Journal of Medicinal Plants Biotechnology
JMPB

Original Article

Effect of gamma-aminobutyric acid and proline on morphological and phytochemical traits of *Matricaria chamomilla* L. under water defecit stress conditionextracts

Fatemeh Mahya Pouryusef [1], ***Azizollah Kheiry*** [2*], ***Mohsen Sanikhani*** [3]

1. Master's student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan -Iran
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan- Iran
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan-Iran

ARTICLE INFO

Article history
Submitted: 2025-9-27
Revised: 2026-4-22
Accepted: 2026-5-13

KEYWORDS

Antioxidant, Drought Stress, Field Capacity, Flavonoid, Phenol.

ABSTRACT

To investigate the effect of proline and gamma-aminobutyric acid on the quantitative and qualitative traits of medicinal plant chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under water deficit stress, an experiment was conducted according to split plots design with a completely randomized block arrangement with four replications during the spring and summer of 2024 in the research greenhouse at the University of Zanjan. The main factor consisted of two irrigation levels (70 and 100% of field capacity) and the subplots included foliar applications of two levels of proline (0.5 and 1 mM), gamma-aminobutyric acid (0.5 and 1 mM) and control treatment (distilled water).
The results showed that the highest chlorophyll a content (1.40 mg/g fresh weight) was achieved under 100% field capacity irrigation combined with 1 mM proline. Foliar application of 0.5 mM proline under 70% irrigation level resulted in the highest phenolic content (4.78 mg gallic acid/g dry weight) and the greatest total antioxidant activity (51.75%). The maximum flavonoid content (1.49 mg quercetin/g dry weight) was observed with 0.5 M GABA treatment. Additionally, the highest thousand-seed weight (148 mg) was recorded under full irrigation (100% field capacity) with 1 mM proline, compared to the control. Overall, the combined application of 0.5 mM proline and GABA was most effective in mitigating the adverse effects of drought stress on chamomile.

* Corresponding author: ***Azizollah Kheiry***
✉ E-mail: *kheiry@znu.ac.ir*

مجله زیست فناوری گیاهان دارویی
JMPB

مقاله پژوهشی

تأثیر اسید گاما آمینوبوتیریک و پرولین بر صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) آلمانی تحت تنش کم‌آبیاری

فاطمه محیا پوریوسف [۱]، عزیزاله خیری [۲*]، محسن ثانی خانی [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان -ایران
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان-ایران
۳. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان-ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۵-۷-۱۴۰۴

بازنگری: ۲-۲-۱۴۰۵

پذیرش: ۲۳-۲-۱۴۰۵

چکیده: تأثیر کاربرد پرولین و اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) بر خصوصیات کمی و کیفی بابونه (*Matricaria chamomilla L.*) تحت تنش کم‌آبیاری در شرایط گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری(۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو سطح پرولین (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) (۰/۵و ۱ میلی‌مولار) به همراه شاهد (آب مقطر) به‌عنوان فاکتورهای فرعی به‌کار برده شدند. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۱/۴۰ میلی‌گرم برگرم) در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با پرولین ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. کاربرد برگی ۰/۵ میلی‌مولار پرولین در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، بیش‌ترین مقدار فنل (۴/۷۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک) و بیش‌ترین مقدار آنتی‌اکسیدان کل (۵۱/۷۵ درصد) را موجب شد. بیش‌ترین مقدار فلاونوئید (۱/۴۹ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک گیاه) در تیمار اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) ۰/۵ مولار به‌دست آمد و بیش‌ترین وزن هزار دانه (۱۴۸ میلی‌گرم) در پرولین ۱ میلی‌مولار در تنش آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد حاصل شد. در این آزمایش تیمار ۰/۵ میلی‌مولار پرولین و ۰/۵ میلی‌مولار گابا بهترین نتایج را در تعدیل اثرات تنش خشکی داشتند.

واژگان کلیدی:
آنتی اکسیدان، تنش خشکی، ظرفیت زراعی، فلاونوئید، فنل

*نویسنده مسئول: **عزیزاله خیری**

✉ E-mail: *kheiry@znu.ac.ir*
Journal homepage: ***jmpb.znu.ac.ir***

مقدمه

بابونه آلمانی با نام علمی *Matricaria chamomilla* L. گیاهی دارویی از تیره کاسنی (Asteraceae) است، که در بین گونه‌های دارویی به‌عنوان ستاره شناخته می‌شود و قدمت استفاده از آن به‌زمان فراعنه در مصر می‌رسد و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی در دنیا است. بابونه آلمانی بومی منطقه مدیترانه و آسیای صغیر که گیاهی علفی و یک‌ساله است. بابونه پراکندگی وسیعی در اروپا، آسیای صغیر، آفریقای شمالی، آمریکای شمالی و جنوبی و استرالیا دارد. (Lubbe & Verpoorte, 2011; Franke & Schilcher, 2005).

بابونه علاوه‌بر کاربرد در صنایع غذایی، به‌دلیل داشتن ۱۲۰ ترکیب ارزشمند دارویی در درمان مؤثر بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد هم‌چنین در طب سنتی برای کمک به کاهش علائم میگرن شناخته شده است که به‌دلیل خواص آرامش‌بخش و ضدالتهابی که دارد می‌تواند به کاهش تنش‌های عضلانی و عروقی کمک کند و در نتیجه در کاهش سردردهای میگرنی موثر باشد (Singh et al., 2011; Franke & Schilcher., 2007; Taviana et al., 2002; Wagner et al., 2005).

تنش‌های مختلفی در طول دوره رشد گیاهان وجود دارد که بر رشد و عملکرد گیاه، بسته به شدت تنش، حساسیت و مرحله رشد در گیاهان متفاوت خواهد بود. یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت و رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک، ازجمله ایران، تنش خشکی است که تأثیر منفی بر عملکرد دارد. ازطرف‌دیگر، کشت گیاهان دارویی در شرایط تنشی هدفمند، می‌تواند با افزایش تولید ماده مؤثره، بازده اقتصادی بالاتری داشته باشد (Askari & Ehsanzadeh, 2015).

افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است تا عملکرد آن‌ها در کشورهایی مانند ایران با فصول خشک حفظ شود. تنش خشکی به کاهش قابلیت نگهداری آب در خاک منجر می‌شود و در چنین شرایطی، گیاه برای ادامه جذب آب و حفظ بقای خود مجبور به تنظیم اسمزی می‌گردد (Farooq, et al., 2012). تنظیم اسمزی به‌عنوان روشی برای انباشت مواد محلول‌جذب کننده آب در گیاهان یک راهکار مهم فیزیولوژیک، برای سازگارکردن گیاه به خشکی و تحمل در برابر تنش خشکی است (Fathi & Tari, 2016). پرولین با فرمول مولکولی $C_5H_9NO_2$ ، یکی از بیست اسیدآمینه‌ی اصلی در ساختمان پروتئین‌ها می‌باشد. پرولین آمینواسید پراهمیتی در گیاهان است و نقش مهمی در ایجاد تحمل در برابر تنش محیطی در گیاهان ایفا می‌کند. برای حفظ ساختار سلولی و جلوگیری از آسیب‌های سلولی در شرایط تنش، مقدار پرولین افزایش می‌یابد و به‌عنوان یک ماده محافظ اسمزی عمل می‌کنند که باعث حفظ و ثبات پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، تثبیت غشاء و تنظیم اسیدیته (pH) سلولی می‌شود. پرولین در ایجاد تحمل نسبت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی ماده مهمی به‌شمار می‌رود (Wang et al., 2015).

اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) یک اسید آمینه غیر پروتئینی مهم است که توانایی تنظیم pH سیتوسل را از طریق مصرف نیتروژن و تحریک چرخه کربس دارد. هم‌چنین این ماده نقش مثبتی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها دارد. در گیاهان در شرایط عادی مقدار اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) موجود در سلول پایین است و در پاسخ به تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، شوری و دمای پایین می‌تواند به صورت سریع و در مقادیر فراوان تجمع یابد. هم‌چنین با دارا بودن خاصیت اسمولیتی، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان به هنگام تنش دارد.

مطالعات نشان می‌دهد پرولین در گیاهان در اثر تنش آبی در بافت‌های مختلف به‌ویژه در برگ‌ها انباشته می‌شود و در تنظیم اسمزی در سلول نقش مهم و حیاتی دارد (Ashraf

& Foolad, 2007) محلول‌پاشی گیاهان با پرولین در شرایط تنش در غلظت‌های کم باعث بهبود و تحمل گیاهان به تنش می‌شود (Deivanai et al ,2011).

