بررسی تأثیر عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید برصفات فیزیولوژیکی و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) تحت شرایط کم‌آبیاری

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. 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

چکیده

کم‌آبیاری یکی از راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف آب و مطلوب‌ترین روش در مصرف آب کمتر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. همچنین تنظیم‌کننده‌های رشد می‌توانند به‌عنوان یک راه‌کار کمکی برای گیاهان در شرایط کم‌آبیاری باشد. این پژوهش، به‌منظور ارزیابی اثرات عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید در شرایط کم‌آبیاری 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 (۸، ۱۲ و ۱۶ روز)، محلول‌پاشی عصاره مخمر (صفر و ۱۲ گرم در لیتر) و ۲۴-اپی‌براسینولید (صفر، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بودند. در دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۱/۸۰ و ۲۵/۶۱ درصد نسبت به دور آبیاری ۸ 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 ۸ روز، به‌ترتیب ۱۵/۷۱ و ۴۷/۵۴ درصد کاهش نشان داد، در حالی‌که 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 ۱۶روز 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 کم‌آبیاری در لوبیا چشم‌بلبلی مؤثر است.

کلمات کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد، آنتی‌اکسیدان، تنظیم‌کننده رشد.

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، اسید فولیک، 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، بیوسنتز 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 غیرزیستی 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 غیرزیستی 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 بیوسنتز 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-اپی‌براسینولید 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-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر افزایش تحمل لوبیا چشم‌بلبلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود بر 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 ۱۴۰۰/۰۳/۱۳ 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	بافت خاک	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC) (ds/m)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (N) (%)	فسفر قابل دسترس Phosphorus (P) (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس 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

هدایت الکتریکی Electronic conductivity (EC) (ds/m)	اسیدیته 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 کم‌آبیاری به‌صورت افزایش دور آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح، هر ۸ روز (نرمال)، هر ۱۲روز (کم‌آبیاری ملایم) و هر ۱۶ روز (کم‌آبیاری شدید) بود. محلول‌پاشی عصاره مخمر در دو سطح (۰ و ۱۲ گرم در لیتر) (Hassanen et al., 2020) و ۲۴-اپی‌براسینولید در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) (Dehghan et al., 2020; Rafeie et al., 2020; sheikhi et al., 2021) قبل از گلدهی به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند. نوع مخمر مورد استفاده *Saccharomyces cerevisiae* بود که از شرکت Quelab کانادا تهیه شد. ۲۴-اپی‌براسینولید مورد استفاده (CAS number: 78821-43-9) نیز از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شد. در این تحقیق هیچ نوع کوددهی انجام نشد.

آبیاری به‌صورت 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 ۱۴، ۱۱ و ۹ 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 ۳۴۸متر 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 سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در ضمن از دو خط وسط برای اندازه‌گیری صفات استفاده شد. در بین هرکرت اصلی دو خط کاشته نشده قرار گرفت، تا از تداخل احتمالی آبیاری جلوگیری شود. تا قبل از اعمال تیمارهای کم‌آبی، آبیاری به‌صورت هفته‌ای انجام شد. در طول دوره رشد کوددهی انجام نشد و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله شش برگی گیاه (بعد از استقرار کامل گیاه) شروع شد. محلول‌پاشی 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 طوری‌که 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 محلول‌پاشی با آب مقطر صورت گرفت.

اندازه‌گیری تمام صفات در ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی انجام شد. سنجش محتوای پرولین بر اساس روش (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. در این روش ۰/۲۵گرم نمونه برگی پودر شده با سه میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد به‌خوبی 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 نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک 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 اسید کلریدریک با نسبت ۹۹ به یک) به‌خوبی با یکدیگر مخلوط و 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، مایع‌رویی 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 توسعه یافته استفاده شد (Hiscox & Israelstam, 1979). برای این منظور، ۱۰۰میلی‌گرم بافت برگی (برگ‌های هم‌سن و توسعه یافته) کاملا پودر شده به پنج میلی‌لیتر دی متیل سولفوکساید اضافه و از طریق ورتکس کاملا 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) سانتریفیوژ 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 برگی (برگ‌های هم‌سن و توسعه یافته) کاملا 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 سانتریفیوژ شد. سپس، به یک میلی‌لیتر از این عصاره رویی، دو میلی‌لیتر معرف تیوباربیوتیک اسید (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 مجددا به‌منظور صاف‌شدن و حذف ناخالصی‌ها با شرایط قبل سانتریفیوژ شدند. در پایان، میزان جذب مایع‌رویی نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت شد.

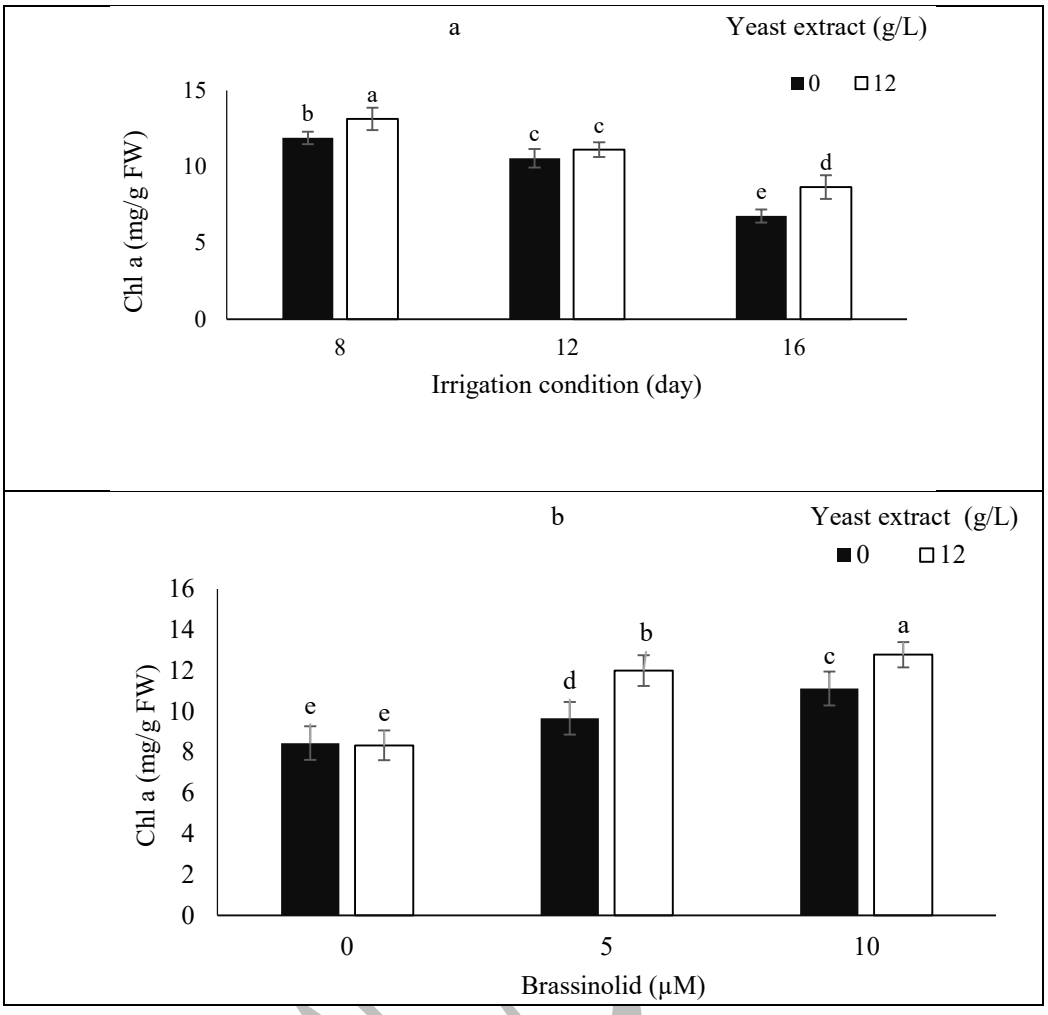
اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاه انجام شد. سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بر اساس احیای نوری نیترو بلوتترازولیوم طبق روش (Masayasu & Hiroshi, 1979) انجام شد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات-پراکسیداز به ترتیب از روش (Chance & Maehly, 1955) و (Nakano & Asada, 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 نرم افزار 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.

