

تأثیر کم‌آبیاری و کاربرد برگی محرک‌ها بر عملکرد و کیفیت بابونه آلمانی

(Matricaria chamomilla L.)

(مقاله پژوهشی)

۱- امیر تقی‌پور، دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

۲- علیرضا ابدالی‌مشهدی^{*}، استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

alirezaabdali@asnrukh.ac.ir

۳- عبدالمهدی بخشنده، استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

۴- امین لطفی جلال‌آبادی، دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

۵- شهلا مشایخی، دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷

چکیده

بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گیاهی دارویی با کاربردهای بسیار است. بخش مهمی از خواص دارویی این گیاه به کمیت و کیفیت اسانس آن بستگی دارد. در مناطق خشک، روش کم‌آبیاری یک راهبرد مدیریتی حیاتی برای بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری است و می‌تواند باعث افزایش غلظت متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی شود. همچنین کاربرد برگی محرک برخی از ترکیبات ممکن اثر القایی در بالا بردن متابولیت‌های دارویی داشته باشد. این آزمایش به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و ترکیبات محرک بر عملکرد کمی و کیفی بابونه آلمانی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. فاکتور اصلی، تیمار کم‌آبیاری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۶۰ (شاهد)، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و فاکتور فرعی، محلول‌پاشی چهار نوع محرک (السیستور) شامل شاهد (آب مقطر)، سوربیتول، مانیتول و اتانول بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت کم‌آبیاری، عملکرد وزن خشک و تر کاهش، اما درصد و عملکرد اسانس، وزن خشک گل و میزان کامازولن به طور معنی‌داری افزایش یافت. محلول‌پاشی با محرک‌ها، به‌ویژه سوربیتول، اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل و بر عملکرد کمی و کیفی اسانس تأثیر مثبت گذاشت. بالاترین میزان اسانس (۱/۵۷ درصد) و کامازولن (۱/۸۶ درصد) در تیمار ترکیبی کم‌آبیاری شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) و کاربرد سوربیتول مشاهده شد. به‌طور کلی، استفاده هم‌زمان از تنش ملایم خشکی و محلول‌پاشی سوربیتول می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر برای افزایش بازده اقتصادی اسانس بابونه توصیه شود.

واژگان کلیدی: اتانول، سوربیتول، کامازولن، مانیتول، محلول‌پاشی.

مقدمه

گیاهان دارویی دارای اهمیت اقتصادی است ولی افزایش درصد متابولیت‌های دارویی در بافت‌های گیاه شاید ارزش اقتصادی بالاتر و کم هزینه‌تری در مقایسه با تلاش در

بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) یک گیاه دارویی است که محتوای اسانس آن نقش اصلی در خواص درمانی آن ایفا می‌کند [۵۵] هر چند افزایش تولید زیست‌توده در

در مقیاس جهانی میزان بارندگی در ایران به مقدار قابل توجهی کم است به طوری که در سال ۲۰۲۰ بیشتر مساحت ایران در وضعیت "خشکسالی شدید" طبقه بندی شده است [۵۱]. تنش خشکی می تواند باعث بالا رفتن متابولیت های دارویی در گیاه شود [۶۴]. بنا براین، در یک راهبرد هوشمندانه می توان از تنش خشکی برای افزایش متابولیت های دارویی در گیاهان دارویی استفاده نمود [۴۰].

از سوی دیگر برخی از ترکیبات شیمیایی می توانند به عنوان محرک انجام برخی از واکنش های بیوشیمیایی عمل نمایند که می تواند منجر به افزایش تولید برخی از ترکیبات شیمیایی از جمله متابولیت های ثانویه دارویی در گیاهان شوند [۳۳]. محرک ها (الیستورها) با افزایش پروفایل آنتی اکسیدانی و تجمع ترکیبات زیست فعال، اثرات تنش های غیرزیستی را کاهش می دهند [۳۰]. قندالکلهای از جمله سوربیتول و مانیتول، در یک راهبرد فیزیولوژیک، در تنظیمات متابولیک مربوط به تحمل تنش کم آبی و همچنین انتقال و متابولیسم ترکیبات درون گیاه نقش دارند [۲۰]. تولید اسانس ها در گیاهان شامل مسیرهای متابولیکی است که به پیش سازها نیاز دارند [۳۸]. قندالکلهای مانند سوربیتول و مانیتول در گیاهان به عنوان منابع کربن و انرژی و همچنین در نقش محافظ اسمزی در پاسخ به استرس عمل می کنند [۲۰]. از سوی دیگر بسیاری از متابولیت های ثانویه، از جمله اسانس ها، در واقع نقش دفاعی در برابر گیاهخواران، پاتوژن ها و تنش های محیطی دارند. این امکان وجود دارد که قندالکلهای بتوانند به عنوان مولکول های سیگنال دهنده عمل کرده و مسیرهای سیگنال دهی که منجر به تولید ترکیبات دفاعی می شوند را تحریک کنند. سوربیتول در پاسخ های گیاه به بسیاری از تنش های زیستی و غیرزیستی نقش دارد [۳۶]. همچنین قندالکلهای می توانند به عنوان ضد اکسیدان عمل کنند [۲۴]. حضور مانیتول در کلروپلاست ها منجر به افزایش مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو می شود [۶۳]. همچنین، سلول های حاوی مانیتول در بخش کلروپلاست، ظرفیت بیشتری برای از بین بردن رادیکال های هیدروکسیل نشان می دهند [۶۳]. از سوی دیگر، قندالکلهای پس از جذب، می توانند وارد مسیرهای

جهت افزایش زیست توده باشد [۲۹]. تولید گیاهان دارویی نوعی زراعت متابولیک است که در آن افزایش میزان برداشت متابولیت دارویی در واحد سطح هدف اصلی است [۷] و شاید لزوماً افزایش برداشت زیست توده هدف نهایی نباشد زیرا ممکن است در دو مزرعه با شرایط یکسان و با مساحت برابر، با انجام عملیات اگروتکنیکی، یک گونه گیاه دارویی با تولید زیست توده کم تر بتواند مقدار متابولیت دارویی بیشتری در واحد سطح نسبت به مزرعه دیگر با تولید بیوماس بیشتر تولید نماید [۶۹]. به عبارت دیگر، در چنین شرایطی، افزایش درصد ماده دارویی در بافت های گیاه به میزانی افزایش یافته است که نه تنها جبران کاهش بیوماس را نموده است بلکه در کل، باعث بالاتر رفتن عملکرد متابولیت دارویی در واحد سطح شده است. در بسیاری از موارد در تولید سبزی ها و میوه ها و گیاهان زراعی تنش های محیطی باعث کاهش درآمد کشاورزان می شود ولی در زراعت گیاهان دارویی گاهی به کارگیری هدفمند و برنامه ریزی تنش های محیطی نه تنها باعث کاهش درآمد نمی گردد بلکه باعث افزایش تولید متابولیت های دارویی و کسب درآمد بیشتر می گردد [۳۴]. این موضوع بر این اصل استوار است که متابولیت های دارویی جزو متابولیت های ثانویه هستند و این متابولیت ها در بسیاری از موارد نقش دفاعی و حفاظتی در گیاه داشته و با افزایش تنش های محیطی و زیستی مقدار آنها به میزان قابل توجهی افزایش می یابد [۵۲]. بنابراین در تولید گیاهان دارویی با انجام پژوهش و برنامه ریزی می توان مشخص نمود در یک گیاه دارویی خاص، چه نوعی تنشی و در چه مرحله ای از رشد و نمو و به چه شدتی به کارگیری شود تا بیشترین متابولیت دارویی در واحد سطح به دست آید [۳۲]. با انتخاب چنین روش هایی می توان میزان استفاده از نهاده های کشاورزی مانند آب و کود را کاهش داد.

با توجه به محدودیت منابع آبی در ایران، می توان از تنش خشکی کنترل شده به عنوان یک راهبرد مدیریتی برای افزایش متابولیت های دارویی در گیاهان بهره برد. در این راستا، کاربرد هدفمند محرک ها نیز می تواند با تحریک مسیرهای تولید متابولیت های ثانویه، اثرات مطلوب تنش را تقویت نماید.

متابولیک گیاه شوند و در فرآیندهای مختلف متابولیسم نقش ایفا کنند [۳۷]. ترپنوئیدها پیش‌ساز یا بخش اصلی اسانس‌ها هستند [۳].

در آزمایشی کاربرد سوربیتول توانست تولید ترپنوئیدها و ترکیبات فنلی در کشت‌های سوسپانسیون سلولی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) را افزایش دهد [۲].

