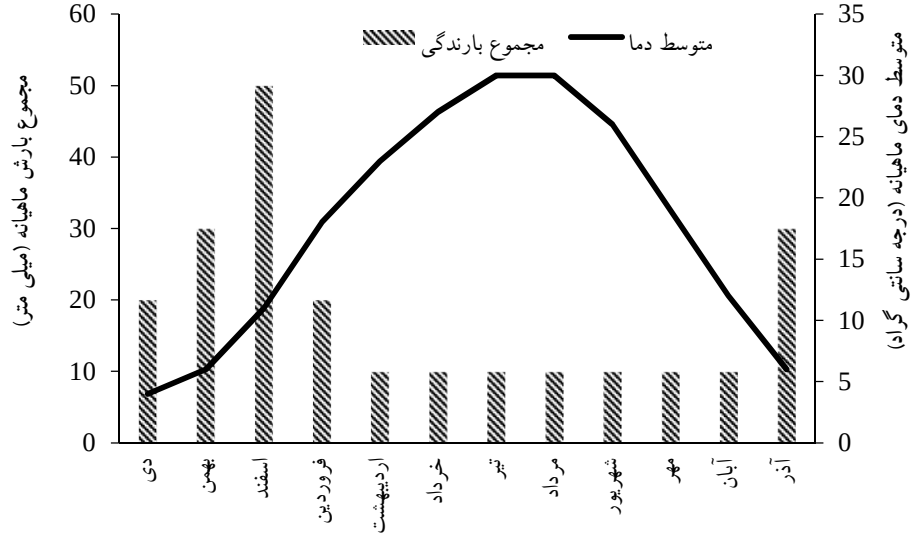
خشکی در جهان بیشترین تأثیر را روی گیاهان دارویی می‌گذارد (Khorasaninejad *et al*., 2011). یافته‌های Farhoudi (۲۰۱۰) نشان داد که تنش خشکی متوسط باعث افزایش درصد اسانس و عملکرد اسانس در بابونه شد اما تنش خشکی شدید باعث کاهش رشد، فتوسنتز و عملکرد اسانس در این گیاه شد. مطالعه تأثیر تیمارهای آبیاری پس از ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بر روی بابونه نشان داد که بیشترین عملکرد کاپیتول در بوته و واحد سطح و بیشترین تعداد کاپیتول در گیاه از تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی بدست آمد. همچنین افزایش معنی‌دار در شاخص برداشت بذر و کاپیتول بابونه آلمانی با افزایش تنش کمبود آب گزارش شده است

(Pirzad, 2007). کاهش معنی‌داری در بیوماس تر و خشک گیاه جاتروفا (*Jatropha curcas*) با افزایش سطح تنش آبی مشاهده شد (Tiwari *et al*., 2013).

متأسفانه کمبود آب در کشاورزی ایران به‌طور فزاینده‌ای در حال تبدیل شدن به یک مشکل جدی است، در حالی‌که متوسط بارندگی سالانه در کشور کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است. در چنین وضعیتی، مدیریت خشکسالی یک ضرورت است (Salami *et al*., 2009). بابونه ممکن است به‌عنوان یک گزینه مناسب در کشور ما در نظر گرفته شود، زیرا این گونه سازگاری قابل ملاحظه‌ای به طیف وسیعی از اقلیم دارد (Das *et al*., 1998). علاوه‌بر این، عملکرد معقول این گیاه در خاک‌های سدیک (Balak & Misra, 2004) و شور (Baghalian *et al*., 2008) و همچنین تحت تنش آب گزارش شده است (Razmjoo *et al*., 2008). با توجه به افزایش علاقه به صنایع دارویی، بازار جهانی بابونه مدام در حال رشد است. به همین ترتیب در ایران، کشت و اهمیت دارویی آن نیز در حال افزایش است و محصولات دارویی مختلفی تحت نظارت وزارت بهداشت تولید می‌شوند (Baghalian *et al*., 2008). بنابراین با توجه به اینکه خشکی یکی از عوامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی در ایران می‌باشد و همچنین مصرف بابونه آلمانی به‌عنوان یک گیاه دارویی مهم روز به روز در حال افزایش است، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد برگی اسمولیت‌ها به‌عنوان مواد کاهش‌دهنده خسارت خشکی و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد برگی اسمولیت‌ها بر عملکرد و اجزاء عملکرد (کاپیتول، دانه و اسانس) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۴ (۲۵ اسفند تا ۲۵ خرداد) در مزرعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد تهران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۹۰ متر از سطح دریا انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه در این ایستگاه ۲۲۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. پراکنش بارندگی و متوسط دما در طول فصل رشد محصول در منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت در جدول ۱ آورده شده‌است.



شکل ۱- تغییرات متوسط دما و مجموع بارندگی ماهیانه در محل آزمایش در طول فصل رشد

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری بعد از ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی شامل [عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با آب مقطر، متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار)، سالیسیلیک اسید (۲ میلی‌مولار)، هیومیک اسید (۲/۵ لیتر در هزار)، گلایسین بتائین (۵ میلی‌مولار) و گاما آمینوبوتیریک اسید (۵۰ میلی‌مولار)] در مقادیر توصیه شده مطلوب به‌عنوان عامل فرعی بودند. کشت در تاریخ ۲۵ اسفند در زمین اصلی با تراکم ۳۳۰ هزار بوته در هکتار انجام شد (هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کشت به فاصله ۳۰ سانتی متر بین ردیف‌ها و ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها بود). اندازه هر کرت ۱۸۰× ۱۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. در این تحقیق از رقم "Bodegold" بابونه آلمانی، یک رقم تتراپلوئید استفاده شد. بذرهای مورد استفاده برای کشت از شرکت اکسیر طبیعت کوهسار اراک تهیه شدند.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی	شن	سیلت	رس
		(dS/m)	(mg/kg^{-1})			٪				
لومی-شنی	۷/۸	۴/۲	۴/۷	۲۳۴/۲	۱۰/۲	۰/۰۴	۰/۷	۷۴	۶	۲۰

