



Effect of foliar application of naphthalene-acetic acid on physiological properties and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under deficit irrigation conditions

Sakineh Arazm¹, Taher Barzegar^{2*}, Jaefar Nikbakht³, Arezoo Khani⁴

1. Master's student, Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Associate Prof., Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Ph.D. student, Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*Corresponding author: tbarzegar@znu.ac.ir

(Received: 15 September 2024

Revised: 07 October 2024

Accepted: 09 October 2024)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the most important horticultural crops in the world and especially in Iran. In arid and semi-arid regions, water deficit stress is a major limiting factor for crop growth and yield. Increases in water scarcity with climate change reduce plant growth and development, thereby decreasing plant production in agricultural systems. Due to their high leaf area/root ratio and high transpiration rate, cucumber plants are sensitive to water-deficit stress. It is well known that water deficit causes oxidative stress by increasing the production of reactive oxygen species in different cellular organelles, thus affecting membrane stability, lipid peroxidation, and other biological and physiological processes. Various agricultural methods are used to increase plant resistance to environmental stresses. Auxin is one of the important plant growth regulators that play multiple physiological roles in promoting cell elongation and division, seed germination, fruit development, and plant stress responses. Naphthalene acetic acid (NAA) has frequently been demonstrated to enhance growth parameters and productivity in vegetable and other crops. From this standpoint, this research was conducted to study the effect of foliar spraying with different concentrations of NAA on the physiological properties and fruit yield of cucumber under water deficit stress.
- 2. Materials and Methods:** This experiment was conducted at the Research Farm of the Agriculture Faculty (University of Zanjan, Iran) in 2023 using a split plot based on a randomized complete block design with three replicates. The experimental treatments consisted of three different irrigation regimes (70, 85, and 100% ETc) as the main plot and foliar spray of NAA at three levels (0, 50, and 100 mg L⁻¹) as a sub-plot. Kish F1 hybrid cucumber seeds (US Agriseeds Company) were sown at a distance of 50 cm in rows and 120 cm between rows. Different levels of NAA foliar spraying started at 45th true leaf stage and were repeated two times with an interval of 15 days using a mechanical mist sprayer. Irrigation was calculated based on actual evapotranspiration (ETc%) rates. All necessary management practices, such as weed control, were performed according to the recommended package of practices during crop growth. During the growth period and after crop harvest, fruit yield, chlorophyll content, relative water content (RWC), proline, phenolic compounds, electrolyte leakage, malondialdehyde (MDA), H₂O₂ contents, and antioxidant enzyme activity were evaluated.
- 3. Results and Discussion:** Drought affects all aspects of plant physiology, including a reduction of photosynthesis rate and overproduction of reactive oxygen species, resulting in retarded plant growth and significant crop losses. The results showed that deficit irrigation significantly increased the proline content, ion leakage, catalase, and superoxide dismutase enzyme activity. In contrast, deficit irrigation reduced leaf RWC, chlorophyll content, and fruit yield. Foliar application of NAA improved the fruit yield with increasing chlorophyll and proline contents, leaf relative water content, and antioxidant enzyme activity, and decreasing ion leakage, MDA, and H₂O₂ accumulation. Plants have developed an antioxidant defense system that consists of enzymatic (SOD, CAT, POX, etc.) and non-enzymatic (ascorbate, phenolics, proline, etc.) components, which change significantly in response to different stresses, including drought. It was reported that after moderate or severe drought, proline content increased to a different extent in maize hybrids depending on their tolerance. The accumulation of proline under water deficit conditions could contribute to a plant's drought tolerance or could be a stress-injury indicator depending on plant species and the severity of the stress. According to the results, the highest chlorophyll content (2.25 mg g⁻¹FW) and fruit yield (42693.7 kg ha⁻¹) were obtained with the application of NAA 50 mg L⁻¹ under irrigation 100 ETc%. Also, the maximum RWC, and minimum ion leakage,

MDA, and H₂O₂ accumulation were obtained in the plant treated with NAA 100 mg L⁻¹ under irrigation 100 ETc%. The highest value of superoxide dismutase activity (1.67 U mg⁻¹protein) and proline content was observed in irrigation 50 ETc% with application of NAA 100 and 50 mg L⁻¹, respectively. The preliminary application of auxin compounds before drought treatment led to the adjustment of CAT and POX activities, and also suggested that the auxin compounds play an essential role in balancing H₂O₂ levels.

- 4. Conclusion:** According to the results of the experiment, it can be stated that the cucumber plant is a sensitive plant to water deficit stress. Under water deficit, fruit yield decreased. Finally, NAA increased the yield by modulating the negative effects of water deficit stress in cucumber plants. Therefore, according to the results, application of NAA 50 mg L⁻¹ can be proposed to improve the growth and yield of cucumber under normal and deficit irrigation conditions.

Keywords: Antioxidant enzymes, Electrolyte leakage, Fruit yield, Proline, Relative water content.

Citation: Arazm, S., Barzegar, T., Nikbakht, J. & Khani, A. (2026). Effect of foliar application of naphthalene-acetic acid on physiological properties and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under deficit irrigation conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 73-90. doi:10.22034/iuvs.2024.2041200.1386

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تأثیر محلول پاشی نفتالین استیک اسید بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد میوه خیار (*Cucumis sativus* L.) تحت شرایط کم آبیاری

سکینه آرزوم^۱، طاهر برزگر^{۲*}، جعفر نیکبخت^۳، آرزو خانی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- ۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- ۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

*نویسنده مسئول: tbarzegar@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

چکیده

به منظور ارزیابی اثر نفتالین استیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) تحت شرایط کم آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی نفتالین-استیک اسید در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری به طور معنی‌داری میزان کارتنوئید، پرولین، نشت یونی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد و محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد میوه را کاهش داد. محلول پاشی نفتالین استیک اسید با افزایش محتوای کلروفیل، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش نشت یونی موجب بهبود عملکرد خیار گردید. با توجه به نتایج، بیشترین محتوای کلروفیل و عملکرد (۴۲۶۹۳/۷ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد نفتالین استیک اسید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد. حداکثر محتوای نسبی آب برگ، حداقل نشت یونی و محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاهان تیمار شده با نفتالین استیک اسید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی بدست آمد. همچنین بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و محتوای پرولین تحت شرایط کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با کاربرد نفتالین استیک اسید ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. با توجه به نتایج، کاربرد نفتالین استیک اسید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جهت بهبود رشد و عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد میوه، نشت یونی.

استناد: آرزوم، س.، برزگر، ط.، نیکبخت، ج. و خانی، آ. (۱۴۰۴). تأثیر محلول پاشی نفتالین استیک اسید بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد میوه خیار (*Cucumis sativus* L.) تحت شرایط کم آبیاری، علوم سبزی‌ها، ۱۸(۲)، ۷۳-۹۰.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

خیار با نام علمی *Cucumis sativus* L. گیاه علفی یکساله و یکپایه متعلق به خانواده کدوئیان (Cucurbitaceae) می‌باشد که منشا آن به هند یا جنوب آسیا نسبت داده می‌شود. خیار از مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای در سراسر دنیا است که نقش مهمی در تغذیه انسان و مخصوصاً رژیم‌های غذایی گیاهی دارد. از این نظر، تولید کمی و کیفی این محصول از اهمیت زیادی برخوردار است (Alotaibi et al., 2024). با این حال، از آنجایی که این گیاه سرعت تعرق بالایی دارد، به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش کم‌آبی حساس است (Ghahremani et al., 2021).

