



Evaluating the Impact of Yeast Extract and 24-Epi-Brassinolid Treatments on Physiological Characteristics and Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Under Water Deficiency Condition

Faride Gholami¹| Mohamad Reza Amerian^{2✉}| Hamid Reza Asghari³| Amin Ebrahimi⁴

1. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2. Corresponding author, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: amerian@shahroodut.ac.ir
3. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
4. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: aminebrahimi@shahroodut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: December 21, 2023
Received in revised form: June 12, 2024
Accepted: June 18, 2024
Published online: March 21, 2025

Keywords:

Antioxidant,
growth regulator,
photosynthetic pigments,
yield components.

ABSTRACT

Water deficiency is an effective method to optimize water consumption, particularly in arid and semi-arid regions, making it a highly desirable approach for reducing water use. Additionally, growth regulators can serve as a supplementary strategy for plants under water deficiency conditions. This research evaluated the effects of yeast extract and 24-epibrassinolide under various irrigation conditions. It was conducted as a factorial split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications. The treatments included different irrigation intervals (8, 12, and 16 days), spraying of yeast extract (0 and 12 g/L), and 24-epibrassinolide (0, 5, and 10 μ M). During the 12 and 16-day irrigation periods, seed yield decreased by 21.80% and 25.61%, respectively, compared to the 8-day irrigation period. However, foliar spraying with 10 μ M 24-epibrassinolide and yeast extract increased seed yield by 10.14% and 20.28%, respectively. Additionally, total chlorophyll content decreased by 15.71% and 47.54% during the 12 and 16-day irrigation periods compared to the 8 days. The application of 10 μ M 24-epibrassinolide along with yeast extract increased chlorophyll content by 57.69%. In the 16-day irrigation cycle, the activity of ascorbate peroxidase and catalase enzymes increased by 314.63% and 194.73%, respectively, using 10 μ M brassinolide and yeast extract. Additionally, the levels of proline, flavonoid, and malondialdehyde increased by 52.85%, 109.89%, and 96.33%, respectively, in the 16-day irrigation cycle compared to the 8-day irrigation period. This research demonstrated that applying 12 g per liter of yeast extract combined with 10 μ M brassinolide effectively increases seed yield and mitigates the impact of low irrigation in cowpeas.

Cite this article: Gholami, F., Amerian, M.R., Asghari, H., & Ebrahimi, A. (2025). Evaluating the impact of yeast extract and 24-epi-brassinolid treatments on physiological characteristics and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) subjected to irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(1), 1-22. Doi: [10.22059/ijfcs.2024.369864.655052](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.369864.655052).





بررسی تأثیر عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت شرایط کم آبیاری

فریده غلامی^۱ | محمدرضا عامریان^۲ | حمیدرضا اصغری^۳ | امین ابراهیمی^۴

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: amerian@shahroodut.ac.ir
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: aminebrahimi@shahroodut.ac.ir

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|---------------------------|---|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | کم آبیاری یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب و مطلوب‌ترین روش در مصرف آب کمتر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. همچنین تنظیم‌کننده‌های رشد می‌توانند به‌عنوان یک راهکار کمکی برای گیاهان در شرایط کم آبیاری باشند. این پژوهش، به‌منظور ارزیابی اثرات عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید در شرایط کم آبیاری در قالب آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. تیمارها شامل سطوح آبیاری (هشت، ۱۲ و ۱۶ روز)، محلول‌پاشی عصاره مخمر (صفر و ۱۲ گرم در لیتر) و ۲۴-اپی براسینولید (صفر، پنج و ۱۰ میکرومولار) بودند. در دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۱/۸۰ و ۲۵/۶۱ درصد نسبت به دور آبیاری هشت روز کاهش یافت. محلول‌پاشی با ۱۰ میکرومولار براسینولید و عصاره مخمر به‌ترتیب موجب افزایش ۱۰/۱۴ و ۲۰/۲۸ درصدی عملکرد دانه شدند. کلروفیل کل در دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز نسبت به دور آبیاری هشت روز، به‌ترتیب ۱۵/۷۱ و ۴۷/۵۴ درصد کاهش نشان داد، در حالی که کاربرد ۱۰ میکرومولار براسینولید به‌همراه عصاره مخمر محتوای آن را تا ۵۷/۶۹ درصد افزایش داد. فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در دور آبیاری ۱۶ روز با کاربرد ۱۰ میکرومولار براسینولید و عصاره مخمر به‌ترتیب ۳۱۴/۶۳ و ۱۹۴/۷۳ درصد نسبت به دور آبیاری ۸ روز، افزایش یافتند. لازم به ذکر است، میزان پرولین (۵۲/۸۵ درصد)، فلاونوئید (۱۰۹/۸۹ درصد) و مالون‌دی‌آلدئید (۹۶/۳۳ درصد) در دور آبیاری ۱۶ روز نسبت به دور آبیاری ۸ روز افزایش یافتند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر به همراه ۱۰ میکرومولار براسینولید جهت افزایش عملکرد دانه و کاهش اثرات کم آبیاری در لوبیا چشم‌بلبلی مؤثر است. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰ | |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹ | |
| تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱ | |
| کلیدواژه‌ها: | |
| آنتی‌اکسیدان، | |
| اجزای عملکرد، | |
| تنظیم‌کننده رشد، | |
| رنگدانه‌های فتوسنتزی. | |

استناد: غلامی، ف.، عامریان، م.ر.، اصغری، ح.ر.، و ابراهیمی، ا. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) تحت شرایط کم آبیاری. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۶(۱)، ۱-۲۲. doi: 10.22059/ijfcs.2024.369864.655052



۱. مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) گیاهی علفی از تیره بقولات (Fabaceae) است که به‌عنوان یک گیاه زراعی مهم در سراسر جهان کشت می‌شود. این گیاه در طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی و خاکی قابل کشت است و از نظر تغذیه‌ای اهمیت زیادی دارد (Bakhshi et al., 2021). این گیاه به‌دلیل داشتن ویژگی‌های مثبت از قبیل تحمل به خشکی، حرارت بالا، شوری خاک و مقاومت در برابر بیماری‌ها و آفات در زراعت اهمیت دارد. لوبیا چشم‌بلبلی در ایران به‌عنوان یک منبع غنی از مواد مغذی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bakhshi et al., 2021). دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی حاوی تقریباً ۲۵ درصد پروتئین با کیفیت بالا، کربوهیدرات‌ها، اسیدفولیک، فنل‌ها و مواد معدنی ضروری است (Carvalho et al., 2019).

کم‌آبیاری راهکاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف کمتر آب است. در شرایط کم‌آبیاری با وجود این که ممکن است عملکرد در واحد سطح کاهش یابد، کاهش در میزان آب مصرفی موجب جبران کاهش عملکرد می‌شود (Gokcel & Sezen, 2009). یکی از راهکارهای مقابله با مشکلات ناشی از کم‌آبیاری در گیاهان، کاربرد برخی محرک‌ها از قبیل تنظیم‌کننده‌های رشد و هورمون‌ها می‌باشد. براسینولیدها دسته‌ای از هورمون‌های گیاهی هستند که عملکرد گیاهان را از طریق تغییرات متابولیسمی گیاه و حفاظت آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند (Nolan et al., 2020). براسینولیدها از طریق افزایش فتوسنتز، بیوستنز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها رشد گیاهان را افزایش می‌دهند (Castañeda-Murillo et al., 2022). تحقیقات نشان داده است که کاربرد براسینولیدها در شرایط کم‌آبیاری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین می‌شود و همچنین میزان گونه‌های فعال اکسیژن و محتوای مالون‌دی‌آلدئید را تا سطح معنی‌داری کاهش می‌دهند (Khan et al., 2021). همچنین کاربرد محرک‌های زیستی به‌عنوان فاکتورهای کاهش‌دهنده اثرات تنش‌های زیستی و غیر زیستی مورد توجه قرار گرفته است (Keramati et al., 2021). کاربرد عصاره مخمر به‌عنوان یکی از محرک‌های زیستی تأثیرگذار، به‌صورت گسترده‌ای توسط محققین با هدف القای مقاومت در گیاهان زراعی نسبت به تنش‌های غیر زیستی مورد توجه قرار گرفته است. عصاره مخمر *Saccharomyces cerevisiae* شامل ترکیبات مختلفی از قبیل آمینواسیدها، ویتامین‌ها و ترکیبات معدنی است. عصاره مخمر موجب فعال شدن نوعی مکانیسم دفاعی در گیاهان می‌شود و ژن‌های دخیل در بیوستنز متابولیت‌های ثانویه را تحریک می‌کند (Yaghobnezhad et al., 2023). محققان نشان دادند که عصاره مخمر حاوی هورمون‌های گیاهی می‌باشد و نقش مهمی در تحمل به شرایط کم‌آبیاری در گیاهان ایفا می‌کند (Taha et al., 2020).

نتایج یک تحقیق نشان داد که کاربرد ۲۴-اپی براسینولید در لوبیا چشم‌بلبلی از طریق بهبود محتوای نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، ساخت پروتئین و هدایت روزنه‌ای موجب افزایش رشد و عملکرد دانه در این گیاه می‌شود (Sadeghipoor, 2015). محققان دریافتند که عصاره مخمر نیز موجب بهبود صفاتی از قبیل محتوای پرولین، فلاونوئید برگ، محتوای نسبی آب برگ، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه در لوبیا چشم‌بلبلی شد (Keramati et al., 2021). استفاده از عصاره مخمر موجب افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه در لوبیا چشم‌بلبلی گردیده است (Hassanen et al., 2020).

با توجه به اهمیت و گسترش تنش خشکی در ایران و جهان و اهمیت لوبیا چشم‌بلبلی در کشاورزی ایران این پژوهش با اهداف بررسی اثرات شرایط کم‌آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا چشم‌بلبلی و ارزیابی تأثیر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر افزایش تحمل لوبیا چشم‌بلبلی انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود روی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی توده محلی بسطام در قالب آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳/۰۳/۱۴۰۰ انجام شد. ویژگی‌های خاک و آب مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ گزارش شده است.