در پژوهشی محلول‌پاشی قند الکل سوربیتول بر روی کلم (*Brassica Oleracea* var. capitata. L.) باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک، میزان کلروفیل کل برگ‌ها، شاخص کلروفیل (SPAD) و عملکرد کل نسبت به شاهد شد [۸]. در توت فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Albion) با محلول‌پاشی سوربیتول محتوای کلروفیل، فنولیک و کاروتنوئید افزایش یافت، در حالی که محتوای فلاونوئید کاهش پیدا کرد [۳۶].

در پژوهشی، برتری معنی‌دار کاربرد مانیتول بر وزن تر و خشک رشد رویشی، وزن خشک ریشه‌ها، محتوای ویتامین C، کربوهیدرات‌ها، تولید گیاه و وزن دانه تولید شده در فلفل (*Capsicum annuum* L.) نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد [۴۴].

در آزمایشی نتایج نشان داد که محلول‌پاشی قند الکل مانیتول بیشترین طول بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، سطح برگ، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد در بوته و عملکرد کل را در نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) ایجاد نمود [۵۷].

قندالکلهایی مانند سوربیتول و مانیتول در افزایش تحمل و مقاومت به تنش خشکی در گیاهان نقش دارند [۲۴]. این ترکیبات به عنوان اسمولیت‌های سازگار (compatible solutes) عمل می‌کنند که به تنظیم تعادل آب سلولی و محافظت در برابر استرس کمک می‌کنند دارند [۲۴]. در شرایط تنش خشکی و گرمایی، قندالکلهایی مانند اینوزیتول و مانیتول در گیاهان تجمع می‌یابند [۲۲]. به عنوان مثال، در سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، مانیتول و اینوزیتول به‌شدت تحت تنش گرمایی و ترکیب گرما و خشکی تجمع پیدا کردند، درحالی‌که گالاکتینول بیشتر تحت تنش خشکی تجمع یافت [۲۲].

بر اساس مطالعات انجام شده، محلول‌پاشی برگی اتانول می‌تواند باعث افزایش اسانس در گیاهان شود [۶۰]. برای مثال، در گیاه مشگک (*Ducrosia anethifolia* (DC.) Boiss) محلول‌پاشی اتانول باعث افزایش معنی‌دار محتوا و عملکرد اسانس شد [۱۴].

در آزمایش دیگری بر روی گیاه مشگک، محلول‌پاشی برگی اتانول در غلظت‌های مختلف باعث افزایش اسانس و تغییر در پروفایل اجزای اسانس شد [۶۰]. در آزمایشی محلول‌پاشی اتانول در گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس شد [۶۶].

در این پژوهش اثر کم آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها بر عملکرد کمی و کیفی بابونه مورد بررسی قرار گرفت. هدف و نوآوری پژوهشی در این آزمایش، بررسی احتمال افزایش محتوای اسانس بابونه تحت شرایط کم‌آبیاری و مقایسه کارایی دو قند الکل سوربیتول و مانیتول با یک محرک متداول‌تر مانند اتانول در تعدیل اثرات تنش کم‌آبی در این گیاه بود. همچنین، کاربرد هم‌زمان و امکان بروز اثر متقابل میان دو عامل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ترکیبات محرک (سوربیتول، مانیتول و اتانول) می‌تواند یک راهنمای علمی و کاربردی ارزشمند برای انتخاب روش‌های افزایش کمیت و کیفیت محصول باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در مزرعه‌ی پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز اجرا شد. عرض جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی آن ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا حدود ۲۲ متر است. براساس آمار هواشناسی بلندمدت منطقه، متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین، بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب ۲۳، ۳۶ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد است. این پژوهش به‌صورت طرح اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

عوامل آزمایش شامل سه سطح تنش کم‌آبیاری (آبیاری به‌میزان ۶۰ میلی‌متر تبخیر به‌عنوان تیمار شاهد

درصد زمان کاشت و ۵۰ درصد زمان پنجه دهی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل در زمان کاشت با خاک هر کرت مخلوط گردید [۲۱].

بذر بابونه آلمانی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد و در ۱۰ آذرماه به صورت دستی کشت گردید. به منظور سهولت در کاشت بذرهای ریز بابونه، بذرهای به نسبت یک به ده با ماسه مخلوط شد و پس از سبز شدن برای دستیابی به تراکم مطلوب اقدام به تنک کردن گیاهان شد. جهت تعیین میزان آب آبیاری برای تیمارهای کم آبیاری از روش تشتک تبخیر کلاس A استفاده شد و میزان آب مورد استفاده برای هر تیمار محاسبه گردید. کشت به صورت مسطح و آبیاری به صورت کرتی بود. وجین علفهای هرز به صورت دستی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد وزن خشک، عملکرد وزن تر، وزن خشک گل، عملکرد اسانس، درصد اسانس و درصد کامازولن بود.

برداشت در ۲۵ فروردین و با دست انجام گرفت. به منظور نمونه برداری با حذف حاشیه معادل یک مترمربع از خطوط کاشت در هر کرت برداشت شد. گلها در زیر سایه و در هوای آزاد خشک گردیدند. جهت تهیه اسانس ۵۰ گرم پودر گل بابونه را به طور دقیق توزین نموده و به روش تقطیر با آب، اسانس آن با استفاده از دستگاه کلونجر استخراج شد. بازده اسانس نیز پس از رطوبت زدایی آب آن توسط سولفات سدیم خشک، محاسبه شد. بعد از تعیین بازده اسانس، عملکرد آن نیز به کمک حاصل ضرب عملکرد گل در بازده اسانس محاسبه گردید. جهت مشخص کردن درصد کامازولن، ۰/۰۲۵ لیتر گزیلول که تحت عنوان زایلن نیز شناخته می شود به اسانس به دست آمده از هر واحد آزمایشی اضافه گردید و بعد با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۱۰ نانومتر جذب این محلول اندازه گیری و با بکارگیری رابطه ۳ درصد کامازولن مشخص شد [۴۳].

$$A = \frac{E \times D \times 5.81}{G \times 100} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳، A درصد کامازولن، E جذب در طول موج ۶۱۰ نانومتر، D مقدار گزیلول و G وزن اسانس می باشد. تجزیه آماری داده ها، شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ها با استفاده از نرم افزار SAS ورژن ۹/۳

[۲۱]، آبیاری به میزان ۸۰ میلی متر تبخیر و آبیاری به میزان ۱۰۰ میلی متر تبخیر) به عنوان عامل اصلی و عامل محلول پاشی محرک ها در چهار نوع شامل تیمار شاهد (آب مقطر)، مانیتول با غلظت ۳۰ میلی مولار [۵۳]، اتانول با غلظت ۵ درصد و سوربیتول-D (ایزومر راست گرد سوربیتول) با غلظت دو میلی مولار [۴۲] به عنوان عامل فرعی بود.

در آزمایشی محلول پاشی مانیتول با غلظت ۳۰ میلی مولار باعث اثر قابل توجهی در تعدیل تنش کم آبی در ماش سیاه (*Vigna mungo* L.) شد [۵۳]. محلول پاشی با به گل رفتن ۱۰ درصد بوته ها آغاز شد [۳۱] و دو بار دیگر در فواصل زمانی ۷ روز تکرار شد. برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع از داده های روزانه هواشناسی و براساس روش تشتک تبخیر استفاده و بر حسب ضریب گیاهی بابونه بر مبنای مقاله مجله علوم آبیاری [۵۰] تعیین گردید (روابط ۱ و ۲).

$$\text{رابطه ۱) [۴]: } ET_C = K_C \times ET_0$$

$$\text{رابطه ۲) [۶]: } ET_0 = K_p \times E_p$$

در این روابط، ET_C تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر در روز)، K_C ضریب گیاهی (بدون واحد)، E_p تبخیر اندازه گیری شده از تشتک تبخیر و ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز) می باشد [۶]. K_p ضریب تشتک تبخیر می باشد که مقدار آن بر حسب موقعیت تشت تبخیر به لحاظ وضعیت پوشش سبز، سرعت باد، رطوبت نسبی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸ انتخاب شد.

قبل از شروع آزمایش به منظور بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی متر انجام شد. جهت تهیه زمین پس از یک شخم و دیسک، کرت هایی به طول و عرض ۲۵۰ سانتی متر تهیه و در داخل هر کرت پنج ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. کشت در ردیف هایی با فاصله ۳۰ سانتی متر و با فاصله بوته ۵ سانتی متر روی ردیف انجام گرفت. فاصله کرت ها از هم ۱/۵ متر و فاصله بلوک ها از یکدیگر به منظور جلوگیری از اختلاط تیمارها سه متر در نظر گرفته شد.