قبل از اعمال تنش خشکی همه واحدهای آزمایشی به فاصله ۶ روز یکبار آبیاری شدند. آبیاری تا سبز شدن بذرها و دو برگه شدن گیاهچه‌ها با آبپاش انجام شد. گیاهان تا قبل از مرحله روزت و در چهار برگه شدن تنک گردیدند. کنترل علف‌های هرز، برای جلوگیری از رقابت آنها با بابونه و ممانعت از هر گونه تداخل علف‌کش‌ها، به‌صورت دستی و مداوم انجام شد، به‌طوری که مزرعه عاری از علف های هرز بود. برای اعمال تیمار خشکی بعد از اتمام بارندگی‌های بهاره تا رسیدگی محصول (۵۰ روز پس از کاشت)، میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به طور روزانه در مزرعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد اندازه‌گیری شده و آبیاری هر تیمار پس از رسیدن میزان تبخیر به مقدار مورد نظر انجام گردید. بدین‌ترتیب که پس از رسیدن میزان تجمعی تبخیر از تشتک به مقدار مورد نظر، واحدهای آزمایشی آبیاری شدند. برای اعمال دقیق تیمارهای آبیاری از تأسیسات آبیاری لوله‌کشی شده و کنتور آب استفاده گردید. شوری آب آبیاری توسط دستگاه ECمتر برآورد گردید، که مقدار آن ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. به‌منظور تعیین زمان آبیاری در هر تیمار، ۴۸ ساعت بعد از آبیاری، نمونه‌برداری روزانه و پیوسته از خاک برای تعیین درصد رطوبت خاک انجام شد (Kramer & Boyer, 1995). حجم آب مصرفی در هر کرت و در هر مرتبه آبیاری بر حسب لیتر از رابطه ۱ محاسبه گردید (Kramer & Boyer, 1995):

$$V_{irrig} = (F_c - \theta_m) \times (\rho_b \times D_{root} \times A) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه V_{irrig}: حجم آب مصرفی (لیتر)، FC: درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، θ_m: درصد وزنی رطوبت خاک، D_{root}: عمق توسعه ریشه (متر)، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب) و A: مساحت هر کرت (مترمربع) می‌باشد.

اولین مرحله محلول پاشی با گلایسین بتائین، سالیسیلیک اسید، متیل جاسمونات و هیومیک اسید ۶۰ روز پس از کاشت (مرحله رشد رویشی) و دومین مرحله ۷۵ روز پس از کاشت (مرحله گلدهی) با استفاده از یک اسپری دستی

برای پوشش کامل برگ‌های گیاهی انجام شد. گیاهان فقط در مرحله گلدهی با گابا تیمار شدند. تیمارهای شاهد با آب مقطر اسپری شدند. در هر تکرار سه واحد آزمایشی با هیچ‌گونه ماده‌ای محلول‌پاشی نشدند. محلول‌پاشی با گلایسین بتایین به غلظت ۵ میلی‌مولار (Korkmaz *et al.*, 2012)، سالیسیلیک اسید به غلظت ۲ میلی‌مولار (Ramroodi & Khamar, 2013)، اسید هیومیک به میزان ۲/۵ لیتر در هزار (Sanjari *et al.*, 2015؛ Behrouz & Samsampoor, 2015)، متیل جاسمونات به غلظت ۷۵ میکرومولار (Salimi *et al.*, 2016) و گابا به غلظت ۵۰ میلی‌مولار (Barbosa *et al.*, 2010) با توجه به مقادیر توصیه شده مطلوب انجام شد. در این آزمایش عملکرد کاپیتول، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس و شاخص برداشت دانه، اسانس و کاپیتول مورد ارزیابی قرار گرفتند.

عملکرد گل خشک (کاپیتول)

برای بدست آوردن عملکرد کاپیتول از هر واحد آزمایشی یک مترمربع با در نظر گرفتن حاشیه‌ها علامت‌گذاری و کاپیتول‌ها برای استخراج اسانس به همراه ۱ تا ۲ سانتی‌متر دمگل و با دست برداشت گردید. گلها ۲ بار در فاصله ۸۰ و ۸۵ روز پس از کاشت برداشت شدند. کاپیتول‌ها بلافاصله در سایه به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) خشک و پس از توزین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، در پاکت‌های کاغذی سربسته تا زمان استخراج اسانس نگهداری شدند (Pirzad *et al.*, 2011).

عملکرد اسانس

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد. برای این منظور مقدار ۲۵ گرم از گل های خشک (کاپیتول‌ها به همراه ۱ تا ۲ سانتی متر دمگل)، همراه با مقدار کافی آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه ریخته شده و عمل اسانس گیری با حرارت دادن بالن مزبور شروع شد. عملکرد اسانس براساس عملکرد کاپیتول و درصد اسانس نمونه‌ها تعیین گردید (Pirzad *et al.*, 2011).

عملکرد بذر

برداشت برای بذر هنگامی که گلچه‌های زبانه‌ای از حالت افقی خارج شده و به صورت عمودی (به طرف پایین) درآمده بودند، انجام شد. پس از برداشت، بذرها تمیز شده و بلافاصله در دمای اتاق خشک شده و با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شدند (Pirzad *et al.*, 2011).

شاخص برداشت

نسبت بین جزء قابل فروش (بخش اقتصادی) و کل وزن خشک (عملکرد بیولوژیک) شاخص برداشت گیاه محسوب می‌شود، که از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد:

رابطه ۲ عملکرد بیولوژیک/عملکرد اقتصادی=HI

در این رابطه، عملکرد اقتصادی می تواند عملکرد کاپیتول (گل خشک)، عملکرد اسانس و یا عملکرد بذر باشد، که در این صورت شاخص برداشت حاصل، شاخص برداشت کاپیتول، اسانس و یا بذر خواهد بود (Pirzad *et al.*, 2011).

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

تجزیه‌های آماری براساس مدل آماری طرح‌های مورد استفاده توسط نرم‌افزارهای SAS 9.2 و MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد اسانس به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل رژیم‌های

آبیاری در محلول‌پاشی اسمولیت‌ها قرار گرفت ولی رژیم‌های آبیاری به تنهایی عملکرد اسانس را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲). مقایسه میانگین های عملکرد اسانس نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی عملکرد اسانس در بیشتر تیمارهای محلول‌پاشی افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۳). گیاهان محلول‌پاشی شده با اسمولیت‌ها عملکرد اسانس بیشتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (عدم محلول پاشی) و گیاهان تیمار شده با آب در سطح تنش شدید نشان دادند. محلول پاشی با گابا در سطح تنش شدید (۳/۰۷ کیلوگرم در هکتار) و بدون تنش (۲/۲۴ کیلوگرم در هکتار) و متیل جاسمونات در سطح تنش متوسط (۲/۱۸ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب منجر به حصول بیشترین عملکرد اسانس شدند (جدول ۳).

شاخص برداشت اسانس

نتایج جدول ۲ نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها از لحاظ اثر رژیم های آبیاری بر شاخص برداشت اسانس می‌باشد ولی اثر متقابل رژیم‌های آبیاری در محلول‌پاشی، شاخص برداشت اسانس را در سطح ۵٪ تحت تأثیر قرار داد. مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول پاشی در آبیاری نشان داد که محلول‌پاشی اسمولیت‌ها بر شاخص برداشت اسانس تأثیر مثبت دارد (جدول ۳). نتایج نشان داد که شاخص برداشت اسانس در تیماری که گابا در سطح تنش شدید محلول‌پاشی شده در مقایسه با گیاهان تیمار شده با آب و محلول‌پاشی نشده به‌ترتیب ۶۰٪ و ۵۸٪ افزایش داشته است. شاخص برداشت اسانس در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات و هیومیک اسید در همه سطوح تنش خشکی افزایش نشان داد (جدول ۳).