Table 1. Properties of the experimental soil and water.

| Soil texture | pH | Electrical conductivity (EC) (ds/m) | Organic carbon (%) | Total nitrogen (N) (%) | Phosphorus (P) (mg/kg) | Potassium (K) (mg/kg) | |
|--------------|-----------|-------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----|
| Silty Loam | لوم سیلتی | 7.36 | 1.5 | 0.40 | 0.1 | 10.00 | 280 |

Table 2. Properties of the experimental water.

| Electronic conductivity (EC)(ds/m) | pH | HCO ₃ ⁻ (Meq/L) | Cl ⁻ (Meq/L) | SO ₄ ²⁻ (Meq/L) | Ca ²⁺ (Meq/L) | Mg ²⁺ (Meq/L) | Na ⁺ (Meq/L) |
|------------------------------------|-----|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1.5 | 7.4 | 3.8 | 10.2 | 12.2 | 18.4 | 11.6 | 11.0 |

تیمارهای آزمایش شامل کم آبیاری به صورت افزایش دور آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح، هر هشت روز (نرمال)، هر ۱۲ روز (کم آبیاری ملایم) و هر ۱۶ روز (کم آبیاری شدید) بود. محلول پاشی عصاره مخمر در دو سطح (صفر و ۱۲ گرم در لیتر) (Dehghan *et al.*, 2020) و ۲۴-پی براسینولید در سه سطح (صفر، پنج و ۱۰ میکرومولار) (Hassanen *et al.*, 2020) و ۲۴-پی براسینولید در سه سطح (صفر، پنج و ۱۰ میکرومولار) (Rafeie *et al.*, 2020; Sheikhi *et al.*, 2021) قبل از گلدهی به عنوان فاکتورهای فرعی بودند. نوع مخمر مورد استفاده *Saccharomyces cerevisiae* بود که از شرکت Quelab کانادا تهیه شد. ۲۴-پی براسینولید مورد استفاده (CAS number: 78821-43-9) نیز از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شد. در این تحقیق هیچ نوع کوددهی انجام نشد.

آبیاری به صورت تحت فشار با استفاده از لوله تیپ انجام شد و میزان آب آبیاری برای تمام کرت‌ها یکسان بود. تعداد کل دفعات آبیاری در تیمار هشت، ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب ۱۱، ۱۴ و نه مرتبه و حجم کل آبیاری برای این تیمارهای آبیاری به ترتیب ۲۴۱، ۱۸۹ و ۱۵۵ متر مکعب در نظر گرفته شد. در ضمن مساحت کاشت برای تمامی تیمارهای آبیاری برابر با ۳۴۸ متر مربع بود. آزمایش در مجموع شامل ۵۴ کرت بود و در هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت به طول شش متر با فواصل ردیف ۶۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. در ضمن از دو خط وسط برای اندازه‌گیری صفات استفاده شد. در بین هر کرت اصلی دو خط کاشته نشده قرار گرفت تا از تداخل احتمالی آبیاری جلوگیری شود. تا قبل از اعمال تیمارهای کم آبی، آبیاری به صورت هفته‌ای انجام شد. در طول دوره رشد کوددهی انجام نشد و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله شش‌برگی گیاه (بعد از استقرار کامل گیاه) شروع شد. محلول پاشی تنها یکبار قبل از گلدهی (مرحله ۱۰ درصد گلدهی مزرعه) اعمال شد. قبل از اعمال تیمار براسینولید و عصاره مخمر ابتدا بوته‌ها در یک متر مربع با آب مقطر محلول پاشی شده به طوری که کل بوته‌ها خیس شدند، این مقدار آب مقطر محاسبه و بر مبنای آن میزان محلول‌های مورد نیاز در کل مساحت مزرعه آماده و مورد استفاده قرار گرفت. در تیمار شاهد نیز محلول پاشی با آب مقطر صورت گرفت.

اندازه‌گیری تمام صفات در ۱۴ روز پس از محلول پاشی انجام شد. سنجش محتوای پرولین بر اساس روش Bates *et al.* (1973) اندازه‌گیری شد. در این روش ۰/۲۵ گرم نمونه برگ‌ی پودر شده با سه میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک سه درصد به خوبی با یکدیگر مخلوط و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و از فاز رویی برای سنجش میزان پرولین استفاده شد. سپس، به دو میلی‌لیتر از فاز رویی دو میلی‌لیتر ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال اضافه شد. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد.

اندازه‌گیری فلاونوئید با روش Chang *et al.* (2002) انجام شد. ابتدا ۰/۲۵ گرم نمونه برگ‌ی پودر شده با سه میلی‌لیتر اتانول اسیدی شامل (اتانول و اسیدکلریدریک با نسبت ۹۹ به یک) به خوبی با یکدیگر مخلوط و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و از فاز رویی برای سنجش میزان فلاونوئید استفاده شد. قبل از شروع خوانش، مایع رویی به مدت ۱۵ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد. پس از سرد شدن، میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۳۰۰ نانومتر قرائت شد.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ، از برگ‌های همسن جوان و کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد (Hiscox & Israelstam, 1979). برای این منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگ (برگ‌های همسن و توسعه‌یافته) کاملاً پودر شده به پنج میلی‌لیتر دی‌متیل‌سولفوکساید اضافه و از طریق ورتکس کاملاً یکنواخت شد. سپس، نمونه‌ها به مدت سه ساعت در بن‌ماری (با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه (دمای چهار درجه سانتی‌گراد) سانتریفوژ شدند. در پایان، میزان جذب هر نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت شدند.

میزان پراکسیداسیون لیپیدی به روش Du & Bramlage (1992) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۲۵ گرم بافت برگ (برگ‌های همسن و توسعه‌یافته) کاملاً پودر شده با دو میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک‌اسید (TCA) ۰/۱ درصد همگن و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. سپس به یک میلی‌لیتر از این عصاره رویی، دو میلی‌لیتر معرف تیوباریوتیک‌اسید (TBA) ۰/۵ درصد اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم انکوبه و سپس بلافاصله ۳۰ دقیقه به‌منظور توقف واکنش در یک ظرف یخ قرار داده شدند. نمونه‌ها مجدداً به‌منظور صاف‌شدن و حذف ناخالصی‌ها با شرایط قبل سانتریفوژ شدند. در پایان، میزان جذب مایع‌رویی نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت شد.

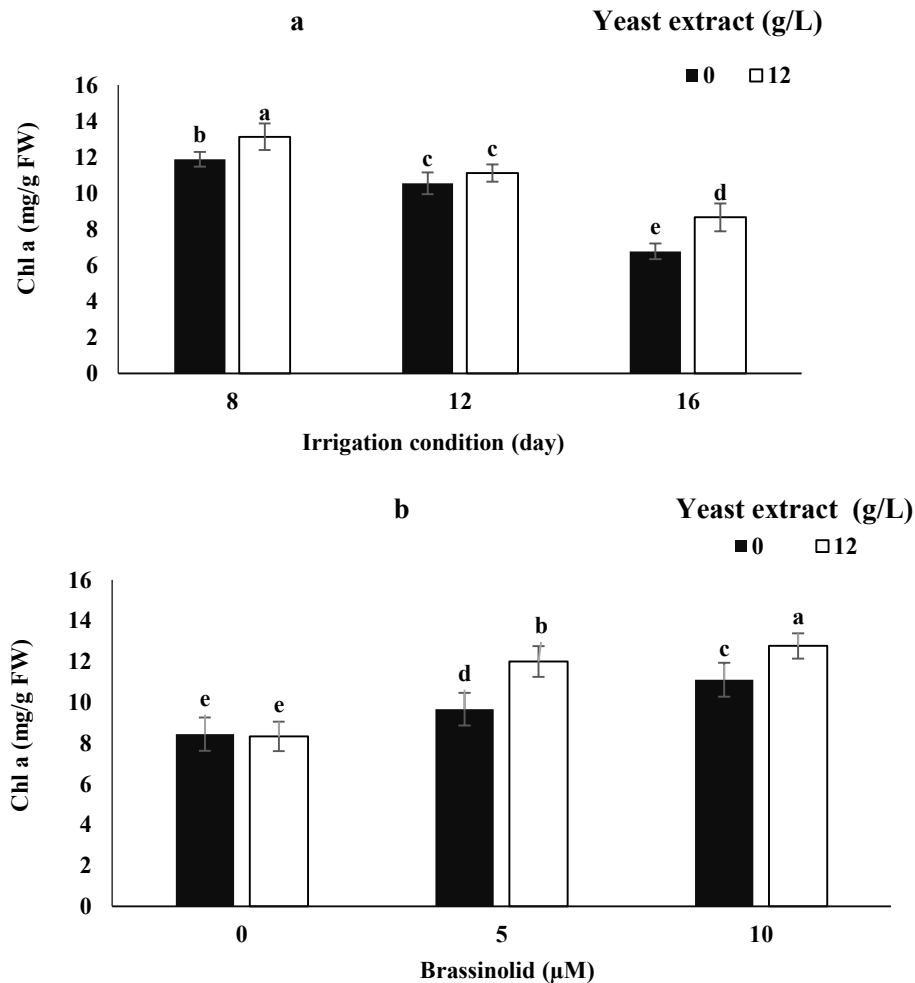
اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاه انجام شد. سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بر اساس احیای نوری نیترو بلوترازولیوم طبق روش Masayasu & Hiroshi (1979) انجام شد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به ترتیب از روش Chance & Maehly (1955) و Nakano & Asada (1981) استفاده شد. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، در ۵۲ روز پس از محلول‌پاشی (رسیدگی فیزیولوژیک) تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و در نهایت این صفت بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از اکسل انجام شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که محتوای کلروفیل a در لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد سطوح مختلف ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال پنج درصد و اثرات متقابل ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بودند (جدول ۳). استفاده از ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در دور آبیاری هشت روز موجب افزایش ۱۰/۵۲ درصدی این صفت نسبت به شاهد (عدم کاربرد عصاره مخمر در شرایط آبیاری هشت روز) شد. همچنین، کاربرد عصاره مخمر (۱۲ گرم در لیتر) در آبیاری ۱۶ روز نسبت به عدم کاربرد این ماده در همین شرایط آبیاری، به‌صورت معنی‌دار منجر به افزایش ۲۷/۹۱ درصدی محتوای کلروفیل a شد (شکل ۱a). بررسی اثرات دوجانبه ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر نشان داد که کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر به همراه پنج میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید و همچنین کاربرد ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید همراه با ۱۲ گرم عصاره مخمر موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a نسبت به عدم کاربرد این دو تیمار شد. بیشترین میزان این صفت در تیمار ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر به همراه ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش ۵۱/۳۰ درصدی را نشان داد (شکل ۱b).

محتوای کلروفیل b تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر، برهمکنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش دوجانبه ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳).