نتایج و بحث

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-اپی‌براسینولید 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 متقابل۲۴-اپی‌براسینولید 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 ۸ روز موجب افزایش ۱۰/۵۲ درصدی این صفت نسبت به شاهد (عدم کاربرد عصاره مخمر در شرایط آبیاری ۸ 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-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر نشان داد که کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر به همراه ۵ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید و هم‌چنین کاربرد ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید 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-اپی‌براسینولید مشاهده شد، که نسبت به شاهد افزایش ۵۱/۳۰ درصدی را نشان داد (شکل ۱b).

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف 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)

Figure 1- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the content of chlorophyll a in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of 24-epibrassinolid and yeast extract on the content of chlorophyll a in cowpea leaves (b).

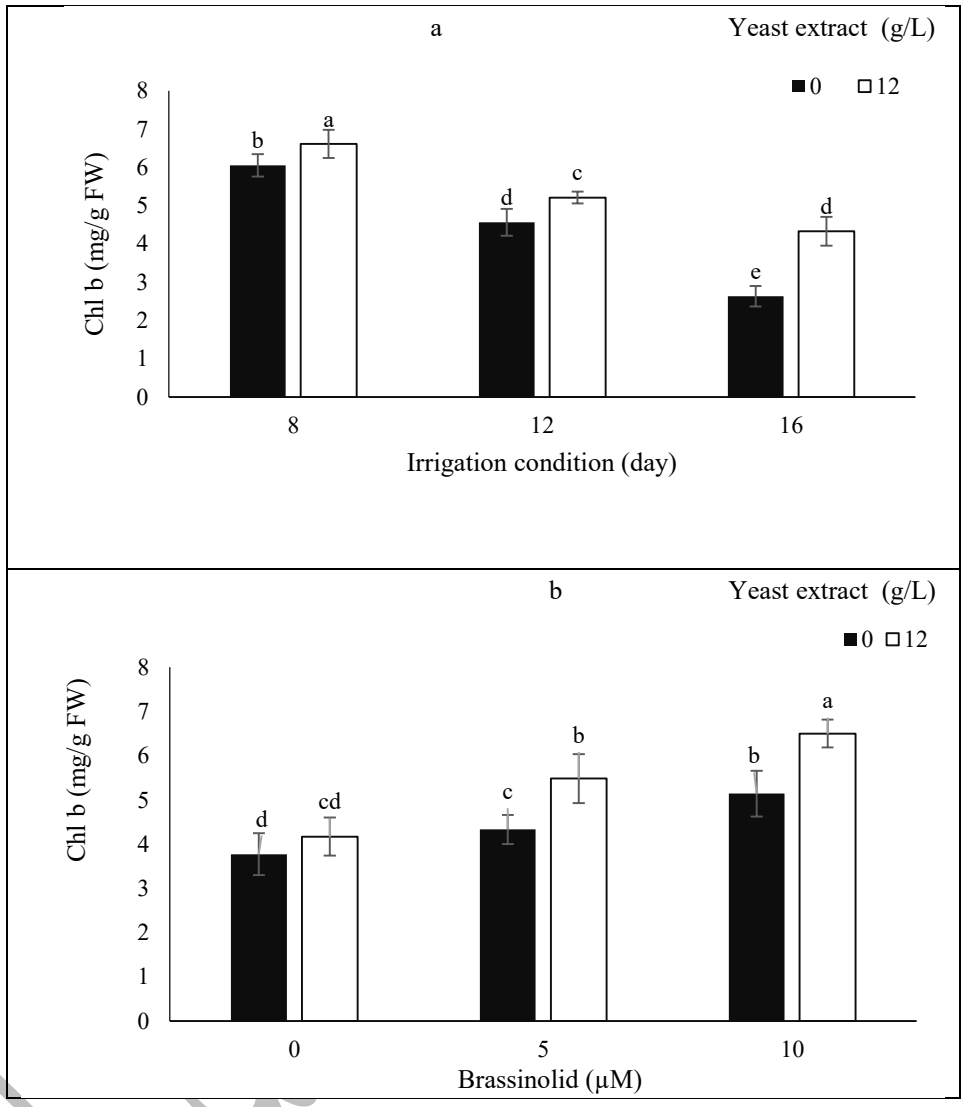
استفاده از عصاره مخمر در تمام دورهای آبیاری موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b شد. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در دورهای آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب موجب افزایش ۲۵/۲۵، ۱۴/۹ و ۶۴/۶۳ درصدی این صفت نسبت به عدم کاربرد این ماده در همین شرایط آبیاری شد (شکل ۲b). بررسی برهمکنش ۲۴-اپی‌براسینولید و 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-epibrassinoslid 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 ofpod 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

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد.

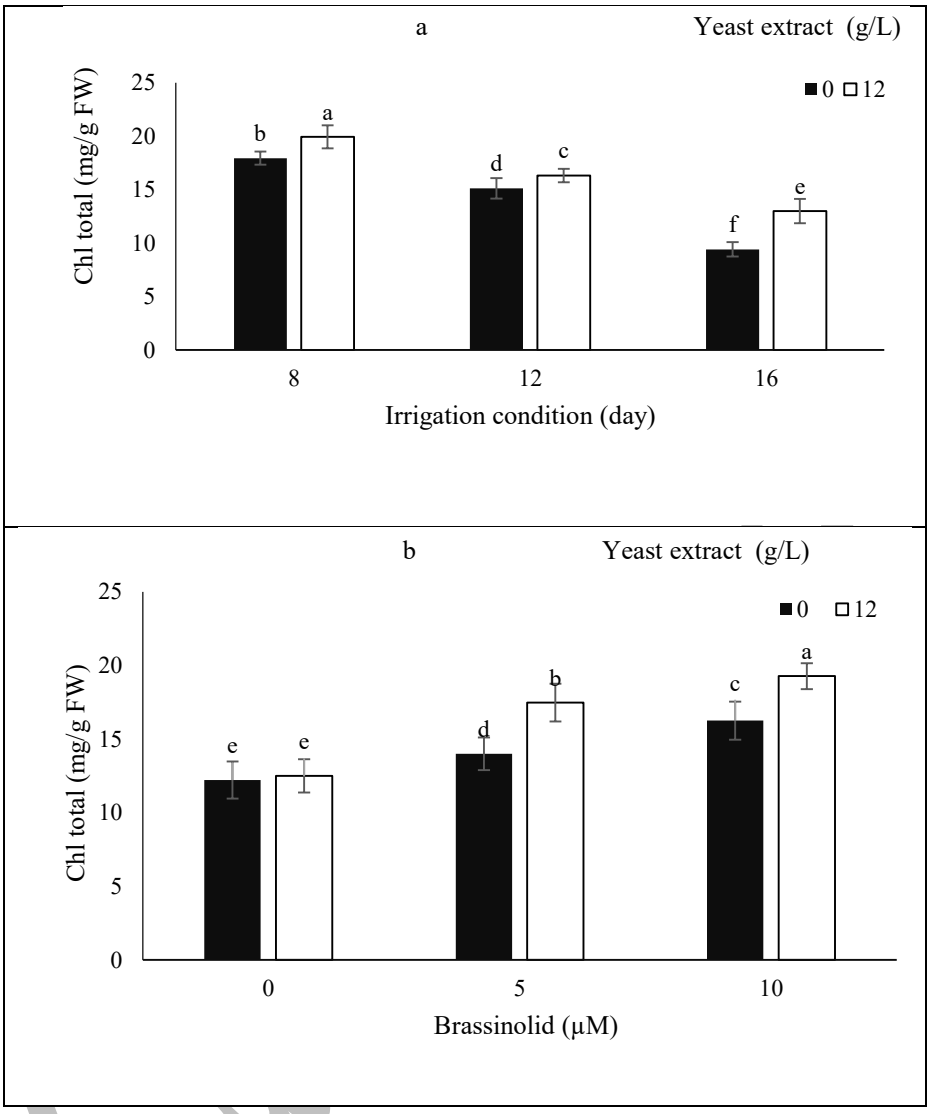
* and **, significance at the level of five and one percent, respectively.