شاخص برداشت کاپیتول

شاخص برداشت کاپیتول مانند عملکرد کاپیتول به تنهایی تحت تأثیر محلول پاشی قرار نگرفت ولی تنش خشکی توأم با محلول‌پاشی اسمولیت‌ها این صفت را در سطح ۵٪ تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت کاپیتول نشان می دهد که بیشترین و کمترین شاخص برداشت با ۷۰/۸۱٪ و ۲۸/۲۳٪ به ترتیب از ترکیب تیماری محلول پاشی با گلایسین بتائین و بدون تنش و محلول پاشی با آب و تنش شدید بدست آمد (جدول ۳). محلول پاشی با متیل جاسمونات، سالیسیلیک اسید، گلایسین بتائین و گابا به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰ درصدی، ۲۲ درصدی، ۹ درصدی و ۲۷ درصدی شاخص برداشت کاپیتول در سطح تنش شدید نسبت به تنش متوسط گردید. در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی تیمار شاهد یا بدون تنش دارای بیشترین شاخص برداشت کاپیتول بود (جدول ۳).

عملکرد کاپیتول

از لحاظ اثر متقابل تنش خشکی در محلول پاشی اسمولیت‌ها بر عملکرد کاپیتول بین تیمارها اختلاف آماری معنی داری در سطح ۱٪ وجود داشت ولی محلول پاشی اسمولیت‌ها به تنهایی این صفت را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سطح تنش شدید و متوسط عملکرد کاپیتول در مقایسه با شاهد روند نزولی داشته است (جدول ۳). بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد کاپیتول در شرایط بدون تنش مشاهده نشد. محلول پاشی با سالیسیلیک اسید، گلایسین بتائین و گابا باعث افزایش عملکرد کاپیتول در سطح تنش شدید در مقایسه با تنش متوسط گردید که این افزایش در مورد گابا معنی‌دار بود (جدول ۳).

محتوای اسانس

رژیم های آبیاری محتوای اسانس را به شدت تحت تأثیر قرار داد ($P\leq0.01$)، در حالی‌که محلول پاشی و اثر متقابل آن با تنش خشکی بر محتوای اسانس اثر معنی داری اعمال نکرد (جدول ۲). با افزایش فاصله آبیاری از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، محتوای اسانس افزایش معنی‌داری پیدا کرد. اعمال تنش

شدید باعث افزایش معنی دار محتوای اسانس از ۰/۶۶٪ به ۱/۱۳٪ شد. این افزایش نسبت به شرایط بدون تنش ۴۲٪ و نسبت به تنش متوسط ۱۴٪ بود (شکل ۲- الف).

شاخص برداشت بذر

در این آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین تیمارها از لحاظ اثر رژیم های آبیاری بر شاخص برداشت بذر بابونه آلمانی مشاهده شد ولی محلول پاشی و تنش خشکی توأم با محلول پاشی شاخص برداشت بذر را تغییر نداد (جدول ۲). شاخص برداشت بذر مانند شاخص برداشت کاپیتول روند مشابهی تحت رژیم های آبیاری نشان داد، زیرا هر دو شاخص برداشت عملکرد مربوطه مشابهی داشتند (شکل ۲- ب). بیشترین (۷۲/۵۳٪) و کمترین (۴۷/۴۱٪) شاخص برداشت بذر به‌ترتیب از تیمار بدون تنش و تنش شدید حاصل شد. مقایسه میانگین ها نشان داد که بین تیمار شاهد با سایر سطوح تنش خشکی اختلاف معنی داری وجود داشت ولی بین تنش متوسط با تنش شدید تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تنش شدید باعث کاهش ۳۵ درصدی شاخص برداشت بذر نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۲- ب).

عملکرد زیست‌توده

رژیم‌های آبیاری اثر معنی داری ($P\leq0.05$) بر عملکرد زیست‌توده داشتند ولی بین تیمارهای محلول پاشی و اثر متقابل آنها با رژیم های آبیاری از نظر تأثیر بر عملکرد زیست‌توده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که تنش خشکی کل وزن خشک گیاه را در تیمار تنش شدید به‌طور معنی‌داری نسبت به تنش متوسط کاهش داده است. بیشترین زیست توده تولیدی در تنش متوسط بدست آمد و هر گونه کاهش و افزایش در فاصله آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد زیست توده در تیمارهای بدون تنش و تنش شدید گردید (شکل ۲- ج).

عملکرد بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در این آزمایش (جدول ۲) نشان داد که تنش خشکی تأثیر به شدت معنی‌داری ($P\leq0.01$) بر عملکرد بذر در گیاه بابونه آلمانی داشت. اثر متقابل رژیم‌های آبیاری در محلول‌پاشی اسمولیت‌ها عملکرد بذر را در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). یافته های ما نشان داد که بین تیمارهای شاهد زمانی که تحت تیمارهای عدم محلول پاشی، محلول پاشی با آب، هیومیک اسید و گابا قرار گرفتند، اختلاف معنی داری از نظر عملکرد بذر مشاهده نشد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین ها برای تنش متوسط نشان داد که گیاهان تیمار نشده، محلول پاشی شده با آب، هیومیک اسید، گلایسین بتائین و گابا اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد بذر نشان ندادند. البته عملکرد بذر در اثر محلول پاشی با متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید در سطح تنش متوسط افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی نشان داد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی و آبیاری بر عملکرد و شاخص برداشت (کاپیتول، اسانس و بذر) بابونه آلمانی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد اسانس	شاخص برداشت کاپیتول	شاخص برداشت اسانس	عملکرد کاپیتول	محتوای اسانس	شاخص برداشت بذر	عملکرد زیست توده	عملکرد بذر
بلوک	۲	۱/۱۵**	۸۶۱/۸**	۰/۰۶۴*	۱۲۹۴۵/۰۱**	۰/۰۹*	۲۹/۷۶ns	۱۸۴۴/۶ns	۱۵۵۴/۸**
آبیاری	۲	۰/۳۸ns	۳۴۱۸/۸**	۰/۰۳۴ns	۴۹۵۲۵/۸**	۱/۲ **	۶۶۶/۶**	۵۸۰۳/۹*	۱۳۴۴۷/۴**
خطای اصلی	۴	۰/۴۵	۷۰/۱	۰/۰۲۴	۱۷۴۶/۶	۰/۰۱۳	۳/۹۷	۷۷۱/۹	۱۸۵/۳
محلول‌پاشی	۶	۰/۶۶**	۶۸/۷ns	۰/۰۳۷*	۱۲۱۵/۴ns	۰/۰۴۵ns	۱۷/۶۱ns	۴۰۸/۴ns	۲۷۰/۸ns
آبیاری× محلول‌پاشی	۱۲	۰/۵۶**	۱۶۸/۵*	۰/۰۳۴*	۲۸۲۱/۶**	۰/۰۲۹ns	۱۷/۱۴ns	۱۹۶۶/۵ns	۴۸۱/۹*
خطای فرعی	۳۶	۰/۱۸	۶۹/۲	۰/۰۱۳	۸۱۴/۴	۰/۰۲۷	۱۴/۹۱	۲۰۵۱/۶	۲۰۶/۵
ضریب تغییرات (٪)		۲۲/۹	۱۶/۱۶	۲۵/۸۴	۱۳/۵۸	۱۸/۰۹	۱۳/۳۳	۱۰/۹۸	۱۲/۲۸