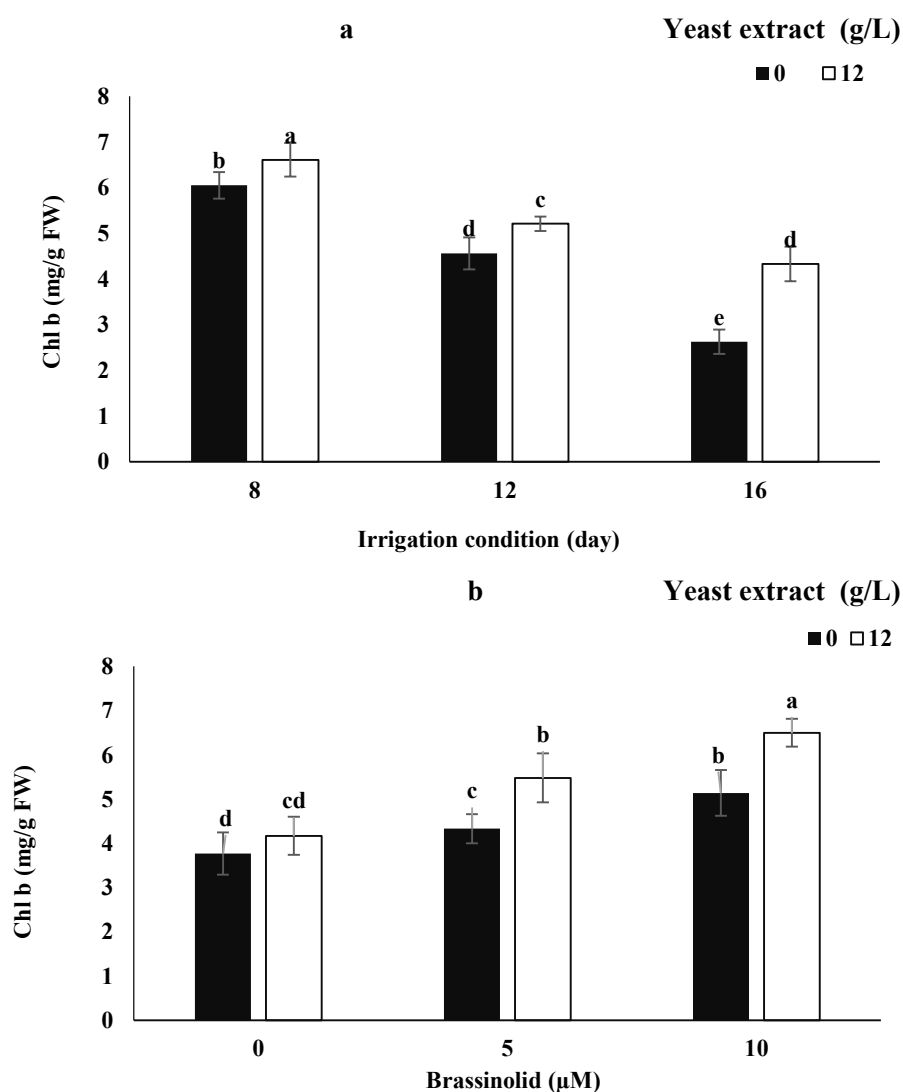
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و کاربرد عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل a در برگ لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل a در برگ لوبیا چشم‌بلبلی (b).

استفاده از عصاره مخمر در تمام دوره‌های آبیاری موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b شد. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در دوره‌های آبیاری هشت، ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب افزایش ۲۵/۲۵، ۱۴/۹ و ۶۴/۶۳ درصدی این صفت نسبت به عدم کاربرد این ماده در همین شرایط آبیاری شد (شکل ۲b). بررسی برهمکنش ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر نشان داد که کاربرد همزمان این دو ماده موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل b شد (شکل ۲b). بیشترین میزان کلروفیل b متعلق به گیاهانی بود که با ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر به همراه ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید تیمار شده بودند که نسبت به شاهد افزایش ۷۲/۴۱ درصدی را نشان داد (شکل ۲b).

Table 3. Variance analysis of studied traits in cowpea under the different levels of irrigation, 24-epibrassinolid and yeast extract.

| S.O.V | df | Chl a | Chl b | Chl total | Proline | Flavonoid | Malondialdehyde | SOD | APX | CAT | The number of seed per pod | The number of pod per plant | 100 seed weight | Seed yield |
|-----------------------|----|----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------------|-----------|----------|-----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|
| Replication | 2 | 2.66 | 0.11 | 1.68 | 0.09 | 5.05 | 0.36 | 0.000003 | 0.00003 | 0.000007 | 2.81 | 1.45 | 7.14 | 7562.21 |
| Irrigation stress (A) | 2 | 110.22** | 36.56** | 272.06** | 17.04** | 982.72** | 131.89** | 0.001** | 0.005** | 0.0007** | 2.64 | 8.68** | 1.98 | 561734.52** |
| brassinosteroid (B) | 2 | 59.55** | 15.33** | 134.03** | 17.86** | 117.05** | 27.03** | 0.0007** | 0.008** | 0.0007** | 0.33 | 0.15 | 3.10 | 48694.10* |
| yeast extract (C) | 1 | 22.68** | 12.62** | 69.15** | 4.32** | 174.24** | 27.40** | 0.0005** | 0.002** | 0.0009** | 2.19 | 0.08 | 0.36 | 530411.34** |
| A*B | 4 | 0.44 | 0.12 | 0.62 | 0.95** | 5.44** | 1.87** | 0.00002** | 0.002** | 0.00001** | 0.19 | 10.49** | 1.18 | 12153.81 |
| A*C | 2 | 2.07* | 1.81** | 6.63** | 0.22 | 14.68** | 2.00** | 0.00001* | 0.0004** | 0.00002** | 0.04 | 0.73 | 0.82 | 4950.55 |
| B*C | 2 | 7.18** | 1.14* | 13.43** | 0.25 | 4.24* | 0.24 | 0.00002** | 0.004** | 0.00008** | 0.13 | 0.48 | 0.80 | 18750.11 |
| A*B*C | 4 | 0.07 | 0.23 | 0.32 | 0.05 | 1.85 | 0.65 | 0.000009 | 0.002** | 0.000007* | 1.11 | 4.15** | 1.92 | 9912.52 |
| error | 34 | 0.54 | 0.21 | 0.80 | 0.11 | 0.95 | 0.37 | 0.000003 | 0.000006 | 0.000002 | 1.27 | 0.35 | 1.71 | 14568.17 |
| C.V (%) | - | 7.13 | 9.53 | 5.88 | 9.13 | 4.85 | 7.74 | 4.23 | 3.26 | 4.42 | 13.28 | 7.16 | 10.11 | 11.21 |

* and ** indicate significance at the level of five and one percent, respectively.

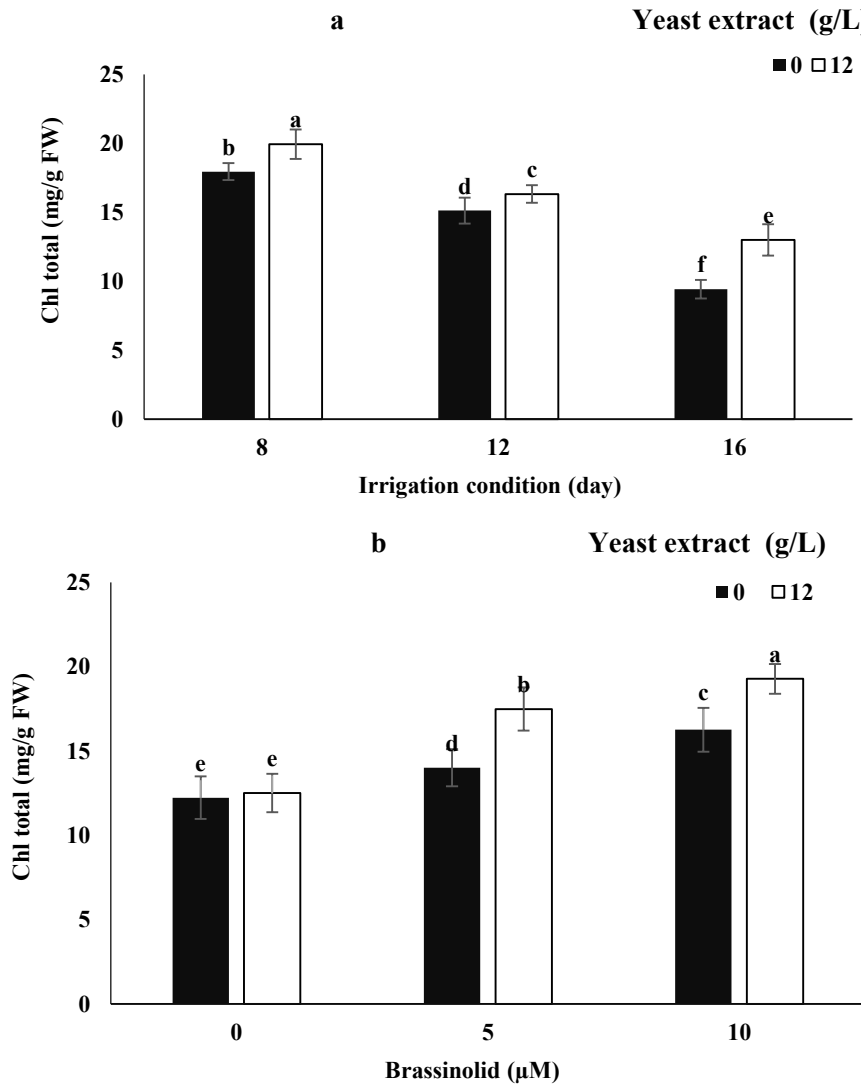


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل b در برگ لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل b در برگ لوبیا چشم‌بلبلی (b).

محتوای کلروفیل کل تحت تاثیر شرایط متفاوت آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر و برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر و برهم‌کنش ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). استفاده از ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در سطوح آبیاری هشت، ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب افزایش ۱۱/۱۴، ۷/۹۳ و ۳۸/۰۴ درصدی نسبت به عدم کاربرد این ماده در شرایط مشابه آبیاری شدند (شکل ۳a). نتایج این پژوهش نشان داد که، کاربرد ۱۲ گرم بر لیتر عصاره مخمر به همراه پنج و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور معنی‌دار باعث افزایش محتوای کلروفیل کل شدند (شکل ۳b).

تنش ناشی از کم‌آبیاری موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش محتوای کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوسنتزی و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌شود. تنش اکسیداتیو حاصل از تنش خشکی، بیوستنز کلروفیل را مختل و منجر به تخریب کلروفیل می‌شود. براسینوستروئیدها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند و به کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان کمک می‌کنند. با کاهش تنش اکسیداتیو از تخریب محتوای کلروفیل جلوگیری به‌عمل می‌آید (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020)

در این پژوهش، افزایش محتوای کلروفیل به توانایی عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید در بهبود بیوسنتز کلروفیل نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، تأثیر مثبت عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید بر محتوای کلروفیل ممکن است به بهبود تولید برخی از هورمون‌ها مانند اسیدایندول استیک نسبت داده شود که به رشد و تغذیه گیاه کمک می‌کنند (Pérez-Montaño *et al.*, 2014). براسینولید فرآیند سنتز کلروفیل را بهبود و تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن فعال را مهار می‌کند (Zhao *et al.*, 2022). افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی مشاهده شده پس از استفاده از عصاره مخمر در این مطالعه احتمالاً به وجود سیتوکینین در عصاره مخمر نسبت داده می‌شود که می‌تواند پیری برگ را به تأخیر اندازد (Fawzy *et al.*, 2012).