براساس نیاز گیاه و نتایج آزمون خاک، ۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (از منبع اوره) در دو مرحله ۵۰

و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد و جهت مرتب‌سازی داده‌ها و رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

عملکرد وزن خشک گیاه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد اثرات ساده و متقابل تیمارها بر صفت عملکرد وزن خشک معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها (جدول ۲) نشان داد که بالاترین و کم‌ترین عملکرد وزن خشک گیاه با ۳۴ درصد اختلاف) به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل

(شاهد) توأم با کاربرد سوربیتول (۴۴۰ گرم در مترمربع) و کم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر و عدم کاربرد محرک‌ها (۳۲۷ گرم در مترمربع) بود. در شرایط کم آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد تمام تیمارهای محلول‌پاشی کاهش یافت، اما همچنان تیمار سوربیتول با (۳۸۶ گرم در مترمربع) بدون اختلاف معنی‌دار با مانیتول و اتانول بالاترین نتیجه را داشت. در شرایط کم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش وزن خشک گیاه مشهود بود، اما تیمار سوربیتول (۳۴۹ گرم در مترمربع)، مانیتول (۳۳۸ گرم در مترمربع) و اتانول (۳۴۶ گرم در مترمربع) نسبت به تیمار شاهد (۳۲۷ گرم در مترمربع) برتری معنی‌داری نشان دادند.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بابونه آلمانی تحت اثر تیمارهای کم آبیاری و محلول‌پاشی

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد وزن خشک	عملکرد وزن تر	وزن خشک گل	عملکرد اسانس	درصد اسانس	کامازولن
بلوک	۲	۱۹/۴ ^{ns}	۱۷۸۸ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}
کم آبیاری	۲	۲۱۸۰۲ ^{**}	۳۲۸۹۵۷ ^{**}	۸۲/۶ ^{**}	۰/۱۶ ^{**}	۰/۶۷ ^{**}	۲/۲۳ ^{**}
خطای فرعی	۴	۳/۴۴	۵۰۸	۰/۲۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴
محلول‌پاشی	۳	۷۹۴ ^{**}	۱۲۱۴۷۷ ^{**}	۷/۸۱ [*]	۰/۰۲ ^{**}	۰/۰۷ ^{**}	۰/۲۶ ^{**}
کم آبیاری × محلول‌پاشی	۶	۷۵/۶ ^{**}	۱۰۲۲ ^{ns}	۰/۶۹ ^{**}	۰/۰۰۲ ^{**}	۰/۰۰۹ ^{**}	۰/۰۲ ^{**}
خطای اصلی	۳۵	۱۰/۶	۷۲۵	۰/۱۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۰/۸۵	۱/۱۸	۱/۰۴	۲/۵۷	۳/۰۶	۱/۹۸

^{ns}، ^{**} و ^{*} به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کم آبیاری و محلول‌پاشی بر روی صفات بابونه آلمانی

کم آبیاری	محلول‌پاشی	عملکرد وزن خشک (گرم بر مترمربع)	وزن خشک گل (گرم بر مترمربع)	عملکرد اسانس (گرم بر مترمربع)	اسانس (درصد)	کامازولن (درصد)
شاهد	شاهد	۴۰۷ d	۳۱/۶ i	۰/۲۷ h	۰/۸۶ f	۰/۵۸ j
	مانیتول	۴۲۲ c	۳۳/۰ h	۰/۳۱ g	۰/۹۵ e	۰/۶۹ i
	اتانول	۴۳۱ b	۳۳/۶ gh	۰/۳۳ g	۰/۹۷ e	۰/۷۷ h
	سوربیتول	۴۴۰ a	۳۳/۷ g	۰/۳۲ g	۰/۹۶ e	۰/۸۴ g
۸۰ میلی‌متر تبخیر	شاهد	۳۷۶ f	۳۴/۶ f	۰/۳۵ f	۱/۰۰ e	۰/۷۶ h
	مانیتول	۳۸۴ e	۳۴/۹ ef	۰/۳۶ f	۱/۰۲ e	۰/۸۴ g
	اتانول	۳۸۵ e	۳۵/۴ de	۰/۴۲ e	۱/۱۷ d	۰/۹۷ f
	سوربیتول	۳۸۶ e	۳۵/۷ d	۰/۴۲ e	۱/۲۲ d	۱/۰۵ e
۱۰۰ میلی‌متر تبخیر	شاهد	۳۲۷ i	۳۶/۵ c	۰/۴۷ d	۱/۲۹ c	۱/۲۶ d
	مانیتول	۳۳۸ h	۳۷/۶ b	۰/۵۱ c	۱/۳۴ bc	۱/۳۸ c

۱/۶۷ b	۱/۳۹ b	۰/۵۴ b	۳۹/۰ a	۳۴۶ g	اتانول
۱/۸۶ a	۱/۵۷ a	۰/۶۲ a	۳۹/۶ a	۳۴۹ g	سوربیتول

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال خطای پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

مترمربع) با ۱۵ درصد اختلاف بود. مقایسه میانگین‌های اثر ساده محلول‌پاشی (جدول ۴) نشان داد که تمام تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به شاهد باعث افزایش عملکرد وزن تر شدند. بالاترین عملکرد وزن تر مربوط به تیمار سوربیتول (۲۳۷۱ گرم در مترمربع) و پس از آن اتانول (۲۳۳۶ گرم در مترمربع) بود. کم‌ترین عملکرد نیز در تیمار شاهد (۲۱۱۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد که با بالاترین عملکرد وزن تر ۱۲ درصد اختلاف داشت.

عملکرد وزن تر: براساس تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات اصلی کم‌آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها بر عملکرد وزن تر معنی‌دار شد ولی اثر متقابل بین کم‌آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین‌های اثر ساده کم‌آبیاری (جدول ۳) نشان داد که با افزایش شدت کم‌آبیاری، عملکرد وزن تر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بالاترین و کم‌ترین عملکرد وزن تر به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد (۲۴۱۴ گرم در مترمربع) و تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر (۲۰۸۶ گرم در

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری بر عملکرد وزن تر	
کم‌آبیاری	عملکرد وزن تر (گرم بر مترمربع)
شاهد	۲۴۱۴a
۸۰ میلی‌متر تبخیر	۲۲۸۸b
۱۰۰ میلی‌متر تبخیر	۲۰۸۶c

وجود حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی بر عملکرد وزن تر	
محلول‌پاشی	عملکرد وزن تر (گرم بر مترمربع)
شاهد	۲۱۱۳d
مانیتول	۲۳۳۰c
اتانول	۲۳۳۶b
سوربیتول	۲۳۷۱a

وجود حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

هر سطح از کم‌آبیاری، کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی (به‌ویژه سوربیتول و اتانول) نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش وزن خشک گل شد. بیشترین وزن خشک گل (۳۹/۶ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار ترکیبی کم‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر + سوربیتول بود.

عملکرد اسانس: اثرات اصلی و متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها بر وزن اسانس معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل (جدول ۲) نتایج جالبی را نشان داد. با افزایش شدت کم‌آبیاری، وزن اسانس به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. کم‌ترین مقدار اسانس (۰/۲۷)

وزن خشک گل: براساس تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات اصلی و متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها بر وزن خشک گل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل (جدول ۲) نشان داد که با افزایش شدت کم‌آبیاری، وزن خشک گل به‌طور غیرمنتظره‌ای افزایش یافت، به‌طوری که در تیمار شاهد (آبیاری کامل)، کم‌ترین وزن خشک گل (در محدوده ۳۱/۶ تا ۳۳/۷ گرم در مترمربع) و در تیمار تنش شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر)، بیشترین وزن خشک گل (در محدوده ۳۶/۵ تا ۳۹/۶ گرم در مترمربع) مشاهده شد. در

بحث و نتیجه‌گیری

کاهش معنی‌دار وزن خشک با افزایش شدت کم آبیاری از نظر فیزیولوژی قابل پیش‌بینی بود. تنش خشکی با اختلال در فرایندهای فتوسنتز، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تولید ماده خشک و توقف رشد، به‌طور مستقیم بر بیوماس گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. در آزمایشی با افزایش تنش خشکی عملکرد ماده خشک آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت [۱۰].

محلول‌پاشی محرک‌ها (مانیتول، سوربیتول و اتانول) به‌طور معنی‌داری وزن خشک بوته را افزایش دادند. ترکیباتی مانند سوربیتول و مانیتول به مانند یک تحریک‌کننده عمل کرده و باعث القای پاسخ‌های دفاعی و متابولیک در گیاه می‌شوند [۴۱]. همچنین محرک‌ها ممکن است با بهبود کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی، باعث حفظ تورژسانس سلولی و ادامه فتوسنتز حتی در شرایط تنش شده باشند. سوربیتول و مانیتول به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار عمل می‌کنند و در گیاهان تحت تنش خشکی یا شوری تجمع می‌یابند [۵]. در درختان زیتون (*Olea europaea*)، افزایش محتوای مانیتول در ریشه و ریزوسفر تحت تنش آبی، نقش آن را به‌عنوان یک اسمولیت سازگار در پاسخ به تنش تأیید می‌کند [۴۱].