تنش کم‌آبی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند و منجر به تغییر در صفات فیزیولوژیکی، موفولوژیکی، اکولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان می‌گردد (Meng et al., 2016). تنش کم‌آبی با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در اندام‌های مختلف سلولی باعث پراکسیداسیون لیپیدی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید شده و در نتیجه با افزایش نشت یونی منجر به آسیب غشای سلولی و کاهش پایداری غشاء می‌شود (Sachdev et al., 2021). در همین راستا، گیاهان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و تجمع اسمولیت‌ها از جمله پرولین را برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن افزایش می‌دهند تا اثرات زیان‌بار تنش اکسیداتیو را کاهش دهند (Begum et al., 2020). Rodan و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد نیاز آبی در بادمجان (*Solanum melongena* L.)، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین، پایداری غشاء، مواد جامد محلول و عملکرد میوه کاهش یافته و بر میزان تجمع پرولین، فنل کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کارایی مصرف آب افزوده شد. گزارش شده است که اعمال تنش کم‌آبیاری در خیار (*Cucumis*)

sativus L.) سبب کاهش کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ گردید (Ghahremani et al., 2021).

اثر عمده تنش‌های غیرزیستی، اختلال در رشد و عملکرد است که به‌طور مستقیم تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی قرار می‌گیرند. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای تنظیم سازگاری با تنش‌های محیطی، از طریق تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی و فعال شدن سیستم دفاعی، تنظیم مثبت سطوح رونوشت، فاکتورهای رونویسی، ژن‌های متابولیسم و پروتئین‌های تنش در سطوح سلولی حیاتی هستند (Sabagh et al., 2021). اکسین‌ها جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه از جمله واکنش گیاه به عوامل تنش‌زای محیطی را کنترل می‌کنند. همچنین اکسین‌ها در تعامل با سایر هورمون‌های گیاهی اثر مثبتی بر جنبه‌های مختلف رشد و تکامل سلولی داشته و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی از جمله کم‌آبی را بهبود می‌بخشند (Casanova-Sáez et al., 2021). نفتالین استیک اسید یک اکسین مصنوعی است که عملکردهایی مشابه ایندول استیک اسید داشته و در شرایط عادی و تنش‌زا جهت بهبود رشد و عملکرد گیاهان کاربرد دارد (Noor et al., 2020). گزارش شده است که کاربرد نفتالین استیک اسید باعث افزایش درونی ایندول استیک اسید و اسید آبسزیک در گیاه سویا (*Glycine max*) شد و فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را در پاسخ به کم‌آبی افزایش داد (Xing et al., 2016). مطالعه اثر نفتالین استیک اسید در فلفل رقم Tarihal Local نشان داد که کاربرد آن عملکرد میوه، تعداد و وزن متوسط میوه، تعداد دانه، محتوای کلروفیل و اسید آسکوربیک را افزایش داد و بیشترین تأثیر را غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشت (Sridhar et al., 2009). گزارش شده است که کاربرد ایندول استیک اسید بر روی شبدر سفید (*Trifolium repens* L.)، با افزایش محتویات اسید

کشت خیار اهمیت زیادی دارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی برگی نفتالین استیک-اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گیاه خیار رقم Kish fi تحت شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی و محلول پاشی نفتالین استیک‌اسید در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان کرت فرعی بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، در جدول ۱ آورده شده است.

آبسبزی یک و اسید جاسمونیک و فعالیت ژن‌های پاسخ دهنده به تنش خشکی، اثرات فیزیولوژیکی منفی خشکسالی را کاهش داد (Zhang et al., 2020). Ydav و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که ایندول-۳-استیک اسید از طریق فعال کردن سایر هورمون‌های گیاهی پاسخ‌دهنده به تنش و همچنین تولید گونه‌های فعال اکسیژن که می‌تواند به عنوان مولکول سیگنال عمل کند، در مدیریت تنش خشکی نقش دارد. در شرایط تنش آبی سطوح درون‌زای اکسین‌ها در محصولات مختلف به منظور بهبود تحمل گیاهان به خشکسالی، افزایش می‌یابد. کاربرد خارجی اکسین‌ها با افزایش سطح اکسین درون‌زا باعث افزایش تحمل گیاه به خشکی می‌شود (Lianes et al., 2016).

با توجه به اینکه خیار یکی مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای با نیاز آبی بالا است، لذا مطالعه مکانیسم‌های تحمل به کم‌آبی در گیاه خیار به منظور انجام اقدامات موثر برای تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental soil.

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	نیتروژن N (%)	کلسیم Ca (g kg ⁻¹)	سدیم Na (g kg ⁻¹)	پتاسیم K (g kg ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)	بافت خاک Soil Texture
7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.2	0.94	لومی رسی Clay Loam

ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه‌ی استاندارد فائو- پنمن- مانیتیس برآورد گردید (Vaziri et al, 2008).

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

ET_C: نیاز آبی خیار (میلی‌متر در روز)، ET₀: تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_C: ضریب گیاهی خیار (بدون واحد). لازم به توضیح است مقادیر ET₀ بر اساس روش استاندارد فائو- پنمن- مانیتیس برآورد شد. میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه که برای محاسبه مقادیر ET₀ و ET_C مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۲ نشان داده شده است. پس از محاسبه مقادیر

پس از آماده شدن زمین، بذره‌های خیار رقم Kish F1 (شرکت Agriseeds، آمریکا) با فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۳۵ سانتی‌متر بین بوته‌ها در مزرعه کشت گردید که هر کرت با اندازه ۲۲۰×۲۰۰ سانتی‌متر شامل ۱۰ بوته بود. پس از استقرار کامل گیاهان، محلول پاشی نفتالین استیک‌اسید در مرحله ۵- ۴ برگی شروع و در دو مرحله به فاصله ۱۵ روز تکرار شد و برای محلول پاشی تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. تیمارهای آبیاری یک هفته پس از اولین محلول-پاشی، بر حسب نیاز آبی گیاه خیار اعمال شد و نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین داده‌های روزانه و داده‌های سال جاری شاخص‌های هواشناسی

ET_c، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه
 خیار بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری
 (قطرهای- نواری) و دور آبیاری (سه روز) برآورد شده و
 سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه تامین می‌گردید. نیاز
 آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز
 آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد.

جدول ۲- میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک دانشگاه زنجان در دوره رشد گیاه خیار

Table 2- Average meteorological parameters of university of Zanjan synoptic station during the cucumber plant growth period

ماه Month	میانگین سرعت باد Average wind speed (m S ⁻¹)	ساعات آفتابی Sunny hours	میانگین رطوبت Average humidity (%)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دما حداکثر Maximum temperature (°C)
خرداد June	2.1	9.7	44.1	40.2	12.0	29.2
تیر July	2.3	12.3	34.0	8.2	14.9	33.1
مرداد Aguste	2.2	10.3	28.8	2.2	15.1	34.8
شهریور September	2.3	10.9	36.3	0.9	12.3	31.8

صفات مورد ارزیابی

در طول دوره رشد، میوه‌ها در مرحله بلوغ تجاری هر دو تا سه روز یکبار تا پایان فصل رشد برداشت به منظور ارزیابی عملکرد، با ترازوی دیجیتالی گرمی وزن و عملکرد کل به صورت کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید با استفاده از روش Arnon (۱۹۶۷) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد همگن شده و پس از سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه، میزان جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (RS232) SAFAS MONACO در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل و ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر برای کارتنوئید قرائت شد. در نهایت محتوای آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم با استفاده از رابطه ۲ و ۳ محاسبه گردید که در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل و کارتنوئید در استون ۸۰ درصد، (W) وزن تر نمونه بر حسب گرم و (A) جذب در طول موج مشخص می‌باشد.