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)

Figure 2- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the content of chlorophyll b in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of 24-epibrassinolid and yeast extract on the content of chlorophyll b in cowpea leaves (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 ۸، 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 ۵ و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور معنی‌دار باعث افزایش محتوای کلروفیل کل شدند (شکل ۳b).



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-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر محتوای کلروفیل کل در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b)

Figure 3- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the content of total chlorophyll in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of 24-epibrassinolid and yeast extract on the content of total chlorophyll in cowpea leaves (b).

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، بیوسنتز 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-اپی‌براسینولید در بهبود بیوسنتز کلروفیل نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، تأثیر مثبت عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید بر محتوای کلروفیل ممکن است به بهبود تولید برخی از هورمون‌ها مانند اسید ایندول 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 کند (Zhao et al., 2022). افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی

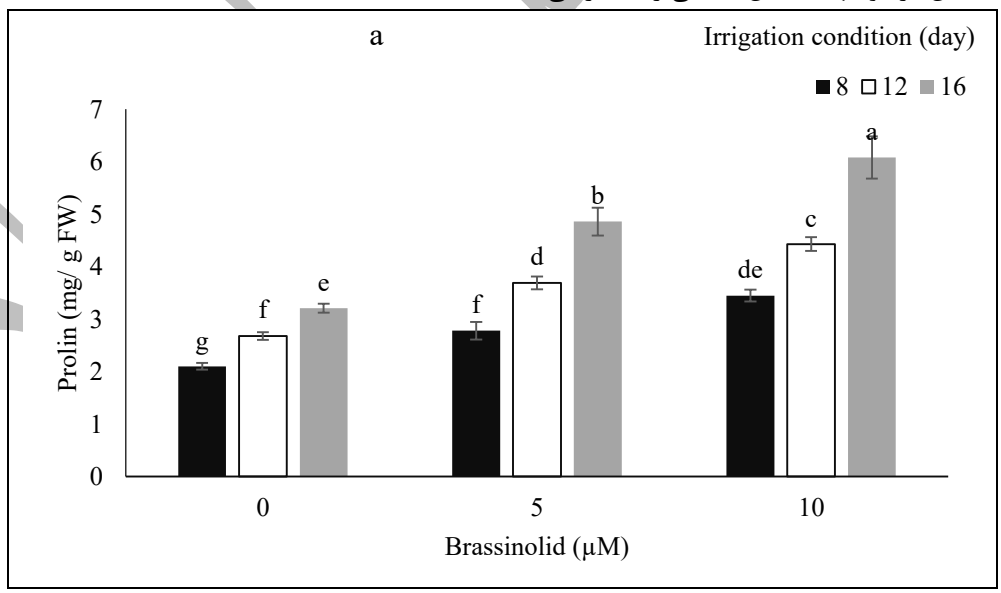
مشاهده شده پس از استفاده از عصاره مخمر در این مطالعه احتمالاً به وجود سیتوکینین در عصاره مخمر نسبت داده می‌شود، که می‌تواند پیری برگ را به تأخیر اندازد (Fawzy et al., 2012).

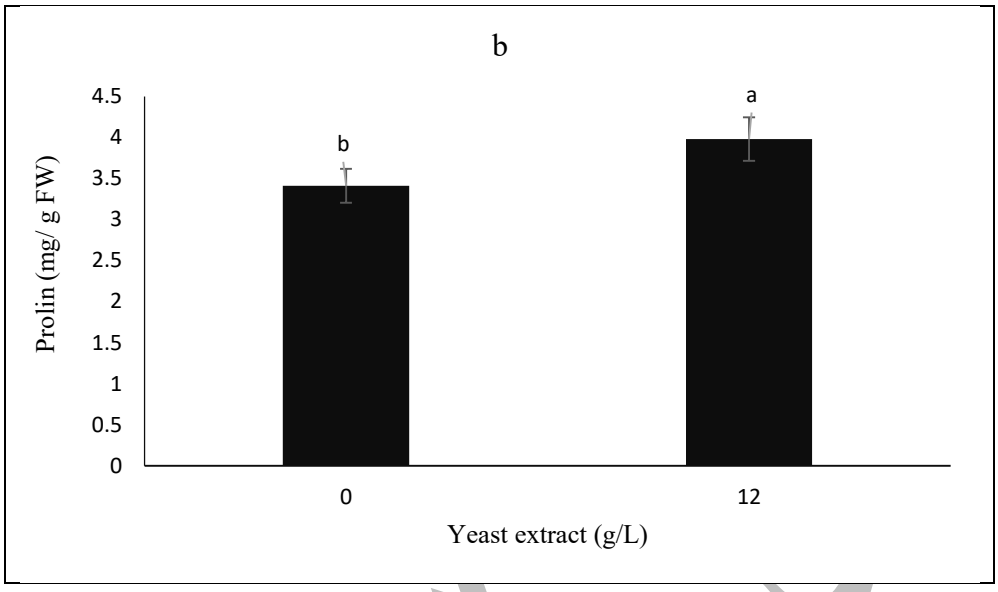
محتوای پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که محتوای پرولین تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید، عصاره مخمر و برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید 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 4a). کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید 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 4b). عصاره مخمر به‌دلیل داشتن منابع غنی از اسیدهای‌آمینه به ویژه پرولین، موجب افزایش میزان پرولین در گیاهان می‌شود (Alaei et al., 2012). در راستای این تحقیق محققان دیگر نیز افزایش میزان پرولین را با کاربرد عصاره مخمر در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی گزارش کرده‌اند (keramati et al., 2021).