کاربرد برگی اتانول در گیاهانی مانند سویا، باعث افزایش زیست‌توده، ویژگی‌های تبادل گازی، کارایی مصرف آب و محتوای نسبی آب برگ شده و عملکرد و رشد را در شرایط خشکی بهبود بخشیده است [۵۴]. همچنین، اتانول باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود که منجر به کاهش نرخ تعرق و افزایش محتوای آب برگ در شرایط تنش خشکی می‌گردد [۱۲]. این مکانیسم‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحمل به خشکی را در گیاهانی مانند آرابیدوپسیس، برنج و گندم افزایش داده‌اند [۱۲]. اتانول می‌تواند ویژگی‌های فتوسنتزی را به‌طور مثبت تعدیل کرده و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش دهد [۵۴]. از سوی دیگر، قندالکل‌ها به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار طبیعی، نقش مهمی در حفظ تعادل آب درون سلولی ایفا می‌کنند [۴۶]. این ترکیبات در پاسخ به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری در سلول‌ها تجمع می‌یابند [۳۵].

گرم در مترمربع) در تیمار شاهد (آبیاری کامل) + شاهد (عدم کاربرد محرک) و بالاترین مقدار (۰/۶۲ گرم در مترمربع) در تیمار کم آبیاری شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) + سوربیتول مشاهده شد. در هر سطح از کم آبیاری، کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد محرک) منجر به افزایش معنی‌دار وزن اسانس شد. تحت تنش خشکی شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر)، تمامی تیمارهای محلول‌پاشی محرک‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای برتر از تیمارهای مشابه در سطوح کم آبیاری پایین‌تر بودند و بیشترین اثر هم‌افزایی بین کم آبیاری و سوربیتول به‌دست آمد.

درصد اسانس: اثرات اصلی و متقابل کم آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌ها معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل (جدول ۴) نشان داد که بیشترین درصد اسانس (۱/۵۷ درصد) مربوط به تیمار ترکیبی کم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر + سوربیتول بود و کم‌ترین مقدار (۰/۸۶ درصد) در تیمار شاهد (بدون کم آبیاری) + شاهد (عدم کاربرد محرک) مشاهده شد. به‌طور کلی، با افزایش شدت کم آبیاری، درصد اسانس افزایش یافت. همچنین در هر سطح کم آبیاری، استفاده از محلول‌پاشی‌های محرک (به‌ویژه سوربیتول و اتانول) نسبت به تیمار شاهد، درصد اسانس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

کامازولن: اثر متقابل کم آبیاری × محلول‌پاشی محرک‌ها معنی‌دار شد (جدول ۱) که نشان می‌دهد پاسخ کامازولن به سطوح مختلف کم آبیاری به نوع محلول‌پاشی بستگی دارد. مقایسه میانگین اثر متقابل (جدول ۲) نشان داد که بیشترین میزان کامازولن (۱/۸۶ درصد) مربوط به تیمار ترکیبی کم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر + سوربیتول بود و کم‌ترین مقدار (۰/۵۸ درصد) در تیمار شاهد (بدون کم آبیاری) + شاهد (عدم کاربرد محرک) مشاهده شد. به‌طور کلی، با افزایش شدت کم آبیاری، میزان کامازولن افزایش یافت. همچنین در هر سطح کم آبیاری، استفاده از محلول‌پاشی‌های محرک‌ها (به‌ویژه سوربیتول و اتانول) نسبت به تیمار شاهد، میزان کامازولن را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

ارزیابی کلی اثر متقابل نشان می‌دهد که پاسخ گیاه به محلول‌پاشی تحت تأثیر سطح آبیاری قرار گرفته است. در شرایط تنش ملایم (۸۰ میلی‌متر تبخیر)، محلول‌پاشی توانست بخشی از کاهش عملکرد ناشی از تنش را جبران کند. در شرایط تنش شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر)، اگرچه کاهش عملکرد وزن خشک چشم‌گیر بود، اما همچنان گیاهان تیمار شده با سوربیتول و اتانول برتری خود را حفظ کردند. در نگاهی جامع، به‌نظر می‌رسد در روند صعودی عملکرد وزن خشک به‌ترتیب از شاهد، مانیتول، اتانول و سوربیتول روندی افزایشی داشته است. این موضوع نشان‌دهنده نقش کم‌رسانی این محرک‌ها در افزایش تحمل به خشکی در گیاه بابونه است. در یک جمع‌بندی نهایی می‌توان اظهار داشت که وزن خشک بوته به‌عنوان یک شاخص اصلی مهم در عملکرد، به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت و محلول‌پاشی با سوربیتول و اتانول به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر، توانست اثرات منفی تنش خشکی را تا حد زیادی کاهش دهد. به‌نظر می‌رسد مکانیسم عمل این محرک‌ها از طریق بهبود وضعیت آب درون سلولی، القای متابولیت‌های ثانویه و احتمالاً افزایش کارایی فتوسنتز باشد.

قندالک‌ها به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار طبیعی شناخته می‌شوند که به حفظ تعادل آب درون سلولی در گیاهان تحت تنش خشکی کمک می‌کنند [۲۷]. در خصوص سوربیتول، تحقیقات نشان داده‌اند که سوربیتول یک متابولیت القا شده توسط استرس است و غلظت آن در برگ‌های گیاه اسفرزه (*Plantago lanceolata*) تحت شرایط خشکی، به‌ویژه در دماهای بالا، افزایش می‌یابد [۴۵].

در مورد کاربرد برگی اتانول، مطالعات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی برگی اتانول می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد. به‌عنوان مثال، کاربرد برگی اتانول (۲۰ میلی‌مولار) بر گیاه سویا تحت تنش خشکی، منجر به افزایش زیست‌توده، سطح برگ، ویژگی‌های تبادل گازی، کارایی مصرف آب، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ شد که همگی به بهبود عملکرد رشد سویا در شرایط خشکی کمک کردند [۵۴]. اتانول

همچنین با تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش محتوای فلاونوئیدها، بار اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داد [۵۴]. علاوه بر این، مکمل اتانول باعث افزایش محتوای کل قندهای محلول و اسیدهای آمینه آزاد در برگ‌های گیاهان تحت تنش خشکی شد که نشان‌دهنده نقش آن در تنظیم اسمزی است [۵۴]. به‌طور خلاصه، اتانول به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر از طریق محلول‌پاشی برگی در کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود وضعیت آب درون سلولی، القای متابولیت‌های ثانویه و افزایش کارایی فتوسنتز نقش دارد [۵۴].

کاهش عملکرد وزن تر تحت تنش کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش رشد رویشی و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک مانند فتوسنتز نسبت داد [۵۶]. به‌طور خاص، مطالعات نشان داده‌اند که آبیاری ناکافی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی پارامترهای رشد گیاه از جمله ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک را کاهش دهد [۵۶]. هدایت روزنه‌ای، که تبادل گاز را تنظیم می‌کند، اغلب تحت آبیاری ناکافی کاهش می‌یابد و منجر به محرومیت از دی‌اکسیدکربن و مهار رشد می‌شود [۱۸].

از سوی دیگر، محلول‌پاشی با محرک‌ها (مانیتول، اتانول، سوربیتول) منجر به بهبود عملکرد وزن تر حتی تحت شرایط تنش شد. این بهبود احتمالاً ناشی از نقش این ترکیبات در تنظیم اسمزی، حفظ آب درون سلولی، و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش است. بیان ژن *mtlD* برای بیوسنتز مانیتول (انباشت مانیتول به صورت درون‌زا) در گندم (*Triticum aestivum* L. cv. Bobwhite)، تحمل به تنش آبی و شوری را بهبود بخشید و منجر به افزایش وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه و طول برگ پرچم در مقایسه با گیاهان غیرتراریخته شد [۱]. گیاهان مانیتول و سوربیتول را در نقش محافظ‌های اسمزی (osmoprotectant) سنتز می‌کنند تا بر اثرات نامطلوب استرس شوری غلبه کرده و وضعیت آب گیاه را حفظ کنند [۱۷]. سوربیتول و اتانول به‌عنوان ترکیبات سازگار با متابولیسم گیاهی ممکن است باعث افزایش تحمل به خشکی و در نتیجه حفظ عملکرد شده باشند. عدم معنی‌دار بودن اثر متقابل نشان می‌دهد که پاسخ گیاه