رابطه (۲)

$$[20.2(A645)+8.02(A63)] \times V / (W \times 1000)$$

=کلروفیل کل

رابطه (۳)
 $*V/(W) = [7.6(A480) - 1.49(A510)] \times 1000$
 برای اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب برگ (RWC)، ابتدا یک گرم از برگ‌های تازه (FW) توزین و به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر غوطه‌ور کرده، مجدداً وزن اشباع برگ‌ها (TW) اندازه‌گیری شد. در نهایت برگ‌ها را به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن خشک برگ‌ها (DW) به دست آمد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید (Ritchie and Nguyen, 1990).

رابطه (۴)

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

برای اندازه‌گیری درصد نشت یونی (EL) بافت برگ، یک گرم برگ با آب مقطر شسته شده و در لوله‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آنها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت‌سنج قرائت شد (EC₁). سپس لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

مدت ۳۰ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۲۴۰ نانومتر و مدت زمان یک دقیقه و با فاصله زمانی پنج ثانیه تنظیم شد. برای قرائت نمونه‌ها از مخلوط واکنش با حجم نهایی ۲۹۳۰ میکرولیتر حاوی ۲۹۰۰ میکرولیتر بافر سدیم پتاسیم فسفات، ۱۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۱۵ میکرولیتر عصاره آنزیمی برگ استفاده شد. تجزیه پراکسید هیدروژن با کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر تعیین و به ازای هر گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (Zhang *et al.*, 2013). همچنین سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در طول موج ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر دارای لامپ هالوژن قرائت گردید (Giannopolitis and Ries, 1977).

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار V9.3 SAS و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد کل

بر اساس نتایج، با اعمال تنش کم‌آبیاری عملکرد میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کاربرد نفتالین استیک‌اسید سبب تعدیل اثرات تنش کم‌آبی شده و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، با کاربرد نفتالین استیک‌اسید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین عملکرد میوه به‌دست آمد که در مقایسه با گیاهان شاهد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد منجر به افزایش ۳۰/۷۳ درصد در عملکرد کل میوه گردید (شکل ۱). در شرایط تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک‌اسید بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود عملکرد خیار داشت.

نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آنها پس از سرد شدن قرائت شد (EC₂). در نهایت درصد نشت یونی از طریق رابطه پنج با تقسیم هدایت الکتریکی اولیه (EC₁) بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده (EC₂) محاسبه شد (Chen *et al.*, 2008).

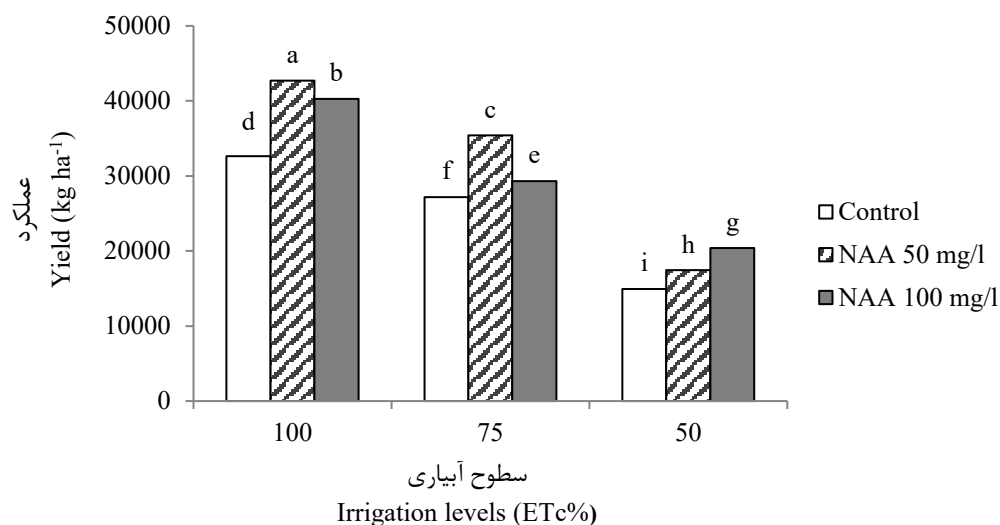
رابطه (۵)

$$EL = (EC_1/EC_2) \times 100$$

میزان تجمع مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌ها با استفاده از روش تیوباریتوریک اسید (TBA) اندازه‌گیری و بر اساس میکرومول در کیلوگرم وزن تر بیان گردید (Yi *et al.*, 2009). همچنین میزان تجمع هیدروژن پراکسید بر اساس روش Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد. محتوای پراکسید هیدروژن با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمده از غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن به صورت میکرومول بر گرم وزن تر حاصل شد.

پرولین برگ با استفاده از روش نین‌هیدرین اندازه‌گیری شد (Bates *et al.*, 1973). ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد، همگن شده و عصاره به دست آمده صاف شد. دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر ناین‌هیدرین به دو میلی‌لیتر از این عصاره صاف شده، اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفتند و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. جذب محلول رویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

برای تهیه عصاره آنزیمی یک گرم نمونه برگ در ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (PH=7.8) حاوی ۰/۲ میلی‌مولار EDTA و ۰/۲ درصد پلی‌وینیل‌پیرولیدین (PVP)، همگن شده و سپس به



شکل ۱- اثر نفتالین استیک اسید بر عملکرد میوه خیار تحت شرایط کم آبیاری. حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Figure 1- The effect of NAA on the fruit yield of cucumber under deficit irrigation. Similar letters indicate non-significant differences between treatments (Duncan's multiple range test at $p < 0.05$).

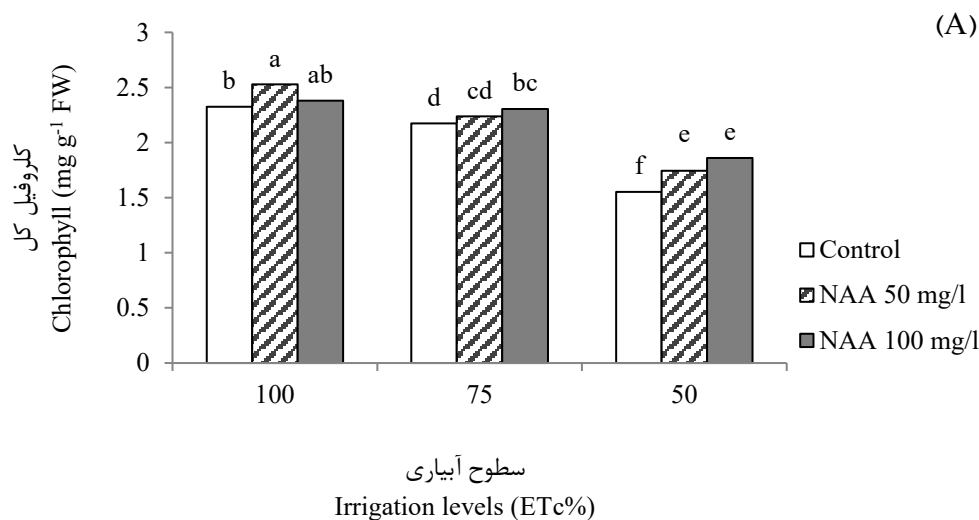
(Elyasi Moghaddam *et al.*, 2015). افزایش دما در طول تابستان باعث ریزش گل و سقط جنین در فلغل شیرین (*Capsicum annuum* L.) شد و کاربرد اسید نفتالین استیک ریزش گل و سقط جنین را کاهش داد (Maboko *et al.*, 2015).

رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

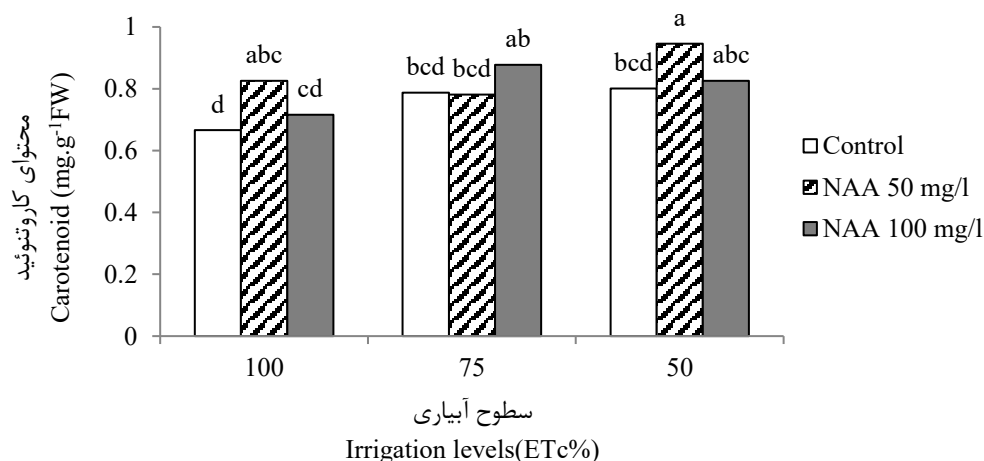
باتوجه به نتایج، تنش کم آبی محتوای کلروفیل برگ را به طور معنی داری کاهش داد و کاربرد نفتالین استیک اسید باعث بهبود محتوای کلروفیل برگ گردید (شکل ۲-۱). بیشترین محتوای کلروفیل برگ (۲/۵۲ میلی گرم در گرم وزن تر) با محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر نفتالین استیک اسید در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد و کمترین مقدار کلروفیل (۱/۵۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان شاهد تحت تنش کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (شکل ۲-۱). طبق نتایج، اعمال تنش کم آبیاری و کاربرد نفتالین استیک اسید، محتوای کاروتنوئید برگ را افزایش داد، به طوری که بیشترین مقدار کاروتنوئید برگ (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر نفتالین استیک اسید تحت شرایط کم آبیاری ۵۰ درصد

یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد میوه خیار، تعداد میوه است. تنش خشکی با کاهش باوری دانه گرده منجر به سقط و ریزش گل و میوه خیار می شود و در نتیجه باعث کاهش عملکرد می گردد (Metwaly *et al.*, 2022). گزارش شد که تنش کم آبی باعث کاهش معنی دار قطر بلال، تعداد دانه در بلال اصلی، وزن دانه و عملکرد دانه ذرت شیرین شد (Ghassemi *et al.*, 2025). علاوه بر این، گزارش شد تنش خشکی با افزایش غلظت اسید آسبیزیک، کاهش ایندول استیک اسید و جیبرلین و کاهش سریع غلظت زآتین، تولید فیتوهورمون‌های درون‌زا را مختل می کند (González-Villagra *et al.*, 2018). مطالعات دیگر همچنین گزارش کردند که کاربرد برون‌زای نفتالین استیک اسید ممکن است بیان جنسیت در خیار را به سمت ماده شدن تغییر دهد، تعداد گل‌های ماده، تعداد میوه در بوته و وزن هر میوه و همچنین عملکرد را افزایش دهد (Alotaibi *et al.*, 2024). کاربرد برگ‌ی نفتالین استیک اسید در مرحله چهارم برگ‌ی با افزایش وزن متوسط میوه موجب افزایش عملکرد میوه در خریزه خاتونی (*Cucumis melo* cv. Khatooni) شد

و کمترین مقدار کارتنوئید برگ (۰/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان شاهد در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (شکل ۲-B).



(B)



شکل ۲- اثر نفتالین‌استیک‌اسید بر محتوای کلروفیل (A) و کارتنوئید (B) برگ خیار تحت شرایط کم‌آبیاری. حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

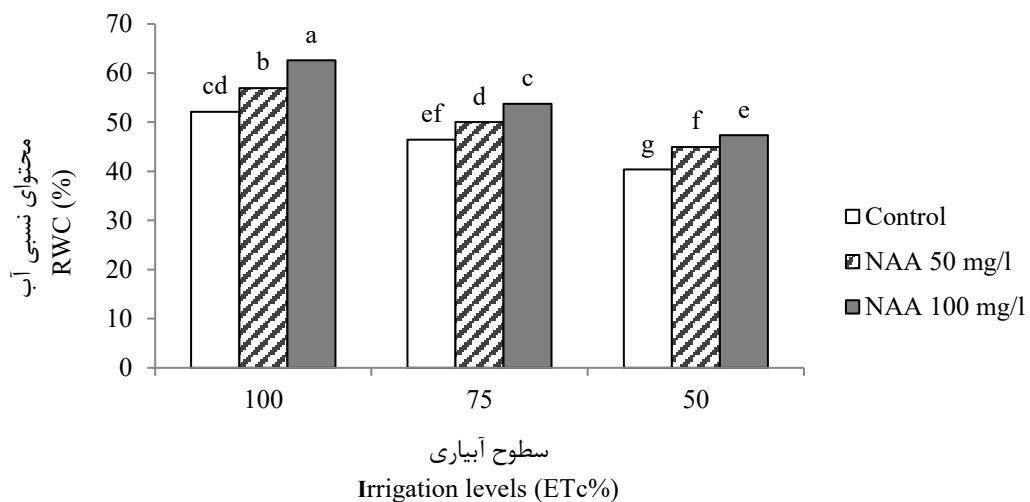
Figure 2- The effect of NAA on chlorophyll (A) and carotenoid (B) contents of cucumber leaf under deficit irrigation. Similar letters indicate differences between treatments (Duncan's multiple range test at $P < 0.05$).

داد (Hannachi *et al.*, 2022). کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب ممکن است ناشی از ممانعت از آسیمیلایسون ترکیبات رنگدانه کلروفیل، تشکیل کلروفیلاز و یا تخریب غشاهای کلروپلاست باشد (Farouk *et al.*, 2018).

تنش کم‌آبی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن سبب تخریب غشای سلولی می‌شود

کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی در اکثر محصولات یک اتفاق رایج است. مطابق با نتایج ما تحت تنش خشکی، غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ‌های خیار کاهش یافت (Ghahremani *et al.*, 2021; Metwaly *et al.*, 2022). گزارش شد تنش خشکی در گیاه بادمجان به‌طور قابل توجهی محتوای کلروفیل b, a و کل و کاروتنوئید را در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش

نتایج حاصل (شکل ۳) نشان داد که اعمال کم‌آبیاری محتوای نسبی آب برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و تیمار نفتالین استیک اسید به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را بهبود بخشید، به‌طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۶۲/۵ درصد) در گیاهان تیمار شده با نفتالین استیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین مقدار در گیاهان شاهد در شرایط کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد.



شکل ۳- اثر نفتالین استیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ گیاه خیار تحت شرایط کم‌آبیاری. حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3- The effect of NAA on RWC of cucumber leaf under deficit irrigation. Similar letters indicate non-significant differences between treatments (Duncan's multiple range test at $p < 0.05$).

(Hannachi *et al.*, 2022) و بادمجان (*al.*, 2022) کاهش یافت.

در محیط‌های تنش‌زا، گیاهان تمایل دارند تا تعادل فیزیولوژیکی خود را از طریق محتوای نسبی آب بالاتر حفظ کنند، به‌ویژه زمانی که میزان تعرق بالا است. شایان ذکر است که با توجه به نفوذپذیری پروتوپلاسمی، گیاهانی که دارای محتوای نسبی آب بالاتری هستند نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر هستند (Raja *et al.*, 2020). کاربرد خارجی ایندول-۳-استیک اسید، محتوای نسبی آب برگ را در گیاه شبدر سفید تحت تنش خشکی افزایش داد و تحمل گیاه را به تنش خشکی بهبود بخشید (Zhang *et al.*, 2020).