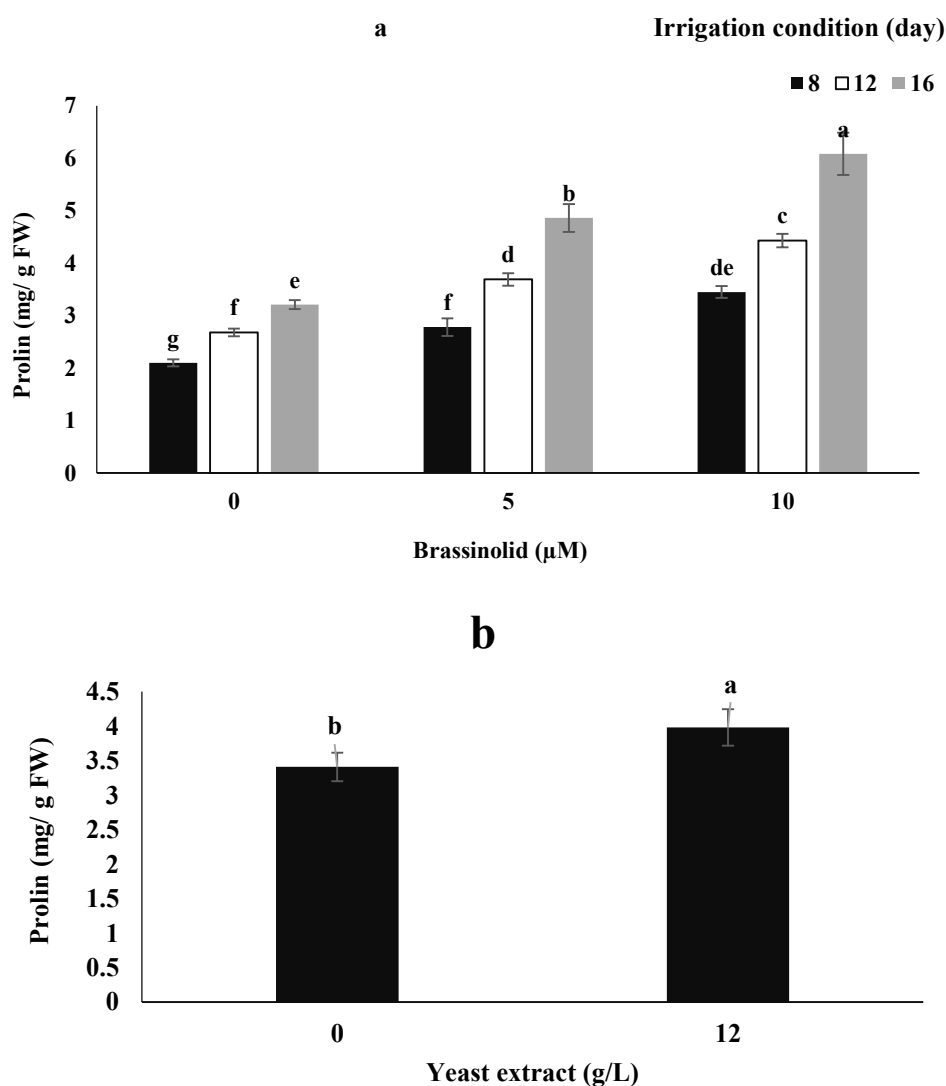
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل کل در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل کل در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b).

۲-۳. محتوای پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که محتوای پرولین تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر و برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر منجر به افزایش ۱۶/۷۱ درصدی پرولین نسبت به شاهد شد (شکل ۴a). کاربرد ۲۴-اپی براسینولید در تمامی سطوح آبیاری موجب افزایش معنی‌دار میزان پرولین در برگ گیاهان شد. کمترین میزان پرولین در گیاهان شاهد و بیشترین میزان

این صفت مربوط به گیاهانی بود که بالاترین غلظت براسینولید (۱۰ میکرومولار) در دور آبیاری ۱۶ روز تیمار شده بودند (شکل ۴b). عصاره مخمر به دلیل داشتن منابع غنی از اسیدهای آمینه به ویژه پرولین، موجب افزایش میزان پرولین در گیاهان می شود (Alaei *et al.*, 2012). در راستای این تحقیق محققان دیگر نیز افزایش میزان پرولین را با کاربرد عصاره مخمر در گیاه لوبیا چشم بلبلی گزارش کرده اند (Keramati *et al.*, 2021).

پرولین آزاد نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی گیاهان تحت شرایط کم آبی ایفا می کند. افزایش سنتز پرولین، پاسخی تطبیقی گیاه به شرایط تنش کم آبی و خشکی است که با هدف بهبود سیستم دفاعی گیاه صورت می گیرد (Farhangi-Abriz & Torabian, 2017). افزایش پرولین آزاد به بهبود تحمل گیاهان با حذف گونه های اکسیژن فعال می انجامد (Rady *et al.*, 2020). کاربرد خارجی ۲۴-اپی براسینولید موجب افزایش فعالیت برخی از آنزیم های آنتی اکسیدانی از قبیل پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و هچنین محتوای پرولین در آرابیدوپسیس شده است (Wu *et al.*, 2019). تیمار گیاهان با براسینولید از طریق افزایش محتوای پرولین، به طور مؤثری ظرفیت گیاهان را برای تحمل شرایط کم آبی تقویت و آن ها را در مقابل اثرات مخرب تنش اکسیداتیو حفاظت می کند. این یافته ها، توانایی براسینولید به عنوان یک ابزار ارزشمند برای تقویت تحمل گیاهان در مواجهه با تنش خشکی را آشکار می کند (Mohammadi *et al.*, 2019).



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر عصاره مخمر بر محتوای پرولین موجود در برگ های لوبیا چشم بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید بر محتوای پرولین موجود در برگ های لوبیا چشم بلبلی (b).

۳-۳. محتوای فلاونوئید

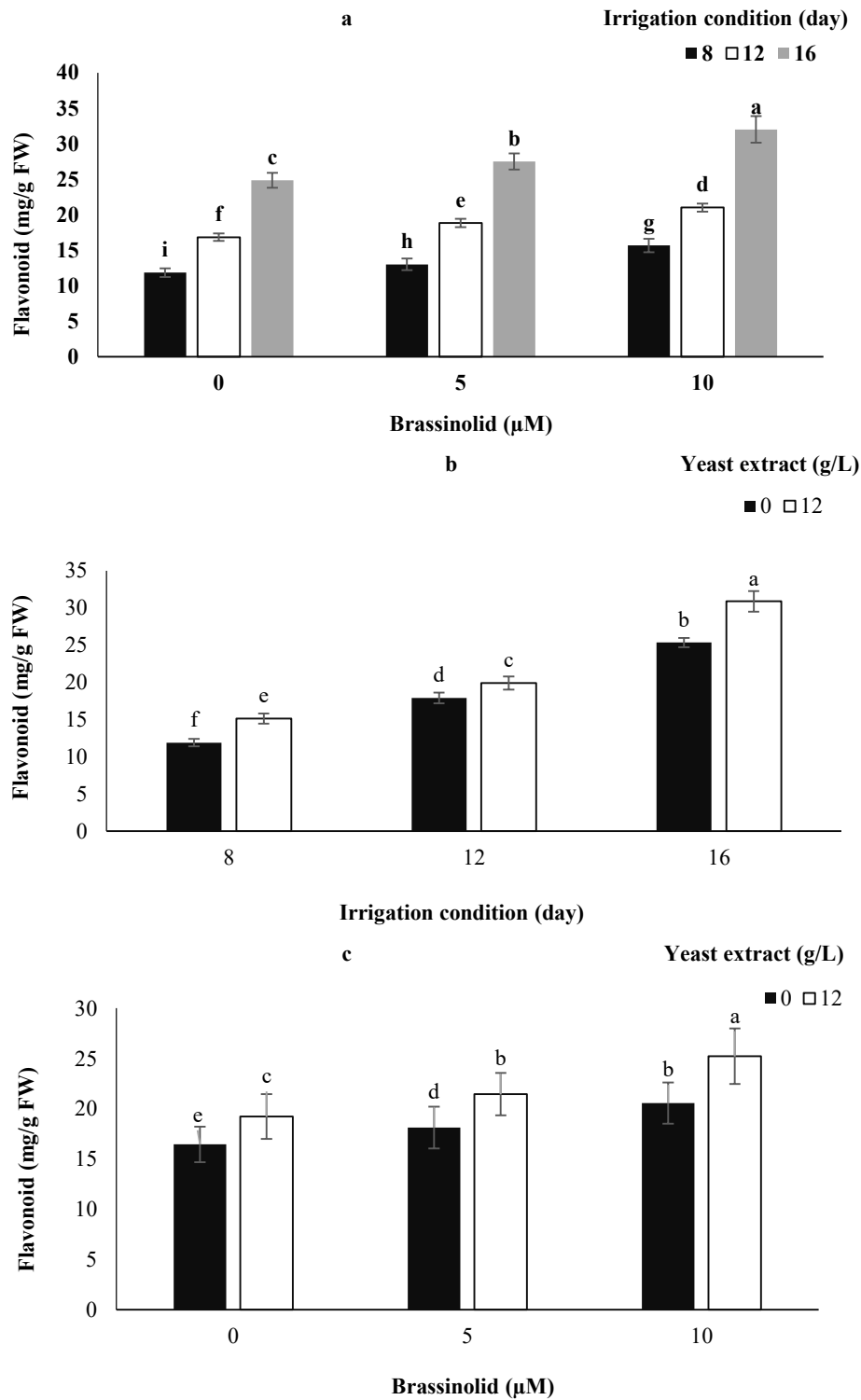
فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا تحت تاثیر شرایط مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر، برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید، برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال پنج درصد بر میزان فلاونوئید موجود در برگ همچنین، برهم‌کنش دوجانبه ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال پنج درصد به ترتیب موجب افزایش ۴۲/۲۶ و تأثیرگذار بود (جدول ۳). اعمال دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز در تیمار عدم کاربرد ۲۴-اپی براسینولید به ترتیب موجب افزایش ۴۲/۲۶ و ۱۰۹/۸۹ درصدی محتوای فلاونوئید نسبت به شاهد شد. کاربرد ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید در گیاهانی که دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز را تجربه کرده بودند به ترتیب نیز موجب افزایش معنی‌دار ۲۴/۷۷ و ۲۸/۸۷ درصدی فلاونوئید نسبت به عدم کاربرد این ماده در همین سطح از آبیاری شد (شکل ۵a).

