اثرات کود زیستی و بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش آبی

مریم نیازی اردکان[1]، وحید براتی[*] و احسان بیژن‌زاده

بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱)

چکیده

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب – دانشگاه شیراز اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارها در این پژوهش شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [۱- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله‌ی گلدهی] بود. همچنین، عامل‌های فرعی شامل دو سطح بقایای گیاهی [۱- حذف بقایا، ۲- برگرداندن ۳۰ درصد بقایای گیاهی (کاه گندم) به خاک] و چهار منبع کودی [۱- شاهد: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۲- کود نیتروژن: کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۳- کود تلفیقی: استفاده از باکتری آزوسپیریلوم + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ٤- کود زیستی: تلقیح بذرها با باکتری آزوسپیریلوم)] بود. نتایج نشان داد که برهمکنش تیمار بقایا × نیتروژن بر غلظت کلروفیل a، کاروتنوئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بود. این برهمکنش نشان داد که در شرایط بدون بقایا، کود نیتروژن و تیمار تلفیقی سبب افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به شاهد شدند. در مقابل در شرایط حضور بقایا، نیز روندی مشابه شرایط بدون بقایا البته با شدت واکنش بیشتر به کاربرد این دو منبع نیتروژن وجود داشت. اثر برهمکنش تیمار رژیم آبیاری × منبع کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز نشان داد که در شرایط مطلوب رطوبتی، کاربرد کود نیتروژن صرف نظر از منبع آن سبب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها شد. بیشترین مقدار افزایش در مقایسه با شاهد مربوط به کود نیتروژن و سپس کود تلفیقی بود. روندی مشابه شرایط مطلوب در شرایط تنش آبی البته با شدت واکنش بیشتر به کاربرد نیتروژن وجود داشت. در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کود تلفیقی بود. با توجه به ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی و همچنین با توجه به برتری کود تلفیقی در شرایط مطلوب و تنش رطوبتی به لحاظ بیوشیمیایی و عملکرد دانه، این رژیم کودی در شرایط عدم اطمینان از دسترسی به آب برای آبیاری پس از گلدهی در مناطق جنوبی ایران قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آزوسپیریلوم، کاتالاز، کاروتنوئید، کلروفیل، گایاکول پراکسیداز

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) در بین غلات به لحاظ اهمیت، رتبه‌ی چهارم را در جهان به خود اختصاص داده‌است (Ullrich, 2011). این گیاه دارای سابقه کاشت طولانی در مناطق وسیعی از کره زمین بوده و دارای قدمتی معادل کشاورزی است (خدابنده، ۱۳۹۱). در مناطقی همانند جنوب

[*]نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: v.barati@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

استان فارس که بارندگی‌ها اکثراً در مرحله رویشی و در زمستان رخ می‌دهد، عملکرد دانه جو به‌طور قابل ملاحظه‌ای توسط تنش‌های آبی در مرحله پرشدن دانه کاهش می‌یابد (براتی و غدیری، ۱۳۹۵). ایجاد تنش آبی در این مرحله از نمو بذر، باعث ایجاد بذرهای چروکیده و کاهش عملکرد دانه می‌گردد (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۸۷).

تنش آبی به طور مستقیم بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان را با اختلال روبرو می‌کند. این تنش گونه‌های اکسیژن فعال را در گیاه افزایش می‌دهد و بنابراین پایداری غشاهای سلولی طی فرآیند اکسیداسیون کاهش می‌یابد. این کاهش سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، فتوسنتز و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (Fazeli *et al.,* 2007). از دیگر پیامدهای فیزیولوژیک تنش آبی بر گیاه، کاهش محتوای نسبی آب برگ است. این رخداد باعث ایجاد اختلال در روند فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شده و تغییر متابولیسم آنزیم‌ها را سبب می‌شود (Sing and Patal, 1996). همچنین، در شرایط کمبود محتوای نسبی آب در گیاه، غشای سلولی دچار افت شده و نهایتاً پایداری خود را از دست می‌دهد (Shifraw and Baker, 1996). گیاهان برای مقابله با تنش آبی مکانیسم‌های دفاعی متنوعی دارند، از جمله اینکه آن-ها سطح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در خود بالا می‌برند. این دو آنزیم به نوعی غیرفعال کننده اکسیژن فعال ایجاد شده به دنبال تنش آبی هستند و افزایش آن‌ها اثرات مخرب تنش را کاهش خواهد داد (Pan *et al.,* 2006). امینی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعات خود بر روی گیاه جو نشان دادند که آنزیم پراکسیداز مهم‌ترین عامل جهت افزایش مقاومت گیاه جو در مقابل فرآیند اکسیداسیون ناشی از تنش آبی است.