به محلول‌پاشی تحت سطوح مختلف کم آبیاری تقریباً یکسان بوده و این تیمارها به صورت مستقل عمل کرده‌اند. افزایش وزن خشک گل تحت تنش کم آبیاری می‌تواند یک پاسخ سازشی باشد. این پدیده را می‌توان از طریق مکانیسم‌های گوناگون توجیه کرد. تحت شرایط تنش، بقای گونه از طریق تولید مثل موفقیت‌آمیز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین، گیاه ممکن است منابع را به سمت گل‌دهی و تولید بذر هدایت کند تا شانس تولید نسل بعدی را افزایش دهد، حتی اگر این کار به قیمت کاهش رشد رویشی تمام شود [۶۲]. تنش آب می‌تواند به طور قابل توجهی تعادل هورمون‌های گیاهی را تغییر دهد و بر شروع گل‌دهی و توسعه گل تأثیر بگذارد [۱۵]. برای مثال، در *Panax notoginseng*، وزن خشک گل ابتدا با افزایش کم آبیاری افزایش و سپس کاهش یافت [۳۹]. این نشان می‌دهد که یک سطح بهینه از تنش آب ممکن است به نفع تولید گل باشد. در ژنوتیپ‌های مختلف گل کاغذی (*Bougainvillea*) شاخص گل (flower index) با بالا رفتن تنش آب افزایش یافت [۱۹]. ممکن است تحت تنش خشکی، گیاه برای تضمین بقای نسل، منابع و مواد فتوسنتزی را به سمت تولید اندام‌های زایشی مانند گل هدایت می‌کند. این تغییر الگو منجر به کاهش رشد رویشی و در عین حال افزایش نسبی یا مطلق عملکرد گل می‌شود. گیاهان می‌توانند چرخه زندگی خود را تسریع کرده و زودتر گل دهند تا مرحله تولید مثلی خود را قبل از تشدید استرس‌های محیطی به پایان برسانند. این مکانیسم اغلب به عنوان "فرار از خشکی" شناخته می‌شود [۶۱]. این امر می‌تواند منجر به تشکیل گل‌های بیشتر یا سنگین‌تر در یک بازه زمانی کوتاه‌تر شود. از سوی دیگر، از آنجا که تنش خشکی رشد رویشی (مانند عملکرد وزن خشک) را به شدت کاهش می‌دهد (مطابق جدول ۳، کاهش از ۴۴۰ گرم به ۳۴۹ گرم)، ممکن است افزایش مشاهده شده در وزن گل یک افزایش نسبی باشد که به دلیل کاهش سهم سایر اندام‌ها، آشکارتر شده است. با این حال، داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که این افزایش، مطلق نیز هست (از ۳۳ به ۳۹ گرم). محرک‌ها ممکن است از طریق محافظت از دستگاه فتوسنتزی، بهبود بخشیدن به وضعیت آب سلولی و نیز کاهش خسارات

اکسیداتیو، به گیاه کمک کنند تا گیاه بتواند این راهبرد (تولید بیشتر گل) را با کارایی بالاتری اجرا کند [۶۷ و ۴۹].

به عبارت دیگر، محلول‌پاشی (به ویژه سوربیتول) باعث شد گیاه نه تنها بتواند با تنش کنار بیاید، بلکه از آن به عنوان یک عامل برای تحریک عملکرد زایشی استفاده کند. در نگاهی کلی، به نظر می‌رسد تنش ملایم تا متوسط خشکی (مانند تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) در کنار کاربرد محلول‌پاشی‌های محافظت‌کننده مانند سوربیتول، می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی برای افزایش عملکرد گل بابونه مورد توجه قرار گیرد، حتی اگر تا حدی باعث کاهش عملکرد رویشی شود.

اسانس‌ها اغلب نقش دفع کننده حشرات، عوامل ضد قارچی و باکتریایی را دارند و تولید آن‌ها تحت تنش یک پاسخ تطبیقی است [۴۷]. از آنجا که تنش خشکی محتوای آب گیاه را کاهش می‌دهد، ممکن است غلظت متابولیت‌های ثانویه موجود در بافت به صورت فیزیکی افزایش یابد، اما داده‌های این تحقیق (افزایش همزمان وزن اسانس و درصد اسانس) نشان می‌دهد که این افزایش تنها یک اثر غلظتی نبوده، بلکه یک افزایش واقعی در میزان تولید و تجمع اسانس رخ داده است. همچنین ممکن است که تیمارهای محلول‌پاشی محرک‌ها (مانیتول، اتانول، سوربیتول) به عنوان محافظ‌های اسمزی عمل کنند [۱۷].

محرک‌ها با کمک به حفظ تعادل آب درون سلولی و محافظت از بافت‌های گیاه در برابر آسیب‌های شدید ناشی از خشکی، به گیاه کمک می‌کنند [۹ و ۲۳]. این امر به گیاه فرصت و انرژی بیشتری می‌دهد تا به جای صرف انرژی برای مقابله با آسیب‌های سلولی، آن را در مسیر سنتز ترکیبات دفاعی (مانند اسانس) سرمایه‌گذاری کند [۲۵ و ۹]. به عبارت دیگر، محلول‌پاشی محرک‌ها می‌تواند پاسخ فیزیولوژیک گیاه به تنش را تقویت کند و منجر به تولید کارآمدتر و قوی‌تر اسانس‌ها شود که نشان‌دهنده هم‌افزایی بین این دو عامل است [۴۸]. این یافته‌ها حاکی از آن است که اعمال تنش خشکی ملایم تا شدید (مانند قطع آبیاری در حد ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) به همراه کاربرد محلول‌پاشی محرک‌ها محافظت‌کننده (به ویژه سوربیتول) می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی بسیار

سازگار عمل کرده و در تحمل گیاه در برابر تنش‌های اسمزی، گرمایی، خشکی و سرما نقش دارد [۶۵].

در مطالعه‌ای بر روی کشت درون‌شیشه‌ای گیاه آنجیدان (*Carum copticum*)، کشت در محیط‌های حاوی سطوح بالای سوربیتول (۳ و ۶ درصد)، منجر به افزایش محتوای پرولین و کربوهیدرات‌ها و همچنین افزایش غلظت اجزای اسانس شد [۵۸]. این یافته نشان می‌دهد که سوربیتول می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر مسیرهای بیوسنتز اسانس تأثیر بگذارد.

تعامل معنی‌دار بین کم‌آبایی و محلول‌پاشی نشان می‌دهد که کاربرد این ترکیبات به‌ویژه در شرایط تنش ملایم تا شدید (۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) می‌تواند اثر هم‌افزایی داشته باشد و باعث افزایش بیشتر درصد اسانس شود. این یافته از دیدگاه کاربردی حائز اهمیت است زیرا نشان می‌دهد می‌توان با مدیریت تنش و استفاده از محرک‌های مناسب، کیفیت گیاه دارویی بابونه را بهبود بخشید. در یک مطالعه، ۱۹ گزارش در مورد گیاهان اسانس‌دار مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که تنش خشکی در ۱۲ گیاه، باعث افزایش و در ۷ گیاه باعث کاهش درصد اسانس شده بود [۲۶]. افزایش معنی‌دار کامازولن تحت تنش کم‌آبایی را می‌توان نوعی واکنش سازش بنیان در گیاه بابونه تحلیل نمود. کامازولن به‌عنوان یکی از ترکیبات مهم و زیست فعال در اسانس بابونه، دارای خاصیت قوی ضدالتهابی است [۱۳].

گیاهان در پاسخ به تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی، ممکن است متابولیت‌های ثانویه از جمله کامازولن را افزایش دهند تا بتوانند با شرایط نامساعد مقابله کنند. همچنین نقش مثبت محلول‌پاشی محرک‌هایی مانند سوربیتول، اتانول و مانیتول می‌تواند ناشی از عملکرد این ترکیبات در فعال نمودن مسیرهای سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه باشد. سوربیتول به‌عنوان یک قند الکلی می‌تواند علاوه بر نقش محافظتی در شرایط تنش، سیگنال‌های بیوشیمیایی را برای افزایش تولید کامازولن تقویت کند. تعامل معنی‌دار بین کم‌آبایی و محلول‌پاشی نشان می‌دهد که کاربرد این ترکیبات به‌ویژه در شرایط تنش شدید (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) می‌تواند اثر هم‌افزایی داشته باشد و باعث افزایش بیشتر کامازولن شود. این یافته از دیدگاه

مؤثر برای افزایش کمی تولید اسانس در بابونه آلمانی مورد استفاده قرار گیرد. این استراتژی با تحریک مکانیسم‌های دفاعی ذاتی گیاه، بازده اقتصادی محصول نهایی (اسانس) را به‌طور قابل توجه افزایش می‌دهد. کاربرد هم‌زمان تنش خشکی و محرک‌ها می‌تواند محتوا و عملکرد اسانس را در گیاهان افزایش دهد [۵۹]. ملاتونین نیز به‌عنوان یک محرک ضد استرس، در نعنای گریپ‌فروت (*Mentha suaveolens* × *Mentha piperita*) تحت تنش خشکی، محتوای اسانس را تا ۴۵/۳ درصد افزایش داد [۵۹]. در نعنای گریپ‌فروت، بالاترین محتوای اسانس در شرایط خشکی ملایم و با اسپری بتا-آمینوبوتیریک اسید در غلظت‌های ۱/۶ تا ۲/۴ میلی‌مولار مشاهده شد که افزایشی حدود ۱۴۰ درصد نسبت به شرایط کنترل نشان داد [۴].

