



Original Article

# The Effect of Water Deficit Stress and Foliar Spraying with Spermine and Gamma-Aminobutyric Acid on the Growth and Some Physiological Traits of Basil (*Ocimum basilicum* var. *Violeta*)

Maryam Sarakhsi<sup>1</sup>, Lamia Vojodi Mehrabani<sup>2\*</sup>, Vahid Sarabi<sup>2</sup>

1. MSc Graduated, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

## ARTICLE INFO

### Article history

Submitted: 2025-1-14

Revised: 2025-2-9

Accepted: 2025-4-4

## KEYWORDS

Essential oil, *Ocimum basilicum*, proline, chlorophyll

## ABSTRACT

A factorial experiment with three replications was conducted to investigate the effects of water deficit stress (field capacity (FC), 50%, and 30% of FC) and foliar application of gamma-aminobutyric acid (GABA) and spermidine (control and 3 mg L<sup>-1</sup>), as well as their combined application, on growth and selected physiological traits of basil. The highest plant biomass was observed under irrigation at FC + simultaneous foliar application of spermidine and GABA. The main effects of water deficit and foliar treatments significantly influenced chlorophyll, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, malondialdehyde, proline, elemental content, and essential oil content of the plant. The highest chlorophyll a, calcium, magnesium, phosphorus, and potassium content were observed under irrigation at FC. Irrigation at FC and 50% FC significantly increased chlorophyll b and nitrogen contents. Irrigation at 30% FC resulted in elevated levels of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, malondialdehyde, and proline accumulation. All three foliar treatments led to increased chlorophyll b, nitrogen and potassium contents. Simultaneous foliar application of both compounds contributed to a reduction in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and malondialdehyde levels, while enhancing chlorophyll a, proline, phenolic compounds, calcium, magnesium, phosphorus, and essential oil contents. Essential oil content was notably increased under irrigation at 50% FC. Sixteen constituents were identified in the basil essential oil, with methyl chavicol (38.42–42.38%) being the predominant compound, particularly prominent in the treatment combining irrigation at 30% FC with foliar application of both compounds. The results of the present study demonstrate the positive effect of concurrent application of both compounds on the evaluated physiological and biochemical traits of basil under water deficit conditions.

\* Corresponding author: *Lamia Vojodi Mehrabani*

✉ E-mail: [vojodilamia@gmail.com](mailto:vojodilamia@gmail.com)





## تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان رقم ویولتا (*Ocimum basilicum* var. *Violeta*)

مریم سرخسی<sup>۱</sup>، لمیا وجودی مهربانی<sup>۲\*</sup>، وحید سرابی<sup>۲</sup>

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده: به منظور بررسی تنش کم آبیاری (ظرفیت زراعی، ۵۰ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی) و محلول پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا) و اسپرین (بدون محلول پاشی و ۳ میلی گرم در لیتر) و کاربرد توام آن‌ها بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان آزمایشی اجرا گردید. بالاترین بیوماس گیاه در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت زراعی همراه با محلول پاشی هم‌زمان اسپرین و گابا مشاهده شد. بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت زراعی مشاهده شد. تیمارهای آبیاری در شرایط ظرفیت زراعی و ۵۰٪ ظرفیت زراعی موجب افزایش محتوای کلروفیل b و نیتروژن شد. آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید و افزایش پرولین شد. هرسه ترکیب مورد استفاده در محلول پاشی (گابا، اسپرین و مخلوط گابا + اسپرین) موجب افزایش محتوای کلروفیل b، نیتروژن و پتاسیم شد. محلول پاشی هم‌زمان گابا و اسپرین موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید و افزایش محتوای کلروفیل a، پرولین، فنل، کلسیم، منیزیم، فسفر و محتوای اسانس در گیاه گردید. محتوای اسانس در تیمار آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت زراعی افزایش یافت. ۱۶ جزء در اسانس ریحان شناسایی شد. متیل چاویکول (۴۲/۸-۳۸/۴۲٪) بیش‌ترین جزء شناسایی شده در اسانس بود که بیش‌ترین مقدار آن در تیمار آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول پاشی هم‌زمان گابا و اسپرین مشاهده شد. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد هم‌زمان گابا و اسپرین بر صفات مورد مطالعه در گیاه تحت تنش کم آبیاری بود.
تاریخچه مقاله	
دریافت: ۱۴۰۴-۷-۹	
بازنگری: ۱۴۰۴-۹-۲	
پذیرش: ۱۴۰۴-۹-۲۴	
واژگان کلیدی:	اسانس، پرولین، ریحان، کلروفیل

✉ E-mail: [vojodilamia@gmail.com](mailto:vojodilamia@gmail.com)  
Journal homepage: [jmpb.znu.ac.ir](http://jmpb.znu.ac.ir)

\*نویسنده مسئول: لمیا وجودی مهربانی



## مقدمه

کننده رشد گیاهی می‌باشد. محلول‌پاشی با گابا، رشد گیاه و تحمل به تنش را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در مسیر متابولیسم نیتروژن و آلانین، و هم‌چنین محافظت از گیاه در مقابل رادیکال‌های آزاد را افزایش داده و از مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلول جلوگیری می‌کند (Ahmad & Fariduddin, 2024). پلی-آمین‌هایی مانند اسپرمین کاتیون‌های آلیفاتیک با وزن مولکولی پایین و ساختار زنجیره‌ای می-باشند که به‌طور گسترده در سلول‌های گیاهی یافت می‌شوند (Alcázar et al., 2020). اسپرمین نقش بسیار مهمی در افزایش آستانه تحمل تنش‌های محیطی در گیاهان را دارد و با تعدیل فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آسیب‌های ناشی از تنش‌های اکسیداتیو را به حداقل رسانده و از این طریق سازگاری گیاه را در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده افزایش می-دهد (Basit et al., 2022). اسپرمین با کاهش اثرات منفی تنش، رشد گیاه را در شرایط خشکی بهبود می‌بخشد. این ترکیب با تحریک تولید مقدار کمی پراکسید هیدروژن نقش پیام‌رسانی داشته و از طریق فعال‌سازی برخی مسیرهای دفاعی، مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Shakirova et al., 2003). نتایج یک مطالعه در ریحان

تنش به مفهوم تغییر شرایط طبیعی گیاه است که باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌گردد. گیاهان تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند که موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Hasan et al., 2021). در شرایط کمبود آب، سیگنال‌های شیمیایی از طریق آوندچوبی از ریشه به برگ منتقل شده و با بستن روزنه، کاهش فتوسنتز و افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی گیاه سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود (Heydarnejadiyan et al., 2020). تنش خشکی با ایجاد استرس‌های اکسیداتیو ثانویه موجب تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه می‌گردد که به‌صورت کاهش عملکرد، کاهش فتوسنتز و کاهش جذب مواد غذایی از خاک مشاهده می‌شود (Bukhari et al., 2021; Zandi et al., 2022; Akbarzadeh et al., 2023). جهت کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی بر گیاهان استراتژی‌های متعددی به‌کار گرفته می‌شود که یکی از این استراتژی‌های مهم استفاده از آمینواسیدها و پلی‌آمین‌ها می‌باشد. گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا)، آمینواسیدی غیرپروتئینی و چهارکربنه (وزن مولکولی ۱۰۳/۱۲ گرم بر مول) می‌باشد که یک تنظیم

ویولتا تحت تنش کم آبیاری و بررسی توان این ترکیبات در کاهش خسارت‌های ناشی از خشکی می‌باشد.

نشان داد که استفاده از اسپرمین موجب افزایش طول ریشه تحت تنش خشکی شد و به بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش کمک کرد (Pazok, 2017). گیاه دارویی ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. گیاهی یک-ساله متعلق به خانواده نعنائیان می‌باشد (Shanak et al., 2021). از مهم‌ترین ترکیبات موجود در ریحان می‌توان به فلاونوئیدها، تانن‌ها، ساپونین، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، استروئیدها، پلی‌فنول‌ها، گلیکوزیدها، اسیدهای چرب (اسیداستئاریک، اسیداولئیک، اسیدپالمیتیک، اسیدلینولئیک، اسیدلوریک و اسیدآراشیدونیک)، پروتئین، ویتامین‌ها، عناصر مغذی، کربوهیدرات و بتاکارتن اشاره نمود (Shahrajabian et al., 2020; Al-Snafi et al., 2021). بررسی‌ها نشان داده که ریحان دارای اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضددیابتی، ضد میکروبی، ضدانگلی، ضد حساسیت، ضدسرطان، ضددیابت، محافظ قلبی عروقی، ضدزخم، و ضدالتهاب می‌باشد (Mahajan et al., 2013; Stanojević et al., 2017; Al-Snafi et al., 2021). با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، هدف این تحقیق تعیین نقش محلول‌پاشی گابا و اسپرمین در بهبود شاخص‌های رشد و شرایط فیزیولوژیکی ریحان

## مواد و روش‌ها

تعیین ظرفیت‌زراعی خاک، یکی از گلدان‌ها تا حد اشباع آبیاری کرده و روی گلدان به مدت ۲۴ ساعت با پلاستیک پوشانده شد. بعد از خروج آب اضافی، وزن خاک گلدان (W) اندازه‌گیری شد. سپس خاک به آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شد تا خاک خشک (W1) شود. ظرفیت‌زراعی خاک از رابطه‌ی زیر تعیین شد.

$$FC = \frac{(w - w1)}{w1} \times 100$$

از دستگاه TDR (Behtab TDR -100, Iran) برای تعیین رطوبت خاک استفاده شد. میزان رطوبت خاک در مرحله ظرفیت‌زراعی ۳۸ درصد آب حجمی، در تیمار کم‌آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی ۱۹ و در کم‌آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی ۹ درصد آب حجمی اندازه‌گیری شد.

آزمایش حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در بهار سال ۱۴۰۲ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. بذور ریحان بنفش رقم ویولتا بعد از ضدعفونی با محلول رقیق هیپوکلرید سدیم ۵ درصد (رقیق‌سازی به نسبت یک به پانزده) به مدت ۵ دقیقه، در گلدان‌های ۵ لیتری کشت شد. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش شامل سه سطح آبیاری (آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی) و تیمار محلول‌پاشی شامل شاهد (آب‌مقطر)، محلول‌پاشی گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین (۳ میلی‌گرم در لیتر از هر ترکیب) و مخلوط گابا و اسپرمین بود. اولین محلول‌پاشی هم‌زمان با اعمال تنش خشکی در مرحله ظهور ۳ برگ، انجام شد و محلول‌پاشی دوم ۱۵ روز بعد تکرار شد. گیاهان دوماه بعد از اعمال اولین تنش کم-آبیاری در مرحله ظهور گل برداشت شدند. برای

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک

بافت اسیدیته	هدایت الکتریکی	ماده آلی (درصد)	محتوای نیتروژن (درصد)	محتوای فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)	محتوای پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
۶	۱/۴	۰/۴۵	۰/۳۷	۱۵	۲۷۲

سائیده و حجم نمونه با استون به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. از طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a (رابطه ۳-۱) و b (رابطه ۳-۲) در گیاه به کمک اسپکترومتر (T80+, China) استفاده شد (Arnon 1949).