پرولین آزاد نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی گیاهان تحت شرایط کم‌آبی ایفا می‌کند. افزایش سنتز پرولین، پاسخی تطبیقی گیاه به شرایط تنش کم آب و خشکی است که با هدف بهبود سیستم دفاعی گیاه صورت می‌گیرد (Farhangi-Abriz & Torabian, 2017). افزایش پرولین آزاد به‌بهبود تحمل گیاهان با حذف گونه‌های اکسیژن فعال می‌انجامد (Rady et al., 2020). کاربرد خارجی ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی 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، به‌طور مؤثری ظرفیت گیاهان را برای تحمل شرایط کم‌آبی تقویت و آن‌ها را در مقابل اثرات مخرب تنش اکسیداتیو حفاظت می‌کند. این یافته‌ها، توانایی براسینولید به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای تقویت تحمل گیاهان در مواجهه با تنش خشکی را آشکار می‌کنند (Mohammadi et al., 2019).





شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر عصاره مخمر بر محتوای پرولین موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید بر محتوای پرولین موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b)

Figure 4- Mean comparison of yeast extract on the content of proline in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and 24-epibrassinolid on the content of proline in cowpea leaves (b).

محتوای فلاونوئید

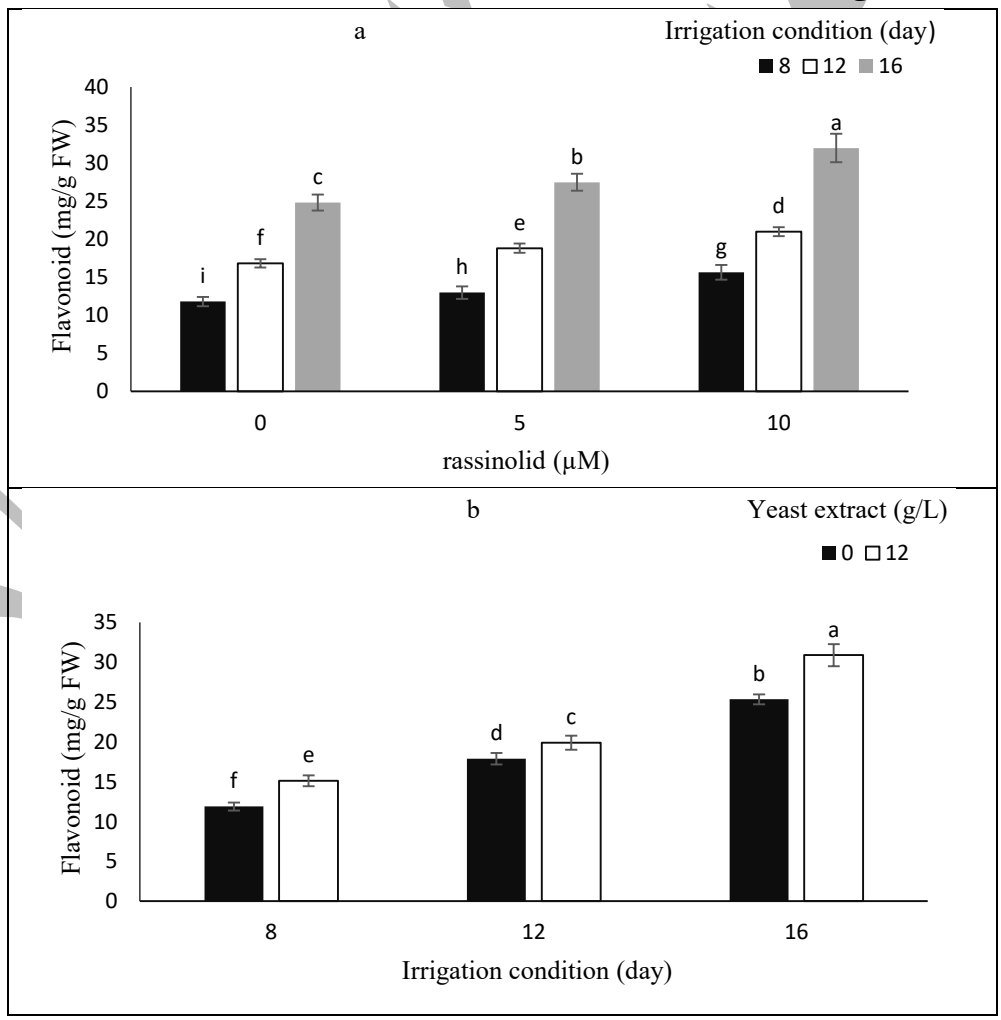
فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا تحت تاثیرشرایط مختلف آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید، عصاره مخمر، برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید، برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین، برهم‌کنش دوجانبه ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال پنج درصد بر میزان فلاونوئید موجود در برگ تأثیرگذار بود (جدول ۳). اعمال دور آبیاری۱۲ و ۱۶ روز در تیمار عدم کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید به ترتیب موجب افزایش ۴۲/۲۶ و ۱۰۹/۸۹ درصدی محتوای فلاونوئید نسبت به شاهد شد. کاربرد ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید در گیاهانی که دور آبیاری ۱۲و 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).

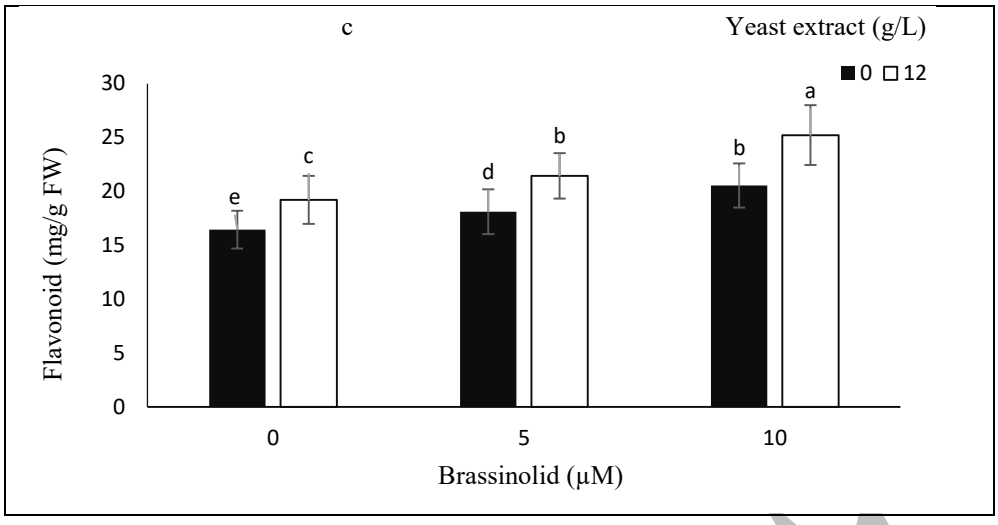
کاربرد عصاره مخمر در تمام سطوح آبیاری، موجب افزایش میزان فلاونوئید موجود در برگ گردید. استفاده از ۱۲ گرم بر لیتر عصاره مخمر در شرایط آبیاری ۸ و ۱۶ روز به‌ترتیب موجب افزایش ۲۷/۱۸و ۲۱/۹۱ درصدی فلاونوئید نسبت به‌عدم کاربرد عصاره مخمر در همین دور آبیاری شد (شکل ۵b). استفاده همزمان از عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید 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 کم‌آبیاری به میزان بیشتری از فلاونوئیدها وابسته است. در شرایط تنش کم‌آبیاری، ایجاد محدودیت در انتقال الکترون فتوسنتزی موجب ایجاد تغییرات متابولیکی مانند افزایش فلاونوئیدها می‌شود. محققان دریافتند که، کاربرد براسینولیدها منجر به بیان ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها می‌شود. براسینولید، احتمالا 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 ریخت شناسی، 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 انعطاف-پذیری 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 چند وجهی 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.