نتایج آزمایش Darvizheh و همکارن (۲۰۱۸) نشان داد محلول‌پاشی پرولین در گیاه بابونه (*Matricaria chamomila* L) کلروفیل a و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تاثیر قرارداد و باعث افزایش آن نسبت به تیمار شاهد شد. پژوهش نشان داد غلظت ۲۰ میلی مولار پرولین تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی را افزایش می‌دهد و هم‌چنین نتایج آزمایش Karima و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که محلول‌پاشی اسید آمینه پرولین باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی، وزن تر و خشک گیاه بابونه شد. نتایج آزمایش Darvizheh و همکارن (۲۰۱۷) نشان داد محلول‌پاشی پرولین تعداد گل، وزن تر و خشک گل‌ها، کلروفیل کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بابونه (Matricaria chamomila L.) تحت تنش خشکی افزایش داد. بررسی Khalil & El-Noemani (۲۰۱۲) نشان داد کاربرد محلول‌پاشی پرولین روی گیاه شاهی (*Lepidium sativum*) در تنش کم‌آبی موجب افزایش تحمل گیاهان در سطوح مختلف کم‌آبی می‌شود.

نتایج آزمایش Ashraf و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد در هنگامی که پتانسیل آب بیشتر از یک مگا پاسکال بود جهت تنظیم اسمزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات محلول کاهش یافت. در ارقام متحمل به تنش نسبت به ارقام حساس به تنش، پرولین بیشتری مشاهده می‌شود (Gill&Tuteja, 2010). در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی پرولین باعث بهبود رشد و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود. برای کاهش اثرات نامطلوب تنش‌ها استفاده از پرولین، روش کارآمدی بوده و میزان تأثیر آن در گیاهان بستگی به گونه گیاهی، مرحله رشد گیاه، زمان استفاده و هم‌چنین غلظت پرولین مورد استفاده دارد (Ashraf & Foolad, 2007).

تنش خشکی مقدار رشد و میزان کلروفیل را کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی پرولین در تنش خشکی باعث بهبود رشد و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Deivanai et al.,2011). تحقیقی روی بابونه نشان داد رابطه مستیقمی بین مقدار پرولین تولید شده در زمان تنش و پتانسیل اسمزی وجود دارد.

پرولین در تنظیم فشار اسمزی در شرایط تنش کاربرد دارد گیاهانی که در حد مطلوب آبیاری می‌شوند، مقدار پرولین آزاد آن بسیار کم و در حدود ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک است و در زمان کاهش آب بافت‌ها، مقدار تولید پرولین تا حدود ۴۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک افزایش می‌یابد (Habibi et al , 2010). کاربرد پرولین خارجی بر زمان گلدهی تاثیر داشته و سبب افزایش دوره گلدهی و تعداد گل در بوته گیاه شد (Saxena et al , 2008). هم‌چنین در پژوهشی نشان داده شد تاثیر محلول‌پاشی اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) بر عملکرد و کیفیت میوه خیار دارویی (کارلا) در شرایط مزرعه‌ای اثرات معنی‌داری داشت در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار اسید گاما آمینو بوتیریک (گابا) باعث افزایش کیفیت و عملکرد میوه خیار نسبت به تیمار شاهد شد (فتح‌اللهی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعه تاثیر اسید گاما آمینو بوتیریک (گابا) بر گیاهچه گندم و برنج در تنش سرما نشان داد اسید گاما آمینو بوتیریک (گابا) باعث افزایش تحمل گیاهچه‌ها به سرما و هم‌چنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گایاکول پراکسیداز شد و محتوای پروتئین کل را بهبود بخشید (ملک‌زاده، ۱۳۹۱). محلول‌پاشی برگی اسید گاما آمینو بوتیریک (گابا) باعث کاهش اثر تنش خشکی در توت فرنگی رقم کویین الیزا، با افزایش محتوای نسبی آب برگ (RWC)، پرولین، کربوهیدرات و کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید شد (قبادی‌پور و همکاران،۱۳۹۵). بررسی تاثیر غلظت‌های ۰، ۱ ، و ۲ میلی‌گرم بر لیتر گاما آمینوبوتیریک‌اسید در اسفناج

(*Spinacia oleraceae* L.) نشان داد غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) باعث افزایش میزان کلروفیلa و b، کاروتنوئید و مالون‌دی‌آلدئید و غلظت یک میلی گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر نسبت به تیمار شاهد شد. بررسی اثر اسید گاما آمینو بوتیریک بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد میوه توت فرنگی هنگام تنش شوری نشان داد گابا توانایی بهبود و افزایش تعداد و سطح برگ، حجم ریشه، وزن خشک ریشه و بخش هوایی، ماده خشک کل، رنگدانه‌های فتوسنتزی، پایداری غشاء سلول و پروتئین محلول را نسبت به تیمار شاهد دارد و محتوای آنتوسیانین و فنل را افزایش داد و باعث کاهش فعالیت پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی آلدئید و افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) شد و در نهایت باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش شوری در میوه توت فرنگی شد (یوسفی، ۱۳۹۶). نتایج آزمایش محمدی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد پیش تیمار اسید بتا آمینوبوتیریک در تنش خشکی در کلزا باعث افزایش درصد پایداری غشا، محتوی نسبی آب (RWC)، کاهش آلدئیدها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و پراکسیداز) و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با تیمار شاهد شد.

با توجه به تاثیرات مفیدی که پرولین و گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) در کنترل تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمایی ساختار گیاهان مختلف در شرایط تنش خشکی دارد، در این راستا، در پژوهش حاضر اثر اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) و پرولین تحت تنش خشکی به صورت محلول‌پاشی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی بابونه آلمانی در شرایط گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش

این آزمایش در بهار و تابستان ۱۴۰۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۵ کیلومتری زنجان در عرض شمالی ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه و طول شرقی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا اجرا شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو سطح پرولین (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و اسید گاما آمینو بوتیریک (۰/۵و ۱ میلی‌مولار) به همراه شاهد (آب مقطر) به‌عنوان فاکتورهای فرعی به‌کار برده شدند که در مجموع شامل دو سطح آبیاری، ۵ تیمار با ۴ تکرار و جمعا ۴۰ واحد آزمایشی که هر واحد آزمایشی شامل ۶ بوته بابونه بود. برای انجام این پژوهش، بذور F1 بابونه از شرکت بذر عنبری از مشهد تهیه شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت با آب مقطر خیسانده شد و در سینی کاشت حاوی پیت ماس دارای pH = ۵/۵ -۶/۱ و EC =۱/۲ -۱ میلی‌زیمنس کشت شد. بعد از جوانه‌زنی بذرها و رشد بذور، گیاهچه‌های تقریبا یکنواخت و عاری از هرگونه آلودگی و بیماری، انتخاب و به بسترهای کشت گلدانی (سایز ۷ با ارتفاع گلدان ۲۰ سانتیمتر و قطر دهانه ۲۲ سانتیمتر) منتقل شد. بستر کاشت گلدانی حاوی پرلیت و کوکوپیت و خاک باغچه به نسبت ۱-۱-۱ استفاده شد. درجه حرارت روزانه گلخانه ۲±۲۴ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۰/۵± ۸۵ درصد بود. برای تعیین میزان رطوبت خاک گلدان در حد ظرفیت زراعی از روش وزنی استفاده شد. جهت تعیین ظرفیت زراعی گلدان‌ها، بصورت تصادفی ۳ گلدان انتخاب و به هر گلدان ۵۰۰ سی سی آب اضافه شد، سپس حجم مقدار آبی که از گلدان خارج شد از ۵۰۰ سی سی کم شد تا مقدار آب ظرفیت زراعی به‌دست آید و در نهایت از گلدان‌های مورد آزمایش، میانگین گرفته شد تا سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد و با گرفتن نسبت، سطح آبیاری ۷۰ درصد نیز محاسبه شد.

صفات کلروفیل a، کلروفیل b، فنول کل، فلاونوئید کل، آنتی‌اکسیدان، وزن هزار دانه و وزن تر و وزن خشک بوته مورد

بررسی قرار گرفت.

کلروفیل a و کلروفیل b

برای اندازه‌گیری کلروفیل a و کلروفیل b از روش Kirk & Allen (۱۹۶۵) استفاده شد. برای سنجش محتوای کلروفیل a و کلروفیل b از بافت تازه برگ استفاده شد. ۰/۱ گرم از نمونه برگ در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس با دور ۵۰۰۰ به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول روشناور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (SAFAS MONACO- RS 232) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و از (رابطه۱) محاسبه شد. در نهایت غلظت آن بر حسب میلی‌گرم بر گرم بیان شد.

رابطه (۱)

$$\text{Chlorophyll a (mg g-1)} = [12.7\ (A663) - 2.69\ (A645)] \times V/W1000$$

رابطه (۲)

$$\text{Chlorophyll b (mg g-1 FW)} = [22.9\ (A645) - 4.68\ (A663)] \times V/W1000$$

که در این رابطه V= حجم محلول صاف شده محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم گزارش شده است.

عصاره‌گیری جهت سنجش فنول و فلاونوئید

برای عصاره‌گیری از نمونه خشک گیاه استفاده شد. به این صورت که مقدار ۰/۱ گرم از برگ خشک با استفاده از ازت مایع آسیاب شد سپس همراه با متانول ۸۰ درصد در هاون چینی کوبیده و به حجم ۱۰ سی‌سی رسانده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه نگهداری شد. سپس به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر در یخچال نگهداری شد.