رابطه (۱)

$$\text{Chla} = [12.7 (D663) - 2.69 (D645)] \times V/1000W$$

رابطه (۲)

$$\text{Chlb} = [22.9 (D645) - 4.68 (D663)] \times V/1000W$$

Chl: محتوای کلروفیل، D: میزان رقت نمونه، A: جذب نوری نمونه، V: حجم نمونه و W: وزن نمونه می‌باشد.

**اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی:** قبل از مرحله گلدهی، گیاهان از گلدان خارج و بخش- هوایی گیاه از محل طوقه قطع شد. از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) برای اندازه‌گیری وزن گیاه استفاده شد. برای تعیین وزن خشک، گیاهان در معرض دمای اتاق در عرض ۶ روز خشک شدند. از کولیس دیجیتال برای اندازه‌گیری طول و عرض برگ و از خط- کش برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه استفاده شد.

**شاخص کلروفیل و اندازه‌گیری کلروفیل a و b:** شاخص کلروفیل به کمک کلروفیل‌سنج دستی (SPAD 502, Japan) تعیین شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل ۰/۲ گرم از برگ ریحان درهاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد

به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. ۰/۵ میلی لیتر از فاز رویی، با ۰/۵ میلی لیتر بافر فسفات (۱۰ میلی مولار) و یک میلی لیتر یدید پتاسیم (۱ مولار) مخلوط شد و جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد (Amaraathareddy et al., 2015).

**محتوای مالون دی آلدئید:** ۰/۲ گرم از نمونه‌ی برگ ریحان در نیتروژن مایع با ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (۱ درصد حجمی) مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰g سانتریفیوژ شد. یک میلی لیتر از محلول رویی، با ۴ میلی لیتر از ترکیب تیوبابیتوریک اسید (۰/۵٪) + تری کلرواستیک اسید (۲۰٪) مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه گرم شد و بعد بلافاصله روی یخ منتقل شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. جذب محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر (T80+, China) در ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه گیری شد (Heath and Packer, 1968).

**محتوای پرولین:** ۵ میلی لیتر اسیدسولفوسالسیلیک (۳٪) با ۰/۲ گرم از برگ ریحان به کمک نیتروژن مایع در هاون چینی سائیده شد. مخلوط حاصل به مدت ۷ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک

**محتوای نسبی آب برگ گیاه (RWC):** ابتدا وزن تر قطعه‌ی مشخصی از برگ تعیین (W) شد و سپس برگ مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت در آب دوبار تقطیر قرار گرفت تا وزن اشباع آن تعیین شود (WT). برگ‌ها در مرحله بعد به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد منتقل شدند و ۲۴ ساعت در دمای مذکور نگهداری گردید تا وزن خشک برگ (WD) تعیین شود. برای محاسبه‌ی درصد رطوبت نسبی برگ از رابطه زیر استفاده شد (Shirazi et al. 2005).

$$RWC = [(W - WD) / (WT - WD)] \times 100$$

**نشت یونی برگ:** ابتدا یک گرم برگ ریحان، به مدت چهار ساعت در ۵۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر قرار گرفت، و هدایت الکتریکی (EC<sub>1</sub>) آب اندازه گیری شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حمام آب گرم منتقل شد. دمای حمام در طی این مدت روی ۸۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. بعد از خروج از حمام، نمونه‌ها خنک شده و هدایت الکتریکی (EC<sub>2</sub>) نمونه‌ها اندازه گیری شد (Valentovic et al. 2006).

$$\text{نشت یونی} = (EC_1/EC_2) \times 100$$

**محتوای پراکسید هیدروژن:** روی ۰/۲ گرم از برگ سائیده شده در نیتروژن مایع، ۵ میلی لیتر تری کلرو استیک اسید (۱٪ حجمی) اضافه شد و

نمونه در طول موج ۷۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80, China) تعیین شد. از اسیدگالیک به عنوان استاندارد استفاده شد (Kim et al., 2006).

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین ۰/۱ گرم از بافت برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹:۱) ۹۹ سائیده و سپس سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت و مجدداً با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول رویی در ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه‌ی محتوای آنتوسیانین از فرمول  $A = \epsilon bc$  استفاده شد. در این فرمول ضریب خاموشی ( $\epsilon$ ) برابر با ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر،  $A$  جذب نمونه،  $b$  عرض کوت و  $c$  غلظت محلول بود (Wagner, 1979).

**محتوای عناصر برگ:** محتوای نیتروژن با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD 502, Japan)، محتوای فسفر به روش رنگ‌سنجی مولیبدات وانادات و محتوای پتاسیم برگ با استفاده از روش فلائیم‌فتمتری (Corning, 410, England) تعیین شد (AOAC, 1990). محتوای کلسیم و منیزیم برگ با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Corning, 410, England) تعیین شد (AOAC, 1990). برای اندازه‌گیری محتوای

میلی‌لیتر از محلول رویی با یک میلی‌لیتر اسیدنین‌هیدرین و یک میلی‌لیتر اسیدگلاسیال مخلوط شد و یک ساعت در حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد بلافاصله ۵ دقیقه در یخ خشک قرار گرفت. روی نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و ۳۰ ثانیه تکان داده شد. محتوای پرولین به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین شد (Fedina et al., 2006).

**محتوای فلاونوئید، فنل کل و آنتوسیانین:** ۱۰ سی‌سی متانول روی ۵ گرم از برگ خشک-شده گیاه اضافه، و به کمک التراسونیک به مدت ۳ ساعت عصاره‌گیری شد. ۰/۳ میلی‌لیتر کلراید آلومینیوم (۱۰ درصد) روی ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۶ دقیقه در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت. برای اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید از طیف نوری ۵۱۰ نانومتر، بر مبنای استاندارد روتین‌هیدرات استفاده شد (Kim et al., 2006).

یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی، با یک میلی‌لیتر کربنات سدیم (۲ درصد) و ۰/۲ میلی‌لیتر از معرف فولین‌سیکالتو مخلوط، و به مدت ۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. بعد از سپری شدن ۳۰ دقیقه، جذب

Standards and Technology (NIST), (Wiley libraries) و منابع (Adams 1997) انجام شد.

آنالیز آماری: از برنامه‌های MSTATC و SAS (نسخه ۲۳) برای تجزیه داده‌ها و از آزمون LSD برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### وزن تر، خشک و صفات رشدی گیاه

اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی به‌طور معنی داری وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه، ارتفاع، تعداد انشعابات و طول برگ را تحت تأثیر قرار داد درحالی که عرض برگ تحت تأثیر اثر مستقل رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). آبیاری در سطح ظرفیت زراعی به همراه محلول پاشی با مخلوط اسپرمین + گابا موجب افزایش به ترتیب ۱۱۶ و ۴۸ درصدی وزن تر و خشک گیاه نسبت به شاهد شد. اعمال تنش کم- آبیاری اثر کاهشی قابل توجهی بر بیوماس گیاه داشت و کاربرد محلول پاشی در سطح شدید تنش (آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت زراعی) نتوانست این کاهش بیوماس را جبران کند. بیشینه تعداد انشعاب گیاه در تیمارهای آبیاری در شرایط ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با محلول پاشی هم‌زمان اسپرمین و گابا به دست آمد

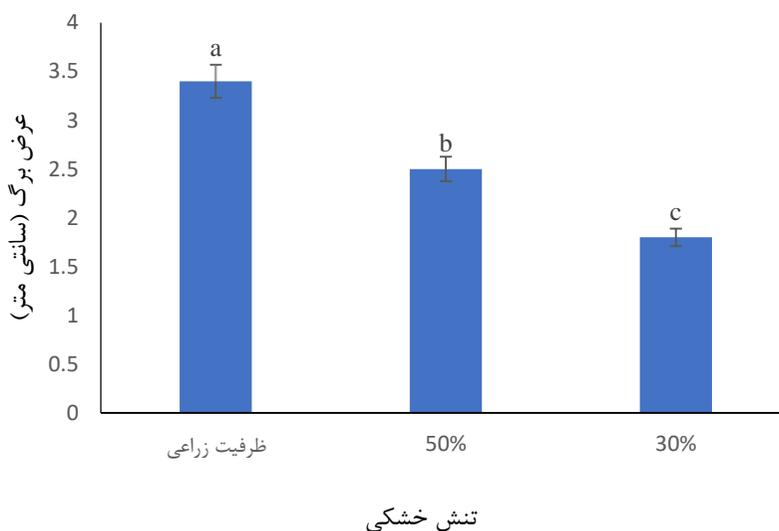
عناصر، ابتدا یک گرم از پودر نمونه خشک و آسیاب شده برگ به مدت ۴ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا به خاکستر تبدیل شود. روی خاکستر حاصل، ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک یک‌نرمال اضافه و سپس نمونه‌ها به دمای ۹۰ درجه- سانتی‌گراد در حمام آب گرم منتقل گردید. در مرحله آخر روی نمونه‌ها ۱۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه، و مقدار عناصر تعیین شد.

**استخراج اسانس گیاه: ۳۰ گرم برگ خشک-** شده گیاه با ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۳/۵ ساعت به‌روش تقطیر با آب در دستگاه کلونجر اسانس‌گیری شد. برای حذف آب اضافی موجود در اسانس از سولفات سدیم خشک استفاده شد.

**شناسایی اجزای اسانس با استفاده از دستگاه GC/MS:** از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Agilent Technologies, ) (7890B, USA) برای شناسایی اجزاء اسانس استفاده شد. شاخص بازداری با استفاده از تزریق آلکان‌های نرمال (Sigma-Aldrich) C7-C30 در دستگاه کروماتوگرافی گازی انجام شد. شناسایی ترکیبات با استفاده از شاخص‌های بازداری، پایگاه داده‌های کامپیوتری متصل به طیف‌سنج (US National Institute of

هم‌زمان اسپرمین و گابا مشاهده شد. تنش کم-آبیاری تاثیر منفی بر عرض برگ داشت به طوری که آبیاری در سطح ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی باعث کاهش ۴۰ درصدی عرض برگ نسبت به آبیاری کامل (ظرفیت‌زراعی) شد (شکل ۱).