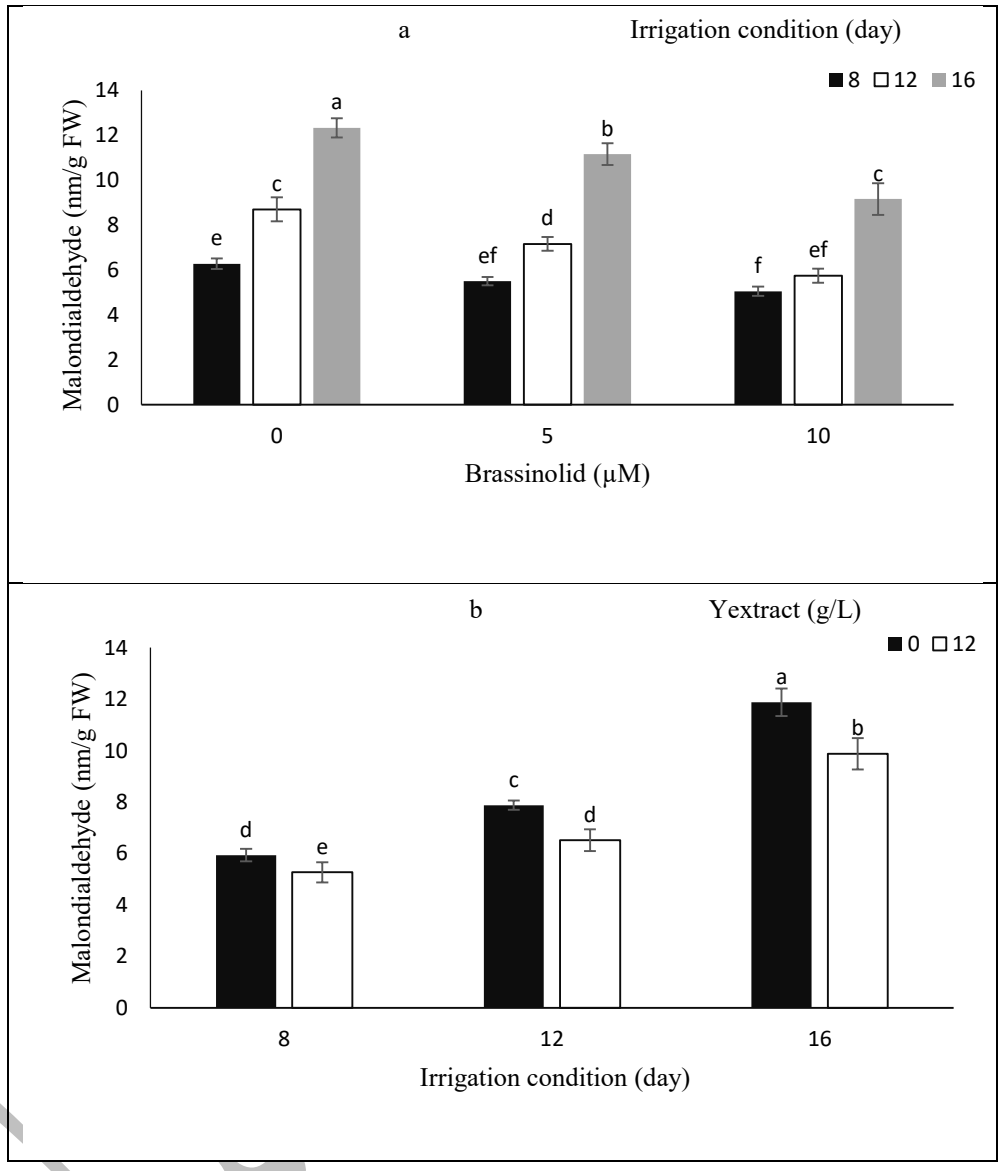


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید بر محتوای فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (a)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر بر محتوای فلاونوئید موجود در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (b) و مقایسه میانگین اثر متقابل ۲۴-اپی براسینولید و عصاره مخمر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

Figure 5- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and 24-epibrassinolid on the content of flavonoid in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the content of flavonoid in cowpea leaves (b) and Mean comparison of interaction effect of 24-epibrassinolid and yeast extract on the content of flavonoid in cowpea leaves (c).

محتوای مالون‌دی‌آلدئید

محتوای مالون‌دی‌آلدئید تحت تاثیر دورهای 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 به‌صورت 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 چشم بلبلی نشان داد با افزایش دور آبیاری میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر در دورهای آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز به‌ترتیب 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 و۲۴-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)

Figure 6- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and 24-epibrassinolid on the content of malondialdehyde in cowpea leaves (a), Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the content of malondialdehyde in cowpea leaves (b).

محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط کم‌آبیاری ملایم و شدید نسبت به آبیاری ۸ روز افزایش یافت. این افزایش ممکن است به تنش اکسیداتیو تجربه شده توسط سلول‌های گیاه در شرایط کم‌آبی نسبت داده شود، که تأثیر مخربی بر غشاءهای پلاسمایی و نفوذپذیری آن‌ها دارد. افزایش همزمان محتوای پرولین به‌عنوان نشانگر آسیب اکسیداتیو در داخل گیاهان عمل می‌کند (Gupta et al., 2020). این یافته‌ها تأثیر مخرب تنش کم‌آبی بر لوبیا چشم‌بلبلی را نشان می‌دهد و بر اهمیت کاهش تنش اکسیداتیو برای حفظ سلامت و عملکرد سلول تأکید می‌کند. با این حال، استفاده از عصاره مخمر، محتوای مالون‌دی‌آلدئید را در گیاهان تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش داد که نشان‌دهنده 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-اپی‌براسینولید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مرتبط است، که منجر به بهبود نفوذپذیری غشاء می‌گردد (Kaya et al., 2019).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