فنول کل

برای‌این‌منظور ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه رقیق شده اندازه‌گیری محتوای فنول کل براساس روش فولین سیوکالتیو (Slinkard &Singleton, 1977) انجام شد. ابتدا ۱۱۷۰ میکرولیتر آب مقطر، ۳۰ میکرولیتر عصاره، ۳۰۰ میکرولیتر فولین ده درصد در فالکون ریخته شد و بعد از گذشت ۵ دقیقه ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه شد و ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. سپس در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. غلظت های مختلف اسید گالیک ۲۵ تا ۴۰۰ میکروگرم/ میلی‌لیتر به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی استاندارد به‌کار گرفته شد. محتوای فنول کل عصاره براساس میلی‌گرم اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک گیاه محاسبه شد.

فلاونوئید کل

میزان محتوای فلاونوئید عصاره با روش رنگ سنجی ارزیابی شد. ابتدا ۳۰ میکرولیتر از عصاره گیاه در فالکون ریخته شد سپس ۶۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به آن اضافه شد. سپس ۶۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم ۱ مولار و در نهایت ۱۶۵۰ میکرو لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اتاق نگهداری شد.

سپس جذب مخلوط حاصل در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومترخوانده شد. میزان فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم کوئرستین بر یک گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (chang et al, 2002).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از طریق درصد مهار رادیکال‌های آزاد ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری و به‌صورت درصد بازدارندگی (DPPHsc٪) بیان شد (Masek et al., 2017). ابتدا محلول ۰/۱ میلی‌مولار از DPPH تهیه شد، به‌این‌ترتیب که ۳/۹۵ میلی‌گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول خالص حل شد. سپس ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره به ۲/۷ میلی لیتر محلول متانولی DPPH اضافه شد. جذب آن بعد از ۶۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و بر اساس درصد رادیکال جمع‌آوری شده DPPH (RSA) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Masek et al., 2017).

رابطه (۳):

Inhibition of DPPH= ((Abs control-Abs sample))/(Abs control)×100

Abs control = جذب شاهد

Abs sample = جذب نمونه

وزن هزار دانه

برای به‌دست‌آوردن وزن هزار دانه از هر تیمار ۱۰۰۰ عدد بذر با دستگاه بذرشمار شمارش و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد و وزن هزار دانه برحسب میلی‌گرم به‌دست آمد.

آنالیز و تحلیل داده:

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزا SAS نسخه ۹، مقایسه میانگین داده ها از طریق روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد اثر متقابل تیمار آبیاری و تیمارهای اسید گاما آمینو بوتیریک و پرولین بر کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد (۰/۰۵ >p) معنی‌دار بود. هم‌چنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تیمار آبیاری بر فنول کل، فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد (۰/۰۱ >p) و بر وزن تر و وزن خشک در سطح احتمال ۵ درصد (۰/۰۵ >p) معنی‌دار شد. تیمارهای اسید گاما آمینو بوتیریک و پرولین و اثر متقابل آبیاری و تیمارهای اسید گاما آمینو بوتیریک و پرولین بر فنول کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد (۰/۰۱ >p) و بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد (۰/۰۵ >p) داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف آبیاری، پرولین (P) و گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) بر برخی صفات فیزیولوژیک بابونه آلمانی

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	فنل کل	فلاونوئید کل	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
بلوک (تکرار)	۳	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰۹۶	۰/۱۷۰۵	۰/۰۳۵۰	۱۸/۲۴
آبیاری	۱	۰/۱۴۲۸*	۰/۱۰۷۵*	۲۴/۹۴**	۱/۱۲۰**	۲۴۶۳**
خطای کرت اصلی	۳	۰/۰۶۰۷	۰/۰۲۴۸	۰/۲۹۶۵	۰/۰۳۲۱	۲۷/۴۱
تیمار	۴	۰/۰۲۲۹ns	۰/۰۰۸۷ns	۱/۱۳۷۹*	۰/۱۳۸۳*	۱۱۲/۰۳*
آبیاری × تیمار	۴	۰/۰۶۷۱ *	۰/۰۱۵۸۱ns	۱/۱۲۸۴*	۰/۱۴۵۳*	۱۱۸/۷*

خطای کرت فرعی	۲۴	۰/۰۲۱۱	۰/۰۱۶۳	۰/۳۸۲۲	۰/۰۳۴۶	۳۶/۷۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۵۵	۱٤	۲۱/۹۰	۱۶/۲۳	۱۸/۹۲

**، *، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف آبیاری، پرولین (P) و گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) بر برخی صفات فیزیولوژیک بابونه آلمانی

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزار دانه	وزن تر بوته	وزن خشک بوته
بلوک (تکرار)	۳	۱۷۱/۴۶	۳۳/۷۱	۱/۴۹
آبیاری	۱	۳۰۹۷/۶**	۷۴۸/۸۳*	۳۳/۲۱*
خطای کرت اصلی	۳	۰/۲۶	۳۴/۰۵	۱/۵
تیمار	۴	۵۸۳۴/۴**	۷۶/۶ns	۳/۳۹ns
آبیاری × تیمار	۴	۳۸۱/۶**	۱۰/۰۴*	۰/۴۳*
خطای کرت فرعی	۲۴	۶/۸۶	۸۷/۳۶	۳/۸۷
ضریب تغییرات (٪)		۲/۵۵	۴۲/۱۸	۴۲/۲۰

**، *، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

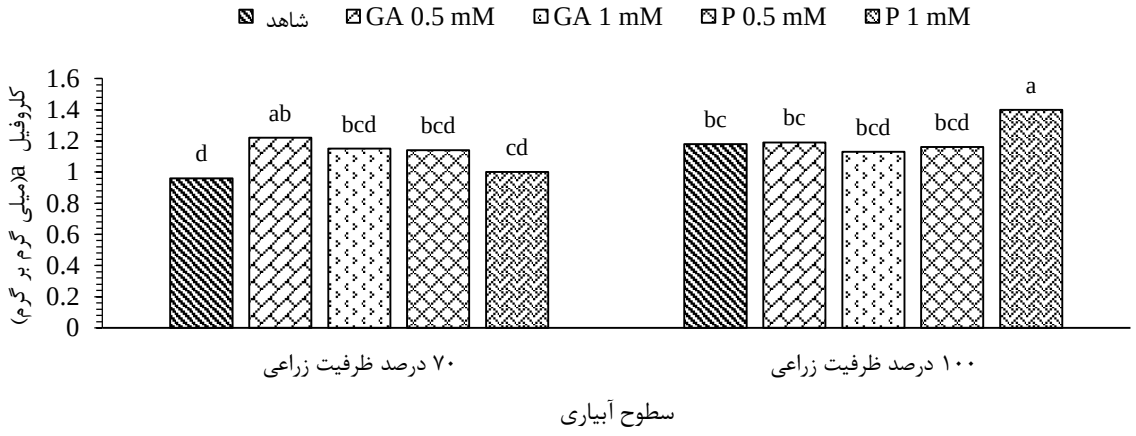
کلروفیل a و کلروفیل b

بررسی نتایج مقایسه میانگین تنش آبیاری و تیمارهای آزمایشی (جدول ۲) نشان داد با افزایش شدت تنش، میزان کلروفیل a به‌طور معنـی‌داری افزایش یافـت. بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۱/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار پرولین یک میلی‌مولار در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار کلروفیل a (۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین آبیاری نشان داد بیش‌ترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل b در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب در کلروفیل a و b (۱/۲۱ و ۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد (جدول ۳). آبیاری در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، با تأمین مداوم آب کافی و حفظ تهویه مناسب خاک، شرایط ایده‌آل را برای فتوسنتز بهینه فراهم می‌کند. این امر منجر به افزایش دسترسی گیاه به مواد مغذی حیاتی مانند نیتروژن و منیزیم که برای سنتز کلروفیل a و b ضروری هستند، می‌شود. علاوه‌براین، رطوبت مناسب، فعالیت آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوشیمیایی کلروفیل را تسهیل کرده و از بروز تنش‌های فیزیولوژیکی مانند استرس اکسیداتیو که موجب تخریب کلروفیل‌ها می‌شود، جلوگیری می‌کند. در نتیجه، این سطح آبیاری به حفظ و افزایش محتوای کلروفیل a و b کمک کرده و کارایی فتوسنتزی گیاه را ارتقاء می‌بخشد (Munns & Tester, 2020).