کاربرد عصاره مخمر در تمام سطوح آبیاری، موجب افزایش میزان فلاونوئید موجود در برگ شد. استفاده از ۱۲ گرم بر لیتر عصاره مخمر در شرایط آبیاری هشت و ۱۶ روز به ترتیب موجب افزایش ۲۷/۱۸ و ۲۱/۹۱ درصدی فلاونوئید نسبت به عدم کاربرد عصاره مخمر در همین دور آبیاری شد (شکل ۵b). استفاده همزمان از عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید موجب افزایش معنی‌دار میزان فلاونوئید نسبت به شاهد شد. بیشترین میزان این صفت مربوط به گیاهانی بود که ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر را به همراه ۱۰ میکرو مولار ۲۴-اپی براسینولید دریافت کرده بودند (شکل ۵c).

در پژوهش حاضر، افزایش میزان فلاونوئید ممکن است بیانگر این باشد که گیاه لوبیا چشم‌بلبلی برای مقابله با تنش کم‌آبایی به میزان بیشتری از فلاونوئیدها وابسته است. در شرایط تنش کم‌آبایی، ایجاد محدودیت در انتقال الکترون فتوسنتزی موجب ایجاد تغییرات متابولیکی مانند افزایش فلاونوئیدها می‌شود. محققان دریافته‌اند که کاربرد براسینولیدها منجر به بیان ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها می‌شود. براسینولید، احتمالاً با فعال‌سازی ژن‌های جدید، آنزیم‌ها و در نهایت مسیرهای بیوسنتزی مختلفی را راه‌اندازی می‌کنند و موجب تشکیل متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها می‌شوند. محققان گزارش کردند که استفاده از براسینولید می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های مقابله‌کننده با تنش اکسیداتیو مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها را افزایش دهد (Rezaei et al., 2018).

استفاده از غلظت‌های مختلف عصاره مخمر منجر به بهبود قابل توجهی در رشد، خصوصیات ریخت‌شناسی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد بذر در گیاه لوپن (*Lupinus termis* L.) شده است. کاربرد عصاره مخمر، افزایش قابل توجهی را در رشد گیاه، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، قند محلول، پروتئین کل و عملکرد دانه نشان داده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از عصاره مخمر می‌تواند به‌طور مؤثری تحمل به تنش شوری را در گیاه لوپن افزایش دهد و یک استراتژی امیدوارکننده برای بهبود انعطاف‌پذیری و بهره‌وری آن‌ها در محیط‌های نامناسب ارائه دهد (Taha et al., 2021). عصاره مخمر تولید هورمون‌های درون‌زا را تحریک می‌کند و منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و گلیکوزیدها می‌شود (El-Beltagi et al., 2022). مکانیسم‌های دقیق زیربنای این پدیده هنوز در حال بررسی است، اما مطالعات نشان می‌دهد که تأثیر براسینولید بر رشد و تحمل گیاهان چندوجهی است و به‌طور قابل توجهی به افزایش تحمل به تنش کمک می‌کند (Zhao et al., 2017).

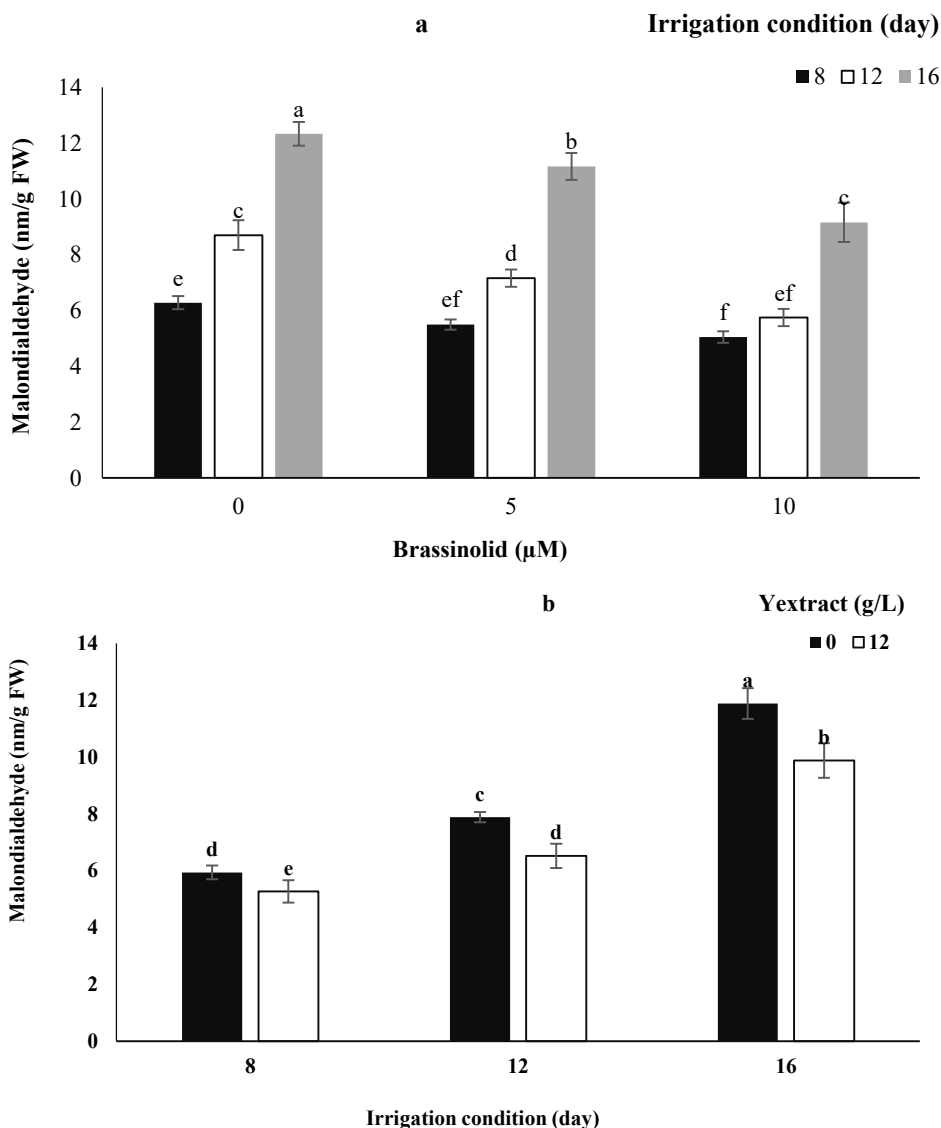
مطالعات قبلی اثربخشی کاربرد براسینولید را در تنظیم رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیکی تحت شرایط تنش نشان داده‌اند (Mohammadi et al., 2019). این گزارش‌ها پتانسیل براسینولید را به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای افزایش تحمل گیاه و بهبود عملکرد در مواجهه با تنش‌های محیطی مختلف برجسته می‌کند.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید بر محتوای فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر بر محتوای فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b) و مقایسه میانگین اثر متقابل ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر محتوای فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (c).

۳-۴. محتوای مالون‌دی‌آلدئید

محتوای مالون‌دی‌آلدئید تحت تاثیر دوره‌های متفاوت آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید، عصاره مخمر، برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید و برهم‌کنش سطوح متفاوت آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال کم‌آبیاری به صورت معنی‌داری موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ لوبیا شد (شکل ۶a). محققان نشان دادند که تنش آبی با افزایش در میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن، موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی شده و در نتیجه موجب افزایش در محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌گردد (Hojati *et al.*, 2011). مقایسه میانگین سطوح متفاوت آبیاری و عصاره مخمر بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد با افزایش دور آبیاری میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در دوره‌های آبیاری هشت، ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب کاهش ۱۱/۲۷، ۱۷/۲۵ و ۱۶/۸۳ درصدی نسبت به عدم کاربرد این ماده در همین سطح از آبیاری شد (شکل ۶b).



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b).

محتوای مالون دی آلدئید در گیاهان لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط کم آبیاری ملایم و شدید نسبت به آبیاری هشت روز افزایش یافت. این افزایش ممکن است به تنش اکسیداتیو تجربه شده توسط سلول های گیاه در شرایط کم آبی نسبت داده شود که تأثیر مخربی بر غشاء های پلاسمایی و نفوذ پذیری آنها دارد. افزایش همزمان محتوای پرولین به عنوان نشانگر آسیب اکسیداتیو در داخل گیاهان عمل می کند (Gupta et al., 2020). این یافته ها تأثیر مخرب تنش کم آبی بر لوبیا چشم بلبلی را نشان می دهد و بر اهمیت کاهش تنش اکسیداتیو برای حفظ سلامت و عملکرد سلول تأکید می کند. با این حال، استفاده از عصاره مخمر، محتوای مالون دی آلدئید را در گیاهان تحت شرایط کم آبیاری کاهش داد که نشان دهنده اثرات مثبت عصاره مخمر بر بهبود تحمل گیاهان از طریق کاهش تنش اکسیداتیو است (Kaya et al., 2019). کاهش پراکسیداسیون لیپیدی به دنبال کاربرد ۲۴-اپی براسینولید با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مرتبط است که منجر به بهبود نفوذ پذیری غشاء می گردد (Kaya et al., 2019).

۳-۵. فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر، برهمکنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید، برهمکنش دوجانبه ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین، اثر برهمکنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی دار بود (جدول ۳).

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با اعمال کم آبیاری در کلیه سطوح هورمونی در برگ های لوبیا افزایش معنی دار یافت (شکل ۷a). استفاده از پنج و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید در دور آبیاری ۱۲ روز به ترتیب موجب افزایش ۱۰ و ۳۵ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نسبت به عدم کاربرد این هورمون در همین دور آبیاری شد. محلول پاشی پنج و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید در دور آبیاری ۱۶ روز توانست فعالیت این آنزیم را به ترتیب ۱۲ و ۲۸ درصد نسبت به عدم کاربرد این هورمون در همین دور آبیاری افزایش دهد (شکل ۷a).

همچنین، کاربرد عصاره مخمر در دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب افزایش ۱۹/۰۴ و ۱۵/۰۹ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نسبت به عدم کاربرد عصاره مخمر در همین شرایط آبیاری شد (شکل ۷b). مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در برگ های لوبیا چشم بلبلی اثر هم افزایی آنها را تایید کرد (شکل ۷c). محققان دریافتند که براسینولید از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی از جمله تنظیم بیان ژن های تولید کننده آنزیم های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان موجب افزایش تحمل گیاهان به کم آبیاری می شود (Fariduddin et al., 2011). سایر محققین نیز افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را با کاربرد عصاره مخمر گزارش کرده اند (Keramati et al., 2021). عصاره مخمر حاوی مولکول های پیام رسان و محرک هایی است که می توانند پاسخ های دفاعی گیاه را فعال کنند. این ترکیبات می توانند بیان ژن های دخیل در دفاع آنتی اکسیدانی از جمله ژن های آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را تحریک کنند (Abdelaal et al., 2017).