و منجر به کاهش مقدار کلروفیل می‌گردد (Maluleke, 2022). گزارش شده است که میزان کلروفیل در خربزه تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافت (Nasrabadi *et al.*, 2015). کاربرد نفتالین- استیک اسید در گیاه دارویی آموس (*Ammi majus* L.)، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش داد (Uddin *et al.*, 2023).

محتوای نسبی آب برگ

یکی از مهم‌ترین اثرات تنش کم‌آبیاری کاهش محتوای نسبی آب برگ است که از این شاخص به‌عنوان یکی از روش‌های قابل اطمینان برای اندازه‌گیری تحمل به تنش کم‌آبیاری گزارش شده است (Inanlufar *et al.*, 2012). مشخص شده است که تحت تنش کم-آبیاری محتوای نسبی آب کاهش می‌یابد به‌طوری‌که کاهش پتانسیل آب برگ از تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند و سبب تغییر در رشد اندام، فتوسنتز خالص و سنتز پروتئین و همچنین تغییر در تعادل هورمونی بافت‌های اساسی گیاه می‌شود (Ma *et al.*, 2006). تحت تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ در بادنجان (Farhangpour *et al.*, 2023)، خیار (Metwaly *et al.*, 2023)

نشت یونی از غشای سلول افزایش یافت (Mahmoudnia *et al.*, 2013). پراکسیداسیون لیپیدی غشاء یکی از پیامدهای تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است و منجر به تولید مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن می‌شود که محتوای آن به‌طور مستقیم با شدت تنش اکسیداتیو مرتبط است (Hussain *et al.*, 2018). تنش خشکی در گیاه بادمجان باعث افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن شد (Hannachi *et al.*, 2022).

کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد بر مقدار پراکسیداسیون لیپیدی در برخی از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است که اکثر این مطالعات نقش مثبت هورمون‌های گیاهی را در کاهش آسیب‌های غشایی و پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تنش اکسیداتیو تأیید می‌کنند. در تایید این مطلب گزارش کردند که کاربرد خارجی نفتالین‌استیک‌اسید باعث افزایش داخلی مقدار ایندول استیک‌اسید و اسید آبسزیک گیاه شده و منجر به افزایش فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسیدسموتاز و پراکسیداز در پاسخ به تنش کم-آبی گردید (Xing *et al.*, 2016). تیمار گیاهان نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) با ترکیبات اکسینی در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و محتوای پراکسید هیدروژن شد و در نتیجه سطوح تنش اکسیداتیو را کاهش داد (Sergiev *et al.*, 2019). گزارش شده است که محلول‌پاشی نفتالین-استیک‌اسید تأثیر قابل توجهی بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه انگور (*Vitis vinifera* L.) نداشت اما به‌طور قابل توجهی باعث کاهش پراکسید هیدروژن در شرایط تنش کم‌آبی شد، که نشان‌دهنده کاهش آسیب سلولی و از دست دادن پایداری غشاء است. کاهش غلظت پراکسید هیدروژن در پاسخ به نفتالین‌استیک‌اسید می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم و کاهش آن باشد (Khandani *et al.*, 2024).

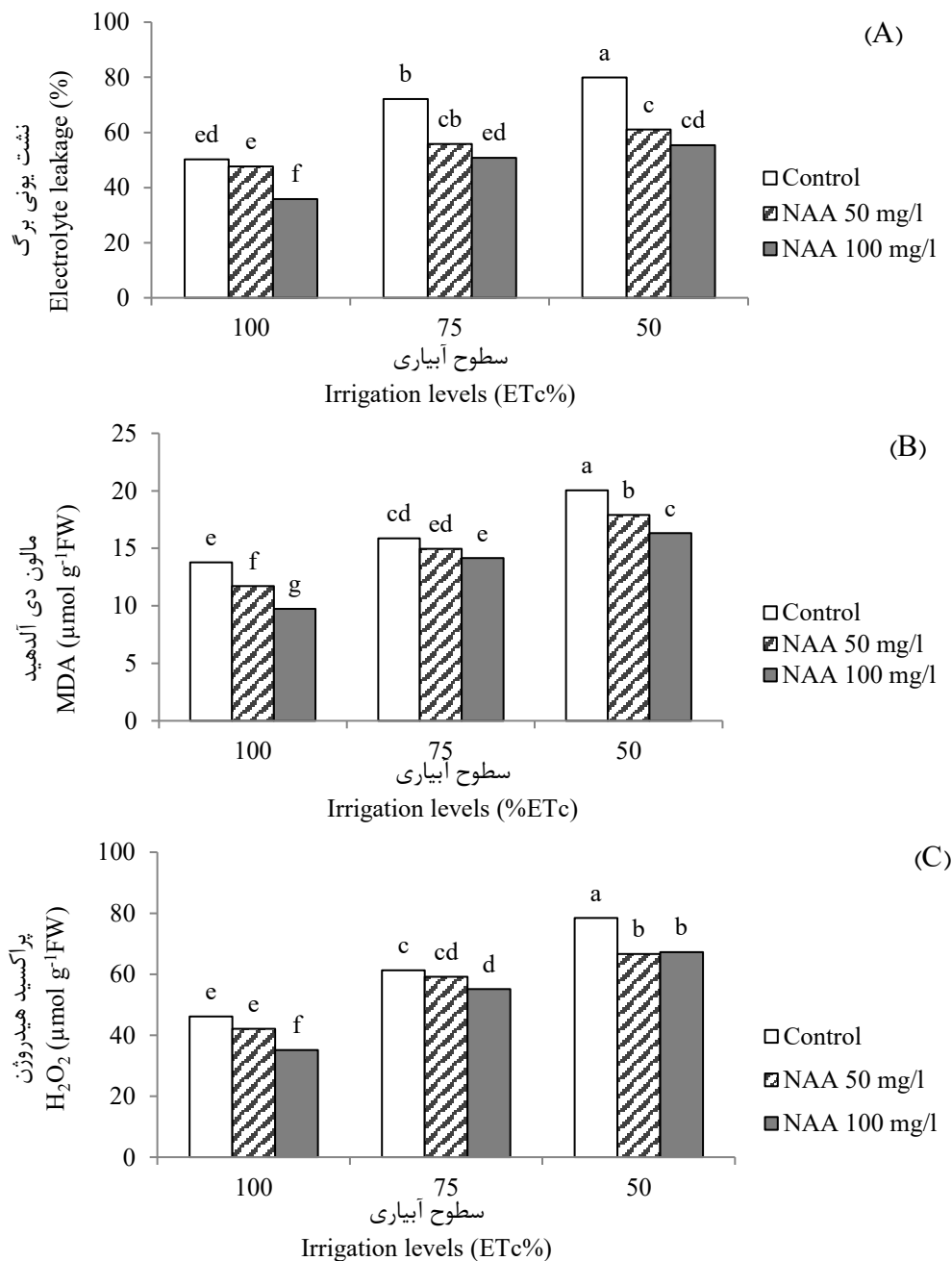
اکسین با افزایش اسید آبسزیک داخلی باعث رشد ریشه‌های جانبی شده و این الگوی رشد ریشه برای پاسخ گیاهان به تنش خشکی ضروری است.

