



The Effect of Some Plant Growth Stimulants on Some Physiological and Biochemical Properties of Lemon Balm (*Melissa officinalis*. L.) under Different Irrigation Regimes

Mustafa Yasini¹, Soran Sharafi² and Saman Yazdan Seta²

1 and 2- Graduated M.Sc. and Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran, respectively.

(*- Corresponding author's Email: S.sharafi@iau.Mahabad.ac.ir)

Received: 06-07-2023
Revised: 12-10-2023
Accepted: 24-10-2023
Available Online: 24-10-2023

How to cite this article:

Yasini, M., Sharafi, S., & Yazdan Seta, S. (2024). The effect of some plant growth stimulants on some physiological and biochemical properties of Lemon balm (*Melissa officinalis*. L) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 16(1), 181-196. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159>

Introduction

Medicinal plants are one of the most valuable resources in Iran's wide range of natural resources, which can play an important role in society's health, job creation, and non-oil exports if they are scientifically recognized, cultivated, developed, and exploited properly. Iran is considered one of the world's best regions in terms of climate, geographical location, and medicinal plant growth, and it has been a source of production and consumption of medicinal plants in the past. Lemon balm is generally used in traditional medicine to treat digestive problems, pain, and mental disorders. Drought stress is one of the most serious and widespread problems that limit plant productivity because it negatively affects plant physiology. The effects of drought stress depend on the duration, intensity and stage of growth and the genetic tolerance capacity of plants, which can reduce the growth of plants. It causes a change in morphological and physiological structures and the pattern of biomass distribution or even death.

Materials and Methods

To study the effect of foliar different growth stimulants on the growth characteristics and essential oil of balm at different levels of drought stress, an experiment was carried out in the crop year 2021. The experiment was a split plot based on randomized complete blocks with four replications, where different levels of irrigation include irrigation after 80, 60, and 40 percent of the field crop capacity (FC) in the main plots and foliar application of different growth stimulants including control, melatonin, amino acid, and folic acid were placed in sub-plots. In this research, total chlorophyll, dry matter yield, relative water content, phenoline content, soluble sugars, essential oil content, essential oil yield, total phenol, and flavonoid were measured. The data obtained from the experiment was analyzed using SAS.9.4 software. The obtained averages were statistically compared using Duncan's method (LSR) and at the five percent probability level.

Results and Discussion



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159>

The results of variance analysis of the data showed that the effect of irrigation and foliar spraying on growth stimulants on all investigated traits were significant at the probability level of 1%. There was a significant difference between the interaction treatments in terms of chlorophyll content, proline content, essential oil percentage, essential oil yield, and flavonoid content at the probability level of one percent and in terms of relative leaf water content, dry matter yield, soluble sugars content and total phenol content at the probability level of five percent. The results showed the highest chlorophyll content ($2.25 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$), relative leaf water content (88.12 percent), and dry matter yield ($793.79 \text{ kg ha}^{-1}$) was recorded in melatonin foliar application and irrigation of 80% of FC treatments. Also, the highest essential oil content (0.81%) and essential oil yield (6.46 kg ha^{-1}) were observed in treating foliar application with melatonin under the irrigation treatment of 60% FC. This study allocated the highest total phenol content to melatonin foliar application at 40% of the FC conditions. In this study, 40% FC irrigation treatment increased the flavonoid content by 29.90% and 93.23%, respectively, compared to 60% and 80% FC. Furthermore, foliar application of melatonin, proline amino acid, and folic acid increased the flavonoid content compared to the control treatment by 17.64, 23.35 and 32.35%, respectively.

Conclusion

In this study, melatonin foliar application in all three irrigation conditions increased essential oil yield compared to the corresponding control. Under irrigation and foliar spraying of melatonin, the synthesis of secondary metabolites and essential oil has been accelerated and produced the maximum yield of essential oil. Therefore, foliar spraying of melatonin and mild water deficit stress can be recommended to achieve maximum economic yield in Lemon balm.

Keywords: Dry matter, Essential oil percent, Irrigation, Melatonin, Proline



مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۸۱-۱۹۶

اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مصطفی یاسینی^۱، سوران شرفی^{۲*} و سامان یزدان‌ستا^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

چکیده

با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد بر خصوصیات رشدی و اسانس گیاه بادرنبویه (*Melissa officinalis* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری بعد از ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد، ملاتونین، اسیدآمینو پرولین و اسید فولیک در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بالاترین محتوی کلروفیل (۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی نسبی آب برگ (۸۸/۱۲ درصد) و عملکرد ماده خشک (۷۹۳/۷۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، همچنین بالاترین درصد اسانس (۰/۸۱ درصد) و عملکرد اسانس (۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری بر درصد و عملکرد اسانس افزود. بالاترین محتوی فنل کل (۰/۵۰ میلی‌گرم اکی‌والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصاره) به تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اختصاص داشت. تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلاونوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی ملاتونین، اسیدآمینو پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند. بنابراین، محلول‌پاشی ملاتونین می‌تواند راهکاری برای افزایش خصوصیات کمی و کیفی بادرنبویه در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرولین، درصد اسانس، ماده خشک، ملاتونین

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره

برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. ایران از لحاظ آب‌وهوا، موقعیت جغرافیایی و زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌شود و در گذشته هم منبع تولید و مصرف گیاهان دارویی بوده است (Sultan et al., 2015). بادرنبویه (*Melissa officinalis* L.) یک گیاه دارویی چند ساله از خانواده نعنائیان^۳ است.

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.

(*- نویسنده مسئول: (Email: S.sharafi@iau. Mahabad.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159>

2017)، همچنین محرک‌های رشد بر روی متابولیسم گیاه اثر می‌گذارند و می‌توانند باعث اصلاح ساختار ریشه و افزایش توسعه ریشه شوند. یکی از انواع محرک‌های رشد گیاهی، اسیدهای آمینه هستند (Nardi et al., 2015). مهرآفرین و همکاران (Mehrafarin et al., 2015) نشان دادند که محتوی اسانس در گیاه بادرنجبویه در تیمار کاربرد اسیدآمینه (آمینولفورت و فسفوترن) افزایش یافت، همچنین بهبود درصد اسانس در اثر کاربرد اسیدهای آمینه (Aminolforte) در گیاهان دارویی بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

ملاتونین^۱ یک ماده با وزن مولکولی کم با یک حلقه ایندول در ساختار آن است. تربیتوفان پیش‌ساز بیوسنتز ملاتونین است و در همه موجودات زنده از باکتری گرفته تا پستانداران وجود دارد. سطح ملاتونین در گیاهان از یک‌گونه به گونه دیگر و همچنین در بین گونه‌های یک‌گونه متفاوت است (Arnao & Hernandez-Ruiz, 2019). نتایج به‌دست‌آمده در سال‌های اخیر قویاً نشان می‌دهد که ملاتونین می‌تواند ترکیبی امیدوارکننده برای کاهش تنش‌های محیطی، به‌ویژه کمبود آب باشد (Arnao Nawaz et al., 2019)؛ Heshmati et al., 2016). در مطالعه حشمتی و همکاران (Shi et al., 2016) مشاهده شد که محلول پاشی ملاتونین تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و محتوی فلاونوئید را در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) افزایش داد، آن‌ها اظهار داشتند محلول پاشی ملاتونین با کاهش شدت تنش به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیداتی خود، محیطی بدون تنش برای گیاه ایجاد کرده است تا نیازی به افزایش متابولیت‌هایی که به‌طور معمول در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند، نداشته باشد.