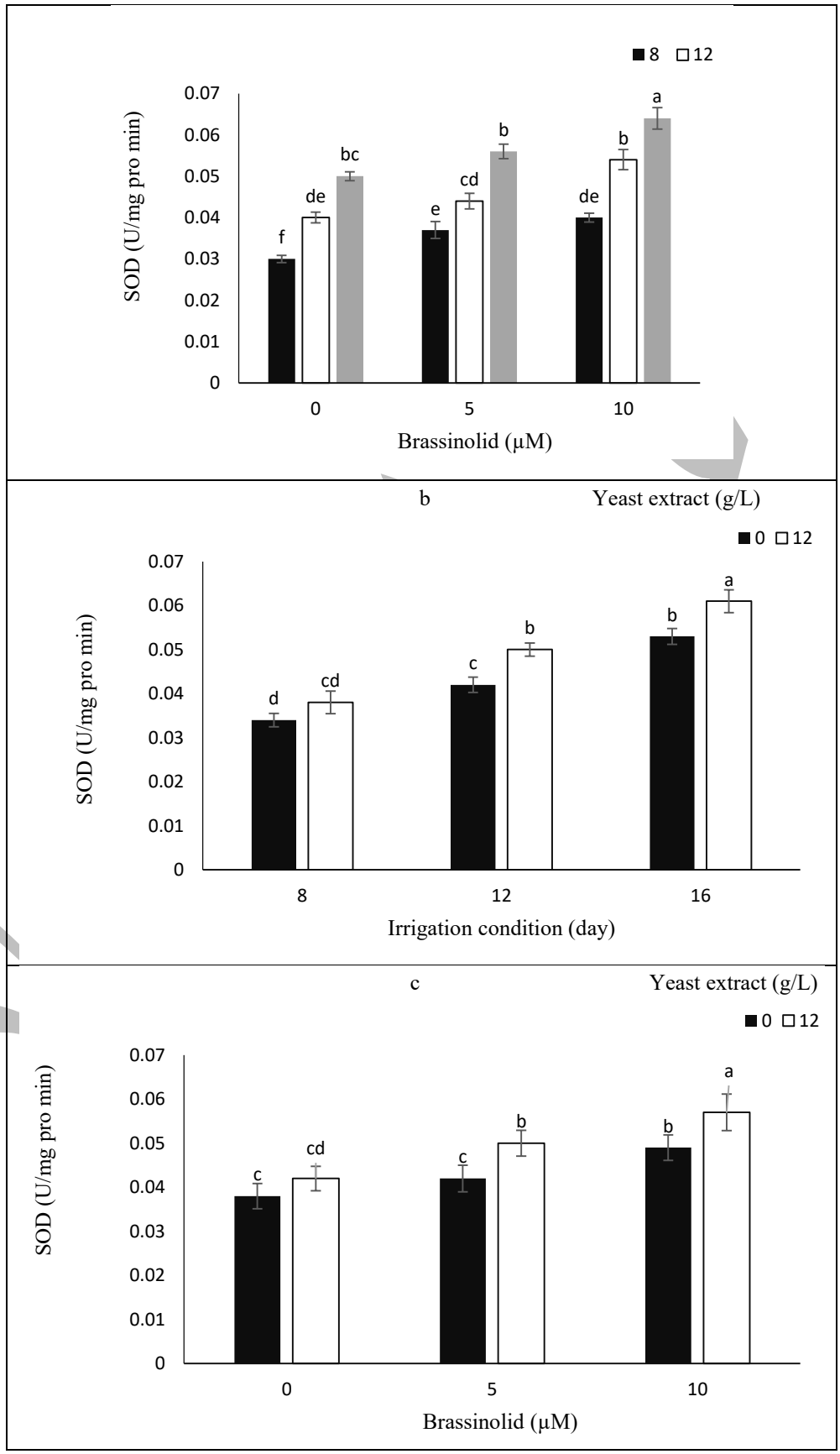
فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید، عصاره مخمر، برهمکنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید، برهمکنش دوجانبه ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین، اثر برهم‌کنش دوجانبه سطوح مختلف آبیاری و عصاره مخمر نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با اعمال کم‌آبیاری در کلیه سطوح هورمونی در برگ‌های لوبیا افزایش معنی‌دار یافت (شکل ۷a). استفاده از ۵ و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید در دور آبیاری ۱۲روز به ترتیب موجب افزایش ۱۰ و ۳۵ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به عدم کاربرد این هورمون در همین دور آبیاری شد. محلول‌پاشی ۵ و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید در دور آبیاری ۱۶ روز توانست فعالیت این آنزیم را به ترتیب ۱۲و 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 به‌ترتیب موجب افزایش ۱۹/۰۴ و ۱۵/۰۹ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به عدم کاربرد عصاره مخمر در همین شرایط آبیاری شد (شکل ۷b). مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی اثر هم‌افزایی آن‌ها را تایید کرد (شکل ۷c). محققان دریافتند که براسینولید از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی از جمله تنظیم بیان ژن‌های تولید کننده آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان موجب افزایش تحمل گیاهان به کم‌آبیاری می‌شود (Fariduddin et al., 2011). سایر محققین نیز افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را با کاربرد عصاره مخمر گزارش کرده‌اند (Keramati et al., 2021). عصاره مخمر حاوی مولکول‌های پیام‌رسان و محرک‌هایی است که می‌توانند پاسخ‌های دفاعی گیاه را فعال کنند. این ترکیبات می‌توانند بیان ژن‌های دخیل در دفاع آنتی‌اکسیدانی از جمله ژن‌های آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را تحریک کنند (Abdelaal et al., 2017).

در این پژوهش، کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. این افزایش، به تأثیر ۲۴-براسینولید در ترجمه ژن‌های تولیدکننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده می‌شود (Talaat et al., 2015). افزایش فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به نقش حیاتی آن‌ها در پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال و حفاظت سلول‌های گیاهی از آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی اشاره دارد. مطالعات نشان داده‌اند که تیمار ذرت (*Zea mays*) (Ghasemi et al., 2022)، برنج (*Oriza sativa*) (Guedes et al., 2021) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Nie et al., 2019) با براسینولید منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود تحمل گیاهان تحت شرایط کم‌آبیاری شده است. تیمار گیاهان با براسینولید می‌تواند بیان ژن‌های مرتبط با تولید کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را تنظیم کند، که به افزایش کارآیی مصرف آب و دی‌اکسید کربن و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی تحت تنش‌های غیرزنده منجر می‌شود (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).

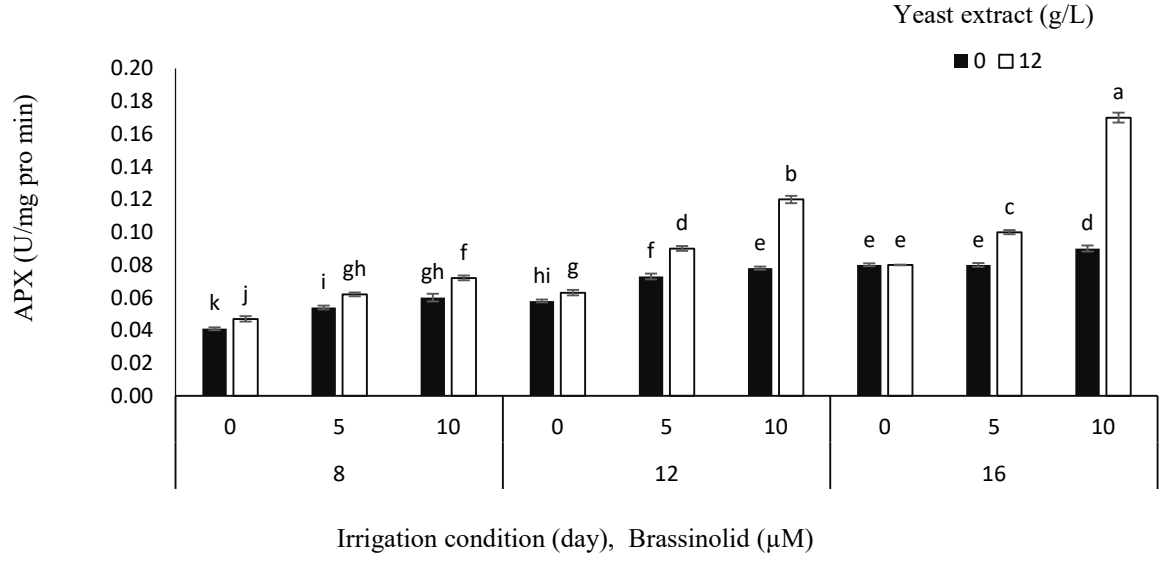

8 12
SOD (U/mg pro min)
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
f
de
bc
e
cd
b
de
b
a
0
5
10
Brassinolid (μM)
b
Yeast extract (g/L)
0 12
SOD (U/mg pro min)
d
cd
c
b
b
a
8
12
16
Irrigation condition (day)
c
Yeast extract (g/L)
0 12
SOD (U/mg pro min)
c
cd
c
b
b
a
0
5
10
Brassinolid (μM)

شکل ۷- مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری و ۲۴-اپی‌براسینولید 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-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (c)

Figure 7- Mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and 24-epibrassinolid on the SOD activity in cowpea leaves (a), mean comparison of interaction effect of different levels of irrigation and yeast extract on the SOD activity in cowpea leaves (b) and mean comparison of interaction effect of 24 epi-brassinolid and yeast extract on the SOD activity in cowpea leaves (c).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج این پژوهش نشان دادن که، اثر سطوح متفاوت آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید، 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-اپی‌براسینولید بر میزان فعالیت این آنزیم و عدم کاربرد آن‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم در دور آبیاری ۱۶ روزدر تیمار ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولیدو 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 تولید شده افزایش یافته و به‌دنبال آن فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز جهت کاهش میزان این گونه فعال اکسیژن تحریک خواهد شد (Fariduddin et al., 2011).