درصد نشت یونی، تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن

طبق نتایج حاصل، اعمال تنش کم‌آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار نشت یونی در برگ خیار گردید و با محلول‌پاشی برگی تیمار نفتالین‌استیک‌اسید پایداری غشای سلولی بهبود یافته و از میزان نشت یونی کاسته شد. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، بالاترین درصد نشت یونی (۷۹/۹) در برگ گیاهان شاهد تحت شرایط کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد و با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین‌استیک‌اسید تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی پایین‌ترین درصد نشت یونی حاصل شد (شکل ۴-۴A).

تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن نیز مطابق نشت یونی به‌صورت خطی در پاسخ به تنش کم-آبیاری افزایش یافت و کاربرد نفتالین‌استیک‌اسید به‌طور قابل توجهی منجر به کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن نسبت به تیمار شاهد شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن نیز در تیمار شاهد تحت شرایط کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین میزان تجمع با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین‌استیک‌اسید به‌دست آمد که نشان‌دهنده وجود همبستگی بالایی بین درصد نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه خیار می‌باشد (شکل ۴-۴B و ۴-۴C).

تنش خشکی در گیاهان با القای تنش اکسایشی و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون‌های چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد (Caverzan *et al.*, 2016). پژوهشی روی چهار رقم گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبیاری نشان داد که در زمان بروز تنش میزان



شکل ۴- اثر نفتالین استیک اسید بر درصد نشت یونی (A)، تجمع مالون دی آلدئید (B) و هیدروژن پراکسید (C) در گیاه خیار تحت شرایط کم آبیاری. حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Figure 4- The effect of NAA on electrolyte leakage (A), MDA (B), and H₂O₂ (C) accumulation of cucumber under deficit irrigation. Similar letters indicate non-significant differences between treatments (Duncan's multiple range test at $p < 0.05$).

آبی گیاه به طور قابل توجهی محتوای پرولین را افزایش داد بنابراین نفتالین استیک اسید در تعدیل اثرات زیان بار تنش کم آبی نقش موثری دارد (شکل ۵).

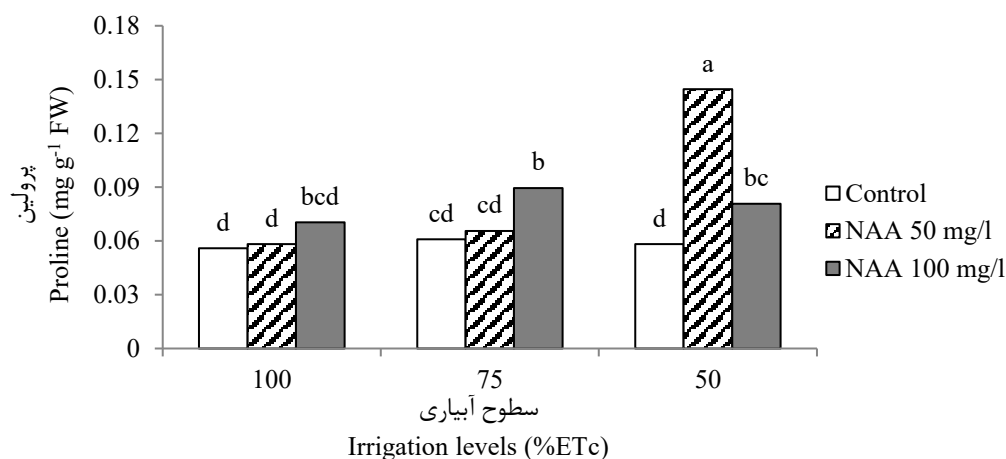
یکی از مهم ترین راه ها برای القای سازگاری با تنش کم آبی، تسهیل تحمل به خشکی از طریق سنتز ترکیبات تنظیم کننده اسمزی مانند پرولین است. ترکیبات

پرولین

نتایج به دست آمده از اندازه گیری پرولین نشان داد که با افزایش شدت تنش کم آبیاری محتوای پرولین افزایش یافت. تیمار نفتالین استیک اسید تأثیر معنی داری بر محتوای پرولین داشت (شکل ۵). طبق نتایج کاربرد نفتالین استیک اسید در شرایط کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز

تنظیم‌کننده اسمزی می‌توانند فشار تورژسانس سلولی را برای زنده نگه داشتن گیاه در شرایط کم‌آبی شدید و حفاظت از رشد گیاه را فعال کنند (Shao et al., 2008). افزایش پرولین یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش کم‌آبی در گیاهان است. پرولین با تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیم، تحمل گیاه را به تنش کم‌آبی بهبود می‌بخشد. یکی از مهم‌ترین محافظ‌های اسمزی، اسیدآمینه پرولین است که برای کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاهان تجمع می‌یابد (Lum et al., 2014). نظرات متفاوتی در رابطه با افزایش پرولین در برگ در شرایط تنش کم‌آبیاری ذکر گردیده است که مهم‌ترین آن را تجزیه پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز پرولین در شرایط تنش کم‌آبیاری بیان نموده‌اند (Ramroudi and Khomr., 2013). گزارش شده است که تنش کم‌آبی محتوای پرولین را در بادنجان (*Solanum melongena* cv. Greta RZ) افزایش داد (Farhangpour et al., 2023). یافته‌های ما نشان داد که کاربرد نفتالین-استیک‌اسید با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تحت تنش کم‌آبی سبب افزایش غلظت پرولین در گیاه خیار شد و با نتایج تحقیقات صورت گرفته بر روی گیاه ذرت مطابقت دارد (Ullah et al., 2021). همچنین گزارش شد القای تجمع پرولین به دلیل کاربرد ترکیبی اکسین و تنش خشکی در گیاهان ذرت (*Zea mays* L.) به نظر می‌رسد که وضعیت آنتی‌اکسیدانی (فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز) و عملکرد رشد گیاه را در شرایط خشکسالی تعدیل می‌کند (Per et al., 2017).

تنظیم‌کننده اسمزی می‌توانند فشار تورژسانس سلولی را برای زنده نگه داشتن گیاه در شرایط کم‌آبی شدید و حفاظت از رشد گیاه را فعال کنند (Shao et al., 2008). افزایش پرولین یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش کم‌آبی در گیاهان است. پرولین با تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیم، تحمل گیاه را به تنش کم‌آبی بهبود می‌بخشد. یکی از مهم‌ترین محافظ‌های اسمزی، اسیدآمینه پرولین است که برای کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاهان تجمع می‌یابد (Lum et al., 2014). نظرات متفاوتی در رابطه با افزایش پرولین در برگ در شرایط تنش کم‌آبیاری ذکر گردیده است که مهم‌ترین آن را تجزیه پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز پرولین در شرایط تنش کم‌آبیاری بیان نموده‌اند (Ramroudi and Khomr., 2013).