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و مواجهه این گیاهان با شدت‌های مختلفی از تنش کم‌آبی در استان آذربایجان غربی و به‌خصوص شهرستان مهاباد مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی مانند آمینواسید پرولین، ملاتونین و اسید فولیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و به‌خصوص درصد عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه در سطوح مختلف تنش کم‌آبی انجام شد.

این گیاه بومی نواحی ساحلی دریای مدیترانه تا ایران است و به‌طور گسترده در اروپای میانه و جنوبی، بالکان، ایران، آفریقای جنوبی، آمریکای شمالی، هند، اوکراین و... قفقاز و آسیای میانه کشت می‌شود، بادرنجبویه به‌طور کلی در طب سنتی برای درمان مشکلات گوارشی، درد و اختلالات روانی استفاده می‌شود، مهم‌ترین اجزای اسانس این گیاه ترانس-کاروتول، ایزوبورنئول، کارواکرول استات، سیترونلول هستند (Jamal Omid et al., 2018).

تنش خشکی یکی از جدی‌ترین و گسترده‌ترین مشکلاتی است که بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند، زیرا بر فیزیولوژی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. اثرات تنش خشکی به مدت، شدت و مرحله رشد و ظرفیت تحمل ژنتیکی گیاهان بستگی دارد که می‌تواند رشد گیاهان را کاهش دهد، به‌طوری‌که باعث تغییر ساختارهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و الگوی توزیع زیست‌توده یا حتی مرگ می‌شود (Gamze et al., 2005). تنش خشکی باعث آسیب اکسیداتیو با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها موجب مهار فتوسنتز می‌شود و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهد (Maksup et al., 2014). با این حال، کمبود آب یک تهدید جدی برای تولید بادرنجبویه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که باعث کاهش عملکرد جهانی محصول و همچنین تولید اسانس می‌شود (Ahmadi et al., 2019; Jamal Omid et al., 2018).

گیاهان از برخی استراتژی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای افزایش تحمل تنش و همچنین، تولید تعدادی ترکیب برای مقابله با شرایط تنش‌زا استفاده می‌کنند که برای درک بهتر مکانیسم‌های آن‌ها نیاز است که مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد (Yang et al., 2010). گزارش شده است که محتوای اسانس گیاه و اجزای آن تحت تأثیر عواملی مانند تنش خشکی و مصرف کود است (Amuamuha et al., 2012).

یکی از اهداف فیزیولوژی پیشرفته گیاهی، تشخیص ترکیبات کارآمد، اقتصادی و ارزان برای افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیر زنده است. محرک‌های رشد گیاهی قادر به تحریک رشد و توسعه گیاهی تحت شرایط بهینه و تنش هستند (Ronga et al., 2019). این مواد قادر به تنظیم و افزایش فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه نیز هستند. محرک‌های رشد در فیزیولوژی گیاه از راه‌های مختلف از جمله بهبود رشد محصول، عملکرد، کیفیت، جذب عناصر غذایی و تحمل به تنش‌های غیرزنده عمل می‌کنند (Yakhin et al.,

1- N-acetyl-5-methoxytryptamine

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد. محل آزمایش در طول جغرافیایی ۴۵° و ۴۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۱ دقیقه و ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع بود که از لحاظ اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور طبقه‌بندی شده است. بافت خاک محل آزمایش لومی رسی سیلت با مقدار pH برابر ۷/۵ بود، دیگر مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ قید گردیده است.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد که در آن، سطوح مختلف آبیاری شامل شرایط بدون تنش و آبیاری بعد از ۸۰ (شرایط متعارف آبیاری)، ۶۰ (تنش ملایم) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید کم آبی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد (محلول-پاشی آب مقطر) ملاتونین (غلظت ۱۰۰ میکرومولار) (Alyammahi & Gururani, 2020)، اسید آمینه پرولین (پنج در هزار) (Arab et al., 2017) و اسید فولیک (پنج در هزار) (Khan et al., 2022) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در اوایل بهار در زمینی که سال قبل به کشت گندم اختصاص داده شده بود، در این بررسی، مقدار نیاز آبی بادرنجبویه ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شد (Ghamarnia et al., 2015)، بنابراین، مقدار آب مصرفی برای تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب حدود ۱۱۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد.

عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام شد. کاشت بذور به صورت دستی و در عمق ۱/۵ سانتی‌متری خاک در اوایل فروردین (۱۰ فروردین ۱۴۰۱) انجام شد (Ahmadi et al., 2019)، در هر نقطه از محل کاشت سه تا چهار بذر قرار داده شدند و در مرحله سه تا چهاربرگی، زمانی که گیاه استقرار یافت، یک بوته باقی ماند. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کشت به طول دو متر و فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر بودند، فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (ابعاد هر کرت سه مترمربع) (Ahmadi et al., 2019)، جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله بین کرت‌ها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه در نظر گرفته شد، بر این اساس ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت زراعی خاک به

کمک دستگاه دیسک صفحه فشاری محاسبه و سطوح تنش ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشخص شد. به منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (TDR) مدل German, FM-Trime ساخت کشور آلمان استفاده شد که با آن درصد حجمی رطوبت در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک برآورد گردید. کلیه واحدهای آزمایشی تا مرحله چهار برگی که گیاه استقرار کامل یافت، به صورت یکسان آبیاری شدند و بعد از آن، اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبی بر اساس نقشه کاشت زمین انجام گرفت و اعمال تیمارهای آبیاری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ادامه یافت. با توجه به این نکته که روش آبیاری به صورت آبیاری قطره‌ای (با بازدهی آبیاری ۹۰ درصد) و نوار تیپ بود با توجه به مساحت هر واحد آزمایشی حجم آب مورد نیاز برای هر واحد آزمایشی برآورد شد و با نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز به دست آمد. محلول‌پاشی در سه مرحله شامل دو روز قبل از اعمال تنش کم‌آبی در مرحله سه تا پنج برگی گیاه در اوایل اردیبهشت، اواخر اردیبهشت و اواسط خرداد انجام گرفت. محلول‌پاشی با موتور پستی و در اوایل صبح، قبل از طلوع آفتاب انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات داشت؛ مانند کنترل علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به صورت یکسان برای کلیه واحدهای آزمایشی انجام شد.