تنش آبی به صورت غیرمستقیم بر رشد گیاهان زراعی از جمله جو از طریق کاهش جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن مؤثر است (Rideg , 2002). در واقع، پاسخ گیاه زراعی به کود نیتروژن به شدت به قابلیت دسترسی گیاه به آب وابسته است (Tilling *et al.,* 2007). کاهش جذب نیتروژن در شرایط تنش آبی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه را متأثر خواهد کرد. Hong و Jin (۲۰۰۷) کاهش غلظت کلروفیل aو b و همچنین، کاهش پایداری غشاهای سلولی را در شرایط کمبود نیتروژن گزارش کرده‌اند.

برای کاهش اثرات مخرب تنش آبی به‌ویژه در مناطق جنوبی ایران که این نوع تنش عمدتاً در مراحل پس از گلدهی غلات رخ می‌دهد، باید به دنبال راهکاری مناسب بود. کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه به مقدار زیاد در مراحل رویشی غلات زمستانه سبب افزایش حساسیت غلات به تنش آبی انتهای فصل می‌شود. Vanherwaarden و همکاران (۱۹۹۸) اثبات کردند که کاربرد زیاد نیتروژن در مزارع غلات سبب رشد رویشی سریع و زیاد غلات و افزایش شاخص سطح برگ خواهد شد. اندام‌های رویشی توسعه یافته سبب تخلیه‌ی پروفیل خاک از رطوبت شده و در شرایط کمبود آب در انتهای فصل رشد سبب تشدید تنش رطوبتی خواهد شد. در مقابل، بسیاری از پژوهش‌ها (Arzanesh *et al.,* 2010; Sarig *et al.,* 1988; Creus *et al.,* 2010) و (هادی و همکاران، ۱۳۹۰) نشان داده‌اند که کودهای زیستی از جمله باکتری آزوسپیریلوم با توجه به توان سازگاری با شرایط محیطی، تولید هورمون‌های رشد، توانایی محلول ساختن عناصر غیر قابل جذب خاک و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در کاهش اثرات سوء تنش آبی نقش بسزایی دارند. بنابراین، استفاده از باکتری‌ها از جمله آزوسپیریلوم به تنهایی و یا در تلفیق با کودهای شیمیایی نیتروژنه می‌تواند در کاهش سطح تنش آبی در غلات نقش زیادی داشته باشد. در همین راستا، سید شریفی و سید شریفی (۱۳۹۸) نشان دادند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط استفاده از کودهای زیستی می‌تواند تا حد زیادی اثرات مخرب ناشی از تنش را در گیاه آفتابگردان تعدیل کند. نتایج پژوهشی بر روی گشنیز نشان داد که کود زیستی فسفاته باعث افزایش غلظت کاروتنوئید برگ در گیاه شد (بسطامی و مجیدیان، ۱۳۹٤). اما، پژوهشی جامع که به بررسی اثرات باکتری آزوسپیریلوم در شرایط تنش رطوبتی بر صفات بیوشیمیایی مانند سطح آنتی اکسیدان‌های آنزیمی مانند کاتالاز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

و پراکسیداز و همچنین، صفات فیزیولوژیک گیاه جو مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ در شرایط گرم و خشک جنوب استان فارس پرداخته باشد، بسیار کمیاب است.

افزودن بقایای گیاهی به خاک مزرعه از دیگر روش‌های کاهش اثرات منفی تنش آبی و یا به تاخیر انداختن آن است. افزودن بقایای گیاهی به خاک ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را افزایش داده و بر کاهش اثرات مخرب تنش آبی بر گیاهان و میکروارگانیسم‌های مفید خاک مؤثر است (صادقی ، ۱۳۸٦ و Lerner *et al.,* 2006). از این‌رو، حضور بقایای گیاهی در خاک علاوه بر تأمین هیدروکربن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها، رطوبت کافی را در شرایط تنش برای تجزیه بقایا و آزادسازی عناصر غذایی موجود در آن‌ها فراهم آورده و خاک را حاصلخیز می‌کند (خسروی، ۱۳۹۳ و صادقی ، ۱۳۸٦). تجزیه سریع‌تر بقایا به دلیل شرایط اقلیمی گرم جنوب ایران و همچنین، سوزاندن یا خارج کردن بقایای گیاهی از زمین‌های کشاورزی موجب کاهش مقدار مواد آلی اکثر خاک‌های جنوبی ایران شده‌است. این روند حاصلخیزی خاک‌ها، ظرفیت نگهداری رطوبت و سایر ویژگی‌های مطلوب خاک را کاسته است (شهپری و فاتح، ۱۳۹۵). با وجود اهمیت بسیار زیاد بقایای گیاهی در کاهش سطح تنش آبی و نقش تغذیه‌ای آن برای گیاهان، مطالعات کمی در رابطه با اثرات آن‌ها بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به تنش در گیاه جو به‌ویژه کاربرد توأم آن‌ها با کودهای زیستی از جمله آزوسپیریلوم در مناطق گرم و خشک جنوب ایران انجام گرفته است.