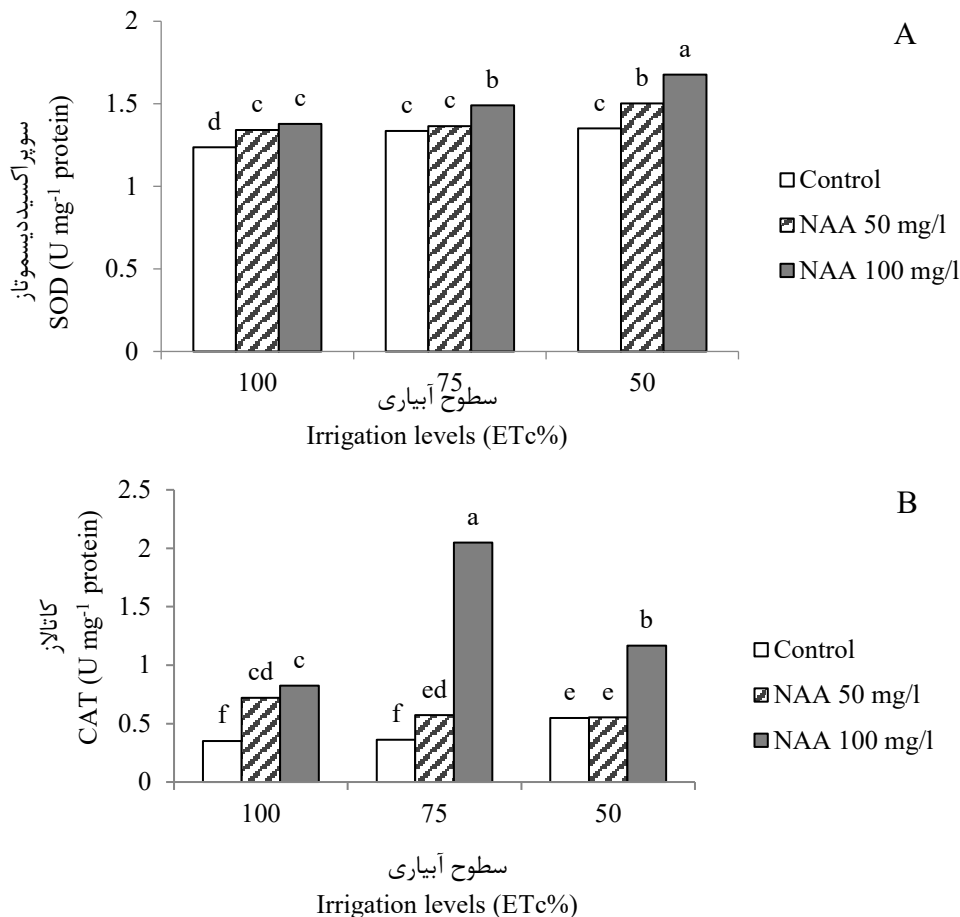
شکل ۵- اثر نفتالین‌استیک‌اسید بر محتوای پرولین در گیاه خیار تحت شرایط کم‌آبیاری. حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 5- The effect of NAA on the proline content of cucumber under deficit irrigation. Similar letters indicate non-significant differences between treatments (Duncan's multiple range test at $p < 0.05$).

درصد نیاز آبی و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱/۶۷ واحد در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) تحت تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد مشاهده شد. کمترین فعالیت آنزیم‌ها در گیاهان بدون تیمار نفتالین‌استیک‌اسید در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شد (شکل ۶- A و B).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بود، به طوری که بررسی داده‌ها نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۰۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در تیمار نفتالین‌استیک-اسید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت تنش کم‌آبیاری ۷۵



شکل ۶- اثر نفتالین استیک اسید بر فعالیت آنزیم های کاتالاز (A) و سوپراکسید دیسموتاز (B) در گیاه خیار تحت شرایط کم آبیاری. حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Figure 6. The effect of NAA on CAT (A) and SOD (B) enzymes in cucumber under deficit irrigation. Similar letters indicate non-significant differences between treatments (Duncan's multiple range test at $p < 0.05$).

اعمال تنش کم آبیاری منجر به افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی گردید که نتایج حاصل با نتایج پژوهش های پیشین در خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) و کاهو (Khani *et al.*, 2020) همخوانی دارد. تنظیم کننده های رشد مانند اکسین ها نه تنها باعث ایجاد تحمل به کم آبی و کاهش آسیب های خشکی می شوند بلکه فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را نیز افزایش می دهند (Mansori *et al.*, 2019). در پژوهشی که بر روی انگور انجام شد با کاربرد نفتالین استیک اسید تحت شرایط کم آبیاری فعالیت آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت (Mahdavian *et al.*, 2021).

نتیجه گیری کلی

آنزیم های آنتی اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز از مهم ترین آنزیم هایی هستند که می توانند رادیکال های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش را خنثی کنند. محافظت از غشاءها در مقابل اثرات مخرب رادیکال های آزاد اکسیژن که تحت شرایط تنش های غیر زنده تولید می شوند، برعهده آنزیم های آنتی اکسیدانی است که باعث مقاومت و پایداری گیاهان می شوند (Tan *et al.*, 2006). تنش کم آبی باعث ایجاد فرآیندهای اکسیداتیو از طریق تولید گونه های فعال اکسیژن می شود که پراکسیداسیون لیپیدی را تسریع می کند و به ساختار غشا آسیب می رساند (Mansori *et al.*, 2019). برای دستیابی به سطح بالاتری از تحمل به خشکی در گیاهان، معمولاً به فعالیت آنزیمی بالاتری نیاز است (Drobek *et al.*, 2019). در پژوهش حاضر،

محتوای نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی گیاه و کاهش نشت یونی و تجمع مالون‌دی-آلدئید و پراکسید هیدروژن شد و در نهایت سبب افزایش عملکرد گردید و باعث تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی بر گیاه خیار شد. بنابراین با توجه به نتایج، کاربرد نفتالین‌استیک‌اسید در شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری می‌تواند نتایج مثبت و مفیدی در پی داشته باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه زنجان جهت حمایت مالی و از آقای مهندس نوری به جهت فراهم آوردن شرایط کار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه سپاسگزاری می‌نمایند.

References

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24(12), 1337-1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Alotaibi, M. M., El Nagy, M. M., Almuziny, M., Alsubeie, M. S., Abo-Zeid, A. A., Alzuaibr, F. M., Alasmari, A., Albalawi, B. F., Abd-Elwahed, A. H. M. & Awad-Allah, M. M. (2024). The effect of foliar application with naphthalene acetic acid and potassium nitrate on the growth, sex ratio, and productivity of cucumbers (*Cucumis sativas* L.) under high temperatures in semi-arid Areas. *Agronomy*, 14(6), 1202. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061202>
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal*, 23, 112-121.
- Bates, L. W., Aldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Begum, N., Ahanger, M. A. & Zhang, L. (2020). AMF inoculation and phosphorus supplementation alleviate drought-induced growth and photosynthetic decline in *Nicotiana tabacum* by up-regulating antioxidant metabolism and osmolyte accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 176, 104088. <https://doi.org/10.1016/j.envenxpbot.2020.104088>
- Casanova-Sáez, R., Mateo-Bonmatí, E. & Ljung, K. (2021). Auxin metabolism in plants. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(3), a039867. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a03987>
- Caverzan, A., Casassola, A. & Brammer, S. P. (2016). Antioxidant responses of wheat plants under stress. *Genetics and Molecular Biology*, 39(1), 1-6. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB2015-0109>
- Chen, J. Y., He, L. H., Jiang, Y. M., Wang, Y., Joyce, D. C., Ji, Z. L. & Lu, W. J. (2008). Role of phenylalanine ammonialyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *Physiologia Plantarum*, 132(3), 318-328. <https://doi.org/10.1111/j.13993054.2007.01013>
- Drobek, M., Frąć, M. & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Eliyasi Moghaddam, M., Barzegar, T. & Ghahremani, Z. (2015). Effect of foliar