در این پژوهش، کاربرد ۲۴-اپی براسینولید منجر به افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد. این افزایش، به تأثیر ۲۴-اپی براسینولید در ترجمه ژن های تولید کننده آنزیم های آنتی اکسیدانی نسبت داده می شود (Talaat et al., 2015). افزایش فعالیت این آنزیم های آنتی اکسیدانی به نقش حیاتی آنها در پاکسازی گونه های اکسیژن فعال و حفاظت سلول های گیاهی از آسیب های اکسیداتیو ناشی از تنش کم آبی اشاره دارد. مطالعات نشان داده اند که تیمار ذرت (*Zea mays*) (Ghasemi et al., 2022)، برنج (*Oriza sativa*) (Guedes et al., 2021) و گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Nie et al., 2019) با براسینولید منجر به افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و بهبود تحمل گیاهان تحت شرایط کم آبیاری شده است. تیمار گیاهان با براسینولید می تواند بیان ژن های مرتبط با تولید کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را تنظیم کند که به افزایش کارایی مصرف آب و دی اکسید کربن و بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی های آنزیمی و غیر آنزیمی تحت تنش های غیر زنده منجر می شود (Khan et al., 2021).

کاربرد عصاره مخمر باعث افزایش قابل توجه فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در برگ‌های گوجه‌فرنگی شده است. این یافته‌ها نقش مهم عصاره مخمر در افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با مکانیزم‌های پاسخ به تنش در گیاهان را نشان می‌دهند (Yousef & Ali, 2019).

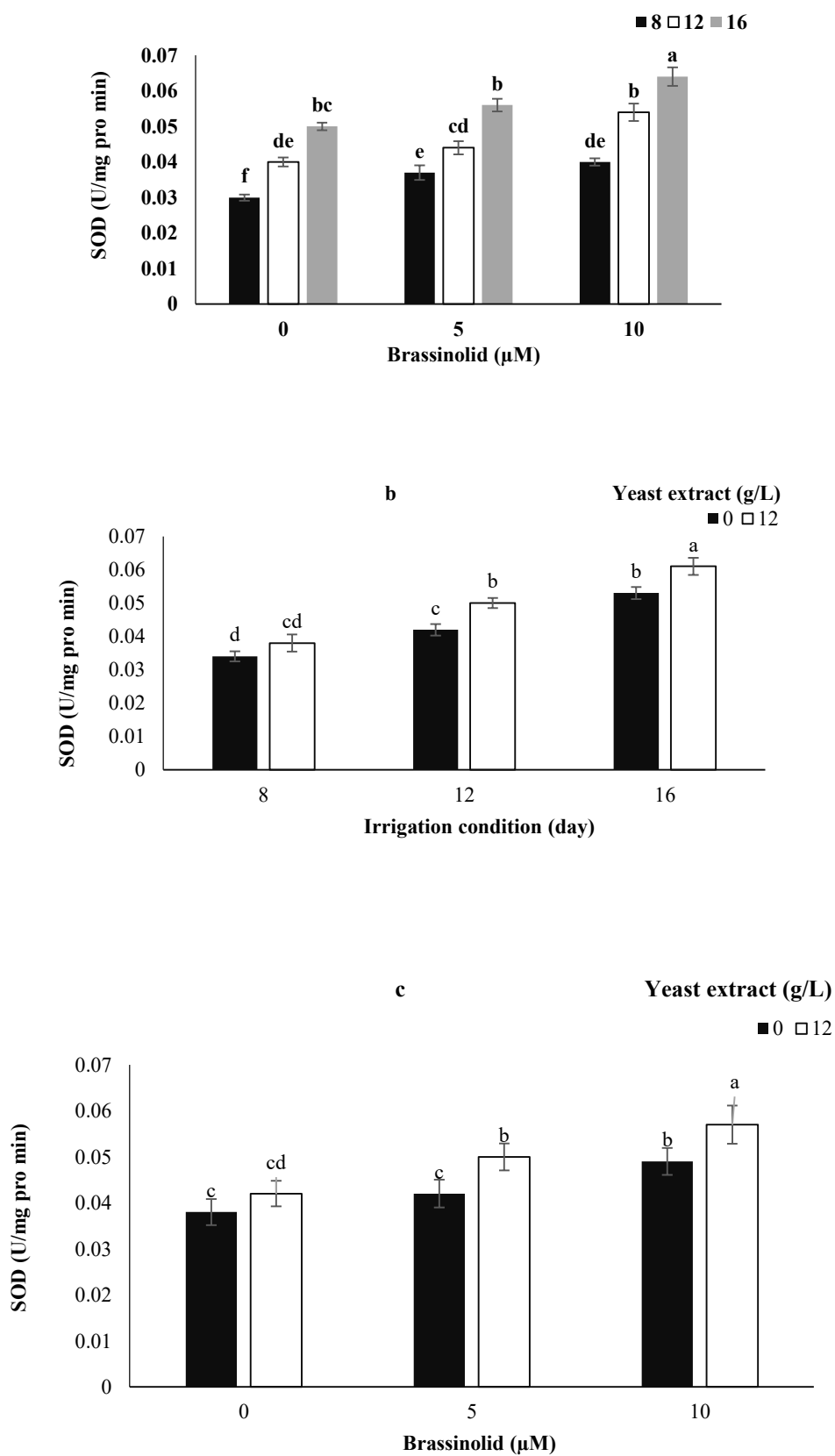
۳-۶. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر سطوح متفاوت آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر و تمامی برهم‌کنش‌های دوجانبه و سه‌جانبه بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بودند (جدول ۳). در هر سه سطح آبیاری، بین کاربرد همزمان عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید بر میزان فعالیت این آنزیم و عدم کاربرد آن‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم در دور آبیاری ۱۶ روز در تیمار ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید و ۱۲ گرم عصاره مخمر مشاهده شد و کمترین میزان این صفت نیز در گیاهان شاهد به ثبت رسید (شکل ۸). آنزیم آسکوربات پراکسیداز نقش کلیدی در حذف گونه فعال پراکسید هیدروژن دارد، بنابراین می‌توان گفت با افزایش شدت تنش میزان پراکسید هیدروژن تولیدشده افزایش یافته و به دنبال آن فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز جهت کاهش میزان این گونه فعال اکسیژن تحریک خواهد شد (Fariduddin *et al.*, 2011).

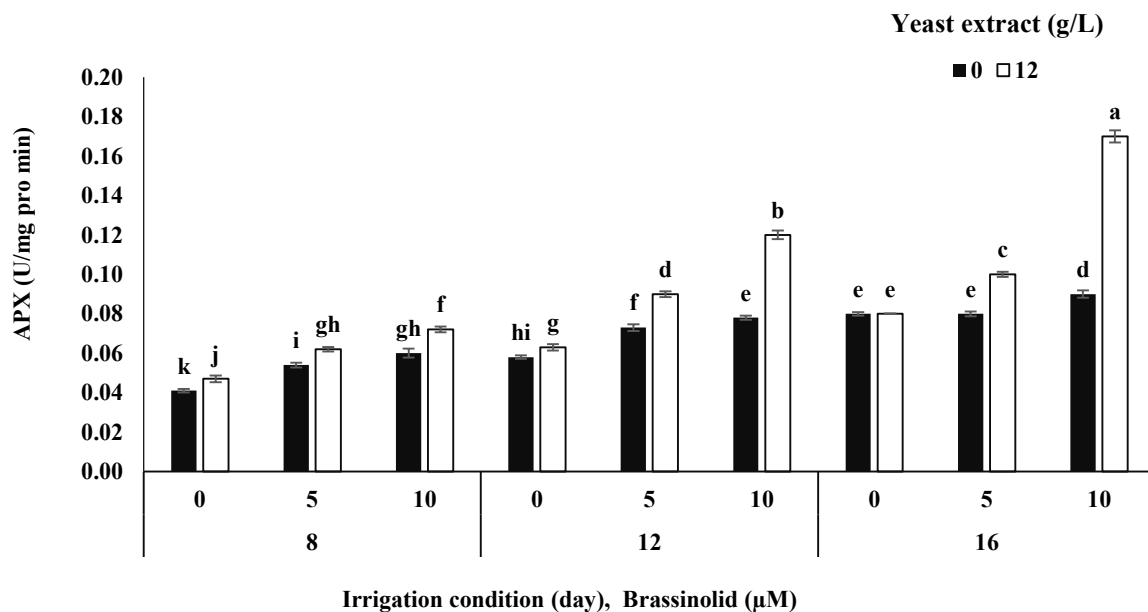
۳-۷. فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر اثرات اصلی سطوح متفاوت آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید، عصاره مخمر، برهم‌کنش‌های دوجانبه سطوح متفاوت آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید، سطوح متفاوت آبیاری و عصاره مخمر، ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش سه‌جانبه تیمارها نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت تاثیرگذار بود (جدول ۳). بررسی اثرات سه‌جانبه تیمارها بر فعالیت آنزیم کاتالاز بیانگر این بود که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار همزمان ۱۲ گرم عصاره مخمر و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید و در دور آبیاری ۱۶ روز مشاهده شد. کمترین میزان فعالیت آنزیم در دور آبیاری هشت روز و عدم کاربرد عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید مشاهده شد. استفاده از عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید در تمام دوره‌های آبیاری موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شدند (شکل ۹).

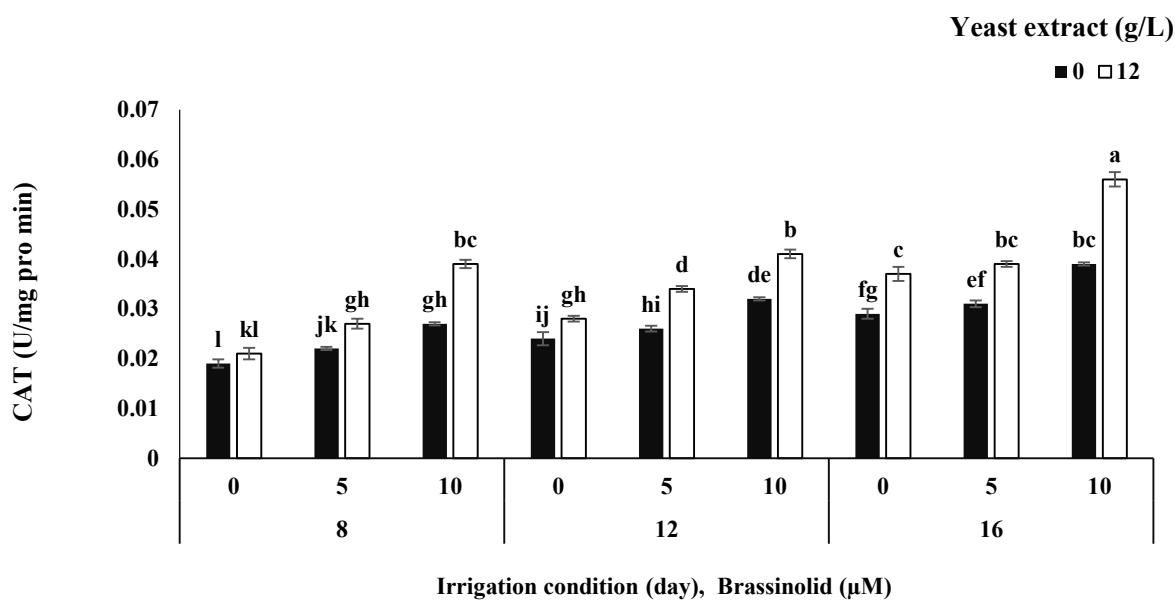
افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط کم‌آبیاری شدید و همچنین به دنبال کاربرد عصاره مخمر و براسینولید موجب افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش کم‌آبیاری می‌شود. کاهش اثرات تخریبی تنش کم‌آبیاری بر اثر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در لوبیا چشم‌بلبلی گزارش شده است (Keramati *et al.*, 2021). کاربرد عصاره مخمر و براسینولید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن همراه است که منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. بنابراین کاربرد این دو ماده با فعال کردن سیستم دفاعی گیاه، مقاومت گیاه را در برابر تنش کم‌آبیاری افزایش می‌دهند (Keramati *et al.*, 2021).