با توجه به کمبود اطلاعات در رابطه با اثرات بقایای گیاهی و کودهای زیستی بر کاهش اثرات تنش آبی در مناطق جنوبی ایران، این پژوهش به بررسی اثرات بقایای گندم و کاربرد کود زیستی به‌صورت خالص و در تلفیق با کود نیتروژن در شرایط تنش آبی پس از گلدهی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به تنش در گیاه جو پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ی پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب – دانشگاه شیراز (طول جغرافیای °٥٤ و ′۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۸ و ′۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ اجرا شد. منطقه داراب دارای آب و هوای خشک است. میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه‌ی این منطقه ۲۵۰ میلی‌متر است، که این مقدار بارندگی عمدتاً در مرحله رشد رویشی گیاه در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. وضعیت آب و هوایی منطقه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ در جدول ۱ آمده است. جهت بررسی ویژگی‌های خاک، نمونه‌ای مرکب (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) از خاک مزرعه به‌طور تصادفی برداشته و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی داراب – دانشگاه شیراز فرستاده شد. جدول ۲ نتایج آزمون خاک را نشان می‌دهد.

تیمارها در این پژوهش شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [۱- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله‌ی گلدهی (قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی)] بود. همچنین، عامل‌های فرعی شامل دو سطح بقایای گیاهی [۱- حذف بقایا و ۲- برگرداندن ۳۰ درصد بقایای گیاهی (کاه گندم) به خاک] و چهار منبع کودی [۱- شاهد: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار ، ۲- کود نیتروژن: کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره (٤٦ درصد نیتروژن) با توجه به آزمون خاک، ۳- کود تلفیقی: استفاده تلفیقی از باکتری آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) و نیتروژن به مقدار نصف نیاز نیتروژنی گیاه (۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره) و ٤- کود زیستی: تلقیح بذرها با باکتری آزوسپیریلوم)] بود. جهت آماده‌سازی کرت‌ها و جلوگیری از نشت جانبی آب و کود نیتروژن اطراف هر کرت فرعی پشته‌ای به عرض نیم متر فاصله ایجاد شد. برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب و نیتروژن، فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی (آبیاری مطلوب و تنش آبی) دو متر در نظر گرفته شد. اندازه‌ی کرت‌های فرعی ۳×۲ مترمربع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

جدول ۱- وضعیت آب و هوایی منطقه در سال زراعی ۹۷ – ۱۳۹۶.

ماه	بارندگی، میلی‌متر	بیشینه دما درجه سانتی‌گراد	کمینه دما درجه سانتی‌گراد	رطوبت نسبی، درصد	تبخیر و تعرق میلی‌متر	طول دوره روشنایی، ساعت
مهر	۰/۰	۳۳/۰	۱۵/۹	۲۸/۰	۱۸۱/۸	۳۱۰/۹
آبان	۱/۹	۲۷/٤	۹/۵	۳۵/۵	۱۱۳/۳	۲۸٤/٤
آذر	۲٦/۲	۱۹/۵	٤/۷	۵٤/۵	۵۵/۰	۲۳۱/۲
دی	۱/۳	۲۰/۱	۳/۳	٤۵/۵	۵۵/۰	۲۷۳/۲
بهمن	۰/٤	۲۱/٤	٤/۵	۳۹/۵	۷٦/۵	۲۷۷/٦
اسفند	٦۲/۰	۲۲/۵	۸/٦	٤۹/۵	۸٦/۰	۲۳۹/۲
فروردین	٦/٤	۲۸/٦	۱۲/۱	۳۷/۵	۱٦۳/۳	۲۹۰/۳
اردیبهشت	۱/۷	۳۲/۲	۱٦/۹	۳۱/۵	۲٤۷/۲	۲۸۷/۷
خرداد	۰/۲	۳۹/٦	۲۲/۱	۲۲/۰	۳۰٦/۱	۲۵۷/۱
تیر	۰/۰	٤۱/۷	۲٦/۹	۱۹/۵	٤۲۸/۰	۳٦۷/۳
مرداد	۰/۰	٤۱/۸	۲۷/۳	۲۰/۵	٤۰۲/۸	۳۵٦/۰
شهریور	٤/۷	۳۹/۵	۲۳/٤	۲۷/۰	۳۱۱/۱	۳۲۵/۵

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری.