کلروفیل رنگدانه اصلی دخیل در فتوسنتز است که برای جذب، انتقال و تبدیل انرژی نور مورد استفاده قرار می‌گیرد و ارتباط نزدیکی با فتوسنتز و عملکرد گیاهان دارد؛ به‌عبارت‌دیگر، کلروفیل می‌تواند منعکس کننده وضعیت رشد گیاهان و میزان تنش باشد. در شرایط تنش اسمزی، پتانسیل آب داخل گیاه تغییر می‌کند، گیاه برای جبران و تنظیم فشار اسمزی داخلی با بستن روزنه‌ها باعث کاهش تلفات آب و افزایش فشار اسمزی و رطوبت نسبی اندام‌های داخلی به‌ویژه برگ‌ها می‌شود (Anjum *et al*., 2003). ادامه و افزایش تنش اسمزی باعث عدم تثبیت دی اکسید کربن در فرایند فتوسنتز می‌شود و در نتیجه باعث کاهش کلروفیل می‌شود که نقش کلیدی و اصلی در فرآیند فتوسنتز دارد.

کلروفیل‌های که دچار اختلال شدند، توانایی آن‌ها در جذب نور و انتقال انرژی کاهش می‌یابد و در نتیجه، عملکرد فتوسنتز کاهش می‌یابد (Farooq *et al*., 2009). هم‌چنین تحقیقات گسترده نشان داد که تنش اسمزی باعث تخریب و کاهش محتوای رنگدانه‌ها فتوسنتزی و کلروفیل در گیاه می‌شود. این واکنش منفی و سریع رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای کلروفیل به تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش‌های اسمزی، می‌تواند بر فرایند فتوسنتز و رشد گیاه تأثیر بگذارد (Farooq *et al*., 2009; Jaleel *et al*., 2009). تنش رطوبتی مانع از بیان آنزیم‌های کلیدی دخیل در سنتز کلروفیل می‌شود و باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در تخریب آن می‌گردد (Bhusal *et al*., 2018). در گیاهان تحت تنش آبی عوامل متعددی در کاهش غلظت کلروفیل تاثیر دارد. این عوامل منجر به کاهش پروتئین‌های خاص غشاء، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد که در نهایت منجر به تجزیه کلروفیل می‌شود. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی، تبدیل اسید گلوتامیک به پرولین توسط آنزیم گلوتامیل کیناز افزایش می‌یابد که این امر سنتز کلروفیل را محدود می‌کند. در شرایط تنش تا حدودی زیادی رنگ سبز برگ به‌دلیل کاهش جریان نیتروژن به بافت‌ها و فعالیت نیترات ردوکتاز، کاهش می‌یابد. مرکز واکنش در فتوسیستم‌های I و II کلروفیل a است. کاهش مقدار کلروفیل a باعث تضعیف سیستم فتوسنتزی گیاه می‌شود. بررسی تغییرات کلروفیل a در پاسـخ بـه تـنش خشکی نشان داد که با افزایش شدت تنش از مقدار کلروفیل a کاسته می‌شود. با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، میزان تولید کلروفیل کاهش یافت در نتیجه رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه این رنگیزه می‌شود(Sharifa & Muriefah, 2015). پایداری کلروفیل به‌عنوان یک معیار تحمل به کم‌آبی برای انتخاب ارقام پیشنهاد می‌شود. در بابونه آلمانی مشاهده شد که تنش کم‌آبی در مراحل رشد رویشی و گرده

افشانی میزان کلروفیل a را کاهش داد. تنش رطوبتی باعث تجزیه کلروفیل در کلروپلاست می‌شود که باعث ناپدید شدن ساختارهای تیلاکوئید و تولید اکسیژن فعال می‌کند که با کاهش و تجزیه کلروفیل همراه است و از هم‌گسیختگی ساختار سلول و اخلال در آنزیم‌های سلول می‌شود و در نتیجه کاهش آسیمیلات‌سازی شده و در نتیجه کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Ghorbani *et al*., 2011). در شرایط تنش کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی افزایش می‌یابد، که تجزیه رنگ‌دانه‌های گیاهی یکی از مکانیسم‌های گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی است که با این روش از تجمع انواع اکسیژن‌های فعّال در گیاه جلوگیری می‌شود (Salehi *et al*., 2016). محلول‌پاشی پرولین در تنش آبی به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم بر تغییرات کلروفیل a مؤثر واقع می‌شود (Faten *et al*., 2010). یکی از روش‌های کاربردی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش‌ها استفاده از پرولین است در گیاهان تاثیر پرولین به گونه گیاهی، مرحله رشد گیاه، زمان استفاده و هم‌چنین غلظت پرولین دارد (Deivanai *et al*., 2011). پرولین در بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه و هورمونی نقش مهمی داشته (Gawronska, 2008) و با تأثیر بر افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی، افزایش غلظت کلروفیل حفظ می‌شود. علت کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی کاهش محتوای کلروفیل در برگ است. پرولین به‌عنوان یک اسیدآمینه و اسمولیت گیاهی نقش مهمی در حفاظت و بهبود آب گیاهان در شرایط تنش دارد. نتایج آزمایش نشان داد محلول‌پاشی پرولین در گیاه رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. هم‌چنین پژوهش Ali و همکاران (۲۰۰۷) در ذرت نشان داد، کاربرد محلول‌پاشی پرولین در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش رشد و بهبود کیفیت رنگدانه‌های فتوسنتزی در مقایسه با تیمار شاهد شد که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد. پرولین در شرایط تنش با افزایش بیوسنتز و حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی هدایت روزنه‌ای را افزایش می‌دهد که باعث افزایش دی‌اکسیدکربن در فضای روزنه می‌شود در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز و عملکرد را به‌دنبال خواهد داشت (Ali *et al*., 2007).



شکل ۱- اثر متقابل تیمار آبیاری و پرولین (**P**) و اسید گاما آمینو بوتیریک (**GA**) بر کلروفیل **a** برگ

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف آبیاری، پرولین (P) و اسیدگابا آمینوبوتیریک (GA) بر برخی صفات فیزیولوژیک بابونه آلمانی

آبیاری	تیمارهای آزمایشی	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	فنول کل (میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	وزن هزار دانه (میلی‌گرم)
آبیاری ۷۰درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۰/۹۶^{d}	۳/۱۵^{bc}	۰/۷۰۶^{c}	۳۵/۱۷^{bc}	۶۶^{e}
	(۰/۵ mM) GA	۱/۲۲^{ab}	۳/۱۵^{bc}	۱/۴۹^{a}	۳۵/۶۷^{bc}	۷۲^{e}
	(۱ mM) GA	۱/۱۵^{bcd}	۳/۸۴^{b}	۱/۲۸^{ab}	۴۲/۲۱^{b}	۱۰۰^{d}
	(۰/۵ mM) P	۱/۱۴^{bcd}	۴/۷۸^{a}	۱/۲۶^{ab}	۵۱/۷۵^{a}	۱۰۴^{cd}
	(۱ mM) P	۱/۰۰^{cd}	۳/۱۱^{bc}	۱/۲۶^{ab}	۳۴/۵۶^{bc}	۱۲۶^{b}
آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۱/۱۸^{bc}	۱/۷۸^{d}	۰/۷۲۶^{c}	۲۱/۶۹^{d}	۶۸^{e}
	(۰/۵ mM) GA	۱/۱۹^{bc}	۲/۳۳^{cd}	۱/۱۳^{b}	۲۷/۳۳^{cd}	۱۰۰^{d}
	(۱ mM) GA	۱/۱۳ ^{bcd}	۲/۰۴^{d}	۱/۱۴^{b}	۲۳/۹۲^{d}	۱۳۲^{b}
	(۰/۵ mM) P	۱/۱۶^{bcd}	۲/۰۳^{d}	۱/۱۵^{b}	۲۳/۹۹^{d}	۱۰۸^{c}
	(۱ mM) P	۱/۴۰ ^{a}	۱/۹۷^{d}	۱/۲۵^{ab}	۲۳/۹۸^{d}	۱۴۸^{a}

فنول و فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش تنش رطوبتی مقدار فنول، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار فنول (معادل ۴/۷۸ میلی گرم اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک گیاه) در تیمار پرولین نیم میلی‌مولار در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار مقدار فنول (معادل ۱/۷۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک گیاه) در تیمار شاهد در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (شکل ۲). بیش‌ترین مقدار فلاونوئید (۱/۴۹ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک گیاه) در تیمار اسید گاما آمینو بوتیریک نیم میلی‌مولار در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار فلاونوئید (۰/۷۰۶ و ۰/۷۲۶ میلی‌گرم کوئرستین بر یک گرم وزن خشک گیاه) در تنش آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۳). بیش‌ترین مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵۱/۷۵ درصد) در تیمار پرولین ۰/۵ میلی‌مولار در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۲۱/۶۹درصد) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۴).

نتایج مقایسه میانگین آبیاری نشان داد در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد مقدار فنول، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار فنول (معادل ۳/۶۱ میلی‌گرم اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک گیاه) در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی به‌دست آمد بیش‌ترین مقدار فلاونوئید کل (۱/۳۱ میلی‌گرم کوئرستین بر یک گرم وزن خشک گیاه) در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد و بیش‌ترین مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۳۹/۸۷ درصد) نیز در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۳).