(جدول ۳). ارتفاع گیاه نیز در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی هم‌زمان اسپرمین و گابا افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین طول برگ در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی گابا، اسپرمین و کاربرد هم‌زمان گابا + اسپرمین و تیمار آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر عرض برگ ریحان.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با گاما آمینوبوتریک اسید و اسپرمین بر وزن تر، خشک و صفات

رشدی ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر بخش هوایی	تعداد انشعابات	ارتفاع	طول برگ	عرض برگ
تنش خشکی (A)	۲	۱۹/۵**	۲۲۵**	۵۷**	۱۲۰*	۱۰/۳*	۷/۶**

تاثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۹ <sup>ns</sup>	۱۰۲ <sup>ns</sup>	۳/۷۳۱ <sup>ns</sup>	۴۵/۹ <sup>**</sup>	۸/۱ <sup>**</sup>	۳	محلول پاشی (B)
۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۳/۹ <sup>**</sup>	۱۱۳ <sup>*</sup>	۱۳/۹ <sup>*</sup>	۸/۷ <sup>*</sup>	۱/۷ <sup>*</sup>	۶	B×A
۰/۳۹	۰/۹۴	۳۶/۶۱	۳/۹۴	۲/۵۸۵	۰/۵۵۵	۲۴	خطای آزمایش
۲/۹	۱۰/۵	۷/۳	۹/۵	۱۰/۰	۸/۰۷	-	ضریب تغییرات

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی بر وزن تر، خشک و صفات رشدی ریحان

تنش خشکی	محلول پاشی	وزن تر بخش هوایی گیاه (گرم به گلدان)	وزن خشک بخش هوایی گیاه (گرم به گلدان)	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	تعداد انشعابات ساقه	طول برگ (سانتی متر)
ظرفیت زراعی	بدون محلول پاشی	۱۷/۳ <sup>cd</sup>	۳/۰۳ <sup>d</sup>	۱۷/۶ <sup>d</sup>	۴/۳ <sup>c-e</sup>	۴/۳ <sup>b</sup>
ظرفیت زراعی	گابا (G)	۱۸/۴ <sup>b-d</sup>	۴/۵۶ <sup>bc</sup>	۲۳/۶ <sup>c</sup>	۷/۰ <sup>bc</sup>	۶/۳ <sup>a</sup>
ظرفیت زراعی	اسپرمین (S)	۱۹/۶ <sup>bc</sup>	۴/۸۶ <sup>b</sup>	۲۷ <sup>b</sup>	۸/۵ <sup>b</sup>	۵/۹ <sup>ab</sup>
ظرفیت زراعی	G×S	۲۵/۷ <sup>a</sup>	۶/۸۳ <sup>a</sup>	۳۴/۶ <sup>a</sup>	۱۰/۶ <sup>a</sup>	۵/۹ <sup>ab</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	بدون محلول پاشی	۲۴/۰۷ <sup>ef</sup>	۲/۱ <sup>d</sup>	۱۴/۰ <sup>e</sup>	۶/۳ <sup>bc</sup>	۳/۹ <sup>c</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	گابا (G)	۱۵/۹ <sup>de</sup>	۳/۳ <sup>cd</sup>	۱۶/۳ <sup>d</sup>	۶/۰ <sup>b-d</sup>	۴/۴ <sup>b</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	اسپرمین (S)	۱۶/۴ <sup>de</sup>	۳/۵ <sup>cd</sup>	۲۰/۳ <sup>c</sup>	۶/۳ <sup>bc</sup>	۴/۵ <sup>b</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	G×S	۲۰/۳ <sup>b</sup>	۵/۰۶ <sup>b</sup>	۲۷/۶ <sup>b</sup>	۹/۳ <sup>a-c</sup>	۶/۳ <sup>a</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	بدون محلول پاشی	۱۱/۰۳ <sup>g</sup>	۲/۱۱ <sup>d</sup>	۱۲/۶ <sup>f</sup>	۲/۰ <sup>e</sup>	۴/۰ <sup>bc</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	گابا (G)	۱۱/۴ <sup>Fg</sup>	۲/۳۰ <sup>d</sup>	۱۶/۱ <sup>d</sup>	۴/۶ <sup>c-e</sup>	۴/۵ <sup>b</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	اسپرمین (S)	۱۱/۹ <sup>Fg</sup>	۲/۳۰ <sup>d</sup>	۱۶/۰ <sup>d</sup>	۵/۰ <sup>c-e</sup>	۳/۱ <sup>c</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	G×S	۱۲/۱۳ <sup>Fg</sup>	۲/۳۶ <sup>d</sup>	۱۶/۶ <sup>d</sup>	۲/۳ <sup>de</sup>	۲/۶ <sup>d</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار آماری بر اساس آزمون LSD می باشند.

### محتوای و شاخص کلروفیل

کمترین میزان شاخص کلروفیل در تنش کم- آبیاری ۳۰٪ مشاهده شد (جدول ۵). محتوای کلروفیل a در تیمار محلول پاشی هم‌زمان گابا و اسپرمین افزایش یافت. محلول پاشی با گابا، اسپرمین و ترکیب گابا و اسپرمین موجب افزایش محتوای کلروفیل b و شاخص کلروفیل نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای کلروفیل برگ را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۴). بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی و بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی و ۵۰٪ ظرفیت‌زراعی مشاهده شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی با گاما آمینوبوتریک اسید و اسپرمین بر شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل و آب‌نسبی برگ ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	کلروفیل a	کلروفیل b	آب‌نسبی برگ
تنش خشکی (A)	۲	۱۷۳**	۱۳/۱۹**	۶/۴۰**	۱۷۳۶**
محلول پاشی (B)	۳	۱۸/۴*	۵/۰۷**	۱/۷۱**	۴۸۱**
A×B	۶	۴/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۳۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۳۰/۰۶ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۲۴	۵/۱۴	۰/۳۴	۰/۲۷	۲۰/۹۴
ضریب تغییرات	-	۶/۹۱	۱۰/۲۳	۹/۳	۵/۸۴

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ ریحان

تنش خشکی	شاخص کلروفیل (اسپاد)	محتوای کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
ظرفیت زراعی	۳۶ <sup>a</sup>	۴/۹ <sup>a</sup>	۲/۴ <sup>a</sup>	۸۸ <sup>a</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۳۵ <sup>a</sup>	۳/۷ <sup>b</sup>	۱/۹ <sup>a</sup>	۸۱ <sup>b</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۲۸ <sup>b</sup>	۲/۸ <sup>c</sup>	۰/۹۸ <sup>b</sup>	۶۵ <sup>c</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر شاخص، محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ ریحان

محلول پاشی	شاخص کلروفیل (اسپاد)	محتوای کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
بدون محلول پاشی	۳۱ <sup>b</sup>	۳/۲ <sup>c</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۶۹ <sup>c</sup>
گاما آمینو بوتیریک اسید (G)	۳۳ <sup>a</sup>	۳/۷ <sup>b</sup>	۱/۷ <sup>a</sup>	۷۸ <sup>b</sup>
اسپرمین (S)	۳۵ <sup>a</sup>	۳/۷ <sup>b</sup>	۱/۸ <sup>a</sup>	۷۹ <sup>b</sup>
G×S	۳۳ <sup>ab</sup>	۴/۸ <sup>a</sup>	۲/۳ <sup>a</sup>	۸۷ <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

### محتوای نسبی آب برگ

شرایط ۳۰٪ ظرفیت زراعی موجب کاهش ۲۷ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار کامل آبیاری (ظرفیت زراعی) شد (جدول ۵). با توجه به نتایج حاصل محلول-پاشی با گابا (۷۸٪) و یا اسپرمین (۷۹٪) به

نتایج نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و محلول پاشی محتوای نسبی آب برگ را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). آبیاری در

تنهایی تاثیر یکسانی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ داشت و هردو از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار محلول پاشی هم‌زمان اسپرمین + گابا به میزان ۸۷/۱ درصد مشاهده شد که نشان دهنده‌ی تاثیر فزاینده‌ی کاربرد هم‌زمان هردو ترکیب بر صفت مورد مطالعه بود (جدول ۶).

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی بر نشت یونی، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	نشت یونی	محتوای پراکسید هیدروژن	محتوای مالون دی-آلدئید
خشکی (A)	۲	۲۵۸۵**	۲۵۸۲**	۲۸**
محلول پاشی (B)	۳	۵۲۲**	۷۶۰۱**	۳/۸**
A×B	۶	۳۰*	۱۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۷۳ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۲۴	۸/۹	۲۳۰	۰/۶۹
ضریب تغییرات		۷/۵	۷/۶	۱۰

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

۸۶ درصدی نشت یونی نسبت به شاهد و ۲۹ درصدی نسبت به تنش کم‌آبیاری در شرایط ۵۰٪ ظرفیت‌زراعی بود. محلول پاشی با اسپرمین و گابا تاثیر مثبت بر کاهش نشت یونی در تمامی سطوح کم‌آبیاری داشت. اما بیشترین تاثیر در کاهش نشت یونی در کاربرد هم‌زمان هردو ترکیب در تیمار تنش کم‌آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی و تیمار بدون تنش آبی مشاهده شد که نشان دهنده‌ی اثربخشی ترکیبات مورد

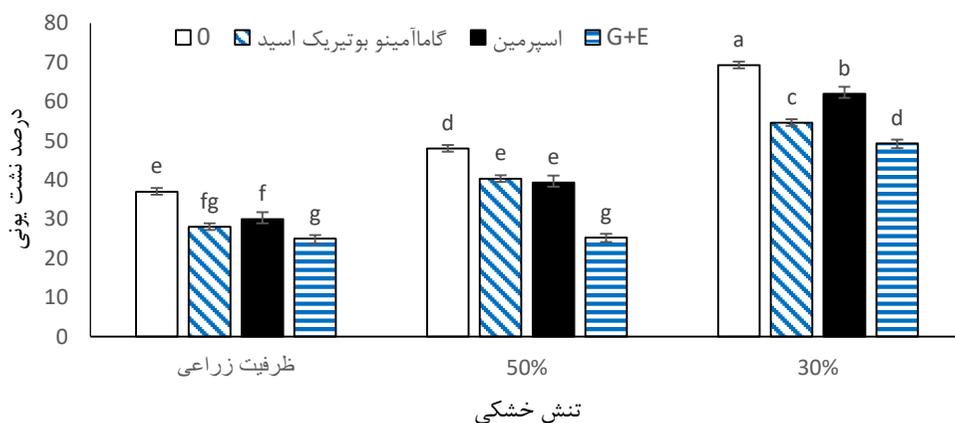
### محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی-آلدئید و نشت یونی برگ

محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید تحت تأثیر اثر مستقل تیمارهای آزمایشی و نشت یونی، تحت تاثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۷). آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت‌زراعی در شرایط بدون محلول پاشی نشان دهنده افزایش

تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

بیش‌ترین کاهش در محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان هردو ترکیب مشاهده شد و بالاترین محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۹).