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
شن	%	۳۸/۱۲	نیتروژن کل	%	۰/۰۸
سیلت	%	٤٤	پتاسیم قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۳۲۰
رس	%	۱۷/۸۸	فسفر قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۱۰
کربن آلی	%	۰/۹۷	آهن	$mg\ kg^{-1}$	۵/٦۷
ماده آلی	%	۱/٦۸	منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۱٦/۷۲
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۱/۰۹	مس	$mg\ kg^{-1}$	۱/٦۹
اسیدیته		۷/٤۲	روی	$mg\ kg^{-1}$	۰/٦٦

بود. با توجه به نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به‌صورت نواری زیر بذر استفاده شد. بذر جو (رقم زهک) (رقم جو آبی با سازگاری وسیع و مناسب برای کشت در مناطق گرم جنوب کشور) از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر (ایستگاه حسن آباد داراب) تهیه و با توجه به تاریخ بهینه کاشت در منطقه (نیمه دوم آذرماه) در ۲۳ آذر در ردیف‌های به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در ٦ ردیف به طول ۳ متر بر اساس مقدار توصیه شده (۱۸۲/۲ کیلوگرم در هکتار) کاشته شد.

جهت اعمال مدیریت بقایا، در اوایل آبان ماه ۳۰ درصد از بقایای برجای‌مانده (کاه) از گیاه زراعی سال قبل (گندم) (۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (کشاورزنژاد و همکاران، ۱۳۹۲) و به کرت‌های مورد نظر افزوده و با خاک مخلوط شد. باکتری آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) مورد استفاده در این پژوهش از موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید. قبل از کاشت بر اساس روش‌های موجود (Tale and Hadad, 2011; Somasegaran *et al.*, 2012) تلقیح بذرها با باکتری آزوسپیریلوم در محیط آزمایشگاهی انجام شد. به این صورت که قبل از تلقیح برای گندزدایی بذرها و جلوگیری از آلودگی میکروبی آن‌ها برای مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرارگرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو شدند. در تیمار تلقیح، بذرهای جو در داخل یک کیسه پلی‌اتیلن ریخته شد و محلول آب و شکر به‌عنوان ماده چسباننده (مقدار ۲۰ میلی‌لیتر محلول شکر ۲۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

درصد برای هر کیلوگرم بذر) به آن اضافه گردید. آنگاه کیسه حاوی بذر و ماده چسباننده برای مدت ۳۰ ثانیه به‌شدت تکان داده شد تا سطح تمامی بذرها به‌طور یکنواخت چسبناک گردد. پس‌ازآن، مایه تلقیح (مقدار ۲۰ گرم از مایه تلقیح برای هر کیلوگرم بذر) به بذرهای چسبناک اضافه شد و پس از ٤٥ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایع تلقیح به آن‌ها، بذرهای آغشته به ماده تلقیح برای خشک شدن بر روی ورقه آلومینیوم تمیز در زیر سایه پهن شدند. در تیمارهای کود زیستی و تلفیقی علاوه بر تلقیح بذرها، باکتری آزوسپیریلوم به همراه آب آبیاری (به مقدار ۱۰ گرم برای هر کرت) در مراحل پنجه‌زنی (کد زیداکس ۲۱) و ساقه رفتن (کد زیداکس ۳۱) (Zadoks *et al.*, 1974) بکار رفت. همچنین، کود نیتروژن در سه مرحله [سه برگچه‌ای (کد زیداکس ۱۳)، پنجه‌زنی (کد زیداکس ۲۳) و ساقه رفتن (کد زیداکس ۳۱)] (Zadoks *et al.*, 1974) و به مقدار مساوی به خاک مزرعه افزوده شد.