پس از حذف حاشیه‌ها (یک متر از ابتدا و انتهای هر واحد آزمایشی)، در انتهای مرحله گل‌دهی (اواخر تیر و اوایل شهریور) نمونه‌برداری از کرت‌ها انجام شد و از هر کرت به طور تصادفی ۱۰ بوته برداشت شد. بوته‌های برداشت شده به مدت چند روز در دمای اتاق خشک شدند تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. سپس، بوته‌های چیده شده برای هر کرت جداگانه توزین شدند. محصول هر کرت به طور جداگانه داخل کیسه‌های شماره‌گذاری شده جمع‌آوری شد. برداشت کلی بعد از برداشت نمونه‌های اصلی انجام گردید. در این بررسی، خصوصیات مورفولوژیک (وزن خشک) و بیوشیمیایی (اسانس، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل، محتوی فنل و فلاونوئید) بادرنجبویه اندازه‌گیری شدند.

پرولین برگ طبق روش بیتس (Bates, 1973) اندازه‌گیری شد، برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل دو گرم از برگ جوان گیاه با استن ۸۰ درصد همگن و صاف گردید و سپس به حجم نهایی عصاره به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. مقدار کلروفیل با تعیین جذب عصاره در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از روش آرون (Arnon

گزارش گردید. فلاونوئید به‌روش نورسنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گرفت. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش دانکن (LSR) و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

(et al., 1976) محاسبه گردید. استخراج اسانس به‌روش کلونجر (Clevenger et al., 1928) و با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. عملکرد اسانس با ضرب درصد اسانس در عملکرد ماده خشک محاسبه شد. سنجش محتوی فنل کل به‌روش ویلیوگلو و همکاران (Velioğlu et al., 1998) انجام گرفت. برای محاسبه فنل کل از منحنی استاندارد اسید گالیک استفاده گردید. محتوای فنل کل بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Physical and chemical analysis of the experimental soil

پارامتر Parameters	درصد اشباع Sp %	هدایت الکتریکی EC (dS.m)	ظرفیت اشباع W.P	آهک T. N. V اسیدته pH %	ماده آلی O.C%	نیترژن N%	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Texture	
Value	44	1.39	12.3	7.5	4.55	1.23	0.14	14.50	448	15	55	28	Silt clay loam

برگ کاست (Mohasseli et al., 2020). یکی از دلایل کاهش محتوی کلروفیل‌ها تحت شرایط تنش کم‌آبی، رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در شرایط تنش کم‌آبی است که موجب می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه، بیوسنتز کلروفیل با کاهش روبرو شود (Ramak et al., 2014). نتایج مشابهی نیز از کاهش محتوی کلروفیل برگ برای گونه‌های *Thymus kotschyanus* و *Melissa officinalis* در معرض تنش خشکی گزارش شده است (Jamal Omid et al., 2018; Mohasseli & Sadeghi, 2019).

با محلول‌پاشی ملاتونین، رنگدانه‌های کلروفیل حفظ شده و فتوسنتز در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش کم‌آبی افزایش خواهد یافت (Cui et al., 2017). در پژوهشی بر روی ذرت (*Zea mays*) (Ahmad et al., 2019) گزارش شد که ملاتونین موجب افزایش پایداری کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاه بادرنجبویه (*Lemon balm*) شده است. در تحقیقی در گیاه بادرنجبویه گزارش شد که با تشدید تنش کم‌آبی از محتوی کلروفیل برگ کاسته شد، اما محلول‌پاشی سطح ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین در کلیه سطوح آبیاری بر محتوی کلروفیل برگ افزود (Kabiri et al., 2018).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و محلول‌پاشی مواد محرک رشد بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بین تیمارهای اثر متقابل از لحاظ محتوی کلروفیل، محتوی پرولین، درصد اسانس، عملکرد اسانس و محتوی فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، عملکرد ماده خشک، محتوی قندهای محلول و محتوی فنل کل در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲).

محتوی کلروفیل کل

گیاهان محلول‌پاشی شده با ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، بالاترین محتوی کلروفیل کل را تولید کردند، درحالی‌که تیمار عدم محلول‌پاشی و همچنین، محلول‌پاشی پرولین، هر دو با متوسط ۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، کمترین محتوی کلروفیل کل را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). نتایج همچنین بیانگر آن بود که تیمار محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری توانست اثر مثبتی بر افزایش محتوی کلروفیل کل داشته باشد و محتوی این ماده را در مقایسه با شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در تحقیقی بر روی بادرنجبویه، تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از محتوی کلروفیل

جدول ۲ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در بادرنجبویه، تحت تأثیر آبیاری و محلول پاشی محرک‌های رشد.
Table 2- Variance analysis (mean square) of studied traits in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		کلروفیل کل Total chlorophyll	نسبی آب برگ Relative water content	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	محتوی پرولین Proline content	قند محلول Soluble sugars	درصد اسانس Essential oil	عملکرد اسانس Essential oil yield	فنل کل Total phenol	فلاونوئید Flanoid
تکرار Replication	3	0.11	43.19	2021.00	0.10	0.003	0.013	0.77	0.36	0.00006
آبیاری Irrigation (I)	2	3.90**	1979.69**	14524.2**	1.64**	9.25**	0.97**	36.06**	925.17**	0.0027**
خطای اول Ea	6	1.01	59.20	668.11	0.10	0.027	0.003	0.14	2.70	0.00006
محرک رشد Growth Stimulants (GS)	3	1.27**	626.52**	20901.5**	1.38**	0.27**	0.118**	17.61**	27.76**	0.00036**
I × GS	6	0.31**	188.89*	1077.5*	0.39**	0.08*	0.044**	3.02**	8.49*	0.00006 ^{ns}
خطای دو Eb	27	0.04	175.74	397.7	0.10	0.02	0.123	0.42	2.84	0.00004
ضریب تغییرات (%) CV (%)		17.20	12.75	11.23	17.54	5.98	21.36	12.56	3.98	14.80

ns * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
**, * and ns: significant at 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

محتوی نسبی آب برگ

گیاهان رشد کرده تحت تیمار محلول پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۸۸/۱۲ درصد بالاترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد، اختلاف بین این تیمار و تیمار محلول پاشی اسید فولیک تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (با متوسط ۵۱/۸۷ درصد) (که کمترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داداده بود) معنی دار بود (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که در دو شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، محلول پاشی ملاتونین و اسید آمینه پرولین توانست در مقایسه با شاهد مربوطه به صورت معنی داری محتوی نسبی آب برگ را افزایش دهد (جدول ۳). با تشدید تنش کم آبی، جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر، این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو، با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). کاهش محتوی نسبی آب در گیاه بادرنجبویه در مطالعات دیگری نیز

در این پژوهش، محلول پاشی پرولین باعث افزایش محتوی کلروفیل در بادرنجبویه در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی شد که در واقع، محلول پاشی پرولین باعث افزایش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (Ali et al., 2007). همچنین، محلول پاشی پرولین در گیاهان باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و میزان دی‌اکسید کربن را در فضای روزنه افزایش می‌دهد که به دنبال آن، میزان فتوسنتز گیاه افزایش یافته و افزایش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Ali et al., 2007). بهبود محتوی کلروفیل برگ در اثر کاربرد اسیدهای آمینه در مطالعات دیگری نیز ثابت شده است (Mehrafarin et al., 2015). محتوی کلروفیل منجر به تولید انرژی بالا و در نهایت، افزایش کیفیت و کمیت عملکرد گیاه خواهد شد (Li et al., 2000). گزارش شده است که محتوای کلروفیل a و b با استفاده از اسیدهای آمینه افزایش یافت (Shehata et al., 2011).