استفاده بر پایداری غشای سلول در شرایط تنش بود (شکل ۲). آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت‌زراعی موجب افزایش ۶۱ درصدی محتوای پراکسید هیدروژن و ۲۴۱ درصدی مالون‌دی‌آلدئید نسبت به شرایط بدون تنش کم‌آبی شد (جدول ۸).



شکل ۲-مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر درصد نشت یونی ریحان.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید ریحان

تنش خشکی	محتوای پراکسید هیدروژن (نانومول بر گرم وزن تر)	محتوای مالون‌دی‌آلدئید (میکرومول بر گرم وزن تر)
ظرفیت‌زراعی	۴۷۹ <sup>c</sup>	۱/۳ <sup>c</sup>
۵۰٪ ظرفیت‌زراعی	۶۳۵ <sup>b</sup>	۲/۴ <sup>b</sup>
۳۰٪ ظرفیت‌زراعی	۷۷۳ <sup>a</sup>	۴/۱ <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۹- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید ریحان

محلول پاشی	محتوای پراکسید هیدروژن	محتوای مالون دی آلدئید
(میلی گرم در لیتر)	(نانومول بر گرم وزن تر)	(میکرومول بر گرم وزن تر)
بدون محلول پاشی	۷۵۷ <sup>a</sup>	۳/۴ <sup>a</sup>
گاما آمینو بوتیریک اسید (G)	۵۹۸ <sup>b</sup>	۲/۳ <sup>b</sup>
اسپریمین (S)	۶۲۲ <sup>b</sup>	۲/۴ <sup>b</sup>
G×S	۵۴۰ <sup>c</sup>	۱/۸ <sup>b</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

### ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی

برگ شد. با افزایش تنش آبی (۳۰٪ ظرفیت زراعی) از محتوای آنتوسیانین گیاه کاسته شد (جدول ۱۱). بیش‌ترین محتوای پرولین در تیمار محلول پاشی هردو ترکیب مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی افزایش ۵۰ درصدی نسبت به شاهد بود و کم‌ترین محتوای فنل در تیمار بدون محلول پاشی مشاهده شد. استفاده هم‌زمان از هردو ترکیب موجب افزایش محتوای فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین برگ شد (جدول ۱۲).

محتوای پرولین و آنتوسیانین گیاه تحت تأثیر اثرات مستقل تیمارهای آزمایشی و محتوای فنل و فلاونوئید تحت تأثیر اثر اصلی محلول پاشی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱۰). آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت زراعی موجب افزایش ۹۴ درصدی پرولین نسبت به تیمار بدون تنش آبی شد. آبیاری در شرایط ظرفیت زراعی و ۵۰٪ ظرفیت زراعی باعث افزایش محتوای آنتوسیانین

جدول ۱۰- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای پرولین	محتوای فنل کل	محتوای فلاونوئید	محتوای آنتوسیانین
خشکی (A)	۲	۰/۰۹**	۷۸ <sup>ns</sup>	۹۴ <sup>ns</sup>	۱۶**
محلول پاشی (B)	۳	۰/۰۲**	۳۳۳**	۳۵۰*	۳/۲**
A×B	۶	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۸/۲ <sup>ns</sup>	۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۳۰ <sup>ns</sup>

تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۰۱	۳۸	۴۱	۰/۲۸
ضریب تغییرات	۳/۸	۹/۹	۱۰	۷/۸	

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشند.

جدول ۱۱- تأثیر تنش خشکی بر ترکیبات آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی ریحان

تنش خشکی	محتوای پرولین	محتوای آنتوسیانین
(میلی گرم بر گرم وزن تر)	(میلی گرم بر گرم وزن تر)	(میکرومول بر گرم وزن تر)
ظرفیت زراعی	۰/۱۸ <sup>c</sup>	۴/۴ <sup>a</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۰/۲۶ <sup>b</sup>	۴/۳ <sup>a</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۰/۳۶ <sup>a</sup>	۲/۴ <sup>b</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار آماری بر اساس آزمون LSD می باشند.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر ترکیبات آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی ریحان

محلول پاشی	محتوای پرولین	محتوای فنل کل	محتوای فلاونوئید	محتوای آنتوسیانین
(میلی گرم در لیتر)	(میلی گرم بر گرم وزن تر)	(میلی گرم بر گرم وزن خشک)	(میلی گرم بر گرم وزن خشک)	(میکرومول بر گرم وزن تر)
بدون محلول پاشی	۰/۲۲ <sup>c</sup>	۴۱ <sup>c</sup>	۲۴ <sup>c</sup>	۳/۰۷ <sup>c</sup>
گاما آمینو بوتیریک اسید (G)	۰/۲۴ <sup>bc</sup>	۴۷ <sup>b</sup>	۳۱ <sup>b</sup>	۳/۵ <sup>bc</sup>
اسپرمین (S)	۰/۲۶ <sup>b</sup>	۴۸ <sup>b</sup>	۳۳ <sup>ab</sup>	۳/۶ <sup>b</sup>
G×S	۰/۳۳ <sup>a</sup>	۵۶ <sup>a</sup>	۳۹ <sup>a</sup>	۴/۵ <sup>a</sup>

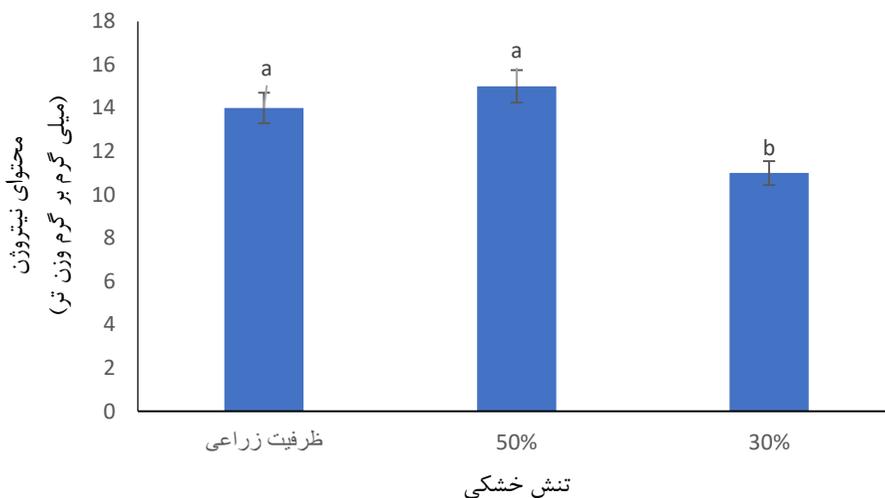
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار آماری بر اساس آزمون LSD می باشند.

## محتوای عناصر غذایی

اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی محتوای عناصر گیاه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱۳). تنش

بیشترین محتوای فسفر، کلسیم و منیزیم در تیمار محلول پاشی اسپرین + گابا مشاهده شد که به ترتیب نشانگر افزایش ۷۵، ۵۵ و ۱۳۳ درصدی نسبت به تیمار بدون محلول پاشی شد. تیمارهای محلول پاشی با هر سه ترکیب تاثیر مثبت بر محتوای پتاسیم گیاه داشت (جدول ۱۵).

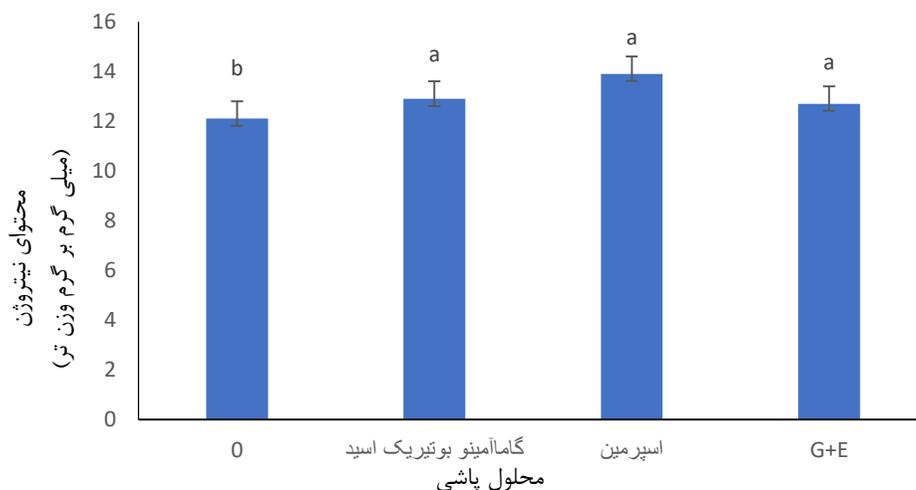
کم آبیاری شدید (۳۰٪ ظرفیت زراعی) موجب کاهش محتوای نیتروژن شد (شکل ۳). محتوای نیتروژن در تیمارهای محلول پاشی با هر سه ترکیب افزایش یافت (شکل ۴). کم آبیاری در ۵۰ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی موجب کاهش محتوای فسفر، کلسیم، منیزیم و پتاسیم برگ شد و بیشترین محتوای عناصر مذکور در تیمار ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۱۴).



شکل ۳-مقایسه میانگین تاثیر تنش خشکی بر محتوای نیتروژن ریحان.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی بر محتوای نیتروژن ریحان.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر محتوای عناصر و اسانس ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نیتروژن	محتوای فسفر	محتوای پتاسیم	محتوای کلسیم	محتوای منیزیم	محتوای اسانس
خشکی (A)	۲	۵۵**	۰/۵۱**	۱۴۶**	۷/۱**	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۷**
محلول‌پاشی (B)	۳	۳/۸*	۰/۱۷**	۸۳**	۱/۴**	۰/۰۰۶**	۰/۰۲۰**
A×B	۶	۰/۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۴/۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۲۴	۱/۰	۰/۰۱	۱۲/۱	۰/۰۷	۱۲/۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۷/۷	۸/۷	۶/۱	۹/۳	۱۰	۴/۹

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۱۴- تأثیر تنش خشکی بر محتوای عناصر ریحان

تنش خشکی	محتوای فسفر (%)	محتوای پتاسیم (%)	محتوای کلسیم (%)	محتوای منیزیم (%)
ظرفیت زراعی	۰/۷۷ <sup>a</sup>	۱۶ <sup>a</sup>	۳/۱ <sup>a</sup>	۰/۷۱۵ <sup>a</sup>
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۰/۵۲ <sup>b</sup>	۱۲۱ <sup>b</sup>	۲/۰ <sup>b</sup>	۰/۱۳ <sup>b</sup>
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۰/۳۶ <sup>c</sup>	۸/۵ <sup>c</sup>	۱/۴ <sup>c</sup>	۰/۰۸ <sup>c</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۱۵- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر محتوای عناصر برگ ریحان