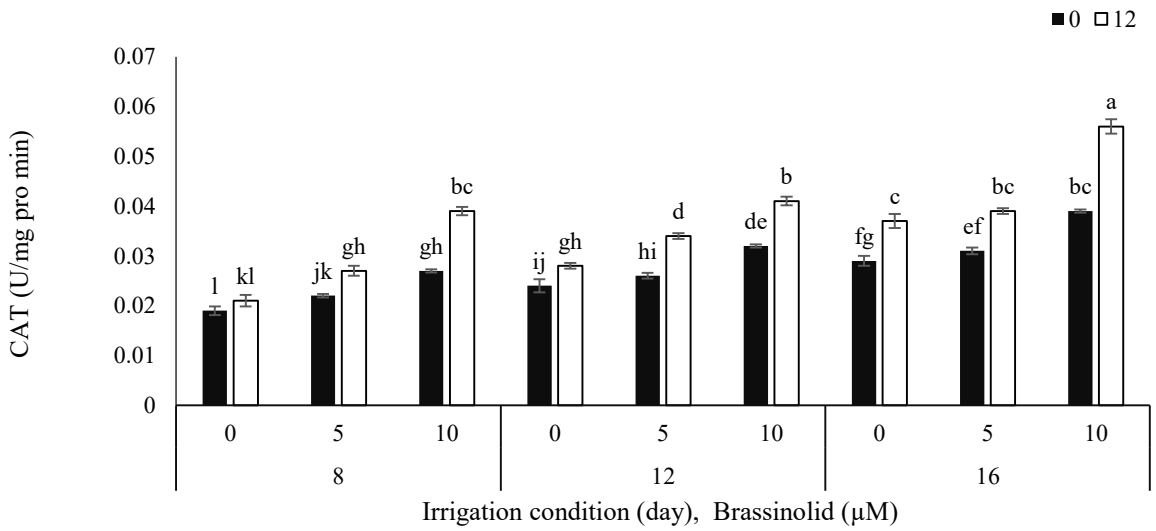
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سه گانه سطوح مختلف آبیاری ، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 8- Mean comparison of triple effect of different levels of irrigation, 24-epibrassinolid and yeast extract on the APX activity in cowpea leaves

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-اپی‌براسینولید، سطوح متفاوت آبیاری و عصاره مخمر، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش سه‌جانبه تیمارها نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت تأثیرگذار بود (جدول۳). بررسی اثرات سه‌جانبه تیمارها بر فعالیت آنزیم کاتالاز بیانگر این بود که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار همزمان۱۲ گرم عصاره مخمر و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید و در دور آبیاری ۱۶ روز مشاهده شد. کمترین میزان فعالیت آنزیم در دور آبیاری ۸ روز و عدم کاربرد عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید مشاهده شد. استفاده از عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید در تمام دورهای 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 آنتی اکسیدانی 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 ۹- مقایسه میانگین اثر سه جانبه سطوح مختلف آبیاری ، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های لوبیا چشم‌بلبلی

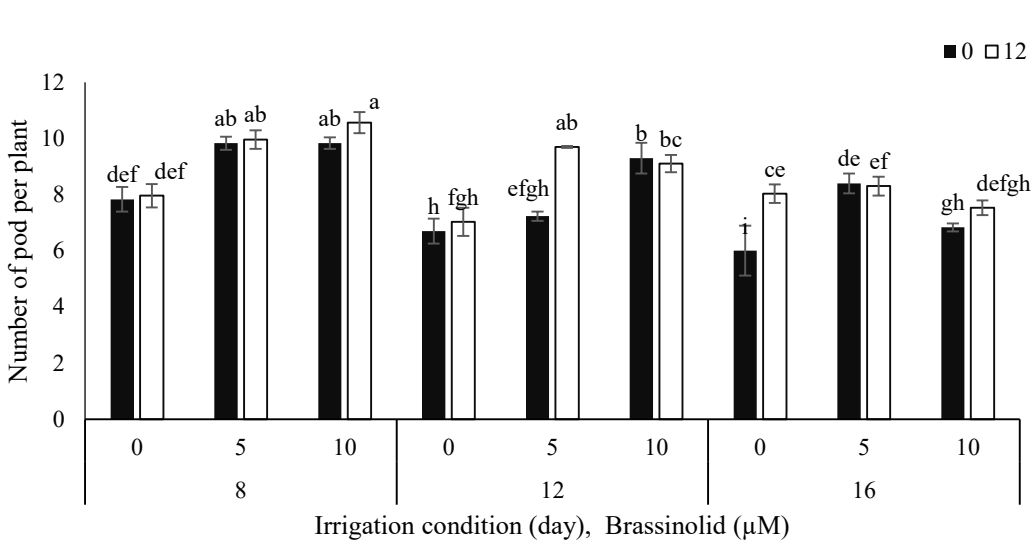
Figure 9- Mean comparison of triple effect of different levels of irrigation, 24-epibrassinolid and yeast extract on the CAT activity in cowpea leaves

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 تأثیر شرایط آبیاری، برهم‌کنش دوجانبه شرایط آبیاری و کاربرد براسینولید و برهمکنش سه‌جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

بررسی مقایسات میانگین نشان داد که کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته شد. تعداد غلاف در بوته در گیاهان شاهد (دور آبیاری ۸ روز و عدم دریافت عصاره مخمر و براسینولید) ۹/۸۳ عدد در بوته بود، در حالی‌که اعمال دور آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز به‌ترتیب موجب کاهش ۱۴/۴۳ و ۲۳/۳۷ درصدی این صفت شد. در دور آبیاری ۸ روز، کاربرد و عدم کاربرد عصاره مخمر اختلافی با یکدیگر نشان ندادند، ولی کاربرد ۵ و ۱۰ میکرومولار براسینولید موجب افزایش این صفت شد. در دور آبیاری ۱۲ روز، کاربرد عصاره

مخمر به همراه ۵ 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).