بادرنجبویه گزارش شد که تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین هم تحت شرایط آبیاری نرمال و هم تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد ماده خشک را افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

در این مطالعه، کاربرد اسیدآمینه پرولین نیز موجب بهبود عملکرد ماده خشک گیاه بادرنجبویه شد، نتایج مشابهی توسط رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2013)، روی گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه (Mehrafarin et al., 2015) گزارش شده است. اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازها و اجزای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها در نظر گرفته می‌شوند که برای تحریک رشد سلولی مهم هستند. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه‌ای که به‌عنوان کود در گیاهان استفاده می‌شوند، فرایندهای تنفس گیاه، فتوسنتز و چرخه آب را ارتقا می‌دهند. علاوه‌براین، اسیدهای آمینه غلظت اسید آسکوربیک را افزایش داده و سنتز پروتئین را تسریع کرده و در نتیجه، رشد گیاه و تشکیل ماده خشک را در گیاهان افزایش می‌دهند (Dromantiene et al., 2013). گزارش شده است که اسیدآمینه با سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک و کاهش تخریب آن‌ها، باعث بهبود عملکرد گیاه کرفس کوهی (*Celeriac plant*) در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Salwa & Osama, 2014). در مطالعه‌ای بر روی سویا (*Glycine max*) مشاهده شد که تیمارهای اسیدهای آمینه به‌طور قابل توجهی صفات رشد اندام هوایی و وزن تر و همچنین، عملکرد غلاف را بهبود می‌بخشد (Saeed et al., 2005). در این آزمایش مشاهده شد که اسید فولیک عملکرد ماده خشک گیاه را بهبود بخشید، اظهار شده است که مصرف اسید فولیک به‌دلیل وجود عنصر آهن در ساختمان آن می‌تواند با تأمین این عنصر از طریق برگ عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Nardi et al., 2002). همچنین، محلول‌پاشی برگ اسیدهای آمینه، بازده میزان جذب نیتروژن از خاک را توسط گیاه افزایش داده و تا حدی موجب کاهش آبشویی نیتروژن از خاک می‌شود (Liu et al., 2007). به‌طور کلی، اسیدهای آمینه موادی هستند که موجب تحریک متابولیسم و فرایندهای سوخت‌وساز متابولیکی در جهت افزایش کارایی گیاهان در جهت استفاده از عوامل محیطی می‌شوند (Faten et al., 2010).

محتوی پرولین

مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل نشان داد، اگر چه محتوی پرولین در گیاهان محلول‌پاشی شده با پرولین تحت شرایط آبیاری ۴۰

به اثبات رسیده است، در آن مطالعه، محلول‌پاشی پلورامین محتوی آب نسبی برگ را تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

عملکرد ماده خشک

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، محلول‌پاشی با ملاتونین و اسیدآمینه پرولین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با متوسط ۷۹۳/۷۹ و ۷۴۸/۹۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲۹۳/۴۷ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد ماده خشک را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در این بررسی، محلول‌پاشی ملاتونین و آمینواسید پرولین در هر سه شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط تنش ملایم و شدید، عملکرد ماده خشک را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد. افزایش عملکرد ماده خشک در تیمارهای محلول‌پاشی تحت شرایط نرمال و تنش‌های کم‌آبی را می‌توان به اثر این تیمارها در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوی نسبی آب برگ نسبت داد، بهبود این خصوصیات موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه، افزایش عملکرد ماده خشک گیاه خواهد شد. نشان داده شده است که تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری موجب کاهش ماده خشک کل در گیاه بادرنجبویه شد، اما پس از محلول‌پاشی پلورامین بهبود قابل توجهی در عملکرد ماده خشک این گیاه مشاهده شد (Mohammadi et al., 2021). در تحقیقی دیگر، بیشترین میانگین عملکرد ماده خشک در بادرنجبویه به تیمار آبیاری نرمال (بدون تنش) اختصاص داشت (Gordanic et al., 2021).

در این مطالعه، عملکرد ماده خشک واکنش مثبتی به محلول‌پاشی ملاتونین نشان داد، گزارش شده است که در گیاهانی که با ملاتونین محلول‌پاشی شده‌اند، محتوی نیتروژن و فسفر در برگ در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال افزایش قابل توجهی نشان داده است (Al-Huqail et al., 2020). همچنین گزارش شده است که میزان تحمل گیاه به تنش کم‌آبی در تیمارهای کاربرد ملاتونین به‌واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی این ماده است که به‌طور مستقیم با اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن با تحریک افزایش تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مقابله می‌کند و در نتیجه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود می‌بخشد (Zahedi et al., 2021). در تحقیقی بر روی گیاه

در این بررسی، محلول‌پاشی پرولین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین درون سلولی شد. نشان داده شده است که پرولین نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش دارد. نتایج پژوهش‌های محققین مختلف در زمینه محلول‌پاشی پرولین در گیاهان گل رز (*Rosa hybrida*) (Kumar et al., 2010) و یونجه (*Medicago sativa*) (Hayat et al., 2012) نشان دادند که مقدار پرولین در اثر تیمارهای محلول‌پاشی افزایش نشان داده است.

محتوی قندهای محلول

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی قند محلول نشان داد که محلول‌پاشی مواد ملاتونین، پرولین و اسید فولیک تحت تیمار آبیاری بعد از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۵/۰۳، ۵/۰۴ و ۴/۹۱ میلی‌گرم بر لیتر، بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار آبیاری ۸۰ درصد با متوسط ۳/۲۲ درصد، کمترین محتوی قند محلول را به خود اختصاص دادند. در این آزمایش، اگر چه تنش کم‌آبی محتوی قندهای محلول را افزایش داد؛ اما محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص ملاتونین در هر سطح خشکی به‌صورت معنی‌داری بر محتوی این ماده در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی افزود (جدول ۳). یکی از راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش کم‌آبی، افزایش محتوی اسمولیت‌های سازگار مانند قند محلول است، با افزایش محتوی قندهای محلول پتانسیل اسمزی داخل گیاه و سلول منفی‌تر از محیط خاک شده و گیاه می‌تواند از طریق ریشه آب جذب کند. مطالعه تور و همکاران (Toor et al., 2006)، کاربرد کودهای آلی (کود دامی) موجب افزایش میزان قند و کربن در گیاه گوجه‌فرنگی شد. همچنین گزارش شده است که اسید فولیک مشابه هورمون جیبرلین، آلفا آمیلاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیزکننده را تلقیح می‌کند و موجب افزایش کربوهیدرات‌ها و سطح آنتوسیانین می‌شود (Remon et al., 2000). در مطالعه حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2021)، محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محتوی قندهای را در گیاه گلرنگ افزایش داد.