جهت آبیاری زمین، قبل از هر آبیاری در کرت‌های مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، محتوای رطوبتی خاک به‌وسیله روش وزنی (علیزاده، ۱۳۷۸) در فواصل ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ٦٠ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. در این روش از عمق‌های اشاره شده نمونه‌ای با مته برداشت شد و پس از وزن کردن نمونه‌ی مرطوب، آن را به مدت ٢٤ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده‌شد تا خشک شود. پس از خشک شدن و وزن کردن دوباره، مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شد (علیزاده، ۱۳۷۸). درصد حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای اندازه‌گیری شد. محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه‌ای در عمق‌های ۳۰ و ٦٠ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۱ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. همچنین، محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم در عمق‌های ۳۰ و ٦٠ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۰ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. مقدار آب قابل دسترس از تفاضل مقدار رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به دست آمد (علیزاده، ۱۳۷۸) و (Hanson *et al.*, 2004). حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی بر اساس گزارش فائو ٥٦ (Allen *et al.*, 1998) برابر با ٥٥ درصد از کل آب قابل دسترس در فصل رشد در نظر گرفته شد. هنگامی‌که مقدار آب قابل دسترس خاک به کمتر از ٥٥ درصد از آن رسید، آبیاری انجام گرفت و رطوبت عمق ۰ تا ٦٠ سانتی‌متری خاک به ظرفیت مزرعه رسانده شد. مقدار آب مورد نیاز به‌وسیله معادله‌ی زیر محاسبه و مقدار آب کاربردی برای هر کرت به‌وسیله روش حجمی- زمانی (Barati *et al.*, 2015; Grimes *et al.*, 1987) اندازه‌گیری شد. در این روش مقدار آب محاسبه شده به‌وسیله معادله‌ی ۱ که بر اساس میلی‌متر بود تبدیل به لیتر در هر کرت شد و سپس با توجه به دبی خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای هر کرت، زمان مورد نیاز برای آبیاری آن مشخص شد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی نیز تا مرحله گلدهی آبیاری به همین صورت انجام گرفت و پس از گلدهی آبیاری به‌طور کامل قطع شد. مقدار آب استفاده شده در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی به ترتیب ٥٤٧٦ و ۳۱۷٦ متر مکعب بر هکتار بود که به ترتیب در ۱۱ و ۷ نوبت آبیاری بکار رفت. لازم به ذکر است که پس از مرحله‌ی گلدهی تا انتهای رسیدگی بارندگی رخ نداد.

$$D = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{fci} - \theta_i)\Delta Z_i$$

D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci}: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، θi: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، Δ_{Zi}: ضخامت هر لایه خاک: میلی‌متر.

صفات مورد اندازه‌گیری: برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کارتنوئیدها) و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز نمونه‌گیری از مزرعه در مرحله خمیری نرم (کد زیداکس ۸۰) (Zadoks *et al.*, 1974) و به صورت تصادفی از چند نقطه از قسمت مرکزی هر کرت از برگ پرچم انجام شد.

غلظت کلروفیل و کاروتنوئید: برای استخراج و اندازه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و **کارتنوئیدها)** ۰/۱ گرم از بافت تازه‌ی برگ در هاون چینی با ازت مایع به تدریج ساییده شده و پس از آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه گردید و در دستگاه سانتریفیوژ (Z326K ساخت آلمان) به مدت ۱۵ دقیقه با ٦۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از آن ۱ میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج شده با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل UV- 160A ساخت شرکت Shimadzu ژاپن) در طول موج ٤۷۰، ٦٤٥ و ٦٦۳ نانومتر قرائت گردید و در انتها غلظت رنگریزه فتوسنتزی (**میلی‌گرم بر گرم وزن تر**) از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1967).

معادله ۲

$$Chlorophyll_a = (19.3\times A_{663} - 0.86\times A_{645})\ V/100W$$

معادله ۳

$$Chlorophyll_b = (19.3\times A_{645} - 3.6\times A_{663})\ V/100W$$

معادله ٤

$$Carotenoid = \frac{(100 \times A_{470}) + (3.27 \times mg\ ch.l_a) - (104 \times mg\ ch.l_b)}{227}$$

A_{663}: قرائت در طول‌موج ٦٦۳، A_{645}: قرائت در طول‌موج ٦٤٥، A_{470}: قرائت در طول‌موج ٤۷۰، W: وزن بافت تازه برگ، V: حجم محلول مصرفی، $Mg\ ch.l_a$: غلظت کلروفیل a، $Mg\ ch.l_b$: غلظت کلروفیل b.