شکل ۷. مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی براسینولید بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b) و مقایسه میانگین اثر متقابل ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (c).



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر سه گانه سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی.



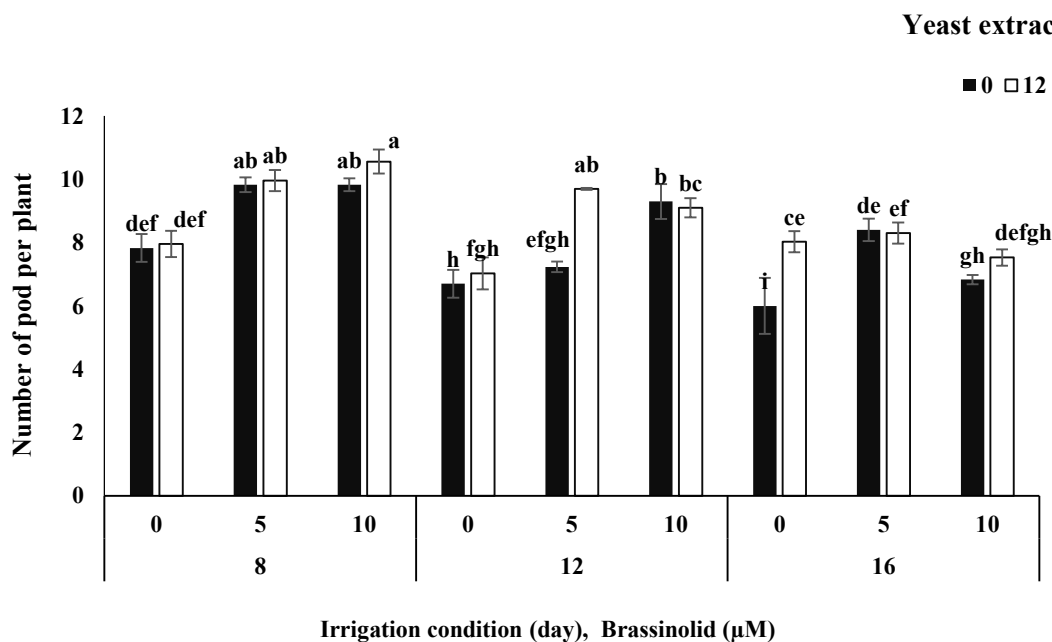
شکل ۹. مقایسه میانگین اثر سه جانبه سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی.

۳-۸. اجزای عملکرد و عملکرد دانه

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که در بین اجزای عملکرد شامل وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، تنها صفت تعداد غلاف در بوته تحت تاثیر شرایط آبیاری، برهم کنش دوجانبه شرایط آبیاری و کاربرد براسینولید و برهم کنش سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

بررسی مقایسات میانگین نشان داد که کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته شد. تعداد غلاف در بوته در گیاهان شاهد (دور آبیاری هشت روز و عدم دریافت عصاره مخمر و براسینولید) ۹/۸۳ عدد در بوته بود؛ در حالی که اعمال دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب کاهش ۱۴/۴۳ و ۲۳/۳۷ درصدی این صفت شد. در دور آبیاری هشت روز، کاربرد و عدم کاربرد عصاره مخمر اختلافی با یکدیگر نشان ندادند، ولی کاربرد پنج و ۱۰ میکرومولار براسینولید موجب افزایش این صفت شد. در دور

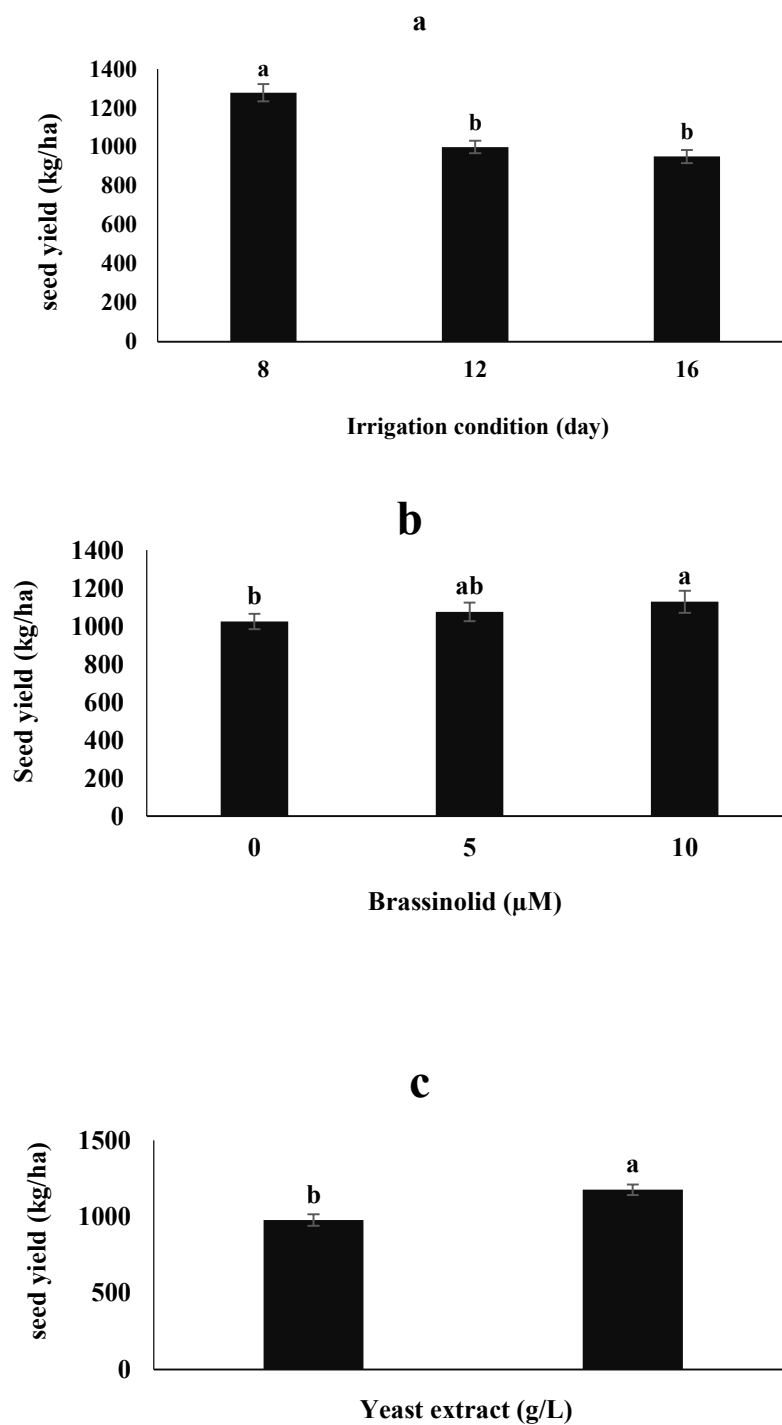
آبیاری ۱۲ روز، کاربرد عصاره مخمر به همراه میکرومولار براسینولید بالاترین تعداد غلاف در بوته را دارا بود که معادل ۹/۷ عدد بود. در دور آبیاری ۱۶ روز، تمام ترکیبات تیماری موجب افزایش تعداد غلاف در بوته شدند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم‌بلبلی.

در تحقیق حاضر، عملکرد دانه لوبیا تحت تأثیر شرایط آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد و ۲۴-اپی‌براسینولید در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). عملکرد دانه در گیاهانی با دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ به ترتیب به میزان ۲۰/۸۰ و ۲۸/۶۱ درصد نسبت به شاهد (دور آبیاری هشت روز) کاهش یافت (شکل ۱۱a). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد دانه با محلول پاشی ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید به دست آمد؛ به طوری که موجب افزایش معنی‌دار ۱۰/۱۴ درصدی عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی شد (شکل ۱۱b). عملکرد دانه با استفاده از محلول پاشی پنج میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشت (شکل ۱۱b). مقایسه میانگین عصاره مخمر بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که کاربرد ۱۲ گرم عصاره مخمر موجب افزایش معنی‌دار ۲۰/۲۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (شکل ۱۱c).

کاربرد براسینولید از طریق کاهش میزان تعرق و افزایش محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Zafari et al., 2020). در این پژوهش نیز، احتمالاً محلول پاشی براسینولید از طریق افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید منجر به افزایش عملکرد دانه شده است. محققان گزارش کردند که کاربرد عصاره مخمر از طریق افزایش پاسخ دفاعی گیاهان در برابر تنش کم‌آبیاری موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Keramati et al., 2021). عصاره مخمر حاوی سطوح بالایی از نیتروژن و تنظیم‌کننده‌های رشد (به‌ویژه سیتوکینین‌ها)، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها است که برای افزایش تقسیم و رشد سلول‌های گیاهی مورد نیاز می‌باشند (Abdelaal et al., 2017). عصاره مخمر به دلیل دارا بودن هورمون‌های گیاهی و اسیدهای آمینه نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه و افزایش تحمل به تنش کم‌آبیاری ایفا می‌کند (Taha et al., 2021). محققین گزارش کردند که محلول پاشی عصاره مخمر موجب افزایش عملکرد دانه گل‌رنگ (*Carthamus tinctorius*) (Yaghobezhad et al., 2023)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Al-Juthery et al., 2020; Sadak & Dawood, 2023) و ذرت (Farhadi et al., 2023) می‌شود.



شکل ۱۱. مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین ۲۴-اپی براسینولید بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (b) و مقایسه میانگین عصاره مخمر بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (c).