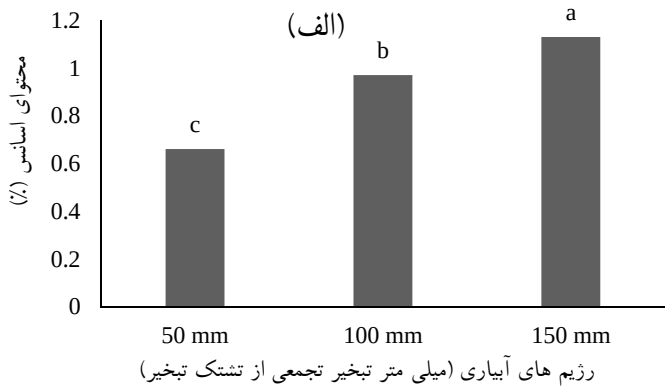
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

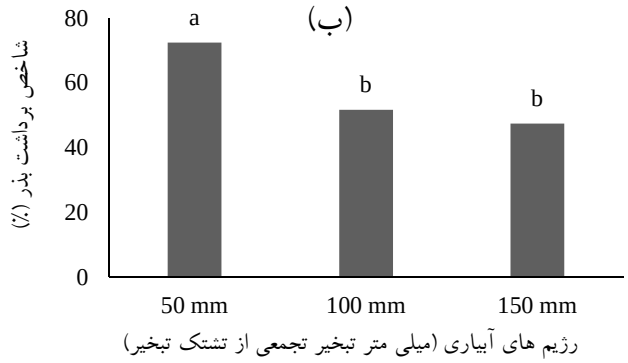
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ترکیب‌های تیماری رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی از نظر عملکرد و شاخص برداشت

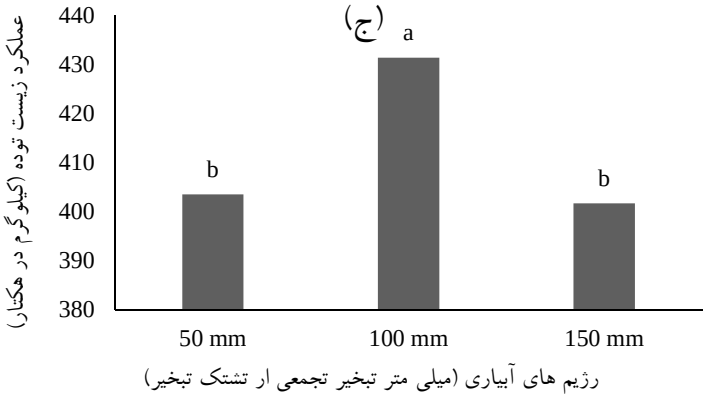
تیمار		شاخص‌ها				
رژیم آبیاری	محلول‌پاشی	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت اسانس (٪)	شاخص برداشت کاپیتول (٪)	عملکرد کاپیتول (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بذر (کیلوگرم در هکتار)
۵۰ میلی‌متر	**NS**	۱/۵۳ b	۰/۳۵ c	۳۳/۶۱ a	۲۶۲/۶ ab	۱۴۸/۵۳ ab
	W	۱/۷۳ ab	۰/۴۱ abc	۶۶/۸۶ a	۲۸۱/۶ ab	۱۵۱/۸ ab
	MJ	۱/۶۸ ab	۰/۴۳ abc	۶۵/۹۴ a	۲۵۶/۷ ab	۱۲۱/۶ d
	SA	۱/۶۱ ab	۰/۴۲ abc	۶۸/۶۵ a	۲۶۲/۴ ab	۱۲۸/۳ cd
	HA	۱/۴۵ b	۰/۳۶ bc	۶۰/۲۱ a	۲۴۱/۱ b	۱۴۰/۲ abc
	GB	۲/۰۶ ab	۰/۵۵ a	۷۰/۸۱ a	۲۶۴/۶ ab	۱۳۳/۷ cd
	GABA	۲/۲۴ a	۰/۵۳ ab	۶۹/۶ a	۲۹۰/۵ a	۱۵۶/۱ a
۱۰۰ میلی‌متر	**NS**	۱/۷۳ abc	۰/۴۴ abc	۴۸/۴۵ a	۱۸۳/۳ ab	۱۱۷/۶ cd
	W	۲/۱۳ ab	۰/۵۱ a	۵۱/۷۴ a	۲۱۳/۳ a	۱۱۴/۹ cd
	MJ	۲/۱۸ a	۰/۴۸ ab	۴۷/۴۲ ab	۲۱۲/۷ a	۱۳۰/۶ ab
	SA	۱/۴۷c	۰/۳۱ bc	۳۵/۰۸ b	۱۶۳/۵ b	۱۳۴ a
	HA	۱/۹۷ abc	۰/۴۴ abc	۴۶/۷۶ ab	۲۰۷/۶ a	۱۰۵/۵ d
	GB	۱/۵۷ c	۰/۳۷ bc	۴۰/۶۳ ab	۱۷۳/۷ ab	۱۱۶/۳ cd
	GABA	۱/۶۷ c	۰/۴ abc	۴۰/۲۳ ab	۱۶۵/۷ b	۱۲۷/۷ abc
۱۵۰ میلی‌متر	**NS**	۱/۲۴ b	۰/۳۲ b	۳۶/۴۱ bc	۱۴۱ bc	۹۰/۶ a
	W	۱/۱۵ b	۰/۳ b	۲۸/۲۳ c	۱۰۷/۲ c	۷۲/۶ a
	MJ	۲/۰۹ ab	۰/۵۳ ab	۵۲/۴۵ ab	۲۰۳/۶ ab	۹۹/۴ a
	SA	۲/۰۴ ab	۰/۵ ab	۴۴/۷ abc	۱۸۲/۵ ab	۷۷/۴ a
	HA	۲/۱۵ ab	۰/۵۴ ab	۴۵/۵۷ ab	۱۸۳/۸ ab	۸۶/۰۷ a
	GB	۲/۳۷ a	۰/۵۴ ab	۴۴/۴۲ abc	۱۹۱/۶ ab	۱۰۵/۵ a
	GABA	۳/۰۷ a	۰/۷۶ a	۵۵/۳۶ a	۲۲۲ a	۹۷/۸ a

حروف غیر مشابه در هر ستون و فاکتور، بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشند.