فعالیت آنزیم کاتالاز: جهت استخراج و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۰/۱ گرم از بافت تازه‌ی برگ با استفاده از هاون چینی با ازت مایع به تدریج ساییده شد و سپس ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH=7) به آن اضافه شد و پس از انتقال به میکروتیوب، درون دستگاه سانتریفیوژ (مدل Z326K ساخت آلمان) با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. محلولی که جهت خواندن فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات، ۲۰ میلی مولار پراکسید هیدروژن و در انتها ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی (که در آخر افزوده شد) بود. پس از آن بلافاصله جذب در طول موج ۲٤۰ نانومتر به مدت ۳۰ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV- 160A ساخت شرکت Shimadzu ژاپن) ثبت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به‌جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی (ε =39/4 $mM^{-1}cm^{-1}$) به صورت میکرومول پراکسیدهیدروژن تجزیه شده و به‌صورت واحد در دقیقه بر گرم وزن تر بیان شد (Chance and Maehly, 1950; Aebi, 1984).

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز: جهت استخراج و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ۰/۱ گرم از بافت تازه‌ی برگ با استفاده از هاون چینی با ازت مایع به تدریج ساییده شد و سپس ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH=7) به آن اضافه شد و پس از انتقال به میکروتیوب توسط دستگاه سانتریفیوژ (مدل Z326K ساخت آلمان) با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول واکنش برای خواندن فعالیت آنزیم مورد نظر شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات، ۱۰ میلی‌مولار گایاکول، ۲۰ میلی مولار پراکسیدهیدروژن و در انتها ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی (که در آخر افزوده شد) بود و بلافاصله جذب در طول موج ٤۷۰ نانومتر به مدت ٦۰ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV- 160A ساخت شرکت Shimadzu ژاپن) قرائت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به‌جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از ضریب خاموشی (ε =26.6 $mM^{-1}cm^{-1}$) به‌صورت میکرومول تراگایاکول تشکیل شده و به صورت واحد در دقیقه بر گرم وزن تر بیان شد (Chance and Maehly, 1950; Aebi, 1984).

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تعداد ۵ برگ پرچم در مرحله شیری شدن دانه (کد زیداکس ۷۵) (Zadoks *et al.*, 1974) به طور تصادفی از قسمت مرکزی هر کرت برداشت شد. وزن برگ‌های تازه برداشت‌شده بلافاصله اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به مدت ۱٤ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند تا به حالت اشباع درآیند، سپس از آب مقطر خارج و کاملاً خشک شدند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس‌ازآن، نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

پرچم توسط معادله ۵ اندازه‌گیری شد (Karrou and Maranville, 1995).

معادله ۵ $$RWC = \frac{W_1 - W_3}{W_2 - W_3} \times 100$$

W_1: وزن تازه برگ (گرم)، W_2: وزن اشباع برگ (گرم)، W_3: وزن خشک برگ (گرم)

عملکرد دانه: پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۲ خرداد ۹۷)، به‌منظور تعیین عملکرد دانه دو متر طولی از دو ردیف وسط هر کرت با داس کف بر شد. ۵۰ سانتیمتر اطراف هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد.

تجزیه آماری داده‌ها: تجزیه آماری داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS9.1 (SAS Institute, 2004) صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمار بقایا × منبع کود نیتروژن (در سطح احتمال ۵ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین غلظت کلروفیل a (۱/۱۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون بقایا و کود تلفیقی و کمترین غلظت کلروفیل (۰/٦۰٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (جدول ٤). در مقایسه منابع کود در شرایط بدون بقایا، تیمار کود تلفیقی با افزایش ۳۳ درصدی در غلظت کلروفیل a اختلاف معنی‌داری را با شاهد باعث شد. این در حالی بود که کود نیتروژن و کود زیستی غلظت کلروفیل a را به ترتیب افزایش (۹ درصد) و کاهش (۲٤ درصد) جزئی و غیر معنی‌دار دادند (جدول ٤). در مقابل، در شرایط با بقایا، همه منابع کود باعث افزایش غلظت کلروفیل a شدند. اما، برخلاف شرایط بدون بقایا بیشترین میزان افزایش در غلظت کلروفیل به‌واسطه استفاده از منبع کود نیتروژن (٦۹ درصد) و به دنبال آن در کود تلفیقی (۵۵ درصد) مشاهده شد که هر دو تیمار اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. اما، کود زیستی تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ٤). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن صرف نظر از منبع آن، در شرایط آبیاری مطلوب بر غلظت کلروفیل برگ توسط سایر پژوهشگران در کلزا (دیده‌بان و همکاران، ۱۳۹۲)، ذرت (Varvel *et al.*, 1997) و گلرنگ (حیدری و همکاران، ۱۳۹٤) و در شرایط تنش آبی در گیاه جو (سی و سه مرده و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. همچنین، دیده‌بان و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که در شرایط مطلوب رطوبتی بیشترین مقدار غلظت کلروفیل در بالاترین سطح نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مشاهده شد.