افزایش معنی‌دار درصد اسانس تحت تنش کم‌آبایی را می‌توان به‌عنوان یک پاسخ سازشی در گیاه بابونه تفسیر کرد [۲۸]. گیاهان در پاسخ به تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی، ممکن است متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را افزایش دهند تا بتوانند با شرایط نامساعد مقابله کنند. این پدیده اغلب تحت عنوان القای متابولیت‌های ثانویه تحت تنش شناخته می‌شود [۶۴ و ۶۸]. همچنین نقش مثبت محلول‌پاشی با ترکیباتی مانند سوربیتول، اتانول و مانیتول می‌تواند ناشی از عملکرد این ترکیبات به‌عنوان محرک باشد که مسیرهای سنتز متابولیت‌های ثانویه را در گیاه فعال می‌کنند. سوربیتول به‌عنوان یک قند الکلی می‌تواند علاوه بر نقش محافظتی در شرایط تنش، سیگنال‌های بیوشیمیایی را برای افزایش تولید اسانس تقویت کند. محلول‌پاشی با ترکیباتی مانند سوربیتول و مانیتول می‌تواند مسیرهای سنتز متابولیت‌های ثانویه را در گیاه فعال کند [۲۰]. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان محرک‌های زیستی (biostimulants) عمل کرده و کیفیت محصول را بهبود بخشند [۲۰]. افزودنی‌های خارجی مانند محرک‌های شیمیایی می‌توانند با تنظیم بیان ژن و مسیرهای انتقال سیگنال، سنتز متابولیت‌های ثانویه را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند [۱۶]. سوربیتول، به‌عنوان یک قند الکلی، می‌تواند نقش محافظتی در گیاهان تحت شرایط تنش ایفا کند [۶۵]. این ترکیب به‌عنوان یک اسمولیت

توأم تنش ملایم کم‌آبی و سوربیتول به‌روش محلول‌پاشی، می‌تواند راهبردی کارآمد در جهت افزایش بهره‌وری اقتصادی تولید اسانس در بابونه باشد.

کاربردی حائز اهمیت است زیرا نشان می‌دهد می‌توان با مدیریت تنش و استفاده از محرک‌های مناسب، کیفیت گیاه دارویی بابونه را از نظر ترکیبات موثره بهبود بخشید. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که کاربرد

References

- [1]. Abebe, T., Guenzi, A., Martin, B. and Cushman, J. (2003). Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiology*, 131, 1748 - 1755. doi:10.1104/pp.102.003616
- [2]. Aclkgoz, M. A. (2021). Effects of sorbitol on the production of phenolic compounds and terpenoids in the cell suspension cultures of *Ocimum basilicum* L.. *Biologia* 76, 395–409. doi:10.2478/s11756-020-00581-0
- [3]. Ahmad, B., Tyagi, S., Aarim, M., Khan, M. S. and Khan, A. F. (2024). Biosynthesis of Essential Oil in Aromatic Plant Species: A review. *BioMed and BioSci Advances* 1(1), 40-63. doi:10.69626/bba.2024.0040
- [4]. Akbarzadeh, S., Morshedloo, M. R., Behtash, F., Mumivand, H., and Maggi, F. (2023). Exogenous β -aminobutyric acid (BABA) improves the growth, essential oil content, and composition of grapefruit mint (*Mentha suaveolens* $\times$ *piperita*) under water deficit stress conditions. *Horticulturae*, 9(3), 354. doi:10.3390/horticulturae9030354
- [5]. Alhaithloul, H. (2019). Impact of combined heat and drought stress on the potential growth responses of the desert grass *Artemisia sieberi alba*: Relation to biochemical and molecular adaptation. *Plants*, 8(10), 419. doi:10.3390/plants8100416
- [6]. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>
- [7]. Alonso, A. V., Naranjo, H. D., Rat, A., Rodic, N., Nannou, C. I., Lambropoulou, D. A., Assimopoulou, A. N., Declerck, S., Rodel, P., Schneider, C. and Willems, A. (2022) Root-associated bacteria modulate the specialised metabolome of *Lithospermum officinale* L. *Frontiers in Plant Science*. 13:908669. doi: 10.3389/fpls.2022.908669
- [8]. AL-Tae, R. W. M. and AL-Shammari, M. F. M. (2022). Effect of spraying with organic fertilizer and sorbitol sugar on growth and yield of cabbage. *International Journal of Aquatic Science*, 13(1), 362-367.
- [9]. Asghari, B., Hoseinzadeh, M., & Mafakheri, S. (2025). Enhancing drought resistance in *Dracocephalum moldavica* L. through mycorrhizal fungal inoculation and melatonin foliar application. *Scientific Reports*, 15(1), 10051. doi:10.1038/s41598-025-95127-2
- [10]. Askary, M., Parsa, S., Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahmoodi, S. (2023). Evaluation of quantitative yield of two Thyme species affected as different levels of drought stress and the manure application. *Journal of Medicinal plants and By-products*, 12(1), 11-27. doi:10.22092/jmpb.2021.352601.1293
- [11]. Barati, K., Abedikoupae, J., Darvishi, E., Azari, A. and Yousefi, A. (2018). Estimation of net irrigation requirement of the crop pattern in Kermanshah plain and comparison with the data in the national water document. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(4), 543-553. doi:10.22092/jwra.2019.118523
- [12]. Bashir, K., Todaka, D., Rasheed, S., Matsui, A., Ahmad, Z., Sako, K., Utsumi, Y., Vu, A. T., Tanaka, M., Takahashi, S., Ishida, J., Tsuboi, Y., Watanabe, S., Kanno, Y., Ando, E., Shin, K.-C., Seito, M., Motegi, H., Sato, M., Li, R., Kikuchi, S., Fujita, M., Kusano, M., Kobayashi, M., Habu, Y., Nagano, A. J., Kawaura, K., Kikuchi, J., Saito, K., Hirai, M. Y., Seo, M., Shinozaki, K., Kinoshita, T. and Seki, M. (2022). Ethanol-mediated novel survival strategy against drought stress in plants. *Plant and*