آبیاری در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد به‌طور غیرمستقیم نقش مهمی در افزایش ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان دارد. این سطح آبیاری با تنش خشکی ملایم، موجب فعال شدن مسیرهای دفاعی گیاه در پاسخ به کمبود آب می‌شود که این مسیرها اغلب با تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها همراه هستند. در واقع، فنول‌ها و فلاونوئیدها، علاوه بر نقش ساختاری، به‌عنوان ترکیبات دفاعی و آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کنند و در شرایط تنش، سنتز آن‌ها افزایش می‌یابد تا از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت کنند. بنابراین، آبیاری در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، با حفظ وضعیت مطلوب فیزیولوژیکی و کاهش نیاز

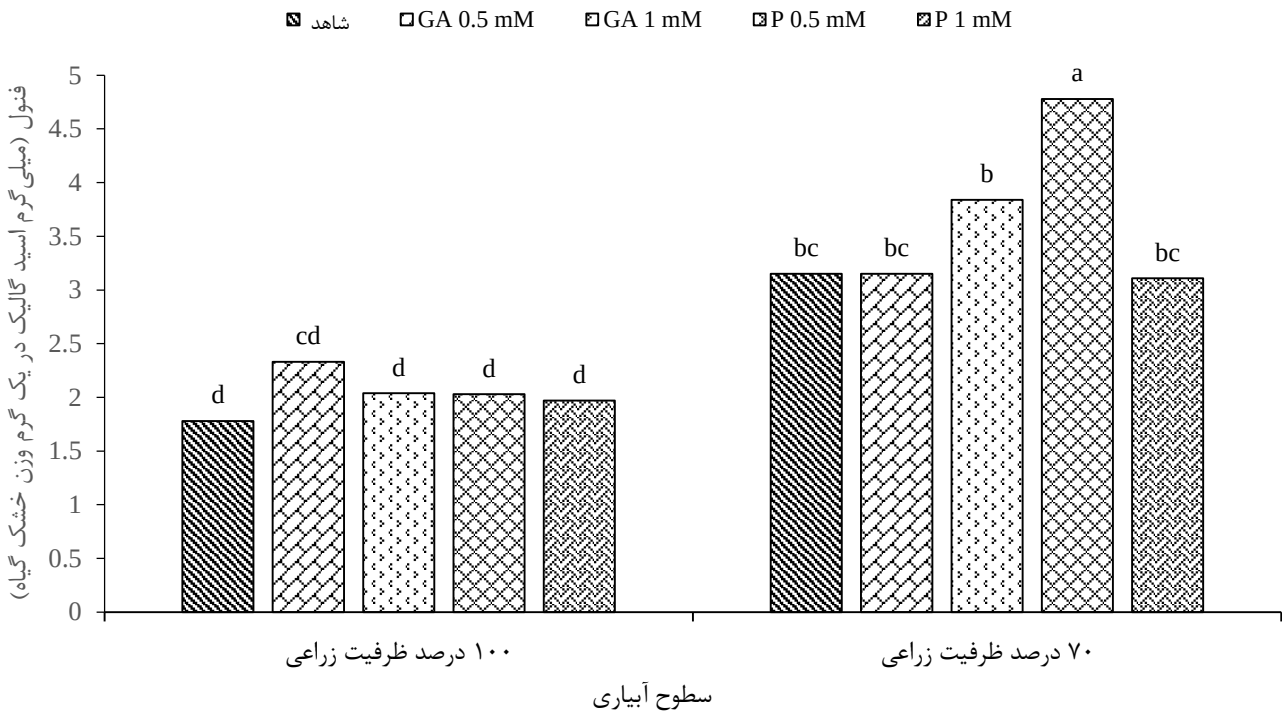
به فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی ناشی از تنش، ممکن است منجر به کاهش نسبی در تجمع این ترکیبات شود، اما این امر نشان‌دهنده سلامت بهتر گیاه و کارایی بالاتر سیستم‌های متابولیکی آن است که انرژی را به جای تولید ترکیبات دفاعی ثانویه، صرف رشد و فتوسنتز می‌کند. با این حال، سطوح بهینه آب برای جذب مواد مغذی ضروری و حفظ سلامت سلولی، که در ظرفیت زراعی ۱۰۰ حاصل می‌شود، زیربنای تولید مداوم و کارآمد ترکیبات فتوسنتزی و هم‌چنین مقدار کلروفیلa و b می‌شود (Vurusan & Erdal., 2021)

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف آبیاری بر برخی صفات فیزیولوژیک بابونه آلمانی

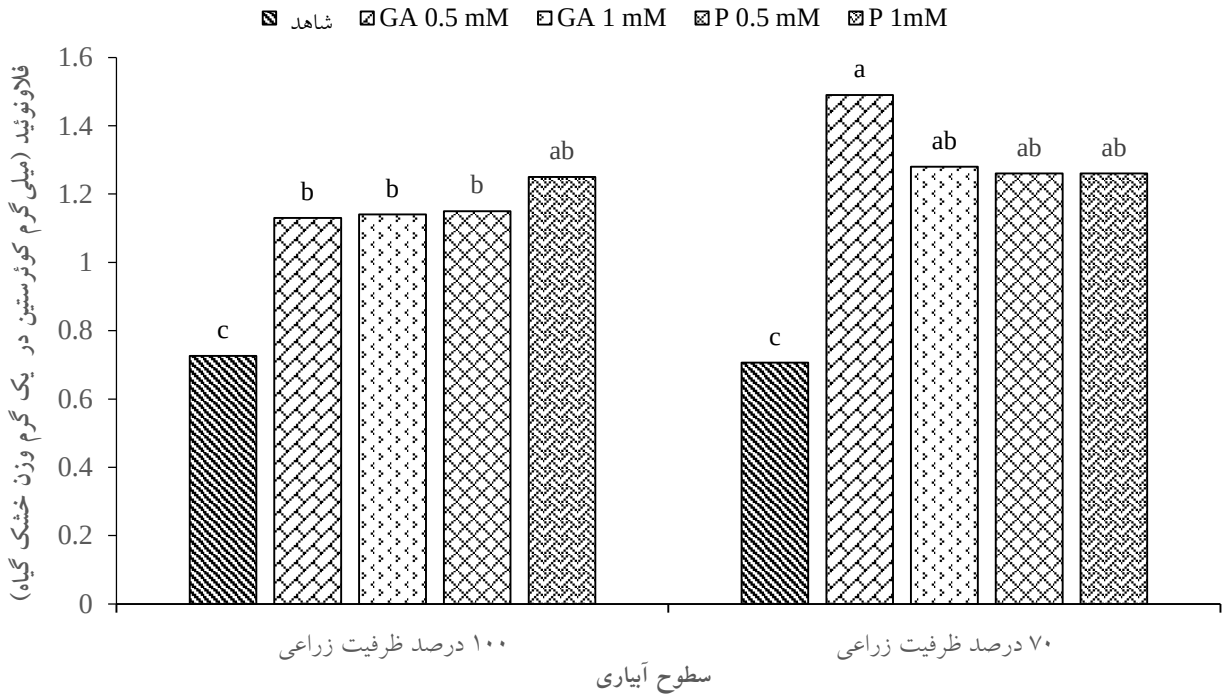
آبیاری	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	فنول کل (میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	وزن هزار دانه (میلی‌گرم)
آبیاری ۷۰درصد ظرفیت زراعی	۱/۰۹^{b}	۰/۸۶^{b}	۳/۶۱^{a}	۱/۳۱^{a}	۳۹/۸۷^{a}	۹۳/۶۰^{b}
آبیاری ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی	۱/۲۱^{a}	۰/۹۶^{a}	۲/۰۲^{b}	۰/۹۷^{b}	۲۴/۱۸^{b}	۱۱۱/۲۰^{a}