در بررسی مقایسات میانگین شرایط با بقایا و بدون بقایا، نتایج نشان داد که بجز در تیمار کود نیتروژن که کاربرد بقایا سبب افزایش جزئی و غیر معنی‌دار (٤ درصد) در غلظت کلروفیل شد. در سایر منابع کودی برگرداندن بقایا غلظت کلروفیل a را کاهش داد (جدول ٤). در تأیید نتایج آزمایش حاضر خلیلی و مکاریان (۱۳۹۵) در پژوهشی بر روی کنجد نشان دادند که استفاده از ۸ تن در هکتار بقایای گندم غلظت کلروفیل برگ را به میزان ۱۵ درصد کاهش داد. کاربرد بقایای گیاهی به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالا باعث افزایش رقابت گیاهان زراعی و ریز جانداران خاک بر سر عنصر نیتروژن (نیتروژن خاک یا نیتروژن رها شده از کودهای شیمیایی) شده و این عنصر را هر چند به صورت موقت از دسترس گیاه خارج می‌کند. بنابراین کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه در چنین شرایطی سبب کاهش ساخت کلروفیل درون گیاه می‌شود.

غلظت کلروفیل a در تیمار تنش آبی به میزان ۲۲ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت (جدول ۵). تنش آبی باعث اختلال در سیستم‌های آنزیمی گیاه می‌شود (Ridge, 2002)؛ که این خود می‌تواند باعث از بین رفتن رنگریزه‌های فتوسنتزی شود (Masoumi *et al.*, 2010). همچنین، ملک ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی بر روی زوفا نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش غلظت کلروفیل گردید. با توجه به مشاهدات Tampson و همکاران (۱۹۸۷) علائم بروز تنش آبی در گیاهان شامل: کاهش غلظت کلروفیل و نفوذپذیری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

جدول۳- تجزیه واریانس غلظت کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، غلظت کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، غلظت کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد در دقیقه بر گرم وزن تر) ، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد در دقیقه بر گرم وزن تر)، محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد) و عملکرد دانه (گرم بر مترمربع).

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b	غلظت کاروتنوئید	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز	محتوای نسبی آب برگ پرچم	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰٤٤^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۱/٤۸۱^{ns}	۷۳۹/۸٥٤**	۲۱۲۰/۷۳^{ns}
آبیاری	۱	۰/٥۳۲^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۱۰۷**	۳۱/۷٥۲**	۱۲۲/۸۷٦**	۸٥۸۷/۰۲٤**	۱۷۰۹٦۸^{ns}
خطای (الف)	۲	۰/۰۷۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰٥۲	۰/٥۷۸	٦/۳٤۱	۲۸۷۹۸/۸۸
بقایا	۱	۰/۲٤٤**	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۰٦*	۰/۰۹۳^{ns}	۰/۱۲۳^{ns}	۹۳٤/۸۹٤^{ns}	۸۷۰/٤۰^{ns}
نیتروژن (کود)	۳	۰/٤۷۱**	۰/۰۱۹**	۰/۰٤۱**	۱۱/۰٥٦**	٤٤/٤۳۸**	۳۸۱/۸٤۰*	۲۲۸٥۹**
آبیاری × بقایا	۱	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰٦*	۰/۲۱۹^{ns}	۱/٤۳۲^{ns}	٤٥/۰۰۲^{ns}	۱٦۲/۱٤^{ns}
آبیاری × کود	۳	۰/۰۲٥^{ns}	۰/۰۰٥^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۳۱۹**	٥/۲۰۱**	۳۳٤/٥۸۱*	۱۳۹٥۲**
بقایا × کود	۳	۰/۰۷۷*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۸**	۰/۹۲٦**	۳/۸۹٦**	۱۳٤/۸۳۳^{ns}	۱٤۸۹/۸۱^{ns}
آبیاری × بقایا × کود	۳	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۲٦^{ns}	۰/٤۳۹^{ns}	۱٤٦/۹٥۱^{ns}	٥۸۷۷/۹٦^{ns}
خطای (ب)	۲۸	۰/۰۲٦	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱٦٥	۰/٦۸٦	۱۰۷/۳۷۹	۲۰٦٥/٤۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۸/٥٤	۲۰/٦۹	۱٤/٤۸	۲۱/٤۱	۲۰/٥۳	۱۷/۰۱	۱٦/۹٤

ns : غیر معنی‌داری.* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد.