محلول پاشی (میلی گرم بر لیتر)	محتوای فسفر (درصد)	محتوای پتاسیم (درصد)	محتوای کلسیم (درصد)	محتوای منیزیم (درصد)
بدون محلول پاشی	۰/۴ <sup>c</sup>	۷/۹ <sup>b</sup>	۱/۷ <sup>c</sup>	۰/۱۵ <sup>c</sup>
گاما آمینو بوتیریک اسید (G)	۰/۵۵ <sup>b</sup>	۱۱/۲ <sup>a</sup>	۲/۰ <sup>b</sup>	۰/۱۸ <sup>b</sup>
اسپریمین (S)	۰/۵۴ <sup>b</sup>	۱۲/۹ <sup>a</sup>	۲/۱ <sup>b</sup>	۰/۱۸ <sup>b</sup>
G×S	۰/۷ <sup>a</sup>	۱۵/۲ <sup>a</sup>	۲/۷ <sup>a</sup>	۰/۳۵ <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

### محتوای اسانس

افزایش ۶۷ درصدی نسبت به شاهد بود (شکل ۶). نتایج آنالیز اسانس نشان‌دهنده‌ی حضور ۱۶ جزء در اسانس ریحان پرورش‌یافته در سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با گابا و اسپریمین بود. متیل جویکول (۴۲/۸-۳۸/۲٪) بیش‌ترین جزء شناسایی شده در اسانس بود و بیش‌ترین درصد آن در تیمار آبیاری در ۳۰٪

اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱٪ محتوای اسانس را تحت تأثیر قرار داد. آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت‌زراعی موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد (شکل ۵). بیش‌ترین محتوای اسانس در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان گابا و اسپریمین مشاهده شد که نشان‌دهنده

تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

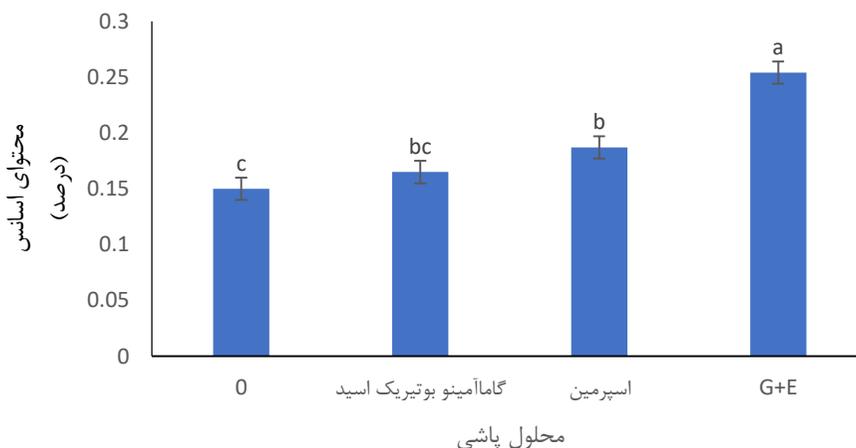
۷/۳٪) سومین جزء مشاهده شده در اسانس ریحان بود بالاترین درصد این جزء در تیمار آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی گابا مشاهده شد (جدول ۱۶).

ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی هم‌زمان هردو ترکیب مشاهده شد. دومین جزء از نظر فراوانی متیل اوجنول با فراوانی ۳۶/۸-۳۲/۲٪ بود. بیش‌ترین محتوای این جزء در تیمار آبیاری در شرایط ظرفیت‌زراعی و محلول‌پاشی هم‌زمان هردو ترکیب مشاهده شد. تریپینولن (۱۲/۵-



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر محتوای اسانس ریحان

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر محتوای اسانس ریحان

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۱۶- اجزای اسانس ریحان پرورش یافته تحت تنش خشکی و محلول پاشی با اسپرمین و گابا

ترکیبات	RI	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
sabinene	۹۷۵	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۹	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۴
B-Pinene	۹۷۶	۰/۳	۰/۳	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲	۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۳
Myrcene	۹۹۰	۰/۱	۰/۳	۰/۲۵	۰/۳	۰	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۳
Limonene	۱۰۲۹	۰/۲	۰	۰	۰/۲۸	۰/۴	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۳۲	۰/۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۵
Cineol-1,8	۱۰۳۱	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۹	۲/۵	۲/۵	۲/۷	۲/۹	۳/۲	۳/۳	۳/۱	۳/۷
Terpinolene	۱۰۸۸	۸/۹	۹/۰	۹/۱	۹/۳	۸/۳	۱۲/۵	۹/۵	۸/۶	۸/۸	۱۰/۷	۹/۱	۷/۳
Camphor	۱۱۴۶	۰/۶	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۲۱
Borneol	۱۱۶۹	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۴۵	۰/۶	۰/۴	۰/۵	۰/۸	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۳
α-Terpineol	۱۱۸۸	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۱/۸	۱/۹	۱/۵۸	۱/۶۸	۱/۷	۱/۷۸	۱/۷۱	۱/۰
Methyl -chavicol	۱۱۹۶	۳۸/۳	۳۸/۸	۳۹/۱	۳۸/۲	۳۹/۲	۴۱/۳	۳۸/۹	۳۹/۸	۴۱/۱	۴۱/۹	۴۱/۲	۴۲/۸
Chavicol	۱۲۵۰	۰/۸	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰	۰	۰/۱	۰/۱۲
Eugenol	۱۳۵۶	۶/۲	۶/۵	۶/۲	۶/۶	۶/۳	۶/۵	۵/۱	۳/۲	۳/۷	۲/۲	۵/۱	۵/۵
Methyl eugenol	۱۴۰۳	۲۵/۹	۳۶/۱	۳۶/۸	۳۴/۵	۳۴/۹	۳۵/۹	۳۴/۷	۳۶/۱	۳۵/۱	۳۳/۸	۳۴/۱	۳۳/۲

تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با گاما آمینو بوتیریک اسید و اسپرمین بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.../

۰/۷	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶	۰/۵۵	۰/۵	۰/۵۱	۰/۴	۰/۳	۰	۰/۴	۰/۵	۱۴۵۰	Cis-Muuroala-3,5-diene Methyl isoeugenol Cubanol
۰/۵	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۴۰	۱/۴۱	۰/۴	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳	۱۴۹۲	
۱/۰	۱/۱	۱/۳	۲/۱	۱/۴	۱/۶	۲/۵	۲/۲	۲/۵	۲/۴	۲/۵	۲/۱	۱۶۴۶	
۹۷/۸	۹۸/۳	۹۸/۱۳	۹۸/۴	۹۸/۵	۹۸/۰	۹۸/۲	۹۸/۶	۹۸/۸۸	۹۹/۵	۹۹/۰۵	۹۸/۲		Total identified
T1: ظرفیت زراعی × بدون محلول پاشی			T2: ظرفیت زراعی × محلول پاشی گابا			T3: ظرفیت زراعی × محلول - اسپرمین			T4: ظرفیت زراعی × اسپرمین و گابا				
T5: ۵۰ درصد ظرفیت × بدون محلول پاشی			T6: ۵۰ درصد ظرفیت × محلول پاشی گابا			T7: ۵۰ درصد ظرفیت × محلول پاشی اسپرمین			T8: ۵۰ × در صد اسپرمین و گابا				
T9: ۳۰ درصد × بدون محلول پاشی			T10: ۳۰ درصد × محلول پاشی گابا			T11: ۳۰ درصد × محلول - اسپرمین			T12: ۳۰ × در صد اسپرمین و گابا				

بیوماس آفتابگردان ( Abdel Razik et al., 2021) و برنج (Ashraf et al., 2024) داشت که یکی از دلایل آن محدودیت‌های آبی ایجاد شده برای فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه بود. استفاده از گابا در چنین شرایطی به بهبود صفات ذکر شده در گیاه کمک کرد (Abdel Razik et al., 2021). بررسی انجام شده در گل محمدی نشان داد که استفاده از اسپرمیدین منجر به القای مکانیسم‌های دفاعی برای کاهش تنش خشکی در گیاه شد و به بهبود عملکرد گیاه کمک کرد ( Adamipour et al., 2020). در بررسی حاضر، ویژگی‌های رشدی گیاه (وزن تر و خشک گیاه، طول ساقه، طول و عرض برگ) در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. استفاده از محلول‌پاشی اسپرمین همراه با گابا

## بحث

تنش خشکی به عنوان یک عامل محدودکننده رشد گیاهان، موجب تغییرات گسترده‌ای در سطح فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی (کاهش اندازه و تعداد برگ‌ها، توسعه ریشه و تغییر در ساختار بافت‌های آوندی) گیاه می‌شود. نتایج بررسی انجام شده در گیاهان آویشن دنایی (Bahreininejad et al., 2013)، ریحان (Mulugeta & Radácsi, 2022)، آویشن باغی (Rahimi et al., 2023) و نعنای فلفلی (Ostadi et al., 2023) تحت تنش خشکی نشان داد که تنش موجب کاهش بیوماس گیاه و افزایش محتوای فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بازده و عملکرد اسانس گیاهان مورد مطالعه شد. تنش خشکی اثر منفی بر

سطح کلروفیل در برگ‌ها تحت تنش خشکی ناشی از کاربرد گابا ممکن است با افزایش تورژسانس سلولی، و حفظ تمامیت غشاء همراه باشد که به بهبود عملکرد اسیدآمین در گیاه کمک کرده و همچنین تنظیم واکنش‌های فیزیوبیوشیمیایی بی‌شماری را در بافت‌های برگ تنظیم می‌کند. تنظیم پتانسیل اسمزی گیاهان با محلول پاشی تنظیم‌کننده رشد، می‌تواند رویکرد مناسبی برای تغییر اقلیم در آینده تلقی شود که، سطح تحمل به خشکی محصولات مهم را، افزایش دهد (Shah et al., 2022). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز نشان‌دهنده‌ی تاثیر منفی تنش بر شاخص و محتوای کلروفیل گیاه بود و همچنین مشخص شد که استفاده از ترکیبات پلی‌آمینی به بهبود محتوا و شاخص کلروفیل گیاه کمک کرد (جدول ۵ و ۶). تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش محتوای پرولین بادرنجبویه شد (Begum et al., 2019; Saheri et al., 2020). محتوای نسبی آب گیاه، معیاری برای ارزیابی فعالیت متابولیکی سلول است. خشکی بر حرکت آب در گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. برای حفظ تعادل آب، گیاهان اغلب پلی‌آمین‌هایی مانند اسپرمین را سنتز می‌کنند که به پایداری غشای سلولی کمک کرده و کارایی مصرف آب را بهبود می‌بخشد. اسپرمین