ترکیبات پلی‌فنولیک (فنول و فلاونوئیدها) از مهم‌ترین ترکیبات ثانویه در گیاهان هستند. تنش اکسیداتیو در گیاه، باعث افزایش بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدان و مسیر فنیل‌پروپانوئید به‌ویژه مسیر بیوسنتز ترکیبات پلی‌فنولیک می‌شود(Vendruscolo *et al*., 2007). ترکیبات پلی‌فنولیک ترکیب‌های فعال فیزیولوژیکی هستند که، در شرایط تنش به‌عنوان یک مهارکننده رادیکال‌های آزاد، نقش مهمی در مقاومت گیاهان دارند (Tattini *et al*., 2004). ترکیبات پلی‌فنولیک نقش اصلی در برابر تنش اکسیداتیو دارند و قادرند تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن را مهار و یا آن‌ها را جاروب نمایند (Agati *et al*., 2007). تحقیقات نشان می‌دهد ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها در گیاهان ترکیبات حفاظت کننده در برابر رادیکال‌های اکسیژن آزاد هستند و از ایجاد تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان با بیان ژن‌های مرتبط با ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه (Vendruscolo *et al*., 2007) و مسیر بیوسنتز فنول و فلاونوئیدها (Selmar *et al*., 2013) ممانعت می‌کند. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ازجمله آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی به‌منظور محافظت از گیاهان در برابر آسیب گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن، به وجود آمده‌اند. در یک تعادل پویا، اثر هم‌افزایی آنتی‌اکسیدان‌ها باعث تولید و خاموش کردن گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در داخل گیاه می‌شود، بنابراین اثرهای منفی ناشی از تنش را کاهش داده و باعث سازگاری گیاهان با تنش‌های محیطی می‌شوند (Yang *et al*., 2021). ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی گروهی از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی هستند که در گیاهان تحت تنش‌های محیطی فعال شده و سبب کاهش اثرهای مخرب تنش بر گیاهان می‌شوند. در پژوهش حاضر، تنش رطوبتی باعث افزایش میزان فنول و فلاونوئید کل در بابونه آلمانی گردید. تنش خشکی، رونویسی مولکول RNA را به‌عنوان یک سیگنال افزایش‌دهنده تولید آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز تحریک می‌کند و منجر به سنتز ترکیبات فنلی می‌شود. در زمان تنش‌های محیطی، ترکیبات فنلی موجود در گیاهان افزایش یافته و با حذف رادیکال‌های آزاد، گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. هم‌چنین این ترکیبات، افزایش یکپارچگی غشا را با تنظیم اسمزی سلولی افزایش می‌دهند (Salunke & Koche, 2023). در گیاهان مختلف، به‌دلیل تفاوت در تحمل به خشکی، میزان تجمع ترکیبات فنلی برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد متغیر است (Boscaiu *et al*., 2010). در شرایط تنش رطوبتی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در درون گیاه تولید و ایجاد سمیت می‌کنند و اثرات تخریبی در گیاه دارند. مهار

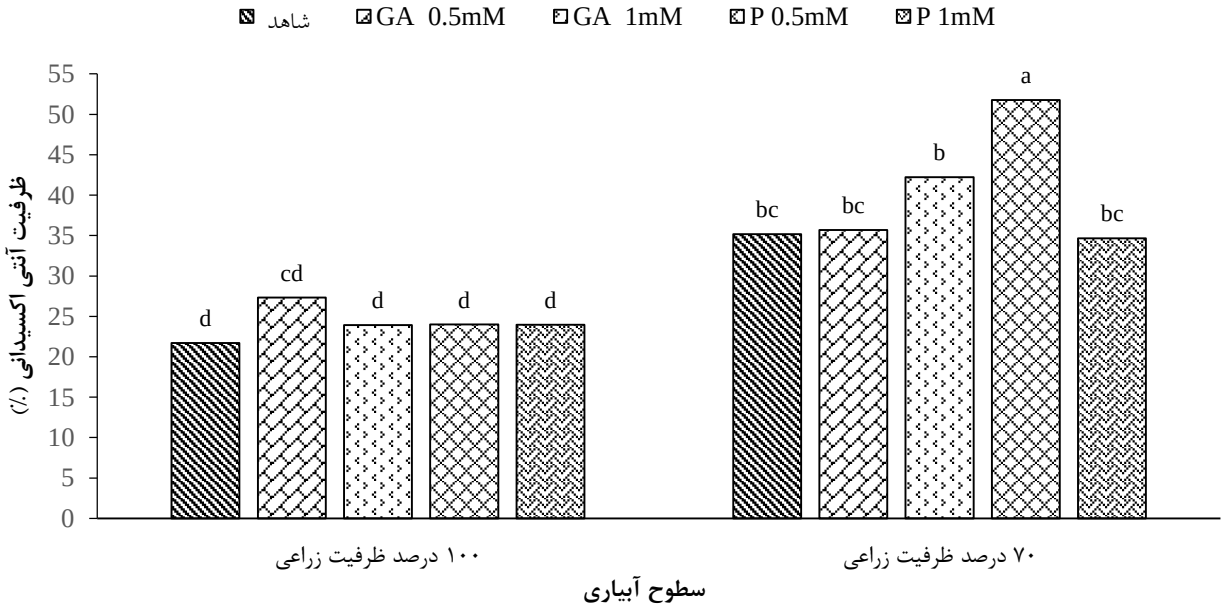
رادیکال‌های آزاد اکسیژن از اهمیت خاصی برخوردار است. محلول‌پاشی پرولین و اسید گاما آمینو بوتیریک بر بابونه آلمانی تاثیر مثبت معنی‌دار با افزایش تولید ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی در مهار رادیکال آزاد اکسیژن نسبت به تیمار شاهد در تنش رطوبتی داشت.. نتایج آزمایش Spanic و همکاران، ۲۰۲۵، نشان داد رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در نتیجه تنش رطوبتی در گیاه تولید می‌شود، نقش مخرب دارد که با محلول‌پاشی اسمولیت، خنثی و از بین می‌روند. پرولین یک اسید آمینه غیر ضروری است که به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل می‌کند تا گیاهان تنش رطوبتی را تحمل کند. پرولین در تنظیم اسمزی سلولی نقش دارد و گیاهان در برابر استرس اکسیداتیو محافظت می‌کند. پرولین به سنتز پروتئین‌ها و آنزیم های دخیل در پاسخ‌های استرس کمک می‌کند.



شکل ۲- اثر متقابل تیمار آبیاری و پرولین **(P)** و اسید گاما آمینو بوتیریک **(GA)** بر فنول کل برگ



شکل ۳- اثر متقابل تیمار آبیاری و پرولین (**P**) و اسید گاما آمینو بوتیریک اسید (**GA**) بر فلاونوئید کل برگ



شکل ۴- اثر متقابل تیمار آبیاری و پرولین (**P**) و اسید گاما آمینو بوتیریک (**GA**) بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

وزن هزار دانه

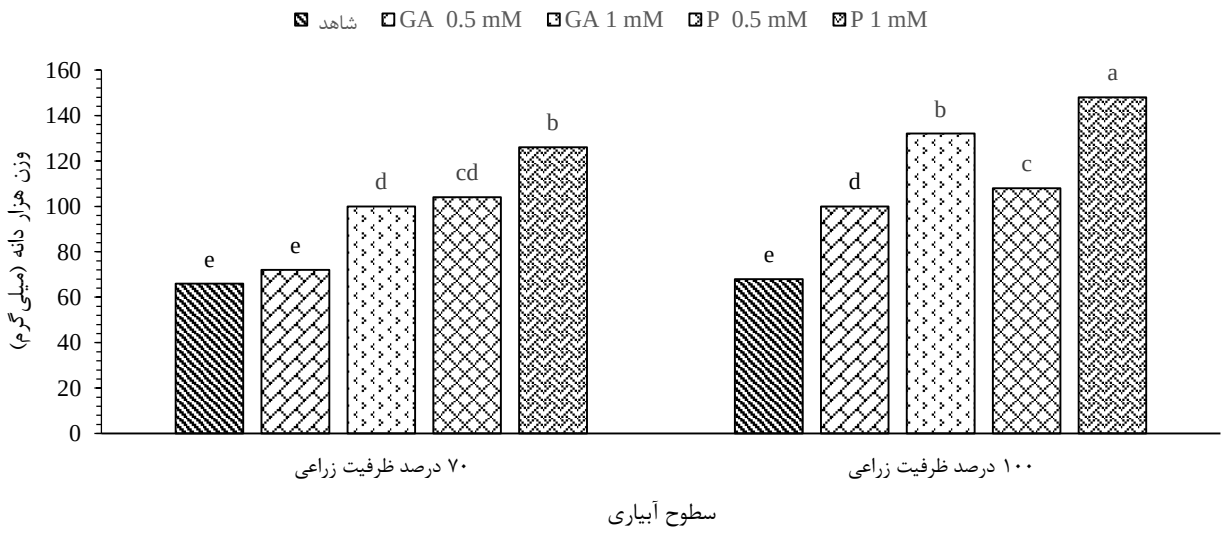
تنش رطوبتی وزن هزار دانه را کاهش داد. نتایج مقایسه میانگین محلول‌پاشی پرولین و اسید گاما آمینو بوتیریک در تیمار آبیاری ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نشان داد. تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شد. بیش‌ترین وزن هزار دانه

(۱۴۸ میلی‌گرم) در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در پرولین یک میلی‌مولار و کم‌ترین وزن هزار دانه (۶۶ و ۶۸ میلی‌گرم) در شاهد در تیمار آبیاری ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (شکل ۵).

نتایج مقایسه میانگین آبیاری نشان داد در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد وزن هزار دانه افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار وزن هزار دانه (۱۱۱/۲۰ میلی‌گرم) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد.

آبیاری با ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به‌طور قابل‌توجهی به افزایش وزن هزار دانه در محصولات زراعی کمک می‌کند، زیرا این میزان آبیاری، شرایط بهینه رطوبتی را برای فتوسنتز و توسعه سلولی فراهم می‌آورد. تأمین مداوم آب مورد نیاز گیاه تا مرحله رسیدگی، از تنش خشکی که می‌تواند منجر به کاهش فتوسیلات و انتقال مواد غذایی به دانه شود، جلوگیری می‌کند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کمبود آب در مراحل حساس رشد، به‌ویژه در زمان پر شدن دانه، سبب کاهش وزن هزار دانه می‌گردد. در مقابل، آبیاری کامل تا پایان دوره رشد، حداکثر پتانسیل ژنتیکی گیاه را برای تولید دانه با وزن بالا محقق می‌سازد (Jones & Davis, 2022).