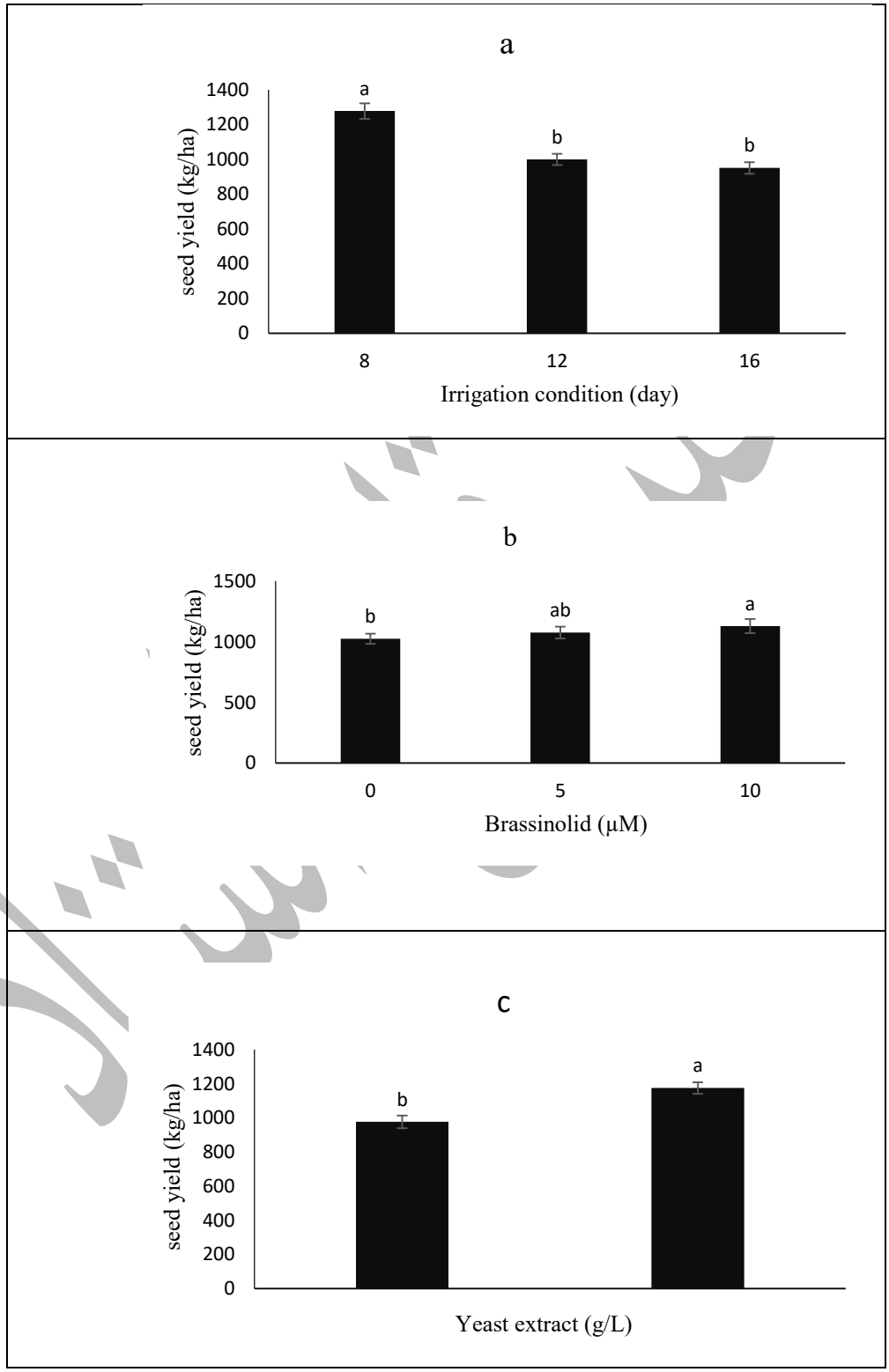


شکل ۱۰– مقایسه میانگین اثر سه جانبه سطوح مختلف آبیاری، ۲۴-اپی‌براسینولید و عصاره مخمر بر تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی

Figure 10- Mean comparison of triple effect of different levels of irrigation, 24-epibrassinolid and yeast extract on the number of pod per plant in cowpea

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 به‌ترتیب به میزان ۲۰/۸۰ و ۲۸/۶۱ درصد نسبت به شاهد (دور آبیاری ۸ روز) کاهش یافت (شکل ۱۱a). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد دانه با محلول‌پاشی ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید بدست آمد، به طوری‌که موجب افزایش معنی‌دار ۱۰/۱۴ درصدی عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی شد (شکل ۱۱b). عملکرد دانه با استفاده از محلول‌پاشی ۵ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشت (شکل ۱۱b). مقایسه میانگین عصاره مخمر بر عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی 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 محلول‌پاشی 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 تنظیم کننده‌های رشد (به ویژه سیتوکینین‌ها)، اسیدهای‌آمینه 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 اسیدهای‌آمینه نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه و افزایش تحمل به تنش کم‌آبیاری ایفا می‌کند (Taha et al., 2021). محققین گزارش کردند که محلول‌پاشی عصاره مخمر موجب افزایش عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Yaghobnezhad 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-اپی‌براسینولید بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (b) و مقایسه میانگین عصاره مخمر بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (c)

Figure 11- Mean comparison of different levels of irrigation on the seed yield in cowpea (a), mean comparison of 24 -epibrassinolidon the seed yield in cowpea (b) and mean comparison of yeast extract on the seed yield in cowpea(c).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مورد بررسی از قبیل محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری شدید و ملایم نسبت به شرایط آبیاری معمول کاهش یافتند. در حالی‌که، اعمال کم‌آبیاری، موجب افزایش محتوای پرولین، مالون-دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد. افزایش محتوای پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پاسخ‌های دفاعی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی در برابرکم‌آبیاری می‌باشند. کاربرد عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید به‌صورت محلول‌پاشی برگی توانست صفات محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در شرایط کم‌آبیاری شدید ارتقا دهد. کاربرد ۱۲ گرم در لیتر عصاره مخمر و ۱۰ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید به‌صورت محلول‌پاشی برگی منجر به کاهش اثرات کم‌آبیاری و بهبود عملکرد دانه در لوبیا چشم‌بلبلی شد. در مجموع، محلول‌پاشی عصاره مخمر و ۲۴-اپی‌براسینولید جهت کاهش برخی اثرات مخرب ناشی از واکنش‌های دخیل در شرایط کم‌آبیاری پیشنهاد می‌گردد.

References

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-Ubori, 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 farsi).

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., Yousef, 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., Alyemeni, 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 annuum 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 farsi).

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 SlBRI1 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-Montaño, 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 farsi).

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 farsi).

S. 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

S. 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

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 farsi).

sheikhi, S., Ebrahimi, A., Heidari, P., Amerian, M. R., & Rashidi Monfared, S. (2021). The effect of 24-epi-brassinosteroid 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 farsi).

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 farsi).

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.

.

Evaluating the Impact of Yeast Extract and 24-Epi-Brassinolid Treatments on Physiological Characteristics and yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L) **Subjected to irrigation condition**

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-epibrasinolide 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 µM). 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 µM 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 µM 24-epibrassinolide along with yeast extract increased chlorophyll content by 57.69%. In the 16-day irrigation cycle, the activities of ascorbate peroxidase and catalase enzymes increased by 314.63% and 194.73%, respectively, using 10 µM brassinolide and yeast extract. Additionally, the levels of proline, flavonoid, and malondialdehyde increased by 52.85%, 109.89%, and 96.33%, respectively, compared to the 8-day irrigation period. This research demonstrated that applying 12 g per liter of yeast

extract combined with 10 µM brassinolide effectively increases seed yield and mitigates the impact of low irrigation in cowpeas.
Keywords: Photosynthetic pigments, Yield components, Antioxidant, Growth regulator.

غیر قابل استناد