NS: عدم محلول‌پاشی، W: محلول‌پاشی با آب مقطر، MJ: متیل جاسمونات، SA: سالیسیلیک اسید، HA: هیومیک اسید، GB: گلایسین بتائین، GABA: گاماآمینوبوتیریک اسید







شکل ۲- مقایسه میانگین‌های محتوای اسانس

الف) شاخص برداشت بذر، ب) عملکرد زیست‌توده، ج) تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشند.

بحث

عملکرد اسانس از حداقل ۱/۱۵ کیلوگرم در هکتار در ترکیب تیماری تنش شدید و محلول پاشی با آب تا حداکثر ۳/۰۵ کیلوگرم در هکتار در ترکیب تیماری تنش شدید و محلول پاشی با گابا تغییر کرد. در این تحقیق عملکرد اسانس در سطح تنش شدید افزایش جزئی نشان داد که با نتایج تحقیقات دیگر نیز تطابق دارد. عملکرد اسانس ارقام پرسو، بادگولد و توده محلی بابونه شیرازی تحت تنش خشکی متوسط (۷۵٪ ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد نه تنها کاهش نیافت بلکه درصد ماده مؤثره کامازولن نیز افزایش یافت (Farhoudi & Makkizadeh Tafti, 2013). اگرچه تنش خشکی باعث افزایش درصد اسانس در گیاهان دارویی می‌شود، اما عملکرد کل اسانس کاهش معنی‌داری در نعناع (Charles *et al*., 1990) و ریحان (Refaat & Saleh, 1997) داشته است. البته روند مشابه نتایج این تحقیق در آویشن نیز گزارش شده است. بدین‌ترتیب که حداکثر عملکرد اسانس در آویشن، در شرایط ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای بدست آمد و با انحراف از این رطوبت تا ۹۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت مزرعه ای، عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری یافت (Letchamo & Gosselin, 1996). در گیاهان گابا در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده می‌تواند به سرعت تجمع یابد و باعث مقاومت گیاه در برابر این تنش ها شود (Wang *et al*., 2014). گابا از طریق افزایش فعالیت پرولین-۵- کربوکسیلات و سرکوب کردن فعالیت پیروات دهیدروژناز، منجر به تجمع پرولین در گیاه می شود. از آنجا که پرولین یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های افزایش تحمل به تنش می باشد، تجمع پرولین در هنگام تنش باعث حفظ ساختار سلولی و جلوگیری از آسیب‌های سلولی خواهد شد (Wang *et al*., 2014). کاربرد خارجی گابا در میوه‌های هلو انبار شده باعث افزایش تجمع گابا درونی و تجمع بیشتر پرولین شد و سبب کاهش خسارت ناشی از صدمات سرما در انبارداری طولانی مدت هلو شد (Shang *et al*., 2011). کاربرد توأم تنش آبی و تنظیم‌کننده‌های رشد مانند گابا، سالیسیلیک اسید، آبسیسیک اسید و پوترسکین سنتز متابولیت‌های ثانویه را در گیاه *Simarouba glauca* القاء کرد. کاربرد چنین ترکیب هایی در شرایط تنش باعث کاهش اثرات تنش آبی و القاء سنتز ترکیب های زیست فعال شده و قابلیت دارویی گیاه مذکور را بهبود بخشید (Awate & Gaikwad, 2014). در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر دو گیاه ریحان و مرزنجوش افزایش کمّیت و کیفیت اسانس ریحان در غلظت 10^{-4} مولار گزارش شده است (Gharib, 2006). نتایج تحقیقات Alavi-Samani و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که اثرات متقابل رژیم آبیاری و متیل جاسمونات، متیل جاسمونات و گونه و رژیم آبیاری و گونه بر روی عملکرد اسانس کدو تلخ (*Momordica charantia*) معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، متیل جاسمونات و گونه معنی‌دار بود. احتمالاً بهبود عملکرد اسانس با کاربرد خارجی متیل جاسمونات به دلیل افزایش طول دوره رشد، جذب عناصر غذایی یا تغییرات در فراوانی غدد چربی برگ‌ها و سنتز مونوترپن‌ها باشد (Ghasemi Pirbalouti *et al*., 2014).

بیشترین عملکرد کاپیتول مربوط به تیمار بدون تنش بود. با افزایش فواصل آبیاری، از عملکرد کاپیتول به طور معنی‌داری کاسته شد و در سطح تنش شدید به حداقل رسید. تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش خشکی، از میزان عملکرد کاپیتول در هر بوته کاسته می‌شود (Pirzad *et al*., 2009). حصول بالاترین عملکرد در آبیاری مناسب و کاهش عملکرد با انحراف از یک میزان مشخص (معمولاً تنش خیلی ملایم) توسط سایر محققان در بابونه آلمانی و انیسون (Omidbaigi, 2001)، رازیانه (Omidbaigi, 1993) و بلادون (Baricevic *et al*., 1999) نیز گزارش شده است.

تنش کمبود آب از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش آبگیری کلروپلاست و سایر بخش های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب کاهش فتوسنتز می گردد. انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش کم آبی کاهش یافته و موجب تجمع و اشباع برگ ها از این مواد می گردد، که فتوسنتز را محدود می نماید. محدود شدن فتوسنتز، رشد گیاه

و عملکرد را کاهش می‌دهد (Pirzad, 2004). محلول‌پاشی با گلایسین بتائین و سالیسیلیک اسید به‌ویژه گابا باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کاپیتول در تنش شدید در مقایسه با سایر سطوح تنش گردید. اثرات مثبت کاربرد برگی گلایسین بتائین بر عملکرد بابونه آلمانی رشد کرده در شرایط کمبود آب در این تحقیق در سایر گیاهان از قبیل گوجه فرنگی (Makela *et al*., 1998)، ذرت (Agboma *et al*., 1997)، پنبه (Gorham *et al*., 2000) و گندم (Diaz-Zarita *et al*., 2001) نیز مشاهده شده است. Gorham و همکاران (۲۰۰۰) افزایش عملکرد پنبه را ناشی از افزایش رشد بوته‌ها دانستند. به‌طوری که در تحقیق آنان مشخص گردید که گلایسین بتایین باعث افزایش آنیون مالات گردید که این ماده نقش مهمی در چرخه فتوسنتزی و ساخت اسیمیلات برای پایداری رشد رویشی و زایشی گیاه دارد (Gharib, 2006). در گیاه ریحان و مرزنجوش Benavides-Mendoza و همکاران (۲۰۰۲) در فلفل افزایش رشد و عملکرد را در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید گزارش نمودند. تحقیقات در مورد کاربرد خارجی گابا بر روی عملکرد کاپیتول بابونه آلمانی بسیار محدود می باشد. در یک تحقیق با کاربرد غلظت‌های مختلف گابا تعداد گل‌های نر و ماده در گیاه کدو تلخ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین تعداد گل‌های نر و ماده در هر گیاه به‌ترتیب در غلظت‌های ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم در لیتر گابا بدست آمد (Ashrafuzzaman *et al*., 2010).