۴. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مورد بررسی از قبیل محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری شدید و ملایم نسبت به شرایط آبیاری معمول کاهش یافتند. در حالی که، اعمال کم آبیاری، موجب افزایش محتوای پرولین، مالون-دی آلدئید و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان شد. افزایش محتوای پرولین و آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله پاسخ های دفاعی گیاه لوبیا چشم بلبلی در برابر کم آبیاری می باشد. کاربرد عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید به صورت محلول پاشی برگ می تواند صفات محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان را در شرایط کم آبیاری شدید ارتقا دهد. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید به صورت محلول پاشی برگ می تواند به کاهش اثرات کم آبیاری و بهبود عملکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی شود. در مجموع، محلول پاشی عصاره مخمر و ۲۴-اپی براسینولید جهت کاهش برخی اثرات مخرب ناشی از واکنش های دخیل در شرایط کم آبیاری پیشنهاد می گردد.

۵. منابع

- Abdelaal, K.A., Hafez, Y.M., El Sabagh, A., & Saneoka, H. (2017). Ameliorative effects of abscisic acid and yeast on morpho-physiological and yield characteristics of maize plant (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7372-7383.
- Al-Juthery, H.W., Ali, E., Al-Ubory, R.N., Al-Shami, Q., & AL-Taey, D.K. (2020). Role of foliar application of nano npk, micro fertilizers and yeast extract on growth and yield of wheat. *Int. J. Agricult. Stat. Sci*, 16(Supplement 1), 1295-1300.
- Alaei, Y., Khanghah, A.M., Jafari, M., & Khaneghah, A. (2012). Evaluation on leaf proline amount in three bread wheat cultivars in presence of two fertilizers containing amino acids in drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 18(9), 1190-1192.
- Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agro-morphological traits diversity in cowpea landraces originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(2), 85-103. (In Persian).
- Bates, L.S., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, V., & Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 241, 153001.
- Castañeda-Murillo, C.C., Rojas-Ortiz, J.G., Sánchez-Reinoso, A.D., Chávez-Arias, C.C., & Restrepo-Díaz, H. (2022). Foliar brassinosteroid analogue (DI-31) sprays increase drought tolerance by improving plant growth and photosynthetic efficiency in lulo plants. *Heliyon*, 8(2).
- Chance, B., & Maehly, A. (1955). [136] Assay of catalases and peroxidases.
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3).
- Dehghan, M., Balouchi, H., Yadavi, A., & Zare, E. (2020). Improve wheat (*Triticum aestivum*) performance by brassinolide application under different irrigation regimes. *South African Journal of Botany*, 130, 259-267.
- Du, Z., & Bramlage, W.J. (1992). Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(9), 1566-1570.
- El-Beltagi, H.S., Mohamed, H.I., Aldaej, M.I., Al-Khayri, J.M., Rezk, A.A., Al-Mssallem, M.Q., Sattar, M.N., & Ramadan, K.M. (2022). Production and antioxidant activity of secondary metabolites in Hassawi rice (*Oryza sativa* L.) cell suspension under salicylic acid, yeast extract, and pectin elicitation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 58(4), 615-629.
- Farhadi, D., Asghari, H.R., Baradaran Firouzabadi, M., & Abbaspour, A. (2023). Improved sweet corn growth, yield and rhizosphere enzymes by application of *Funneliformis mosseae*, *Piriformospora indica* and yeast extract. *Gesunde Pflanzen*, 75(6), 2797-2809.
- Farhangi-Abriz, S., & Torabian, S. (2017). Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137, 64-70.
- Fariduddin, Q., Yusuf, M., Chalkoo, S., Hayat, S., & Ahmad, A. (2011). 28-homobrassinolide improves growth and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. through an enhanced antioxidant system in the presence of chilling stress. *Photosynthetica*, 49, 55-64.

- Fawzy, Z., El-Magd, A.M., Li, Y., Ouyang, Z., & Hoda, A. (2012). Influence of foliar application by EM" effective microorganisms", amino acids and yeast on growth, yield and quality of two cultivars of onion plants under newly reclaimed soil. *Journal of Agricultural Science*, 4(11), 26.
- Ghasemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Sharifi, R.S., Youesf, A.F., Telesinski, A., Kalaji, H.M., & Mojski, J. (2022). Impact of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on plant growth, antioxidant defense systems, and osmolyte accumulation of maize under water stress. *Scientific Reports*, 12(1), 14648.
- Gokcel, F., & Sezen, S. (2009). Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant Soil and Environment*, 55(11).
- Guedes, F.R.C.M., Maia, C.F., da Silva, B.R.S., Batista, B.L., Alyemini, M.N., Ahmad, P., & da Silva Lobato, A. K. (2021). Exogenous 24-Epibrassinolide stimulates root protection, and leaf antioxidant enzymes in lead stressed rice plants: Central roles to minimize Pb content and oxidative stress. *Environmental Pollution*, 280, 116992.
- Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368(6488), 266-269.
- Hassanen, S.A., Mousa, W.M., & Sultan, F.M. (2020). Effect of foliar application of humic acid, yeast and garlic extracts on growth, yield and quality in forage cowpea. *Middle East J.*, 9(4), 1079-1087.
- Hiscox, J., & Israelstam, G. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(12), 1332-1334.
- Hojati, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Karimi, M., & Ghanati, F. (2011). Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 105-112.
- Kaya, C., Ashraf, M., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2019). The putative role of endogenous nitric oxide in brassinosteroid-induced antioxidant defence system in pepper (*Capsicum annum* L.) plants under water stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 143, 119-128.
- Keramati, S., Gholami, A., Baradaran, M., & Abbasdokht, H. (2021). The effect of yeast extract on physiological and biochemical indicators of cowpea in drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 247-261. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.295925.2338> .(In Persian).
- Khan, I., Awan, S.A., Ikram, R., Rizwan, M., Akhtar, N., Yasmin, H., Sayyed, R.Z., Ali, S., & Ilyas, N. (2021). Effects of 24-epibrassinolide on plant growth, antioxidants defense system, and endogenous hormones in two wheat varieties under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 696-706.
- Masayasu, M., & Hiroshi, Y. (1979). A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica Chimica Acta*, 92(3), 337-342.
- Mohammadi, M., Pouryousef, M., Tavakoli, A., & Fard, E.M. (2019). Improvement in photosynthesis, seed yield and protein content of common bean (*Phaseolus vulgaris*) by foliar application of 24-epibrassinolide under drought stress. *Crop and Pasture Science*, 70(6), 535-545.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880.
- Nie, S., Huang, S., Wang, S., Mao, Y., Liu, J., Ma, R., & Wang, X. (2019). Enhanced brassinosteroid signaling intensity via SIBR11 overexpression negatively regulates drought resistance in a manner opposite of that via exogenous BR application in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 138, 36-47.
- Nolan, T.M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, 32(2), 295-318.
- Pérez-Montaña, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R., Del Cerro, P., Espuny, M., Jiménez-Guerrero, I., López-Baena, F.J., Ollero, F., & Cubo, T. (2014). Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, 169(5-6), 325-336.
- Rady, M.M., Belal, H.E., Gadallah, F.M., & Semida, W.M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, 109290.
- Rafeie, M., Amerian, M.R., Sorkhi, B., Heidari, P., & Asghari, H.R. (2020). Effect of exogenous brassinosteroid application on grain yield, some physiological traits and expression of genes related to this hormone signaling pathway in wheat under drought stress. *Plant Genetic Researches*, 6(2), 157-172. (In Persian).
- Rezaei, H., Saeidi-Sar, S., Ebadi, M., & Abbaspour, H. (2018). The effect of spraying of methyl jasmonate and 24-epi-brassinolide on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and leaf stomatal traits in black mustard (*Brassica nigra* L.) under salinity stress [Research]. *Plant Process and Function*, 7(25), 53-62. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-929-en.html>(In Persian).
- Sadak, M.S., & Dawood, M.G. (2023). Biofertilizer role in alleviating the deleterious effects of salinity on wheat growth and productivity. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), 1207-1219.

- Sadeghipoor, O., & Bonakdare Hashemi, N. (2015). Study the effect of brassinolide application on drought tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) [Applicable]. *Crop Physiology Journal*, 7(26), 57-70. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-442-fa.html>. (In Persian).
- Sheikhi, S., Ebrahimi, A., Heidari, P., Amerian, M.R., & Rashidi Monfared, S. (2021). The effect of 24-epibrassinosteroid on the expression of some genes involved in the diosgenin biosynthetic pathway of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under high temperature stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(3), 11-24. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.295770.654683>. (In Persian).
- Taha, R., Seleiman, M.F., Alhammad, B.A., Alkahtani, J., Alwahibi, M.S., & Mahdi, A.H. (2020). Activated yeast extract enhances growth, anatomical structure, and productivity of *Lupinus termis* L. plants under actual salinity conditions. *Agronomy*, 11(1), 74. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-929-en.pdf>.
- Taha, R., Seleiman, M.F., Alhammad, B.A., Alkahtani, J., Alwahibi, M.S., & Mahdi, A.H.A. (2021). Activated yeast extract enhances growth, anatomical structure, and productivity of *Lupinus termis* L. plants under actual salinity conditions. *Agronomy*, 11(1), 74. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/74>.
- Talaat, N.B., Shawky, B.T., & Ibrahim, A.S. (2015). Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany*, 113, 47-58.
- Wu, C., Li, F., Xu, H., Zeng, W., Yu, R., Wu, X., Shen, L., Liu, Y., & Li, J. (2019). The potential role of brassinosteroids (BRs) in alleviating antimony (Sb) stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 51-59.
- Yaghobnezhad, A., Talebi, R., & Pasari, B. (2023). The effect of foliar application of yeast and seaweed extract on the yield and quality of safflower seeds (*Carthamus tinctorius*) under drought stress condition. (In Persian).
- Yousef, E.A.A., & Ali, M.A.M. (2019). Alleviation of cold stress on tomato during winter season by application of yeast extract and glycinebetaine. *Egyptian Journal of Horticulture*, 46(1), 117-131.
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Sedghi, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(22), 6040-6047.
- Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, 268, 109376.
- Zhao, G., Xu, H., Zhang, P., Su, X., & Zhao, H. (2017). Effects of 2, 4-epibrassinolide on photosynthesis and *Rubisco* activase gene expression in *Triticum aestivum* L. seedlings under a combination of drought and heat stress. *Plant Growth Regulation*, 81, 377-384.
- Zhao, X., Shi, J., Niu, Y., Lu, P., Chen, X., & Mao, T. (2022). 24-epibrassinolide alleviates aluminum toxicity by improving leaf chlorophyll fluorescence and photosynthetic performance and root antioxidant-oxidant balance and ascorbate-glutathione cycle in maize. *Russian Journal of Plant Physiology*, 69(5), 99.