- application of naphthalene acetic acid and plant thinning on growth, yield and fruit quality of melon (*Cucumis melo* cv. Khatooni). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(3), 467-474. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2015.55866>
- Farhangpour, M., Barzegar, T., Nekounam, F. & Nikbakht, J. (2023). Growth, physiological responses and water use efficiency of eggplant to foliar spray of L-cysteine and calcium lactate under deficit irrigation condition. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 01-22. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/IUVS.2022.56114.8.1232>
- Farouk, S., & Omar, M. M. (2020). Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 1307-1331. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10071-x>
- Ghassemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Raisi Sadati, S.Y., Sharifi, R. & Taleschian Tabrizi, N. (2025). Evaluation of the effect of ascorbic acid foliar spraying on sweet corn under water stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 21-42. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2024.1978441.1255>
- Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T. & Ranjbar, M. E. (2021). Foliar application of ascorbic acid and gamma-aminobutyric acid can improve important traits of cucumber plants (*Cucumis sativus* cv. Us) under deficit irrigation. *Healthy Plants*, 73, 77-84. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00530-6>
- Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant physiology*, 59(2), 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- González-Villagra, J., Rodrigues-Salvador, A., Nunes-Nesi, A., Cohen, J. D. & Reyes-Díaz, M. M. (2018). Age-related mechanisms and its relationship with secondary metabolism and abscisic acid in *Aristotelia chilensis* plants subjected to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 124, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.010>
- Hannachi, S., Signore, A., Adnan, M. & Mechi, L. (2022). Single and associated effects of drought and heat stresses on physiological, biochemical and antioxidant machinery of four eggplant cultivars. *Plants*, 11, 2404. <https://doi.org/10.3390/plants11182404>
- Khandani, Y., Sarikhani, H., Gholami, M., Rad, A. C., Yousefi, S., Sodini, M. & Sivilotti, P. (2024). Exogenous auxin improves the growth of grapevine (*Vitis vinifera* L.) under drought stress by mediating physiological, biochemical and hormonal modifications. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 3422-3440. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01765-2>
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J. & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attributes of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, 34(1), 11-24. <https://doi.org/10.13128/ahsc-8252>
- Lum, J. A., Conti-Ramsden, G., Morgan, A. T. & Ullman, M. T. (2014). Procedural learning deficits in specific language impairment (SLI): A meta-analysis of serial reaction time task performance. *Cortex*, 51, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.10.011>
- Ma, Q. Q., Wang, W., Li, Y. H., Li, D. Q. & Zou, Q. (2006). Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar-applied glycinebetaine. *Journal of plant physiology*, 163(2), 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.023>
- Mahdavian, M., Sarikhani, H., Hadadinejad, M. & Dehestani, A. (2021). Exogenous application of putrescine positively enhances the drought stress response in two citrus rootstocks by increasing expression of stress-related genes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 1934-1948. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00491-3>
- Mahmoodnia, M., Farsi, M., Marashi, S. H. & Ebadi, P. (2013). Physiological responses to drought stress in four species of tomato.

- Journal Of Horticultural Science*, 26(4): 409-416. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.18252>
- Maluleke, M. K. (2022). Metabolite profile of African horned cucumber (*Cucumis metuliferus* E. May. Ex Naudin) fruit grown under differing environmental conditions. *Scientific Reports*, 12(1), 3722. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07769-1>
- Mansori, K., Shiravand, N., Shadmani, F. K., Moradi, Y., Allahmoradi, M., Ranjbaran, M., ... & Valipour, M. (2019). Association between depression with glycemic control and its complications in type 2 diabetes. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 13(2), 1555-1560. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2019.02.010>
- Meng, S., Zhang, C., Su, L., Li, Y. & Zhao, Z. (2016). Nitrogen uptake and metabolism of *Populus simonii* in response to PEG-induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 123, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.11.005>
- Metwaly, E. S. E., Al-Yasi, H. M., Ali, E. F., Farouk, H. A. & Farouk, S. (2022). Deteriorating harmful effects of drought in cucumber by spraying glycinebetaine. *Agriculture*, 12(12), 2166. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122166>
- Maboko, M. M., Du Plooy, C. P., & Chiloane, S. (2012). Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure. *African Journal of Agricultural Research*, 7 (11), 1742-1748. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.2078>
- Nasrabadi, H. N., Nemati, H., Kafi, M. & Arouei, H. (2015). Effect of foliar application with salicylic acid on two Iranian melons (*Cucumis melo* L.) under water deficit. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (33), 3305-3309. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10057>
- Sridhar, G., Koti, R. V., Chetti, M. B. & Hiremath, S. M. (2009). Effect of naphthalene acetic acid and mipiquat chloride on physiological components of yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural Research*, 47(1), 53-62.
- Nguyen, T. B. T., Ketsa, S. & Van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 30(2), 187-193. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00103-0)
- Noor, A., Ziaf, K., Amjad, M. & Ahmad, I. (2020). Synthetic auxins concentration and application time modulate seed yield and quality of carrot by altering the umbel order. *Scientia Horticulturae*, 262, 109066. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109066>
- Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R. & Anjum, N. A. (2017). Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.018>
- Raja, V., Qadir, S. U., Alyemeni, M. N. & Ahmad, P. (2020). Impact of drought and heat stress individually and in combination on physio-biochemical parameters, antioxidant responses, and gene expression in *Solanum lycopersicum*. *Biotech*, 10, 208. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02206-4>
- Ramroudi, M. & Khomr, A. R. (2013). Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 1(1), 19-31. (In Persian)
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>

- Rodan, M. A., Hassandokht, M. R., Sadeghzadeh-Ahari, D. & Mousavi, A. (2020). Mitigation of drought stress in eggplant by date straw and plastic mulches. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(7), 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.09.006>
- Sabagh, A. E., Mbarki, S., Hossain, A., Iqbal, M. A., Islam, M. S., Raza, A., ... & Farooq, M. (2021). Potential role of plant growth regulators in administering crucial processes against abiotic stresses. *Frontiers in Agronomy*, 3, 648694. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.648694>
- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M. & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 277. <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>
- Sergieiev, I., Todorova, D., Shopova, E., Jankauskiene, J., Jankovska-Bortkevič, E. & Jurkonienė, S. (2019). Exogenous auxin type compounds amend PEG-induced physiological responses of pea plants. *Scientia Horticulturae*, 248, 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.015>
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crvbi.2008.01.002>
- Tan, Y., Liang, Z., Shao, H. & Du, F. (2006). Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 49(1), 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.02.014>
- Uddin, M., Chishti, A. S., Singh, S., Bhat, U. H., Singh, S. & Khan, M. M. A. (2023). Effect of GA₃ and NAA on growth, physiological parameters, and bioactive constituents of *Ammi majus* L. *Industrial Crops and Products*, 194, 116328. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116328>
- Ullah, S., Afzal, I., Shumaila, S., & Shah, W. (2021). Effect of naphthyl acetic acid foliar spray on the physiological mechanism of drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Plant Stress*, 2, 100035. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100035>
- Vaziri, Z. H., Salamat, A., Ansari, M., Meschi, M., Heidari, N., & Dehqany Sanych, H. (2009). Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants)(Translation). *Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran.* (In Persian).
- Xing, X., Jiang, H., Zhou, Q., Xing, H., Jiang, H. & Wang, S. (2016). Improved drought tolerance by early IAA and ABA-dependent H₂O₂ accumulation induced by α -naphthaleneacetic acid in soybean plants. *Plant Growth Regulation*, 80, 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0167-x>
- Yadav, B., Jogawat, A., Gnanasekaran, P., Kumari, P., Lakra, N., Lal, S. K., Pawar, J. & Narayan, O. P. (2021). An overview of recent advances in phytohormone-mediated stress management and drought tolerance in crop plants. *Plant Gene*, 25, 100264. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2020.100264>
- Yi, C., Jiang, Y., Shi, J., Qu, H., Duan, X., Yang, B., Prasad, N. K. & Liu, T. (2009). Effect of adenosine triphosphate on changes of fatty acids in harvested litchi fruit infected by *Peronophythora litchii*. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.008>
- Zhang, Z., Huber, D. J., & Rao, J. (2013). Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.003>
- Zhang, Y., Li, Y., Hassan, M. J., Li, Z. & Peng, Y. (2020). Indole-3-acetic acid improves drought tolerance of white clover via activating auxin, abscisic acid and jasmonic acid related genes and inhibiting senescence genes. *BMC Plant Biology*, 20, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02354-y>