شاخص برداشت اسانس تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار نگرفت. مانند این تحقیق Pirzad و همکاران (۲۰۱۱) نیز تفاوت معنی‌داری بین سطوح رژیم‌های آبیاری بر روی شاخص برداشت اسانس در گیاه بابونه آلمانی مشاهده نکردند. با توجه به تعریف شاخص برداشت، کلیه عوامل مؤثر بر روی بخش اقتصادی (در اینجا اسانس) و نیز کل وزن خشک، به شدت شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار می دهند. بنابراین نتایج بدست آمده تحت تأثیر آبیاری در سایر گیاهان نیز تأیید شده‌اند (Pirzad, 2004). یافته‌های ما نشان داد که کاربرد برگی گابا، متیل جاسمونات، سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید در سطح تنش شدید منجر به افزایش شاخص برداشت اسانس بابونه آلمانی گردید که بیشترین تأثیر بر شاخص برداشت اسانس مربوط به گابا بود. دلیل اصلی حصول بیشترین شاخص برداشت اسانس در گیاهان تیمار شده با گابا بالا بودن عملکرد اسانس می باشد. اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص برداشت کاپیتول معنی‌دار بود، همچنین اثر متقابل تیمارهای آبیاری در محلول پاشی بر شاخص برداشت کاپیتول معنی‌دار بود. نتایج تحقیقات در بابونه آلمانی نشان‌دهنده این است که بیشترین مقدار شاخص برداشت کاپیتول به تیمار آبیاری پس از ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی متر و کمترین مقدار آن به تیمار آبیاری پس از ۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A مربوط می‌شود. مقادیر کم شاخص برداشت در تیمار آبیاری پس از ۲۵ میلی متر تبخیر به دلیل عملکرد پایین کاپیتول و مقادیر بالای آن در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر بدلیل مقادیر بالای عملکرد گل خشک گزارش شده است، در حالی‌که مقدار زیاد شاخص برداشت در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، با وجود پایین بودن عملکرد گل خشک، به‌دلیل پایین بودن عملکرد بیولوژیکی می‌باشد (Pirzad *et al*., 2009). نتایج ما نشان داد که بیشترین شاخص برداشت کاپیتول در ترکیب تیماری بدون تنش و محلول پاشی با گلایسین بتائین بدست آمد و کمترین آن مربوط به گیاهان اسپری شده با آب در سطح تنش شدید بود. این تفاوت در شیب کاهش شاخص برداشت ممکن است به‌دلیل تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به تولید کاپیتول در شدیدترین سطح تنش باشد (Pirzad *et al*., 2012). بهبود در عملکرد و اجزاء عملکرد 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). Iqbal و همکاران (۲۰۰۵) ثابت کردند که کاربرد خارجی گلایسین بتائین نقش مؤثری

در تعدیل اثرات تنش آبی بر پتانسیل تورگر و عملکرد دو لاین آفتابگردان داشت.

همانند شاخص برداشت کاپیتول با افزایش شدت تنش شاخص برداشت بذر کاهش یافته و در تنش شدید به کمترین مقدار خود رسید. تغییر در شاخص برداشت بستگی به تغییر در عملکرد گل دارد. شاخص برداشت یک وسیله است و هدف نیست و فقط شاخص برداشت بالا ملاک نمی‌باشد. زیرا ممکن است شاخص برداشت بالا در نتیجه کاهش عملکرد گل و عملکرد زیست توده حاصل شود (Shiranirad, 2006). شاخص برداشت بالا زمانی قابل قبول می باشد که حاصل از افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی و یا هر دو آنها باشد (Koocheki & Sarmadnia, 2007). از این‌رو باید شاخص برداشت را همراه با عملکرد زیست توده و عملکرد گل مورد بررسی قرار داد.

مقایسه میانگین‌ها بالاترین و پایین‌ترین درصد اسانس را به ترتیب در سطح تنش شدید و بدون تنش نشان داد. در مطالعه Pirzad (۲۰۰۴) در مجموع بالاترین درصد اسانس از تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بدست آمد که با انحراف از این میزان، یعنی با افزایش و کاهش میزان آب آبیاری درصد اسانس کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان داد. همچنین افزایش درصد اسانس با شدیدتر شدن تنش کمبود آبی در ریحان (Simon *et al.*, 1992)، اکلیل کوهی (Solinas *et al.*, 1996) و آویشن (Letchamo & Gosselin, 1996) نیز گزارش شده است. در حالی که Safikhani و همکاران (۲۰۰۷) و Farahani و همکاران (۲۰۰۹) معتقدند که با توجه به گونه و ژنوتیپ گیاهی، تنش خشکی می تواند باعث افزایش، کاهش و یا عدم تأثیر بر سطوح متابولیت‌ها شود. البته کاهش در محتوای اسانس ممکن است به دلیل اختلال در فتوسنتز و تولید کربوهیدرات تحت شرایط تنش و توقف رشد گیاه باشد (Flexas & Medrano, 2002).

همان‌طوری که در نتایج بیان شد با افزایش شدت تنش عملکرد بذر به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. به‌طوری که کمترین عملکرد بذر (۷۲/۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تنش شدید و محلول پاشی با آب حاصل شد. تیمارهای محلول پاشی اثر معنی داری بر عملکرد بذر نداشتند، در حالی‌که اثر متقابل آن با رژیم های آبیاری عملکرد بذر را تحت تأثیر قرار داد. نتایج تحقیقات Pouryousef (۲۰۱۳) بر روی گیاه دارویی رازیانه نشان داد که اعمال تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، تولید و عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد ازجمله تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چترک شده و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد. نتایج این آزمایش با نتایج بسیاری از محققان ازجمله Heidari و همکاران (۲۰۱۲)، Zehtab-Salmasi و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش و کم آبیاری مطابقت دارد. در این تحقیق محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و متیل جاسمونات باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بذر تحت تنش متوسط گردید. افزایش عملکرد در نتیجه تغذیه برگی با سالیسیلیک اسید ممکن است به‌دلیل تأثیرگذاری سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز باشد که سبب افزایش خصوصیات کمّی و کیفی محصولات می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). بنابراین به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با افزایش تقسیم و رشد سلول‌ها عملکرد را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش رشد و عملکرد می تواند به‌دلیل تأثیر بر فعالیت هورمون‌های گیاه باشد. سالیسیلیک اسید با تغییر تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد و عملکرد می‌شود (Hayat *et al.*, 2005). افزایش عملکرد بذر در اثر مصرف سالیسیلیک اسید و متیل جاسمونات در پژوهش های بسیاری گزارش شده است (Anjum *et al.*, 2011؛ Yun-Xia *et al.*, 2010). تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط عدم وجود تنش و تنش خشکی در گندم شدند. Vahabi و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند در شرایط گلخانه‌ای و در شرایط عدم وجود تنش و تنش

آبی، تنظیم‌کننده های رشد سالیسیلیک اسید، سایکوسل و جاسمونیک اسید به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه گندم به میزان ۱۳/۷۶٪، ۲۰/۷٪ و ۷/۲۴٪ شدند.