نقش مثبت در بهبود صفات مذکور را داشت (جدول ۲). شاید یکی از دلایل بقای گیاه در شرایط تنش خشکی در اثر کاربرد ترکیبات مذکور به دلیل کمک به حفظ هومئوستازی آبی و پایداری غشای سلول در شرایط نامساعد محیطی باشد (شکل ۲ و جدول ۶). از منظر فیزیولوژیکی، خشکی منجر به کاهش فشار تورژسانس و افت قابل توجه در تبادل گازی به واسطه بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود. کاهش جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتزی از دلایل بسته‌شدن روزنه‌ها در گیاه می‌باشد. تنش خشکی موجب کاهش ۲۸ درصدی رشد ریحان شد و بالاترین محتوای کلروفیل و پرولین در شرایط بدون تنش مشاهده شد (Asghari et al., 2023). تنش خشکی، موجب کاهش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید در جو (Shah et al., 2022) و شاخص کلروفیل در ریحان (Mulugeta & Radácsi, 2022) شد. در تحقیقی در کلم مشخص شد که اسپری گیاه با اسپرمین موجب افزایش شاخص کلروفیل تحت تنش فلز سنگین شد. شاید یکی از دلایل بهبود رشد گیاه در تیمار با پلی‌آمین‌ها مربوط به دخالت آن‌ها در فرآیندهای مختلف گیاهی مانند تکثیر DNA، رونویسی ژن و تکثیر سلولی باشد (Hussain & Fariduddin, 2020). افزایش

فعال کرده و فعالیت آن‌ها را افزایش می‌دهد و منجر به کاهش سطح پراکسید هیدروژن می‌شود. مشخص شده که کاربرد گابا با بهبود تثبیت کربن، افزایش تولید اسمولیت و تنظیم وضعیت آبی برگ، تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. سیگنالینگ گابا نقش مهمی در سرکوب بیان ژن‌های حیاتی مربوط به تولید پراکسید هیدروژن در گیاه را دارد (Wang et al., 2020). اسپرمین، یکی از پلی‌آمین‌های اصلی در گیاهان، در شرایط تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی می‌باشد. تجمع اسیدآبسیزیک در پاسخ به افزایش اسپرمین در گیاه اتفاق افتاده و باعث بسته‌شدن روزنه‌ها برای محدود کردن اتلاف آب از برگ‌ها و همچنین تغییر در سطح بیان ژن‌های دخیل در ایجاد پاسخ‌های تنش (بیان ژن NCED3) در گیاه شده و همچنین به بیوسنتز انواع محافظت‌کننده‌های اسمزی در گیاه کمک می‌کند تا با برگرداندن هموستازی سلولی، به افزایش تحمل گیاه در برابر تنش کمک کند (Marco et al. 2019). ارزیابی تاثیر تنش خشکی در رزماری نشان داد که بیش‌ترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید در تنش آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت‌زراعی در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (VojodiMehrabani et al., 2024). استفاده از گاما آمینوبوتیریک اسید در

با افزایش بیان آکوپورین‌های وابسته به یون کلسیم TrPIP2-7 و TrTIP2-2، TrTIP2-1 به حفظ تعادل آب در شرایط تنش خشکی کمک می‌کند (Li et al. 2020). کاهش رطوبت خاک تا ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی، موجب کاهش محتوای آب برگ ریحان شد (Mulugeta & Radácsi 2022). در مطالعه حاضر تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب گیاه شد. با این حال، استفاده از گابا همراه با اسپرمین، منجر به افزایش محتوای نسبی آب گیاه شد و مشخص شد که هر دو ترکیب قادر هستند با حفظ فشار تورژسانس به متعادل نگه‌داشتن آب در گیاه کمک کنند (جدول ۶). از نظر فیزیولوژیکی، گیاهان با تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان مولکول‌های سیگنالینگ برای تنظیم مکانیسم‌های پاسخ به تنش، به تنش پاسخ می‌دهند. این مولکول‌ها بر روابط آب، تبادلات گازی، فتوسنتز و متابولیسم ترکیبات آلی تأثیر می‌گذارد. تولید بیش‌از حد گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط خشکی اغلب به اجزای مختلف سلول آسیب می‌رساند و فتوسنتز، تبادلات گازی، بازده کوانتومی فتوسیستم II و راندمان کربوکسیلاسیون گیاه را کاهش می‌دهد (Otegui et al., 2024). استفاده از گابا به‌ویژه در دوره‌های تنش‌زا، ژن‌های مسئول تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را

در پاکروبی رادیکال‌های آزاد و افزایش بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو تنظیم بیان ژن‌های بیوسنتزکننده گلاسیین و پرولین موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شد (Zarbakhsh et al., 2024). چنین به نظر می‌رسد گابا از طریق تحریک فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، کمک به پایداری غشای سلول، و کاهش ترکیبات اکسیدانی در شرایط تنش به بقای گیاه کمک می‌کند (Tripathi et al., 2022; Seifikalhor et al., 2022). ترکیبات فنلی به-عنوان یکی از شاخص‌های تحمل گیاه در مقابل تنش شناخته می‌شود. ساختار ویژه ترکیبات فنلی آن‌ها را به حذف‌کننده‌های قوی رادیکال‌های آزاد تبدیل کرده است (Samec et al., 2021). کاربرد خارجی گاما آمینوبوتیریک‌اسید در پرتقال سبب افزایش محتوای ترکیبات آنتی-اکسیدانی گیاه شده که نقش مهمی در کاهش تنش در گیاه را داشت (Hijaz et al., 2018). محلول‌پاشی با گاما آمینوبوتیریک‌اسید سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی و کاهش اثرات منفی تنش، با افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در زعفران شد (SedighiMoshkenani et al., 2020). در بررسی حاضر نیز استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای ترکیبات فنلی در گیاه شد که همسو با نتایج

گوجه‌فرنگی موجب کاهش محتوای مالون‌دی-آلدئید و پراکسید هیدروژن شد (Abd Elbar et al., 2021). افزایش در محتوای مالون‌دی-آلدئید، پراکسید هیدروژن و نشت‌یونی در شرایط کم‌آبیری در ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در مطالعه حاضر مشاهده شد. کاربرد گابا و اسپریمین تاثیر مثبت در کاهش محتوای ترکیبات مذکور را داشت. نتایج حاصل از بررسی حاضر در تایید مطالعات فوق بوده و نشان‌دهندی تاثیر مثبت محلول‌پاشی بر کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه بود.

در بررسی حاضر، استفاده از گابا موجب افزایش محتوای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های گیاه از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد و محتوای مالون‌دی‌آلدئید شد. محلول‌پاشی گابا در تنش کم‌آبیری (۵۰٪ ظرفیت زراعی) موجب افزایش رنگیزه‌ها، آمینواسیدها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی در هویج از طریق کاهش نشت‌یونی شد (Bashir et al., 2021). کاربرد گابا در گیاهان شبدر سفید تحت تنش خشکی منجر به تجمع بیشتر گابا به صورت درون‌زا از طریق تنظیم مثبت در متابولیسم پرولین و آنزیم‌های مسیر شانت گابا باشد (Abd El-Gawad et al., 2021; Kakar et al., 2023). تیمار گیاه با گابا با تنظیم بالادست ژن‌های درگیر

انتقال عناصر غذایی معدنی شناخته شد (Dawood and Abeed 2020). افزایش غلظت یون کلسیم سیتوزولی موجب فعال شدن کالמודولین-وابسته به گلوتامات دکربوکسیلاز شده که نهایتاً منجر به افزایش بیوسنتز گابا تحت شرایط تنش می شود (Kinnersley & Turano, 2000). اسپرمین هموستازی یون کلسیم و همچنین تنظیم ژن های سیگنالینگ یون کلسیم را تنظیم می کند (Yamaguchi et al., 2007). شواهد نشان می دهد که اسپرمین از طریق افزایش فعالیت مسیر سیگنال دهی یون کلسیم، به محافظت از گیاه در برابر تنش خشکی کمک می کند (Hasan et al. 2021). در کل چنین می توان عنوان نمود که پلی آمین ها می توانند به عنوان پیام رسان تنش در پاسخ های گیاهی در تعامل با مسیرهای مختلف تنش عمل کنند. گابا به عنوان یک متابولیت غیر پروتئینی و واسطه سیگنالینگ نقش کلیدی در پاسخ به تنش های زیستی و غیرزیستی ایفا می کند. از نظر بیوشیمیایی، گابا از طریق مسیر گابا شاتل در تنظیم تعادل کربن و نیتروژن و همچنین کنترل فشار اکسیداتیو از طریق تقویت سیستم آنتی اکسیدانی گیاه عمل می کند. به علاوه، گابا در تنظیم هموستازی یون ها، به ویژه کلسیم و تنظیم باز و بسته شدن روزنه ها نقش دارد که

مطالعات پیشین در این خصوص است. از مهم ترین اثرات تنش خشکی بر گیاه می توان به کاهش جذب آب توسط ریشه، کاهش پتانسیل آب برگ، کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاه اشاره نمود (Raza et al., 2024). در گیاه سویا محلول پاشی با غلظت ۰/۲ میلی مولار اسپرمین تحت تنش خشکی به عنوان غلظت بهینه برای افزایش محتوای نسبی آب، محافظت اسمزی و جذب و انتقال عناصر غذایی معدنی شناخته شد (Dawood & Abeed, 2020). غلظت بالای گابا موجب افزایش غلظت کلسیم و پتاسیم سیتوزولی از طریق فعال سازی سنسورهای اسمزی در غشای پلاسمایی شد (Roberts & Doesb, 2007). در مطالعه ای در گیاه *Lemna minor* مشخص شد که کاربرد گابا تأثیر مثبت در افزایش محتوای روی و منگنز در گیاه را داشت (Kinnersley & Lin 2000). کاربرد گابا جذب مواد مغذی معدنی را افزایش می دهد و بیوسنتز ترکیبات معطر در برنج تعدیل می کند. غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر گابا منجر به افزایش غلظت منگنز، نیتروژن، آهن و روی در دانه های برنج شد (Xie et al., 2019). در گیاهان سویا تحت تنش خشکی، غلظت ۰/۲ میلی مولار اسپرمین به عنوان غلظت بهینه برای افزایش محتوای آب نسبی، محافظت اسمزی و جذب و

می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که سنتزترین‌ها  $\text{NADPH}$ ،  $\text{H}^+$  و  $\text{ATP}$  را مصرف و مانع انتقال الکترون به مولکول‌های اکسیژن و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود (Selmar et al. 2013). تنش خشکی نقش مهمی در تجمع اسانس از طریق افزایش غدد ترشح‌کننده اسانس در گیاه ریحان داشت (Simon et al. 1992). از دیگر عوامل مؤثر در افزایش تولید اسانس در شرایط خشکی می‌توان به کاهش تخصیص کربن به رشد گیاه و ایجاد تعادل بین مکانیسم‌های دفاعی (تولید اسانس) و رشد گیاه اشاره کرد (Morshedloo et al. 2025). در بررسی حاضر نیز مشخص شد که تنش خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به منجر به افزایش محتوای اسانس شد و هم‌چنین هردو ترکیب مورد استفاده تأثیر مثبت در افزایش محتوای اسانس گیاه را داشت که همسو با نتایج مطالعات انجام شده‌ی پیشین در این خصوص است.

### نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی، موجب کاهش بیوماس گیاه شده و تأثیر منفی بر صفات رشدی (ارتفاع، طول و عرض برگ) و فیزیولوژیکی (شاخص و محتوای کلروفیل و نیز محتوای عناصر) گیاه از طریق افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید، نشت یونی و

موجب بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌هایی مانند خشکی و شوری می‌شود. کیفیت و کمیت گیاهان به شدت تحت تأثیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه آن‌ها قرار می‌گیرد. متابولیت‌های ثانویه گیاهی از طریق مسیرهای بیوسنتز حاصل از متابولیت‌های اولیه و واسطه‌های آن‌ها در گیاه تولید می‌شوند. متابولیت‌های ثانویه از نظر صنایع غذایی، داروسازی و فعالیت بیولوژیکی (ازبین بردن رادیکال‌های آزاد) برای خود گیاه بسیار ارزشمند می‌باشند. ترکیبات شیمیایی اسانس ریحان بسته به ویژگی‌های ژنتیکی، مرحله نمو، شرایط آب و هوایی، شرایط خشک‌شدن و شرایط نگهداری و هم‌چنین ویژگی‌های خاک پرورش‌یافته دست‌خوش تغییرات کمی و کیفی می‌شوند (Al-Snafi 2021). در طول تنش خشکی، بسته‌شدن روزنه‌ها جذب دی‌اکسید کربن را محدود می‌کند و تولید رادیکال آزاد را افزایش می‌دهد. برای مقابله با این مشکل و کاهش سطح رادیکال‌های آزاد، گیاهان دارویی تلاش به بازسازی اجزای کربنی مورد استفاده در ساختارهای متابولیکی خود یعنی تولیدترین می‌کنند. علاوه بر این، با ایجاد تنوع در گروه‌های عملکردی مختلف، این گیاهان می‌توانند از  $\text{H}^+$  و  $\text{NADPH}$  بیشتری استفاده کنند که به کاهش تولید رادیکال‌های آزاد در گیاه کمک

محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی در گیاه شد.

### سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به‌خاطر تامین هزینه‌های پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

induced signaling events and field performance associated with mitigation of drought stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Signaling & Behavior*, 16(2), p.1853384. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1853384>

Abdel Razik, E.S., Alharbi, B.M., Pirzadah, T.B., Alnusairi, G.S., Soliman, M.H. and Hakeem, K.R. (2021).  $\gamma$ -Aminobutyric acid (GABA) mitigates drought and heat stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by regulating its physiological, biochemical and molecular pathways. *Physiologia Plantarum*, 172(2), pp.505-527. <https://doi.org/10.1111/ppl.13216>

Adamipour, N., Khosh-Khui, M., Salehi, H., Razi, H., Karami, A.

محتوای پراکسید هیدروژن را داشت. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که کاربرد توام هردو ترکیب باهم تأثیر مثبت بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش خشکی را داشت. کاربرد اسپرمین و گابا موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید، نشت‌یونی و محتوای پراکسید هیدروژن گیاه و افزایش محتوای اسانس در گیاه شد. هم‌چنین استفاده از تیمارهای

### منابع

Abd Elbar, O.H., Elkelish, A., Niedbała, G., Farag, R., Wojciechowski, T., Mukherjee, S., Abou-Hadid, A.F., El-Hennawy, H.M., Abou El-Yazied, A., Abd El-Gawad, H.G. & Azab, E. (2021). Protective effect of  $\gamma$ -aminobutyric acid against chilling stress during reproductive stage in tomato plants through modulation of sugar metabolism, chloroplast integrity, and antioxidative defense systems. *Frontiers in plant science*, 12, p.663750. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.663750>

Abd El-Gawad, H.G., Mukherjee, S., Farag, R., Abd Elbar, O.H., Hikal, M., Abou El-Yazied, A., Abd Elhady, S.A., Helal, N., ElKelish, A., El Nahhas, N. & Azab, E. (2021). Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)-

- Albergaria, E.T., Oliveira, A.F.M. & Albuquerque, U.P. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. South African Journal of Botany, 131,12-17. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.002>
- Alcázar, R., Bueno, M. & Tiburcio, A.F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. Cells, 9(11), 2373. <https://doi.org/10.3390/cells9112373>
- Al-Snafi, A.E. (2021). Chemical constituents and pharmacological effects of *Ocimum basilicum*-A review. International Journal of Pharmaceutical Research, 13: 2997-3013. DOI:[10.31838/ijpr/2021.13.02388](https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.02388)
- Ambekar Nareshkumar, A.N., Nagamallaiah, G.V., Pandurangaiah, M., Kiranmai, K., Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B. & Chinta Sudhakar, C.S. (2015). Pb-stress induced oxidative stress caused alterations in antioxidant efficacy in two groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. Journal of & Moghadam, A. (2020). Role of genes and metabolites involved in polyamines synthesis pathways and nitric oxide synthase in stomatal closure on *Rosa damascena* Mill. under drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 148, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.12.033>
- Ahmad, S. & Fariduddin, Q. (2024). Deciphering the enigmatic role of gamma-aminobutyric acid (GABA) in plants: Synthesis, transport, regulation, signaling, and biological roles in interaction with growth regulators and abiotic stresses. Plant Physiology and Biochemistry, 208, 108502. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108502>
- Akbarzadeh, S., Morshedloo, M.R., Behtash, F., Mumivand, H. & Maggi, F. (2023). Exogenous  $\beta$ -aminobutyric acid (BABA) improves the growth, essential oil content, and composition of grapefruit mint (*Mentha suaveolens* × *piperita*) under water deficit stress conditions. Horticulturae, 9(3), 354. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030354>

- Biology, 24(1), 569. doi: 10.1186/s12870-024-05272-5.
- Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N. & Pirbalouti, A.G. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116>
- Bahreininejad, B., Razmjou, J. & Mirza, M. (2013). Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. 7 (1), 151-166. doi: [10.22069/ijpp.2012.927](https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.927)
- Bashir, R., Riaz, H.N., Anwar, S., Parveen, N., Khalilzadeh, R., Hussain, I. & Mahmood, S. (2021). Morpho-physiological changes in carrots by foliar  $\gamma$ -aminobutyric acid under drought stress. *Brazilian Journal of Botany*, 44(1), 57-68. DOI: [10.1007/s40415-020-00676-7](https://doi.org/10.1007/s40415-020-00676-7)
- Basit, F., Bhat, J.A., Guan, Y., Jan, B.L., Tyagi, A. & Ahmad, P. (2022). Nitric oxide and spermine revealed positive defense interplay for the regulation of the chromium Agricultural Science 6, 1283–1297. <https://doi.org/10.4236/AS.2015.610123>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemists, Washington.
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1–15. doi: [10.1104/pp.24.1.1](https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1)
- Asghari, J., Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Banaei-Asl, F., Amani Machiani, M. & Harrison, M.T. (2023). Selenium nanoparticles improve physiological and phytochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Land*, 12(1), 164. <https://doi.org/10.3390/land12010164>
- Ashraf, U., Anjum, S.A., Naseer, S., Abbas, A., Abrar, M., Nawaz, M. & Luo, K. (2024). Gamma amino butyric acid (GABA) application modulated the morpho-physiological and yield traits of fragrant rice under well-watered and drought conditions. *BMC Plant*

- [doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04038](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04038)
- Fedina, I., Georgieva, K., Velitchkova, M. & Grigorova, I. (2006). Effect of pretreatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. *Environmental and experimental botany*, 56(3), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.006>
- Hasan, M.M., Alabdallah, N.M., Alharbi, B.M., Waseem, M., Yao, G., Liu, X.D., Abd El-Gawad, H.G., El-Yazied, A.A., Ibrahim, M.F., Jahan, M.S. & Fang, X.W. (2021). GABA: A key player in drought stress resistance in plants. *International journal of molecular sciences*, 22(18), 10136. [doi.org/10.3390/ijms221810136](https://doi.org/10.3390/ijms221810136)
- Heath, R.L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- toxicity in soybean (*Glycine max* L.). *Environmental Pollution*, 308, 119602. [doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119602](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119602)
- Begum, N., Ahanger, M.A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N.S.A., Ahmad, P. & Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. *Plants (Basel)*, 8(12), 579. <https://doi.org/10.3390/plants8120579>
- Bukhari, M.A., Ahmad, Z., Ashraf, M.Y., Afzal, M., Nawaz, F., Nafees, M., Jatoi, W.N., Malghani, N.A., Shah, A.N. & Manan, A. (2021). Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. *Silicon*, 13, 4757-4772. [doi:10.1007/s12633-020-00797-4](https://doi.org/10.1007/s12633-020-00797-4)
- Dawood, M.F. & Abeed, A.H. (2020). Spermine-priming restrained water relations and biochemical deteriorations prompted by water deficit on two soybean cultivars. *Heliyon*, 6(5), e04038

- physiological and agronomic attributes of maize (*Zea mays* L.) under induced polyethylene glycol osmotic stress. *ACS omega*, 8(25), 22788-22808.  
<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01715>
- Kalamartzis, I., Papakaloudis, P. & Dordas, C. (2023). Basil (*Ocimum basilicum*) landraces can be used in a water-limited environment. *Plants*, 12(13), 2425.  
[doi.org/10.3390/plants12132425](https://doi.org/10.3390/plants12132425)
- Kim, K.H., Tsao, R., Yang, R. & Cui, S.W. (2006). Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food chemistry*, 95(3), 466-473.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.032>
- Kinnersley, A.M. & Lin, F. (2000). Receptor modifiers indicate that 4-aminobutyric acid (GABA) is a potential modulator of ion transport in plants. *Plant Growth Regulation*, 32(1), 65-76.  
DOI:[10.1023/A:1006305120202](https://doi.org/10.1023/A:1006305120202)
- Kinnersley, A.M. & Turano, F.J. (2000). Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. *Critical*
- Heydarnejadiyan, H., Maleki, A. & Babaei, F. (2020). The effect of zinc and salicylic acid application on grain yield, essential oil and phytochemical properties of fennel plants under drought stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(6), 1371-1385.  
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1860832>
- Hijaz, F., Nehela, Y., & Killiny, N. (2018). Application of gamma-aminobutyric acid increased the level of phytohormones in *Citrus sinensis*. *Planta*, 248, 909-918. doi: [10.1007/s00425-018-2947-1](https://doi.org/10.1007/s00425-018-2947-1)
- Hussain, A., Nazir, F. & Fariduddin, Q. (2019). 24-epibrassinolide and spermidine alleviate Mn stress via the modulation of root morphology, stomatal behavior, photosynthetic attributes and antioxidant defense in *Brassica juncea*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(4), 905-919. DOI: [10.1007/s12298-019-00672-6](https://doi.org/10.1007/s12298-019-00672-6)
- Kakar, H.A., Ullah, S., Shah, W., Ali, B., Satti, S.Z., Ullah, R., Muhammad, Z., Eldin, S.M., Ali, I., Alwahibi, M.S. & Elshikh, M.S. (2023). Seed priming modulates