درصد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۰/۸۱ و ۰/۸۷

درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲/۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص داد، اما اختلاف بین این تیمار و تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین و اسید فولیک تحت تیمار آبیاری ۴۰ درصد و همچنین محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود، کمترین محتوی پرولین نیز با متوسط ۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد، که با تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمارهای آبیاری بعد از ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی از لحاظ محتوی پرولین در یک سطح قرار داشتند و اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود. نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص پرولین، مقدار تولید پرولین را تشدید کرد (جدول ۳).

P5CS، یک ژن مهم درگیر در بیوسنتز پرولین است که بیان آن تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف تسریع می‌شود (Nasirzadeh et al., 2021). گزارش شده است که تحت شرایط تنش کم‌آبی پرولین و قندهای محلول در گیاهان، نقش تنظیم اسمزی، انتقال سیگنال، حفظ تعادل ردوکس و ثبات ساختار سلولی را در گیاهان را بر عهده دارند (Ghafari et al., 2019). چندین مطالعه نشان داده‌اند که پرولین و قندهای محلول در تحمل به خشکی و سازگاری در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی نقش دارند (Abid et al., 2018). در مطالعه نوبل آموا و سیو (Noble Amoah et al., 2021) با تشدید تنش کم‌آبی بر محتوی پرولین برگ گندم (*Triticum aestivum*) افزوده شد. در این بررسی، تیمار ملاتونین اثر مثبتی بر افزایش محتوی ملاتونین در سطوح مختلف تنش کم‌آبی داشت. ملاتونین ممکن است، سطح پرولین را با القای بیان پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز ۱ (P5CS1)، آنزیمی که در بیوسنتز پرولین دخیل است، افزایش دهد (Alyammahi & Gururani, 2020). در تحقیقی بر روی ذرت، بیشترین محتوی پرولین برگ به شرایط تنش شدید خشکی (۴۰-۴۵٪ FC) و تیمار با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین اختصاص یافت (Ahmad et al., 2019).

تأثیر مثبت اسیدآمین به محتوی پرولین ممکن است به دلیل نقش آن در ساخت DNA، RNA و پروتئین مورد نیاز برای تشکیل آنزیم-هایی باشد که به شدت مورد نیاز برای فعالیت حیاتی و افزایش تقسیم سلولی است که منجر به افزایش این فعالیت این آنزیم تحت شرایط تنش باشد (Baqir & AL-Naqeeb, 2019).

به طوری که محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه سطح آبیاری، عملکرد اسانس را به صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۳).

با توجه به اینکه عملکرد اسانس از دو جزء وزن ماده خشک و درصد اسانس تشکیل شده است، بهبود عملکرد اسانس در تیمارهای محلول‌پاشی را می‌توان به اثر مثبت این تیمارها بر اجزای عملکرد اسانس نسبت داد. اگرچه بیوسنتز اسانس در گیاهان تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است، اما عوامل محیطی نیز تأثیر بسزایی در تولید این محصولات دارند (Sadeghi et al., 2014). گزارش شده است که تمام اسانس‌های اصلی بادرنجبویه در ابتدا با قرار گرفتن در معرض تنش خفیف آبی (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به طور معنی‌داری افزایش یافتند، اما کاهش قابل توجهی در این صفت تحت شرایط تنش خشکی (آبیاری تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) گزارش شد (Mohasseli et al., 2020). کاهش محتوای اسانس در نتیجه کم‌آبی شدید در بابونه (*Matricaria chamomilla*) مشاهده شده است (Razmjoo et al., 2008). درحالی‌که سوتوماپور و همکاران (Sotomayor et al., 2004) گزارش کردند که حداکثر تولید ماده خشک گیاهی و عملکرد اسانس در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) در تیمار تنش خشکی ملایم به دست آمد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. با این حال، بسته به گونه گیاهی، تنش خشکی می‌تواند اثرات افزایشی و کاهش‌دهنده داشته و یا حتی تأثیری بر میزان تولید اسانس نداشته باشد. در تحقیقی، تنش خشکی ملایم باعث افزایش مقدار اسانس شد، اما با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای اسانس به طور معنی‌داری کاهش یافت (Gholinezhad, 2017). مطابق نتایج تحقیق حاضر، علوی سامانی و همکاران (Alavi-Samani et al., 2015) همچنین گزارش کردند که تنش خشکی متوسط منجر به افزایش عملکرد اسانس آویشن شد. در تحقیقی، اثر تنش کم‌آبی قبل از برداشت بر خصوصیات رویشی و اسانس برگ گیاه بادرنجبویه بررسی و مشاهده شد که تنش آبی اثر معنی‌داری بر محتوای اسانس در برگ‌های گیاه داشته است. در این مطالعه، بیشترین میانگین عملکرد اسانس در تیمار تنش ملایم کم‌آبی به دست آمد (Gordanic et al., 2021). گزارش شده است که تنش شدید خشکی باعث کاهش زیست‌توده گیاهی و عملکرد اسانس شوید (*Anethum graveolens*) می‌شود (Amiri et al., 2014) که این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. تنش خشکی ناشی از کاهش فتوسنتز گیاهی باعث کاهش تولید ماده

درصد، بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند، شاهد و همچنین محلول‌پاشی اسیدآمینو پرولین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت هر دو با متوسط ۰/۲۷ درصد، کمترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند، هر چند اختلاف بین این تیمار و تیمارهای شاهد محلول‌پاشی، محلول‌پاشی آمینواسید پرولین و اسید فولیک تحت تیمار آبیاری بعد از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر درصد اسانس معنی‌دار نبود. در این بررسی، اگر چه با تشدید تنش کم‌آبی بر درصد اسانس افزوده شد؛ اما محلول‌پاشی مواد محرک رشد به خصوص ملاتونین در هر سه سطح آبیاری اثر مثبتی بر سنتز اسانس داشته و مقدار تولید این متابولیت را افزایش داد. تنش خشکی سبب افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی مختلف می‌شود، زیرا تحت تأثیر تنش خشکی مقدار فنل‌ها و فلاونوئیدها که از اجزای تشکیل‌دهنده اسانس‌های گیاهان دارویی هستند، افزایش می‌یابد (Khorasaninejad et al., 2011). بهبود درصد اسانس در این آزمایش، ممکن است به دلیل اثر مثبت این تیمارها بر سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاه باشند که در بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی در گیاهان نقش دارند (Nguyen & Niemeyer, 2010). در تحقیقی، تنش آبی بر محتوای اسانس برگ اثر مثبت داشت، اما بر عملکرد قسمت هوایی بادرنجبویه و خصوصیات مورفولوژیکی اثر منفی نشان داد (Gordanic et al., 2021). گزارش شده است که محتوای سیترونال، نرال، دلتاکادین، ژرماکرین و ژرانیال در پاسخ به کاربرد اسید آمینو آمینولفورت و فسفوترن در بادرنجبویه افزایش یافت (Mehrafarin et al., 2015). محتوای اسانس نیز با استفاده از کادوستیم و کود شیمیایی افزایش یافت. بهبود درصد اسانس در اثر کاربرد اسیدهای آمینو (Aminolforte) در گیاهان دارویی بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با متوسط ۶/۴۶ و ۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۰/۸۸ کیلوگرم در هکتار، کمترین مقدار عملکرد اسانس را به خود اختصاص دادند، در این بررسی عملکرد اسانس، واکنش مثبتی به محلول‌پاشی مواد محرک رشد نشان داد،

دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه محتوی فنل را در آویشن افزایش داد (Reda et al., 2005). افزایش محتوی فنل در اثر کاربرد اسید فولیک بر روی گیاه سرخار گل (*Echinacea angustifolia*) (Agha Alikhani et al., 2013) و کتان (*Linum usitatissimum*) گزارش شده است (Bakry et al., 2013). افزایش محتوی ترکیبات فنلی با افزایش میزان کربوهیدرات‌ها در گیاه ارتباط مستقیم دارد، اسکلت مورد نیاز برای سنتز ترکیبات فنلی کربوهیدرات‌ها هستند، لذا افزایش در مقدار آن‌ها به‌عنوان افزایش پیش‌ماده برای ترکیبات فنلی است (Nguyen & Niemeyer, 2010).

محتوی فلاونوئید کل

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری نشان داد که با تشدید تنش کم آبی بر محتوی فلاونوئید برگ افزوده شد، در این مطالعه، تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلاونوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد (شکل ۱). یکی از فعال‌ترین متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، فلاونوئیدها هستند. آن‌ها یک سیستم آنتی‌اکسیدانی ثانویه را تشکیل می‌دهند که در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود (Agati et al., 2012). این مواد می‌توانند با مکان‌یابی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد قبل از آسیب رساندن به سلول‌ها، به عنوان جاذب ROS عمل کنند و بنابراین، برای گیاهان تحت شرایط محیطی نامطلوب مهم هستند (Løvdal et al., 2010). افزایش قابل توجه در سطح فلاونوئیدها به‌دنبال تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند زخم، خشکسالی، سمیت فلزات و تنش کمبود عناصر غذایی مشاهده شده است (Agati et al., 2012).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسید آمینه پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند (شکل ۲). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید فولیک از طریق سازوکارهایی نظیر انحلال ویتامین‌ها، ایزو آنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی‌بیوتیک‌های طبیعی، سنتز آنزیم فنیل‌آلانین آمونالیاز را فعال و در نهایت، موجب افزایش محتوی فلاونوئید در گیاه می‌شود (Salehi et al., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی (پرولین به‌صورت معنی‌داری بر محتوی فلاونوئید در گیاه مرزه (*Satureia montana*) (Mohammadi Khalifelouiy et al., 2020).

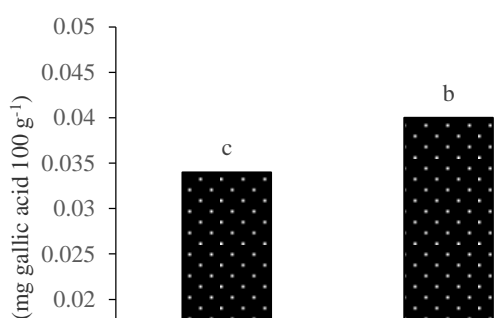
خشک و عملکرد دانه شده و در نتیجه، عملکرد اسانس نیز کاهش می‌یابد (Gholinezhad, 2017).

محتوی فنل کل

نتایج مقایسه میانگین فنل کل تیمارهای برهم‌کنش آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسید فولیک و آمینو اسید پرولین تحت تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۰/۵۰ و ۰/۵۰ و ۰/۴۹ میلی‌گرم اکی والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصاره، بالاترین و شاهد محلول-پاشی و اسید فولیک تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۰/۳۲ و ۰/۳۳ میلی‌گرم اکی والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصاره، کمترین محتوی فنل کل را به خود اختصاص داد. در این بررسی، تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص ملاتونین، اثر هم‌افزایی بر افزایش محتوی فنل کل داشت (جدول ۳). در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی پلورامین و تلقیح *P. fluorescens* PF-135 به‌دلیل افزایش RWC، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوی مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن منجر به تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش کمبود آب در گیاه شوید (*Anethum graveolens*) شد. علاوه‌براین، تنش کمبود آب منجر به افزایش اسید کافئیک، رزمارینیک اسید، محتوی اسانس، پرولین و محتوی قند کل شد و استفاده از پلورامین و تلقیح *P. fluorescens* PF-135 کاهش محتوی این ترکیبات را نشان داد (Amiri et al., 2014).

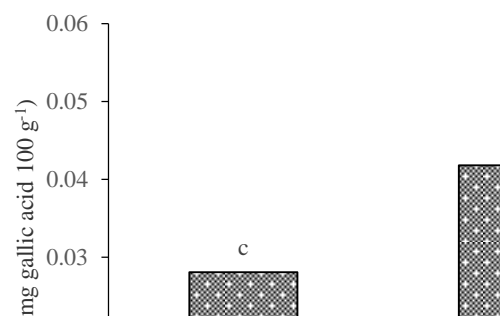
به نظر می‌رسد که کاربرد ملاتونین با افزایش سطح رونوشت برداری و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توانایی گیاه را برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را بهبود می‌بخشد، نشان داده شده است که کاربرد ملاتونین به‌صورت قابل توجهی تولید پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل را کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2014). یانگ و همکاران (Yang et al., 2018) گزارش کردند که کاربرد ملاتونین به‌صورت اسپری و یا همراه با آب آبیاری باعث کاهش خسارت به سیستم فتوسنتزی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) می‌شود.

در آزمایشی بر روی گیاه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) مشاهده شد که کاربرد اسیدهای آمینه، محتوی کلروفیل برگ را در این گیاه افزایش داد (Soltani et al., 2017). همچنین در تحقیقی



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح آبیاری از لحاظ اثر بر محتوی فلاونوئید

Fig. 1- Mean comparison of irrigation treatments in terms of flavonoid content



شکل ۲- مقایسه میانگین تیمارهای محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی فلاونوئید

Fig. 2- Mean comparison of growth stimulants treatments in terms of flavonoid content

جدول ۳-مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در بادرنجبویه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محرک های رشد

Table 3- mean comparison of measured characteristics in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