براساس نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که هر چند با افزایش فواصل آبیاری و به‌تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد و شاخص برداشت کاپیتول، عملکرد و شاخص برداشت بذر در گیاه بابونه آلمانی کاسته می‌شود اما با مصرف مواد تعدیل‌کننده تنش خشکی (اسمولیت‌ها) می‌توان تا حدی از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد این گیاه کاست. بنابراین کاهش عملکرد گل در طی بروز تنش خشکی در هر دو سطح تنش خشکی (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) همراه با افزایش محتوای اسانس بود.

منابع مورد استفاده

- Agboma, P., Jones, M.G.K., Peltonen-Sainio, P., Hinkkanen, R. and Pehu, E., 1997. Exogenous glycine betaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary watering regimes. Journal of Agronomy and Crop Science, 178: 29-37.
- Alavi-Samani, S.M., Kachouei, M.A. and Pirbalouti, A.G., 2015. Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 56(4): 411-420.
- Aldesuquy, H.S., Abbas, M.A., Abohamed, S.A., Elhakem, A.H. and Alsokari, S.S., 2012. Glycine betaine and salicylic acid induced modification in productivity of two different cultivars of wheat grown under water stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 8(2): 72-89.
- Anjum, S.A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I. and Xue, L., 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science, 197(4): 296-301.
- Ashraf, M. and Foolad, M., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2): 206-216.
- Ashraf, M., Akram, N.A., Al-Qurainy, F. and Foolad, M.R., 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. Advances in Agronomy, 111: 249-296.
- Ashrafuzzaman, M., Ismail, M.R., Fazal, K.M.A.I., Uddin, M.K. and Prodhan, A.K.M.A., 2010. Effect of GABA application on the growth and yield of bitter gourd (*Momordica charantia*). International Journal of Agriculture & Biology, 12: 129-132.
- Awate, P.D. and Gaikwad, D.K., 2014. Influence of growth regulators on secondary metabolites of medicinally important oil yielding plant *Simarouba glauca* DC. under water stress conditions. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 10(1): 222-229.
- Baghalian, K., Haghiry, A., Naghavi, M.R. and Mohammadi, A., 2008. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). Scientia Horticulturae, 116(4): 437-441.
- Balak, R. and Misra, P.N., 2004. Nutrient accumulation and sodicity reclamation potential of German chamomile (*Chamomilla recutita*) under varying sodicity and fertility levels. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences, 26(1): 12-16.
- Barbosa, J.M., Singh, N.K., Cherry, J.H. and Locy, R.D., 2010. Nitrate uptake and utilization is modulated by exogenous γ-aminobutyric acid in Arabidopsis thaliana seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 48(6): 443-450.
- Baricevic, D., Umek, A., Kreft, S., Maticic, B. and Zupancic, A., 1999. Effect of water stress and nitrogen fertilization on the content of hyoscyamine and scopolamine in the roots of deadly nightshade (*Atropa belladonna*). Environmental and Experimental Botany, 42(1): 17-24.
- Behrouz, M. and Samsampoor, D., 2015. Effect of humic acid on some growth characteristics and yield of marigold (*Calendula officinalis*) in drought conditions. 1th National Conference on Agriculture, Environment and Food Security, Jiroft, Jiroft University, March 3.
- Benavides-Mendoza, A., Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Ramírez-Rodríguez, H. and Maiti, R.K., 2002. Chilli seed treatment with salicylic and sulfosalicylic acid modifies seedling epidermal anatomy and cold stress tolerance. Crop Research-Hisar, 24(1): 19-25.
- Charles, D.J., Joly, R.J. and Simon, J.E., 1990. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. Phytochemistry, 29(9): 2837-2840.
- Das, M., 2014. Chamomile: Medicinal, Biochemical, and Agricultural Aspects. CRC Press, 316p.

- Das, M., Mallavarapu, G.R. and Kumar, S., 1998. Chamomile (*Chamomilla recutita*): economic botany, biology, chemistry, domestication and cultivation. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science, 20: 1074-109.
- Diaz-Zarita, M., Fernandez-Canigia, M.V. and Grosso, G.A., 2001. Application of foliar fertilizers containing glycine betaine improves wheat yields. Journal of Agronomy and Crop Science, 186: 209-215.
- Fait, A., Yellin, A. and Fromm, H., 2005. GABA shunt deficiencies and accumulation of reactive oxygen intermediates: insight from *Arabidopsis mutants*. FEBS Letters, 579(2): 415-420.
- Farahani, H.A., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Khalvati, M.A., 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plants Research, 3(5): 329-333.
- Farhoudi, R. and Makkizadeh Tafti, M., 2013. Evalution of drought stress effect on growth, yield, essential oil and chamazulene percentage of three chamomile (*Matricaria recutita* L.) cultivars in Khuzestan condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(4): 735-741.
- Farhoudi, R., 2010. Effect of drought stress on growth and essential oil yield of German chamomile. Iranian Medical Plant Conference Proceeding. Sari, Iran, March 2-3.
- Flexas, J. and Medrano, H., 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of Botany, 89(2): 183-189.
- Gharib, F.A., 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International Journal of Agriculture and Biology, 4: 485-492.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Sajjadi, S.E. and Parang, K., 2014. A review (research and patents) on jasmonic acid and its derivatives. Archiv der Pharmazie, 347(4): 229-239.
- Gorham, J., Bridges, J., Jokinen, K. and Tiihonen, K., 1998. Exogenously-applied glycine betaine is not rapidly retranslocated in cotton. Proceedings of the World Cotton Research Conference-2. Athens, Greece, 6-12 Sep: 628-631.
- Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A., 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hungarica, 53(4): 433-437.
- Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakkoli, A. and Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28(1): 121-130.
- Hu, Z., Haneklaus, S., Sparovek, G. and Schnug, E., 2006. Rare earth elements in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37(9-10): 1381-1420.
- Iqbal, N., Ashraf, M.Y. and Ashraf, M., 2005. Influence of water stress and exogenous glycinebetaine on sunflower achene weight and oil percentage. International Journal of Environmental Science & Technology, 2(2): 155-160.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K. and Khalighi, A., 2011. The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Medicinal Plants Research, 5(22): 5360-5365.
- Koocheki, A. and Sarmadnia, G.H., 2007. Physiology of Crop Plants. Tehran University Press, 400p.
- Korkmaz, A., Şirikçi, R., Kocaçınar, F., Değer, Ö. and Demirkırıan, A.R., 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. Scientia horticulturae, 148: 197-205.
- Kramer, P.J. and Boyer, J.S., 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, 495p.
- Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V. and Merewitz, E.B., 2013. Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ-aminobutyric acid on perennial ryegrass. Journal of the American Society for Horticultural Science, 138(5): 358-366.
- Letchamo, W. and Gosselin, A., 1996. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. Journal of Horticultural Science, 71(1): 123-134.
- Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu E. and Somersalo, S., 1998. Foliar application of glycinebetaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. Industrial Crop Production, 7: 139-148.
- Murata, N., Mohanty, P.S., Hayashi, H. and Papageorgiou, G.C., 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. FEBS Letters, 296(2): 187-189.
- Omidbaigi, R., 1993. Effect of environmental factors on growth, yield and active substances of some medicinal plants. Doctoral dissertation, Doctoral thesis, Hungarian Academy of Sciences, Budapest.