- Morshedloo, M.R., Saeidi, S., Zahedi, S.M., Jahantab, E. & Ghorbanpour, M. (2025). Foliar-applied silicon and nano-silicon alter the product quality and defense system in ginger mint (*Mentha gracilis* R. Br.) under drought stress by inducing essential oil accumulation and antioxidant activity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23,1-4.  
<https://doi.org/10.1007/s42729-025-02245-x>
- Mulugeta, S.M. & Radácsi, P. (2022). Influence of drought stress on growth and essential oil yield of *Ocimum* species. *Horticulturae*, 8(2), 175.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8020175>
- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R. & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381>
- MusieMulugeta, S.,andRadácsi, P. (2022). Influence of drought stress on growth and essential  
Reviews in Plant Sciences, 19(6), 479-509.  
<https://doi.org/10.1080/07352680091139277>
- Li, Z., Hou, J., Zhang, Y., Zeng, W., Cheng, B., Hassan, M.J., Zhang, Y., Pu, Q. & Peng, Y. 2020. Spermine regulates water balance associated with Ca<sup>2+</sup>-dependent aquaporin (TrTIP2-1, TrTIP2-2 and TrPIP2-7) expression in plants under water stress. *Plant and Cell Physiology*, 61(9), 1576-1589. DOI: [10.1093/pcp/pcaa080](https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa080)
- Mahajan, N., Rawal, S., Verma, M., Poddar, M., Alok, S. (2013). A phyto-pharmacological overview on *Ocimum* species with special emphasis on *Ocimum Sanctum*. *Biomedicine and Preventive Nutrition*, 3,185-192.  
<https://doi.org/10.1016/j.bionut.2012.08.002>
- Marco, F., Busó, E., Lafuente, T. & Carrasco, P. (2019). Spermine confers stress resilience by modulating abscisic acid biosynthesis and stress responses in Arabidopsis plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 972.  
[doi.org/10.3389/fpls.2019.00972](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00972)

- organelles. *The Plant Cell*, 36(9), 3036-3056. doi: [10.1093/plcell/koae128](https://doi.org/10.1093/plcell/koae128)
- Pazoki, A. R. 2017. Effect of polyamins foliar application on morphological traits, protein and extract contents of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Agricultural Research*, 9, 71-93.
- Rahimi, M., Mortazavi, M., Mianabadi, A., Debnath, S. (2023). Evaluation of basil (*Ocimum basilicum*) accessions under different drought conditions based on yield and physio-biochemical traits. *BMC Plant Biology*, 23, 523. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04554-8>
- Rahimi, A., Gitari, H., Lyons, G., Heydarzadeh, S., Tuncurk, M. & Tuncurk, R. (2023). Effects of vermicompost, compost and animal manure on vegetative growth, physiological and antioxidant activity characteristics of *Thymus vulgaris* L. under water stress. *YuzuncuYil University Journal of Agricultural Sciences*, 33(1), 40-53. [http://dx.doi.org/10.29133/yyu\\_tbd.1124458](http://dx.doi.org/10.29133/yyu_tbd.1124458)
- oil yield of *Ocimum* species. *Horticulturae*, 8(175), 1-12. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae8020175>
- Nasiri, E., Shekari, F., Abbasi, A., Morshedloo, M.R., Ghorbanpour, M. (2025). Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid mitigates drought-induced impairments in *Thymus daenensis* Celak by regulating physiological traits, antioxidant enzymes and essential oil constituents. *BMC Plant Biology*, 25(1), 336. doi: 10.1186/s12870-025-06323-1.
- Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M. A. & Kakaei, K. (2023). Optimizing antioxidant activity and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) by integrative application of biofertilizer and stress-modulating nanoparticles under drought stress conditions. *Plants*, 12(151), 1-26. <https://doi.org/10.3390/plants12010151>
- Otegui, M.S., Steelheart, C., Ma, W., Ma, J., Kang, B.H., De Medina Hernandez, V.S., Dagdas, Y., Gao, C., Goto-Yamada, S., Oikawa, K. & Nishimura, M. (2024). Vacuolar degradation of plant

- 10(1),118. [doi.org/10.3390/plants10010118](https://doi.org/10.3390/plants10010118)
- SedighiMoshkenani, F., Niknam, V., Sharifi, G., and SeifiKalthor, M. (2020). An investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(39), 29-50. (In Persian with English abstract). doi: [20.1001.1.23222727.1399.9.3.9.10.9](https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.3.9.10.9)
- Seifikalthor, M., Aliniaiefard, S., Bernard, F., Seif, M., Latifi, M., Hassani, B., Didaran, F., Bosacchi, M., Rezadoost, H. & Li, T. (2020).  $\gamma$ -Aminobutyric acid confers cadmium tolerance in maize plants by concerted regulation of polyamine metabolism and antioxidant defense systems. *Scientific Reports*, 10(1), 3356. [doi.org/10.1038/s41598-020-59592-1](https://doi.org/10.1038/s41598-020-59592-1)
- Seifikalthor ,M., Niknam, V., Aliniaiefard, S., Didaran, F., Tsaniklidis, G., Fanourakis, D., Teymoorzadeh, M., Mousavi, S.H., Bosacchi, M. & Li, T. (2022). The regulatory role of  $\gamma$ -Aminobutyric acid in chickpea plants depends on drought tolerance and water
- Raza, M.A.S., Aslam, M.U., Valipour, M., Igbel, R., Haider, I., Mustafa, A.Z.M.A0, Elshikh, M.S., Ali, I., Roy, R. & Elshomly, A.M.S. (2024). Seed priming with selenium improves growth and yield of quinoa plants suffering drought. *Scientific Reports*, 14, 886. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51371-6>.
- Roberts, M.R. (2007). Does GABA act as a signal in plants? Hints from molecular studies: hints from molecular studies. *Plant signaling & behavior*, 2(5), 408-409. <https://doi.org/10.4161/psb.2.5.4335>
- Saheri, F., Barzin, G., Pishkar, L. Mashhadi Akbar Boojar, M. & Babaeekhou, L. (2020). Foliar spray of salicylic acid induces physiological and biochemical changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Biologia*, 75, 2189–2200. DOI:[10.2478/s11756-020-00571-2](https://doi.org/10.2478/s11756-020-00571-2)
- Samec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V. & Salopek-Sondi, B. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response: the influence of molecular structure. *Plants*,

- Shakirova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. & Shakirova, F.M. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21, 314-319.
- Shanak, S., Bassalat, N., Albzoor, R., Kadan, S. & Zaid, H. (2021). In vitro and in silico evaluation for the inhibitory action of (*O.basilicum*) methanol extract on  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, doi: [10.1155/2021/5515775](https://doi.org/10.1155/2021/5515775).
- Shirazi, M.U., Ashraf, M.Y., Khan, M. A. & Nagvi, M. H. (2005). Potassium induced salinity tolerance in wheat. *International Journal of Environment Science Technology*, 2, 233-236. doi.org/10.1007/BF03325881
- Simon, J.E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R.J., Charles, D.J. (1992). Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1), 71-5. <https://doi.org/10.1080/10412905.1992.9698013>
- scarcity level. *Scientific Reports*, 12(1), 7034. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10571-8>.
- Selmar, D. & Kleinwächter, M. 2013. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. *Plant and Cell Physiology*, 54(6), 817-826. DOI: [10.1093/pcp/pct054](https://doi.org/10.1093/pcp/pct054)
- Shah, W., Zaman, N., Ullah, S. & Nafees, M. (2022). Calcium chloride enhances growth and physio-biochemical performance of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought-induced stress regimes: a future perspective of climate change in the region. *Journal of Water and Climate Change*, 13(9), 3357-3378. doi:10.2166/wcc.2022.134
- Shahrajabian, M.H., Sun, W. & Cheng, Q. (2020). Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. *International journal of food properties*, 23(1), 1961-1970. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1828456>

- of nano selenium and quantum dot on the growth and some physiological traits of *Rosmarinus officinalis* L. *Nova Biological Reports*, 11(3), 70-85. doi: [10.22034/NBR.11.3.70](https://doi.org/10.22034/NBR.11.3.70)
- Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64, 88-93. doi: [10.1104/pp.64.1.88](https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88)
- Wang, Z., Yang, Y., Yadav, V., Zhao, W., He, Y., Zhang, X. & We, C. (2022). Drought-induced proline is mainly synthesized in leaves and transported to roots in watermelon under water deficit. *Horticultural Plant Journal*, 8(5), 615-626. doi.org/10.1016/j.hpj.2022.06.009.
- Yamaguchi, K., Takahashi, Y., Berberich, T., Imai, A., Takahashi, T., Michael, A.J. & Kusano, T. 2007. A protective role for the polyamine spermine against drought stress in *Arabidopsis*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 352(2), 486-490. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.11.041>
- Stanojevic, L.P., Marjanovic-Balaban, Z.R. & Kalaba, V.D., Stanojevic, J.S., Cvetkovic, D.J., Cakic, M.D. (2017). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20, 1557-1569. DOI: [10.1080/0972060X.2017.1401963](https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1401963)
- Tripathi, D., Singh, M. & Pandey-Rai, S. (2022). Crosstalk of nanoparticles and phytohormones regulate plant growth and metabolism under abiotic and biotic stress. *Plant Stress* 6:100107. [doi.org/10.1016/j.stress.2022.100107](https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100107).
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. & Gasparikora, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Plant Soil Environment*, 52, 186-191. DOI: [10.17221/3364-PSE](https://doi.org/10.17221/3364-PSE)
- Vojodi Mehrabani, L., Khani, k.h., Aziz, i N. & Valizadeh Kamran, R. (2024). The effects of drought stress and foliar spray

Zandi, P., Schnug, E. (2022). Reactive oxygen species, antioxidant responses and implications from a microbial modulation perspective. *Biology*, 11(2), 155. doi.org/10.3390/biology11020155

Zarbaksh, S., Shahsavar, A.R., Afaghi, A. & Hasanuzzaman, M. (2024). Predicting and optimizing reactive oxygen species metabolism in *Punica granatum* L. through machine learning: role of exogenous GABA on antioxidant enzyme activity under drought and salinity stress. *BMC Plant Biology*, 24(1), 65. [doi.org/10.1186/s12870-024-04740-2](https://doi.org/10.1186/s12870-024-04740-2)