- Cell Physiology*, 63(9), 1181–1192. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcac114>
- [13]. Batovska, D., Panova, N., Gerasimova, A., Tumbarski, Y., Ivanov, I., Dincheva, I., Yotkovska, I., Gentscheva, G., and Nikolova, K. (2025). Chamomile matters: Species- and producer-dependent variation in Bulgarian *Matricaria recutita* L. and *Chamaemelum nobile* L. essential oils and their cosmetic potential. *Cosmetics*, 12(3), 123. doi:10.3390/cosmetics12030123
- [14]. Borna, F., Heidari, M. and Rafat Haghighi, A. S. (2023). Evaluation of Essential Oil Content and Composition of Moshgak (*Ducrosia anethifolia*) in Khor Region (Larestan, Fars Province). *Research in Plant Metabolites*, 1(1), 19-29. doi:10.22034/jrpsm.2023.165985
- [15]. Bouremani, N., Cherif-Silini, H., Silini, A., Bouket, A. C., Luptakova, L., Alenezi, F. N., Baranov, O., and Belbahri, L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): A rampart against the adverse effects of drought stress. *Water*, 15(3), 418. <https://doi.org/10.3390/w15030418>
- [16]. Chen, G. (2025). Research Progress on the Effect of Exogenous Additives Treatment on the Synthesis of Plant Secondary Metabolites. *Academic Journal of Science and Technology*, 14(1), 136-144. doi:10.54097/ychf3396
- [17]. Chourasia, K. N., Lal, M. K., Tiwari, R. K., Dev, D., Kardile, H. B., Patil, V. U., Kumar, A., Vanishree, G., Kumar, D., Bhardwaj, V., Meena, J. K., Mangal, V., Shelake, R. M., Kim, J.-Y., and Pramanik, D. (2021). Salinity Stress in Potato: Understanding Physiological, Biochemical and Molecular Responses. *Life*, 11(6), 545. doi:10.3390/life11060545
- [18]. Chrysargyris, A., Petropoulos, S. and Tzortzakos, N. (2022). Essential oil composition and bioactive properties of lemon balm aerial parts as affected by cropping system and irrigation regime. *Agronomy*, 12(3), 649. doi:10.3390/agronomy12030649
- [19]. Cirillo, C., Roupheal, Y., Caputo, R., Raimondi, G., and De Pascale, S. (2014). The Influence of deficit irrigation on growth, ornamental quality, and water use efficiency of three potted *Bougainvillea* genotypes grown in two shapes. *HortScience*, 49(10), 1284–1291. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.10.1284>
- [20]. Conde, A., Regalado, A., Rodrigues, D., Costa, J. M., Blumwald, E., Chaves, M. M. and Geros, H. (2015) Polyols in grape berry: transport and metabolic adjustments as a physiological strategy for water-deficit stress tolerance in grapevine, *Journal of Experimental Botany*, 66(3), 889–906, doi:10.1093/jxb/eru446
- [21]. Dehghani, M., Naeemi, M., Gholamali Alamdari, E. and Jabari, H. (2019). Effects of chitosan foliar application on quantitative and qualitative characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(1), 121-133. doi:10.22092/ijmapr.2019.121940.2323
- [22]. Demirel, U., Morris, W. L., Ducreux, L. J. M., Yavuz, C., Asim, A., Tindas, I., Campbell, R., Morris, J. A., Verrall, S. R., Hedley, P. E., Gokce, Z. N. O., Caliskan, S., Aksoy, E., Caliskan, M. E., Taylor, M. A. and Hancock, R. D. (2020) Physiological, Biochemical, and Transcriptional Responses to Single and Combined Abiotic Stress in Stress-Tolerant and Stress-Sensitive Potato Genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 11:169. doi:10.3389/fpls.2020.00169
- [23]. Duric, M., Subotic, A., Prokic, L., Trifunovic-Momcilov, M., and Milosevic, S. (2023). Alterations in physiological, biochemical, and molecular responses of *impatiens walleriana* to drought by methyl jasmonate foliar application. *Genes*, 14(5), 1072. doi:10.3390/genes14051072
- [24]. Edmond, V. V., Hong, Z. and Nelson, A. S. (2025). Sugar alcohols in plants: implications for enhancing tree seedlings drought tolerance and production strategies. *BMC Plant Biology*, 25, 891. doi:10.1186/s12870-025-06860-9
- [25]. El-Naggar, H. M. and Osman, A. R. (2024). Enhancing growth and bioactive metabolites characteristics in *Mentha pulegium* L. via silicon nanoparticles during in vitro drought stress. *BMC Plant Biology*, 24, 657. doi:10.1186/s12870-024-05313-z

- [26]. Emami Bistgani, Z., Barker, A. V. and Hashemi, M. (2024). Physiology of medicinal and aromatic plants under drought stress. *The Crop Journal*, 12(2), 330-339. doi:10.1016/j.cj.2023.12.003
- [27]. Farooq, M., Wahid, A., N., Kobayashi, Fujita, D. and Basra, S. M., (2011). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212. doi:10.1051/agro:2008021
- [28]. Gorgini Shabankareh, H., Asgharipour, M.R., Salehi Sardoei, A., Kamaliun, A. R., Mohammadi, H. and Ghorbanpour, M. (2025). Evaluation of the rainfed and irrigated conditions on biomass and essential oil yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla*) in response to melatonin foliar application. *BMC Plant Biology*, 25, 131 doi:10.1186/s12870-025-06160-2
- [29]. Gupta, N., Bhattacharya, S., Dutta, A., Cusimamani, E. F., Milella, L., and Leuner, O. (2024). In Vitro Synthetic Polyploidization in Medicinal and Aromatic Plants for Enhanced Phytochemical Efficacy—A Mini-Review. *Agronomy*, 14(8), 1830. doi:10.3390/agronomy14081830
- [30]. Guru, A., Dwivedi, P., Kaur, P. and Kumar Pandey, D. (2022). Exploring the role of elicitors in enhancing medicinal values of plants under in vitro condition. *South African Journal of Botany*, 149(1), 1029-1043. doi:10.1016/j.sajb.2021.10.014
- [31]. Haj Seyed Hadi, M.R., Darz, M. T., Ghandehari, Z. and Riazzi, G. H. (2011). Effects of vermicompost and amino acids on the flower yield and essential oil production from *Matricaria chamomile* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(23):5611-5617.
- [32]. Hurmat, R. and Shri, G. B. (2020). Does abiotic stresses enhance the production of secondary metabolites? A review. *The Pharma Innovation Journal*, 9(1), 412-422. doi:10.22271/tpi.2020.v9.i1g.4315
- [33]. Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, and Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy*, 11(5), 968. doi:10.3390/AGRONOMY11050968
- [34]. Jangpangi, D., Patni, B., Chandola, V. and Chandra, S. (2025) Medicinal plants in a changing climate: understanding the links between environmental stress and secondary metabolite synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 16:1587337. doi: 10.3389/fpls.2025.1587337
- [35]. Kaur, G., Sanwal, S.K., Kumar, A., Pundir, R., Yadav, M. and Sehrawat, N. (2024). Role of osmolytes dynamics in plant metabolism to cope with salinity induced osmotic stress. *Discover Agriculture*, 2, 59. doi:10.1007/s44279-024-00070-x
- [36]. Kocaman, B. (2024). Effect of sorbitol spraying on chlorophyll, total phenolic and flavonoid in *Fragaria ananassa* Duch. cv. Albion leaves. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(8): 1352-1358. doi:10.24925/turjaf.v12i8.1352-1358.6930
- [37]. Kumari, A., Fatnani, D., Seth, C. S. and Parida, A. (2025). Unravelling the metabolic signatures and associated pathways underlying saline-alkali stress resilience in the halophyte *Salvadora persica*. *Physiologia Plantarum*, 177(1), e70114. doi:10.1111/ppl.70114
- [38]. Lange, B., Mahmoud, S.S., Wildung, M., Turner, G., Davis, E., Lange, I., Baker, R. C., Boydston, R., Croteau, R. (2011). Improving peppermint essential oil yield and composition by metabolic engineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(1), 16944 - 16949. doi.org/10.1073/pnas.1111558108
- [39]. Li, J., Yang, Q., Shi, Z., Zang, Z. and Liu, X. (2021). Effects of deficit irrigation and organic fertilizer on yield, saponin and disease incidence in *Panax notoginseng* under shaded conditions. *Agricultural Water Management*, 256, 107056. doi:10.1016/j.agwat.2021.107056.
- [40]. Liu, Q., Liu, H., Zhang, M., Lv, G., Zhao, Z., Chen, X., Wei, X., Zhang, C. and Li, M. (2024) Multifaceted insights into the environmental adaptability of *Arnebia guttata* under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 15:1395046. doi: 10.3389/fpls.2024.1395046
- [41]. Mechri, B., Tekaya, M., Cheheb, H. and Hammami, M. (2015). Determination of mannitol sorbitol and myo-inositol in olive