آبیاری Irrigation	محرک رشد Growth stimulants	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	محتوی نسبی آب برگ Relative water content (%)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	محتوی پروبلین Proline content (mg.g ⁻¹ FW)	قند محلول Soluble sugars (mg.l ⁻¹)	درصد اسانس essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)	فنل کل Total phenol (mg gallic acid.100 g ⁻¹)
آبیاری بعد از ۸۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 80% FC	شاهد Control	1.37cd	70.00cd	502.86ef	1.017e	3.22h	0.275e	1.36ef	0.32h
	ملاتونین Melatonin	2.25a	88.12a	793.79a	1.407de	3.59f	0.450d	3.53b	0.35f
	آمینو اسید Amino acid	1.90b	84.37ab	748.96ab	1.700cd	3.53fg	0.275e	2.06de	0.35fg
	فولیک اسید Folic acid	1.20de	73.12bc	559.61de	2.027bc	3.33gh	0.400de	2.27d	0.33gh
آبیاری بعد از ۶۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 60% FC	شاهد Control	1.05efg	58.75de	384.59g	1.830bcd	4.03e	0.687b	2.61cd	0.40e
	ملاتونین Melatonin	1.95b	75.00bc	665.92bc	1.457de	4.59c	0.810a	6.46a	0.45c
	آمینو اسید Amino acid	1.55c	80.62abc	679.44bc	1.830bcd	4.49cd	0.875a	6.46a	0.44cd
	فولیک اسید Folic acid	1.12def	70.00cd	558.21de	2.297ab	4.29d	0.600bc	3.39bc	0.42d
آبیاری بعد از ۴۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 40% FC	شاهد Control	0.55h	60.00de	293.47h	1.500d	5.03a	0.300e	0.88f	0.47.bc
	ملاتونین Melatonin	0.90fg	56.25e	630.97cd	2.272ab	5.03a	0.525cd	3.32bc	0.50a
	آمینو اسید Amino acid	0.55h	58.25de	458.66fg	2.685a	4.91ab	0.400de	1.83de	0.49ab
	فولیک اسید Folic acid	0.80gh	51.87e	463.31fg	2.257ab	4.71bc	0.412de	1.91de	0.50a

در هر ستون میانگین دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Means in each column, followed by a similar letter(s), are not significantly different at the 5% probability level.

نتیجه گیری

اظهار داشت که تحت شرایط آبیاری و محلول پاشی ملاتونین، سنتز متابولیت‌های ثانویه و اسانس تسریع شده و موجب تولید حداکثر عملکرد اسانس شده است، بنابراین محلول پاشی ملاتونین و تنش ملایم کم‌آبی می‌تواند جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی در بادرنجبویه قابل توصیه باشد.

با توجه به اینکه مهم‌ترین صفت در گیاهان دارویی عملکرد اسانس است، در این بررسی بالاترین عملکرد اسانس تحت شرایط تنش کم‌آبی ملایم و محلول پاشی ملاتونین و اسیدآمینه پرولین به دست آمد، همچنین محلول پاشی ملاتونین در هر سه شرایط آبیاری عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش داد، می‌توان

References

1. Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L., & Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8, 4615-4625. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
2. Agha Alikhani, M., Iranpour, A., & Wind turbine, M. (2013). Changes in the crop and phytochemical yield of the herb, infected with urea and biofertilizer. *Phylum of Herbs*, 46(2), 125-134.
3. Ahmad, S., Kamran, M., Ding, R., Meng, X., Wang, H., Ahmad, I., Fahad, S., & Han, Q. (2019). Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. *Peer Journal*, 7, 7793-7808. <https://doi.org/DOI:10.7717/peerj.7793>
4. Ahmadi, T., Shabani, L., & Sabzalian, M.R. (2019). Improvement in drought tolerance of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pretreatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 548-557. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.021>
5. Alavi-Samani, S.M., Kachouei, M.A., & Pirbalouti, A.G. (2015). Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(4), 411-420.
6. Al-Huqail, A.A., Khan, M.N., Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Al-Huqail, A.A., AlZuair, F.M., Al-Muwayhi, M.A., Marraiki, N., & Al-Humaid, L.A. (2021). Exogenous melatonin mitigates boron toxicity in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 1-12.
7. Ali, Q., Ashraf, M., & Athar, H.R. (2007). Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 39, 1133-1144.
8. Alyammahi, O., Gururani, M.A. (2020). Chlorophyll-a fluorescence analysis reveals differential response of photosynthetic machinery in melatonin-treated oat plants exposed to osmotic stress. *Agronomy*, 10, 1520-1539.
9. Amiri, H., Emami, H., & Abdollahi, S.F. (2014). Effects of water stress on the quantity and quality of essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.). *Plant Process and Function*, 3(10), 143-149.
10. Amuamuha, L.A., Pirezad, A.R., & Hadi, H. (2012). Effect of varying concentrations and time of nano iron foliar application on the yield and essential oil of Pot marigold. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(10), 2085-2090.
11. Arab S., Firoozabadi M., Gholami A., Aghari H.R., & Rahimi M. (2017). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside associating on protein content, grain yield and some traits of safflower under irrigation stress. *Journal of Crop Production*, 9(1), 69-87. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2957>
12. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Role of melatonin to enhance phytoremediation capacity. *Applied Sciences*, 9, 5293-5305. <https://doi.org/10.3390/app9245293>
13. Arnon, A. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
14. Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
15. Bakry, A.B., Mervat, S.H., Sadak, H.T., Moamen, E.M., & Abd, E.L. (2013). Influence of humic acid and organic fertilizer on growth, chemical constituents, yield and quality of two flax seed cultivars grown under newly reclaimed sandy soils. *International Journal of Academic Research*, 5(5), 125-134.

16. Baqir, H.A., & AL-Naqeeb, M.A.S. (2019). Effect of some amino acids on tillering and yield of three bread wheat cultivars. *Iraqi Journal of Agriculture Sciences*, 50, 20-30.
17. Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for the determination of volatile oil, *Journal of Pharmaceutical*, 17, 345-349
18. Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C., & Xi, Y. (2017). Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.014>
19. Donghong, W., Qinghua, S., Xiufeng, W., Min, W., Jinyu, H., Jun, L., & Fengjuan, Y. (2010). Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). *Biology and Fertility of Soils*, 46, 689-696.
20. Dromantiene, R., Pranckietiene, I., Sidlauskas, G., & Pranckietis, V. (2013). Changes in technological properties of common wheat (*Triticum aestivum* L.) grain as influenced by amino acid fertilizers. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100(1), 57-62.
21. Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., & Mahmoud, A.R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants of growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 6(5), 583-588.
22. Gamze, O., Mehmet, D.K., & Mehmet A. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 237-242
23. Ghafari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 23-34.
24. Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., & Arj, I. (2015). Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) water requirement, crop coefficients determination and SIMDualKc model implementing. *European Journal of Medicinal Plants*, 5(3), 281-296.
25. Ghafoor, R., Akram, N.A., Rashid, M., Ashraf, M., Iqbal, M., & Lixin, Z. (2019). Exogenously applied proline induced changes in key anatomical features and physio-biochemical attributes in water stressed oat (*Avena sativa* L.) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(5), 1121-1135. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00683-3>. Epub 2019 Jul 15. PMID: 31564776; PMCID: PMC6745592.
26. Gholinezhad, E. (2017). Effect of drought stress and Fe Nano-fertilizer on seed yield, morphological traits, essential oil percentage and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). *TEOP*, 20(4), 1006-1017. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1362999>
27. Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Fazeli, F., Qaderi, A., & Zarinpanjeh N. (2011). Effect of biostimulators compounds on quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Seasonal Publication of Medicinal Plants*, 8(1), 195-208. 41.
28. Gordanic, S., Radanovic, D., Lukic, M., Mrđan, S., Mikic, S., Prijic, Z., & Markovic, T. (2021). Influence of water stress prior to harvest on yield and essential oil content of pot grown lemon balm. *Natural Medicinal Materials*, 5, 54-67. <http://dx.doi.org/10.5937/leksir2141062G>
29. Hargreaves, J.C., & Warman, P.R. (2009). The effects of municipal solid waste compost and compost tea on mineral element uptake and fruit quality of strawberries. *Compost Science and Utilization*, 17(2), 85-94
30. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling and Behavior*, 7, 1456-1466.
31. Heshmati, S., Akbari, G. A., Soltani, E., Amini, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the photosynthetic pigments and phenolic compounds of safflower in response to foliar application of melatonin under water deficit condition. *Plant Process and Function*, 10 (41), 279-294. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.14.4>
32. Jamal Omid, F., Mohajjel Shoja, H., & Sariri, R. (2018). Effect of water-deficit stress on secondary metabolites of *Melissa officinalis* L.: Role of exogenous salicylic acid. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16 (2), 121-134.
33. Kabiri, R., Hatami, A., Oloumi, B., & Naghizadeh, M. (2018). Foliar application of melatonin induces tolerance to drought stress in Moldavian balm plants (*Dracocephalum moldavica*) through regulating the antioxidant system. *Folia Horticulturae*, 30(1), 155-167. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0016>
34. Khan, M.T., Ahmed, S., Sardar, R., Shareef, M., Abbasi, A., Mohiuddin, M., Ercisli, S., Fiaz, S., Marc, R.A.,