افزایش وزن هزار دانه در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی پرولین ناشی از اثر ساخت مواد نیتروژن و ترکیبات غیر پروتئینی است. تأثیر مثبت پرولین بر وزن هزار دانه به دلیل تولید مواد نیتروژن غیر پروتئینی است (El-Said & Mahdy, 2016). Yoder و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند تنش رطوبتی در دوره پرشدن دانه موجب کاهش وزن دانه می‌شود. نتایج مشابهی توسط Manal و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است. نتایج آزمایش Entezari و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود، که نشان دهنده تأثیر مثبت محلول‌پاشی پرولین بر عملکرد به‌ویژه وزن هزار دانه است. نتایج آزمایشی Zakipour و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه ذرت نشان داد محلول‌پاشی پرولین تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه دارد .

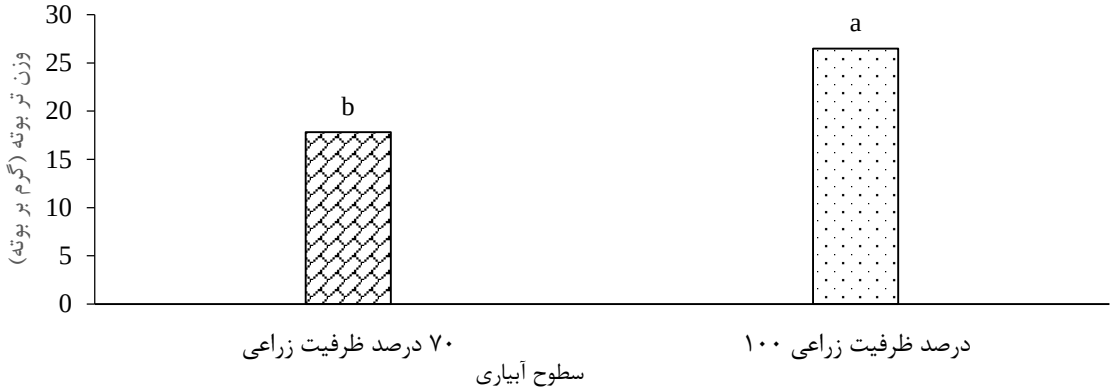


شکل ۵- اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرولین (**P**) و اسیدگاما آمینو بوتیریک اسید (**GA**) بر وزن هزار دانه

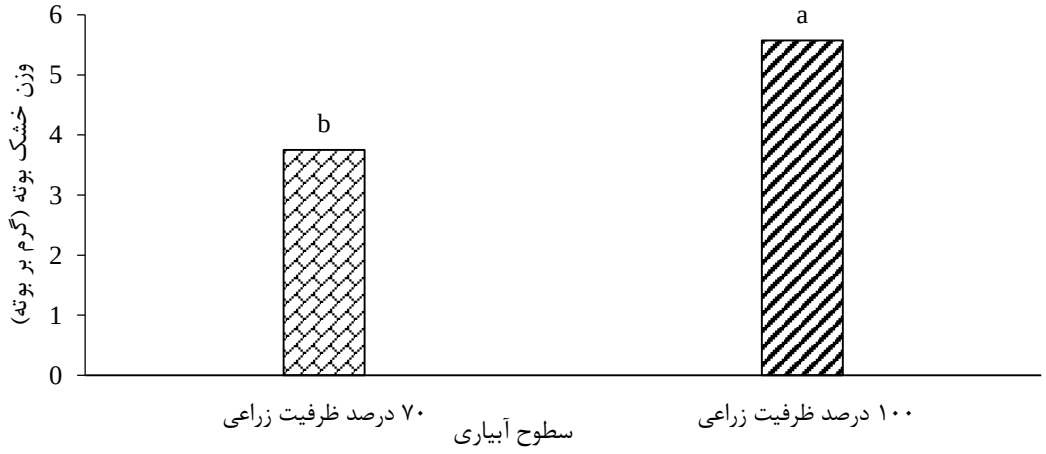
وزن تر و وزن خشک بوته

در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی وزن تر و خشک افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد

بیش‌ترین وزن تر در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۶/۴۸ گرم بر بوته) و بیش‌ترین وزن خشک در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۵/۵۵ گرم بر بوته) مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). با افزایش تنش رطوبتی وزن تر و خشک بوته کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش در تنش رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. همبستگی مثبتی بین وزن تر و خشک وجود دارد. تنش خشکی با تاثیر بر محتوای کلروفیل می‌تواند باعث آسیب به دستگاه فتوسنتری، مهار فعالیت فتوسیستمII، اختلال در فعالیت فتوشیمیایی و آنزیم‌های چرخه کالوین، افزایش فلورسانس کلروفیل (Dulai *et al*., 2006)، و هم‌چنین با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای (Hasanuzzaman *et al*., 2013) باعث کاهش تثبیت کربن، محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی (Blum, 1996)، تغییر در میزان جذب دی اکسید کربن، تعرق (Dulai *et al*., 2006) به همراه کاهش سطح برگ و تسریع فرآیند پیری برگ‌ها شده (Wahid & Rasul, 2005) منجر به محدودیت تولید و صادرات مواد فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه وزن تر و خشک اندام‌های گیاهی کاهش می‌دهد.



شکل ۶- اثر ساده تیمار آبیاری بر وزن تر بوته



شکل ۷- اثر ساده تیمار آبیاری بر وزن خشک بوته

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی موجب تغییرات مرفوفیزیولوژیک شدیدی در بابونه آلمانی شد. اعمال تنش کم‌آبی مقدارکلروفیل a، فنل کل و فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل را افزایش داد. پرولین و گاما آمینو بوتیریک اسید در تیمار آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش کلروفیل a، فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل شد. در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی وزن هزار دانه، وزن تر و وزن خشک افزایش یافت و بیش‌ترین کاهش وزن تر و وزن خشک در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بود. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، فنل و فلاونوئید از فاکتورهای مهم در کنترل آسیب‌های گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد در تنش رطوبتی است. بیش‌ترین مقدار فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار پرولین در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد هم‌چنین بیش‌ترین مقدار فلاونوئید در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید گاما آمینوبوتیریک در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. با کاربرد پرولین ۱ میلی‌مولار در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی وزن هزار دانه افزایش یافت. تیمار پرولین در آبیاری۷۰ درصد ظرفیت زراعی با افزایش کلروفیل a، فنل کل برگ و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد بیش‌ترین تاثیر مثبت داشت.

منابع

فتح الهی، ا.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و صفری، م. (۱۳۹۵). تاثیر گابا آمینوبوتریک اسید (GABA) بر شاخص‌های مورفولوژیکی ارقام خیار تحت تنش کم آبی. سومین همایش یافته های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، تهران، پژوهشکده انرژی‌های نو و محیط زیست. دانشگاه تهران.

قبادی‌پور، ز.، قادری، ن. و جوادی، ت. (۱۳۹۵). بررسی اثر محلول‌پاشی گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) و تنش اسمزی روی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم کوبین الیزا تحت

کشت هیدروپونیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه. دانشکده کشاورزی ارومیه

محمدی، ن.، باقی زاده، ا.، و رجایی، پ. (۱۳۹۴). تاثیر بتا آمینو بوتیریک اسید بر روی محتوای آب نسبی، تنظیم اسمزی و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)،۴(۲۸)، ۸۴۴- ۸۶۰..

ملک‌زاده، پ.، خارا، ج. و حیدری، ر. (۱۳۹۱). بررسی مقایسه‌ای تأثیرات گاماآمینو بوتیریک اسید (GABA) روی تحمل تنش سرما در گیاهچه‌های گندم و گوجه فرنگی. پایان‌نامه دکترا. دانشگاه ارومیه.

یوسفی، ا.، قادری.، ن. و جوادی، ت. (۱۳۹۶). اثر گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و کیفیت میوه‌ی توت فرنگی تحت تنش شوری. پایان‌نامه دکترا. دانشگاه ارومیه.

Agati, G, Mattini, P., Goti, A. & Tattini, M. (2007). Chloroplast-located flavonoids can scavenge singlet oxygen. New Phytologist, 174, 77-89.

Akcay, U.C., Ercan, O., Kavas, M., Yildiz, L., Oktem, H.A., . & Yucel M. (2010). Droughtinduced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. Plant Growth Regulation, 61 (1), 21-28.

Ali, Q., Ashraf, M., . & Athar, H.R. (2007). Exogenously applied proline at different growth stges enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. Pakistan Journal of Botany, 39, 1133-1144.

AL-Quraan, N.A. (2015). GABA shunt deficiencies and accumulation of reactive oxygen species under UV treatments: insight from Arabidopsis thaliana calmodulin mutants. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 1-11.

Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A. . & Anjum, S.(2003b). Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). II. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 40, 45-49.

Bulletin UASVM Horticulture, 67(1), 44-49.

Chang, C., Yang, M., Wen, H. . & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Food and Drug Analysis, 10, 178-182.

Darvizheh, H. . & Zavareh. M. (2018). The effect of proline foliar application on reducing the effects of dehydration stress on German chamomile (Matricaria chamomilla L). Ecological Quarterly Journal of Crop Plants, 14 (1): 43-33. (In Persian)

Darvizheh, H., Zavareh, M. . & Ghasmanjad, M. (2017). Effect of proline spraying on biochemical properties of German chamomile in water stress conditions (Matricaria chamomilla L). Journal of Applied Research in Plant Ecophysiology, 4 (1): 35-60. (In Persian)

Deivanai, S., Xavier, R., Vinod, V., Timalata, K., . & Lim, O. F. (2011). Role of exogenous proline in ameliorating salt stress at

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

Askari, E. . &Ehsanzadeh, P. (2015). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristic of fennel (Foeniculum vulgare Mill.) genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 2-14.

Bhusal, N., Bhusal, S.J. . & Yoon, T.M. (2018). Comparisons of physiological and anatomical characteristics between two cultivars in bileader apple trees (*Malus*×*domestica* Borkh.). Scientia Horticulturae, 231, 73-81.

Blum, A. (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation, 20(2),135- 148.

Boscaiu, M., Sanchez, M., Bautista, I., Donat, P., Lidon, A., Llinares, J., Llul, C., Mayoral, O. . &Vicente, O. (2010). Phenolic compounds as stress markers in plants from gypsum habitats.

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., . & Siddique, K. (2012). Drought stress in plants: an overview. Plant responses to drought stress. Springer, New York, 152p.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. . & Basra, S. M.A. (2009). Plant drought stress: effect mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29, 185-212.

Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmad, A.A. . &Mahmoud, A.R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. Research Journal of Agriculture and Biological Science, 5, 583-588.

Fathi, A. & Tari, D.B. (2016). Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. International Journal of Life Sciences, 10, 1-6.

Franke, R. & Schilcher, H**.** (2005). Chamomile: Industrial Profiles. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Franke, R. & Schilcher, H. (2007). Relevance and use of chamomile (*Matricaria recutita* L.). ISHS. Acta Horticulture,749**,** 29-43.

early stage in two rice cultivars. Journal of stress physiology and biochemistry. 7 (4): 157-174.

Dulai, S., Molnar, I., Pronay. J., Csernak, A., Tarnai R. . & Molnar-Lang., M. (2006). Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in Aegilops species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis, 50(1-2), 11-17

El-Said, M.A.A. . & Mahdy, A.Y. (2016). Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. Middle East Journal of Agriculture Research, 5, 462-472.

Entezari, S., Khalatbari, M., Nasri, M. . & Zakeri Mohammadabadi, A. (2008). The effect of amino acid spraying on water deficit in wheat in varamin condition. Plant and Ecosystem, 14, 64-76.

Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Ahmad, N., . & Saleem, B.A. (2009). Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. Journal of Agronomy and Crop Science, 195, 237-246.

(2013) Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense (eds). Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance.Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Germany 209-249.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Frooq, M., Al-juburi, J., Somasundarma, R. . & Vam, P. (2009). Drought stress in plant: A review on morphological characteristics and pigment composition. International Journal of Agriculture and biology, 11, 100-105.

Jones, R., . & Davis, K. (2022). *Water Management Strategies for Maximizing Grain Weight in Maize* . Agricultural Water Management, 88(1), 45-58.

Karima, M., EL-DIN Gamal, A. . & Abdel-wahed, M.S.A. (2005). Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. International Journal of Agriculture and Biology, 15 (3), 376-380.

Khalil Soha, E. . & El-Noemani, A.A. (2012). Effect of irrigation intervals and exogenous proline application in improvingtolerance of garden cress plant (*Lepidium*

Gawronska, H. (2008). Bio stimulators in modern agriculture (General aspects). Plant Press Ryko. University of Life Sciences (WULS), 14, 23-89.

Ghorbani, T., Galshi, S., Soltani, A. . & Zeinali, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, chlorophyll content and carotenoids in the vegetative stage of chickpea. First National Conference and Strategies for Achieving Sustainable Agriculture, 143-138.

Gill, S. S. . & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 48, 909-930.

Habibi, D., Ardakani, M., Mahmoud, A. . & Asgharzadeh, A. (2010). Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and oxidative damage of maize under drought stress. International Conference on Chemistry and Chemical Engineering, 253-257.

Hasanuzzaman, M, Nahar K, Gill S. S., . & Fujita, M.

nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6, 886-891.

Munns, R., . & Tester, M. (2020). Adaptation to salt and drought stress. In Plant Physiology and Development (6th ed., pp. 397-434). Sinauer Associates.

Salunke, P., . & Koche, D. (2023). Role of Phenolic compounds in plant defense mechanism: An updated review. Indian Journal of Applied and Pure Biology, 38 (3), 1199-1215.

Saxena, S., Kaushik, N. . & Sharma, R. (2008). Effect of abscisic acid and proline on in vitro flowering in Vigna aconitifolia. Plant Biology, 52, 181-190.

Selmar D. . & Kleinwächter, M. (2013). Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Indian Journal of Crop Production, 42, 558-56.

Sharifa, S. . & Muriefah., A. (2015). Effects of *sativum* L.) to water stress. Journal of Applied Sciences Research, 8(1), 157-167

Kirk, J.O.T. . & Allen, R. L. (1965). Dependence of chloroplast pigment on actidione. Biochemical and Biophysical Research Communications, 21, 523-530.

Lubbe, A. . & Verpoorte, R**.** (2011). Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialtyindustrial materials. Industrial Crops and Products, 34**,** 785-801.

Manal, F.M., Thalooth, A.T., Essa, R.E.Y., . & Mirvat, E. G. 2018. The stimulatory effects of tryptophan and yeast on yield and nutrient status of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) grown in newly reclaimed soil. Middle East Journal of Agriculture Research, 7, 27-33.

Masek, A., Chrzescijanska, E., Latos, M., Zaborski, M. . & Podsędek, A. (2017). Antioxidant and antiradical properties of green tea extract compounds. International Journal of Electrochemical Science, 12(7), 6600-6610.

Salehi, A., Tasdighi, H. R. . & Gholamhosseini, M. (2016). Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of

Taviana, P., Rosellini, D. . & Veronesi, F. (2002). Variation for agronomic and essential oil traitsamong wild populations of *Chamomilla recutita* (L.) Rausch from central Italy. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 9**,** 1049-6475.

Vendruscolo, E.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., . & Vieira, L.G.E. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat, Journal of. Plant physiology, 164(10): 1367-1376.

Vurusan, G., . & Erdal, I. (2021). Effects of drought stress on phenolic compounds and antioxidant activity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Plants**,** 10(2), 329

Wagner, C., Friedt, W. Marquard, R.A., . & Ordon, f. (2005). Molecular analyses on the genetic diversity and inheritance of (−)-α-bisabolol and chamazulene content in tetraploid chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) Plant Science, 169(5), 917-927.

Wahid, A. . & Rasul, E. (2005) Photosynthesis in Leaf, Stem, Flower and Fruit, in: Pessarakli M. (Ed.), paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 2, 81-93.

Singh, O., Khanam, Z., Misra, N. . & Srivastava, M. K. (2011). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. Pharmacognosy Reviews, 5(9), 82-95.

Slinkard, K. . &Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28, 49-55.

Spanic, V., Duvnjak, J., Hefer, Dubravka., D. . &Auria, J.C. (2025). Changes in Metabolites Produced in Wheat Plants Against Water-Deficit Stress. Plants, 14(1), 17

Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D. . & Agati, G. (2004). Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of Ligustrum vulgare under excess light and drought stress. New Phytologist, 163, 547-561.

Handbook of Photosynthesis, 2nd ed. CRC Press, Florida, 479–497

Wang, H., Tang, X., Wang, H. . & Shao, H. B. (2015). Proline accumulation and metabolism-related genes expression profiles in Kosteletzkya virginica seedlings under salt stress. Frontiersin Plant Science, 6, 1–9.

Yoder A., Beyer R. . & Jones C. (2015). The effects of drought-affected grain and carbohydrase inclusion in starter diets on broiler chick performance. The Journal of Applied Poultry Research, 24, 177-185.

Yang, W., Liu, Y., Sang, Y., Ma, Y., Guo, M., Bai, G., et al. (2021). Influences of ice-temperature storage on cell wall metabolism and reactive oxygen metabolism in Xinjiang (Diaogan) apricot. Postharvest Biology and Technology. 180, 111614.

Zakipour, A., Daneshian, J.J. . & Rabiy, M. (2012). Effect of solution spraying on and amine acid on growth and yield plant triticale in the form of cultivation second in paddy field. Twelfth Congress of Science, Agriculture, and Plant Reform, Iran. Karaj. 1-4.