- tree roots and rhizospheric soil by gas chromatography and effect of severe drought conditions on their profiles. *Journal of Chromatographic Science*, 53(10), 1631–1638, doi:10.1093/chromsci/bmv066
- [42]. Mohseni, A., Zeynalli, N., and Maghsoudi, A. A. (2017). The study of sorbitol and potassium nitrate effects on some physiological characteristics of Samsuri cantaloupe. Proceedings of the 10th National Congress of Iranian Horticultural Sciences: Precision Horticulture. (in Farsi)
- [43]. Mosleh, Z., Salehi, M. H. and Rafieiolhossaini M. (2015). The Study of Agro-morphological Characteristics, Essential Oil, and Chamazulene Content of German Chamomile in Different Soil Types of Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(13), 121-130. URL: <https://jc.pp.iut.ac.ir/article-1-2236-en.html>
- [44]. Moslem, M. F. and Abdul Rasool, I. J. (2018). Effect of spraying boron, sorbitol and mannitol in growth and nutritive value of fruits and seed production of pepper cv. california wonder. *International Journal of Agricultural & Statistical Sciences*, 14(1), 213-219.
- [45]. Orians, C., Schweiger, R., Dukes, J., Scott, E. and Muller, C. (2019). Combined impacts of prolonged drought and warming on plant size and foliar chemistry. *Annals of botany*, 124(1), 41–52 doi:10.1093/aob/mcz004
- [46]. Ozturk, M., Unal, B. T., Garcia-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A. and Hasanuzzaman, M. (2020). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 1321-1335. doi:10.1111/ppl.13297
- [47]. Paknejadi, M., Foroohi, F. and Yousefzadi, M. (2012). Antimicrobial activities of the essential oils of five Salvia species from. *Archives of Advances in Biosciences*, 3(2), 12-18. doi:10.22037/jps.v3i2.3273
- [48]. Palermo, T. B., Cappellari, L. d. R., Palermo, J. S., Giordano, W., and Banchio, E. (2024). Simultaneous impact of rhizobacteria inoculation and leaf-chewing insect herbivory on essential oil production and VOC emissions in *Ocimum basilicum*. *Plants*, 13(7), 932. doi:10.3390/plants13070932
- [49]. Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Mohsin, S. M., Nahar, K., and Fujita, M. (2024). Vanillic acid modulates antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems to combat drought stress in tomato seedlings. *Plants*, 13(22), 3114. doi:10.3390/plants13223114
- [50]. Pereira, L.S., Mota, M., Raziei, T. and Paredes, P. (2024). Water requirements and crop coefficients of edible, spicy and medicinal herbs and vegetables; a review aimed at supporting plant and water management. *Irrigation Science*, 42, 1199–1228. doi:10.1007/s00271-024-00960-4.
- [51]. Pouyan, S., Bordbar, M., Ravichandran, V., Tiefenbacher, J., Kherad, M. and Pourghasemi, H. (2023). Spatiotemporal monitoring of droughts in Iran using remote-sensing indices. *Natural Hazards*, 117(1), 1–24. doi:10.1007/s11069-023-05847-9
- [52]. Pradhan, J., Pramanik, K., Jaiswal, A., Kumari, G., Prasad, K., Jena, C. and Srivastava, A. K. (2024). Biosynthesis of secondary metabolites in aromatic and medicinal plants in response to abiotic stresses: A review. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 12(3), 318–334. doi:10.18006/2024.12(3).318.334
- [53]. Pushpam, A. K., Mini, M. L. and Amutha, S. (2020). Assessing biochemical changes in exogenous application of osmoprotectants in amelioration of water stress in black gram (*Vigna mungo* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 2467-2472. doi:10.22271/chemi.2020.v8.i1ak.8638
- [54]. Rahman, M. M., Mostofa, M. G., Das, A. K., Anik, T. R., Keya, S. S., Ahsan, S. M., Khan, M. A. R., Ahmed, M., Rahman, M. A., Hossain, M. M., and Tran, L. S. P. (2022). Ethanol positively modulates photosynthetic traits, antioxidant defense and osmoprotectant levels to enhance drought acclimatization in soybean. *Antioxidants*, 11(3), 516. doi:10.3390/antiox11030516
- [55]. Rahmani, F., Sodaiezhadeh, H., Yazdani-Bioui, R., Hakimzadeh-Ardakani, M. A. and Kamali Aliabadi, K. (2024). Effect of bio-priming on morphological, physiological and essential oil of Chamomile (*Matricaria*

- chamomilla L.) under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 167(13): 630-642. doi:10.1016/j.sajb.2024.02.054.
- [56]. Ramadan, M. (2023). The impact of copper chlorophyllin on the growth, yield, and physiological characteristics of spinach plants under drought stress. *Egyptian Journal of Botany*, 63(3), 899-910. doi:10.21608/ejbo.2023.167695.2164
- [57]. Rashid, N. S. and Mosleh, M. F. (2022). Effect of foliar spraying with boron and sugar alcohol (mannitol) on vegetative growth traits of pea *Pisum sativum* L. *Euphrates Journal of Agriculture Science*, 14(4): 241-252.
- [58]. Razavizadeh, R. and Adabavazeh, F. (2017). Effects of sorbitol on essential oil of *Carum copticum* L. under in vitro culture. *Romanian Biotechnological Letters*, 22(1), 12281- 12289. <https://rombio.unibuc.ro/wp-content/uploads/2022/05/22-1-16.pdf>
- [59]. Rezaei, S., Javanmard, A., Sabaghnia, N. and Morshedloo, M. R. (2025). Exogenous melatonin modulates physiological responses, phytochemical profiles and essential oil production in grapefruit mint under drought stress. *Scientific Reports*, 15, 14650. doi:10.1038/s41598-025-99281-5
- [60]. Sarabandi, A., Sahebkar, A., Asili, J., Valizadeh, M., Taheri, K., Valizadeh, J. and Akaberi, M. (2022). Evaluating the effect of ethanol foliar feeding on the essential oil, phenolic content, and antioxidant activities of *Ducrosia anethifolia*. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*, 5(4), 66-76. doi:10.24200/amecj.v5.i04.213
- [61]. Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K. and Langridge, P. (2017) Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8:1950. doi: 10.3389/fpls.2017.01950
- [62]. She, W., Bai, Y., Zhang, Y., Qin, S., Liu, Z. and Wu, B. (2017) Plasticity in meristem allocation as an adaptive strategy of a desert shrub under contrasting environments. *Frontiers in Plant Science*, 8:1933. doi: 10.3389/fpls.2017.01933
- [63]. Shen, B., Jensen, R. G. and Bohnert, H. J. (1997). Increased resistance to oxidative stress in transgenic plants by targeting mannitol biosynthesis to chloroplasts. *Plant Physiology*, 113(4), 1177–1183. doi:10.1104/pp.113.4.1177
- [64]. Shil, S. and Dewanjee, S. (2022). Impact of drought stress signals on growth and secondary metabolites (SMs) in medicinal plants. *The Journal of Phytopharmacology*, 11(5), 371-376. doi:10.31254/phyto.2022.11511
- [65]. Sootsuwan, K., Thanonkeo, P., Keeratirakha, Keeratirakha, N., Thanonkeo, S., Jaisil, P. and Yamada, M. (2013). Sorbitol required for cell growth and ethanol production by *Zymomonas mobilis* under heat, ethanol, and osmotic stresses. *Biotechnology for Biofuels*, 6, 180. doi:10.1186/1754-6834-6-180
- [66]. Vojodi Mehrabani, L. and Valizadeh Kamran, R. (2019). The effects of soil cover and Stimplex (*Ascophyllum nodosum* extract) foliar application on antioxidant activity and some physiological characteristics of *Coriandrum sativum* L.. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 9(1), 33-45. doi:10.22034/jppb.2019.10100
- [67]. Yu, J. and Al-Khayri, J. (2025). Salinity stress in plants: Can arbuscular mycorrhizal fungi be a promising solution? *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(2), 2035-2057. doi:10.15666/aeer/2302_20352057
- [68]. Zandalinas, S. I., Balfagon, D., Gomez-Cadenas, A., and Mittler, R. (2022). Plant responses to climate change: Metabolic changes under combined abiotic stresses. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3339–3354. doi:10.1093/jxb/erac073
- [69]. Zhao, Y., Cartabia, A., Lalaymia, I. and Declerck, S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants. *Mycorrhiza*, 32, 221–256 (2022). doi:10.1007/s00572-022-01079-0

Effects of deficit irrigation and foliar elicitors on yield and quality of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) (Research Paper)

1- **Amir Taghipour**, MSc Graduate student , Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.

2- **Alireza Abdali Mashhadi** *, Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.
alirezaabdali@asnrukh.ac.ir

3- **Abdolmehdi Bakhshandeh**, Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.

4- **Amin Lotfi Jalalabadi**, Associate Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.

5- **Shahla Mashayekhy**, Ph.D. Graduate student, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.

Received: 2 Oct. 2025

Accepted: 28 Dec. 2025

Abstract

German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) is a medicinal plant with a wide range of applications, the therapeutic properties of which largely depend on the quantity and quality of its essential oil. In arid regions, deficit irrigation is a critical management strategy for optimizing water use and enhancing productivity, as it can increase the concentration of secondary metabolites in medicinal plants. Furthermore, the foliar application of certain compounds may have an eliciting effect, boosting the production of medicinal metabolites. This study investigated the effects of deficit irrigation and elicitor compounds on the quantitative and qualitative yield of German chamomile. A split-plot experiment, arranged in a randomized complete block design with three replications, was conducted in 2021 at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. The main factor was deficit irrigation at three levels (irrigation after 60 mm (control), 80 mm, and 100 mm of evaporation from a class A evaporation pan). The sub-factor was the foliar application of four types of elicitors: control (distilled water), sorbitol, mannitol, and ethanol. The results indicated that with increasing deficit irrigation intensity, fresh and dry biomass yield decreased; however, essential oil percentage and yield, dry flower weight, and chamazulene content increased significantly. Foliar application of elicitors, particularly sorbitol, mitigated the negative effects of drought stress and positively influenced the essential oil's quantitative and qualitative yield. The highest essential oil content (1.57%) and chamazulene percentage (1.86%) were observed under the combined treatment of severe deficit irrigation (100 mm evaporation) and sorbitol application. In conclusion, the combined application of mild drought stress and sorbitol foliar spraying can be recommended as an effective management strategy to enhance the economic return of chamomile essential oil production.

Keywords: Chamazulene, Ethanol, Foliar Application, Mannitol, Sorbitol.