- Omidbaigi, R., 2001. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 3). Astan Quds Razavi Publishing, 397p.
- Pedranzani, P. and Viglioco, A., 2017. Regulation of jasmonic acid and salicylic acid levels in abiotic stress tolerance: past and present: 329-370. In: Singh, V.P. and Prasad, S.M., (Eds.). Mechanisms behind Phytohormonal Signalling and Crop Abiotic Stress Tolerance. Nova Science Publishers, 460p.
- Pirzad, A., 2007. Effects of irrigation and plant density on some physiological traits and essence of *Matricaria chamomilla* L. Ph. D. Thesis, Department of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- Pirzad, A., 2007. Effects of irrigation and plant density on some physiological traits and essence of *Matricaria chamomilla* L. Doctoral dissertation, Ph.D. Thesis, Department of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, A., Darvishzadeh, R. and Hassani, A., 2009. Dried flower harvest index of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) affected by irrigation regimes and plant density. Tarla Bitkileri Kongresi, 8: 318-321.
- Pirzad, A., Fayyaz, M.A., Razban, M. and Raei, Y., 2012. The evaluation of dried flower and essential oil yield and harvest index of *Matricaria chamomilla* L. under varying irrigation regimes and amounts of super absorbent polymer (A200). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22(3): 85-100.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S.A., Hadi, H. and Darvishzadeh, R., 2011. Effects of irrigation regime and plant density on harvest index of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Australian Journal of Agricultural Engineering, 2(5): 120-126.
- Pouryousef, M., 2013. Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(6): 897-889.
- Ramroodi, M. and Khamar, A., 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and irrigation treatments on some quantitative, qualitative and osmotic regulators of Basil. Applied Research of Plant Ecophysiology Journal, 1(1): 19-32.
- 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*. International Journal of Agriculture and Biology, 10(4): 451-454.
- Refaat, A.M. and Saleh, M.M., 1997. The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on sweet basil plants. Bulletin of Faculty of Agriculture University of Cairo, 48: 515-527.
- Safikhani, F., Heydari Sharifabad, H., Syadat, A., Sharifi Ashorabadi, A., Syednedjad, M. and Abbaszadeh, B., 2007. The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 23: 86-99.
- Salami, H., Shahnooshi, N. and Thomson, K.J., 2009. The economic impacts of drought on the economy of Iran: an integration of linear programming and macroeconometric modelling approaches. Ecological Economics, 68(4): 1032-1039.
- Salimi, F., Shekari, F. and Hamzei, J., 2016. Chlorophyll, soluble sugar and flower dry weight of German chamomile in response to methyl jasmonate under salinity stress. Iranian Journal of Horticultural Science, 29(1): 87-94.
- Sanjari, M.M., Sirousmehr, A. and Fakheri, B., 2015. The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa).* Journal of Crops Improvement, 17(2): 403-414.
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164(3): 317-322.
- Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. and Zheng, Y., 2011. Effect of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(4): 1264-1268.
- Shiranirad, A.H., 2006. Physiology of Crop Plants. Cultural and Artistic Institute Dibagaran, Tehran, 360p.
- Simon, J.E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R.J. and Charles, D.J., 1992. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research, 4(1): 71-75.
- Solinas, V., Deiana, S., Gessa, C., Bazzoni, A., Loddo, M.A. and Satta, D., 1996. Effect of water and nutritional conditions on the *Rosmarinus officinalis* L., phenolic fraction and essential oil yields. Rivista Italiana EPOSS, 19: 189-198.
- Sparks, D.L., 2004. Advances in Agronomy (Vol. 82). Academic Press, 652p.
- Tiwari, N., Purohit, M., Sharma, G. and Nautiyal, A.R., 2013. Changes in morpho-physiology of

Jatropha curcas grown under different water regimes. Natural science, 11(9): 76-83.
- Vahabi, N., Emam, Y. and Pirasteh-Anosheh, H., 2017. Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid under water stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 124-135.
- 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.
- Wu, Y.N., Xu, Y. and Yao, L., 2011. Anti-inflammatory and anti-allergic effects of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Essential Oil Bearing Plants, 14(5): 549-558.
- Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-Hai, L., Zhi-Bin, C., Che, W., Yun-Cong, Y., Zhen-Hai, H., Jie, Z. and Zhen-Sheng, S., 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. African Journal of Agricultural Research, 5(15): 1978-1983.
- Zehtab-Salmasi, S., Ghasemi-Golezani, K. and Moghbeli, S., 2006. Effect of sowing date and limited irrigation on the seed yield and quality of dill (*Anethum graveolens* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 281-286.

Interaction of late season drought stress and foliar application of osmolytes on the yield and yield components of German chamomile (*Chamomilla recutita* L.)

F. Masoudi Sadaghiani[1], M. Amini Ddehaghi[2*], A. Pirzad[3] and M.H. Fotokian[4]

1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
E-mail: mdehaghi96@gmail.com
3- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

Received: March 2018 Revised: April 2018 Accepted: May 2018

Abstract

In order to evaluate the effects of foliar application of osmolytes on the quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Chamomilla recutita* L.) in drought stress conditions, a split-plot experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at Research Center of Medicinal Plants, Shahed University. The treatments included irrigation as the main factor in three levels [(irrigation after 50 (without stress), 100 (moderate stress) and 150 mm evaporation from the class A pan (severe stress)] and foliar application of osmolytes as sub-plots in seven levels [(without Spraying (NS), distilled water (W), methyl jasmonate (MJ= 75μM), salicylic acid (SA= 2mM), humic acid (HA= 2.5lit/1000), glycine betaine (GB= 5mM), and γ- aminobutyric acid (GABA= 50mM). The electrical conductivity of the irrigation water was 4.8 dS/m. Mean comparisons showed that GABA combined with severe stress had the highest essential oil yield (3.7 kg ha-1). In plants treated with GABA under severe stress, essential oil harvest index was increased by 60 and 58%, respectively, compared to W and NS treatments. The highest and lowest capitol harvest index with 70.81% and 23.28% were respectively obtained from GB combined without stress and W with severe stress. SA, GB, and GABA increased the capitol yield in severe stress compared with the moderate stress. Severe stress caused a significant increase in essential oil content from 0.66 to 1.13%, a 35% reduction in seed harvest index compared to control treatment, and a significant reduction in biomass yield rather than moderate stress. MJ and SA increased seed yield compared with NS in moderate stress.

Keywords: Quantitative yield, irrigation regimes, essential oil content, methyl jasmonate**.**