- Attia, K., Khan, N., & Golokhvast, K.S. (2022) Impression of foliar-applied folic acid on coriander (*Coriandrum sativum* L.) to regulate aerial growth, biochemical activity, and essential oil profiling under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1005710. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1005710>
35. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., & halighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(22), 5360-5365.
36. Kumar, N., Pal, M., Singh, A., Sairam, R.K., & Srivasatava, G.C. (2010). Exogenous proline alleviates oxidative stress and increase vase life in rose (*Rosa hybrida* L. Grand Gala). *Scientia Horticulturae*, 127, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.009>
37. Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H., & Lee, K.S. (2007). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 269-281
38. Maksup, S., Roytrakul, S., & Supaibulwatana K. (2014). Physiological and comparative proteomic analyses of Thai jasmine rice and two check cultivars in response to drought stress. *Journal of Plant Interactions*, 9, 43-55.
39. Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A.R., Khadivi, A., & Akramian, M. (2020). The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). *The Journal of Plant Research*, 32(4), 925-940. (In Persian)
40. Mohammadi, H., Saeedi, S., Hazrati, S., & Brestic, M. (2021). Physiological and phytochemical responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to pluramin application and inoculation with *Pseudomonas fluorescens* PF-135 under water-deficit stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 68, 909-922
41. Mohasseli, V., & Sadeghi, S. (2019). Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant species of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, 130, 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.058>
42. Mohasseli, V., Farbood, F., & Moradi, A. (2020). Antioxidant defense and metabolic responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to Fe-nano-particles under reduced irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 149, 112338. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112338>
43. Munns, R., James, R.A., & Lauchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, 57, 1025 -1043.
44. Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2015). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. 73, 18-23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
45. Nguyen, P.H.M., Kwee, E.M., & Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, 123(4), 1235-1241
46. Noble Amoah, J., & Seo, W.Y. (2021). Effect of progressive drought stress on physio-biochemical responses and gene expression patterns in wheat. *Biotechnology*, 11, 440-428.
47. Rahimi, A., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., & Khalighi-Sigaroodi, F. (2013). Effects of biostimulators and bio-fertilizers on morphological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Annals of Applied Biology Research*, 4 (5), 146 - 151.
48. Ramak, M., Khavari Nejad, R., Hidari Sharifabad, H., Rafiee, M., & Khademi, K. (2014). The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species. *Iranian Journal of Rangelands Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 14(2), 91-80. (In Persian with English abstract)
49. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., & Sabzalian, M.R. (2008). Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10, 451-454.
50. Remon, S., Ferrer, A., Marquina, P., Burgos, J., & Oria, R. (2000). Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of burlat cherries at two different degrees of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(10), 1552-1545.
51. Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9, 1-22. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
52. Saeed, M.R., Kheir, A.M., & Al-Sayed, A.A. (2005). Supperssive effect of some amino acids against *Meloidogyne incognita* on soybeans. *Journal of Agricultural Science*, 30 (2), 1097 - 1103.

53. Salehi, A., Fallahi, S., Iran Pour, R., & Abbasi Sorkhi, A. (2014). Effect of time of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of (*Nigella sativa* L.). *Agricultural Ecology*, 6, 495-507.
54. Salwa, A.R.H., & Osama, A.M.A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59, 133-145.
55. Shehata, S.M., Abdel-Azem, H.S., El-Yazied, A.A., & El-Gizawy, AM. (2011). Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constitutes, yield and its quality of celeriac plant. *European Journal of Scientific Research*, 58 (2), 257 - 65
56. Shi, H., Chen, K., Wei, Y., & He, C. (2016). Fundamental issues of melatonin-mediated stress signaling in plants. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1124. <https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2016.01124>
57. Soltani, F., Haddou, A., & Jahan Judge, N. J. (2017). Effect of glutamine, citric acid and malic acid on growth indices and *Glycyrrhiza glabra* morphology quality. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, 14, 5-15. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102343>
58. Sotomayor, J.A., Martjnez, R.M., Garcia, A.J., & Jordan, M.J. (2004). *Thymus zygis* subsp. *gracilis*: Watering level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (17), 5418-5424.
59. Sultan, L. A., Mejía-Chang, M., Ogaya, R, Voltas J, Dawson, T. E, & Peñuelas J. (2015). The combined effects of a long-term experimental drought and an extreme drought on the use of plant-water sources in a Mediterranean forest. *Global Change Biology*, 21, 1213-1225.
60. Toor, R.K., Geoffrey, P.S., & Anuschka, H. (2006). Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal Food Compost Analysis*, 19, 20 - 27.
61. Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4113-4117. <https://doi.org/10.1021/jf9801973>
62. Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049-2061. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
63. Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J., & Huang, Y. (2010). Narrowing down the targets: Towards successful genetic engineering of drought tolerant crops. *Molecular Plant*, 3, 469-490.
64. Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Fahadi Hoveizeh, N., Gholami, R., Abdelrahman, M., & Tran, L. S.P. (2021). Exogenous melatonin mitigates salinity-induced damage in olive seedlings by modulating ion homeostasis, antioxidant defense, and phytohormone balance. *Physiologia Plantarum*, 173, 1682-1694. <https://doi.10.1111/ppl.13589>
65. Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 647-56. <https/doi.org/10.3390/ijms24087447>