جدول ٤- برهمکنش بقایا × منبع کود نیتروژن بر غلظت کلروفیل a و کاروتنوئید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز.

بقایا	منبع کود نیتروژن	غلظت کلروفیل a	غلظت کاروتنوئید	**فعالیت** آنزیم کاتالاز	**فعالیت** آنزیم گایاکول پراکسیداز
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		(واحد در دقیقه در گرم وزن تر)	
بدون بقایا	شاهد£	۰/۹۰۱^{bc}	۰/۲٤۲^{c}	۱/۲۳۹^{c}	۲/۷٦۲^{c}
	کود نیتروژن ££	۰/۹۸٤^{ab}	۰/۲۹۱^{ab}	۲/٥۷٤^{ab}	٥/٤۱٦^{ab}
	کود تلفیقی¥	۱/۱۹۸^{a}	۰/۲۷٦^{a}	۲/٦٥۱^{ab}	٥/٥٦۹^{ab}
	کود زیستی¥¥	۰/٦۸٥^{dc}	۰/۱۹۱^{bc}	۰/۹٦۱^{c}	۲/۱۸۷^{c}
با بقایا	شاهد£	۰/٦۰٦^{d}	۰/۱٤۲^{c}	۰/٥٤٥^{c}	۱/۲٥٤^{c}
	کود نیتروژن ££	۱/۰۲٦^{ab}	۰/۲۹۲^{a}	۲/۸۳٤^{a}	٥/۸۷٥^{a}
	کود تلفیقی¥	۰/۹۳۹^{b}	۰/۲۹٥^{a}	۲/۸۲۳^{a}	٥/۸٥٤^{a}
	کود زیستی¥¥	۰/٦۲٥^{d}	۰/۱۷۷^{bc}	۱/٥۷٥^{bc}	۳/۳٥۸^{bc}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد ندارند. £: شاهد: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ££: کود نیتروژن: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ¥: کود تلفیقی: باکتری آزوسپیریلوم + ٥۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ¥¥: کود زیستی: باکتری آزوسپیریلوم.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

جدول ۵- اثرات رژیم آبیاری، منبع کود نیتروژن و بقایای گیاهی بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل b.

تیمار	غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b
رژیم آبیاری	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	
مطلوب	۰/۹۷۶[a]	۰/۲۹۸[a]
تنش آبی	۰/۷۶۵[a]	۰/۲۵۹[a]
منبع کود		
شاهد[£]	۰/۷۵۳[b]	۰/۲۵۲[b]
کود نیتروژن [££]	۱/۰۰۵[a]	۰/۳۱۶[a]
کود تلفیقی[¥]	۱/۰۶۸[a]	۰/۳۱۱[a]
کود زیستی[¥¥]	۰/۶۵۵[b]	۰/۲۳۷[b]
بقایا		
با بقایا	۰/۷۹۹[b]	۰/۲۶۲[a]
بدون بقایا	۰/۹۴۲[a]	۰/۲۹۵[a]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: شاهد: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ££: کود نیتروژن: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ¥: کود تلفیقی: باکتری آزوسپیریلوم + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ¥¥: کود زیستی: باکتری آزوسپیریلوم.

غشاء می‌باشند که منجر به کاهش فتوسنتز و درنتیجه کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در آزمایش حاضر نیز عملکرد دانه همبستگی مثبت در شرایط مطلوب و تنش آبی (به‌ترتیب $r^2 = ۰/۸۰^{*}$ و $r^2 = ۰/۴۸$) با غلظت کلروفیل a نشان داد.

غلظت کلروفیل b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کود تلفیقی (باکتری آزوسپیریلوم + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) غلظت کلروفیل b را به طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان ۲۵ و ۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). بالاترین غلظت کلروفیل (۰/۳۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار کود نیتروژن خالص بود که اختلاف معنی‌داری با کود تلفیقی نداشت و کمترین غلظت کلروفیل b (۰/۲۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار کود زیستی بود که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر غلظت کلروفیل b را سایر پژوهشگران (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴ و دیده‌بان و همکاران، ۱۳۹۶) نیز گزارش کرده‌اند.

غلظت کلروفیل b در شرایط تنش آبی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به مقدار ۱۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). سیستم فتوسنتزی گیاهان قسمت عمده‌ای از متابولیسم داخل گیاه را تشکیل می‌دهد و به تنش‌ها به شکل چشمگیری حساس است (علمی و همکاران، ۱۳۹۷). کاهش غلظت رنگیزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها) تحت تأثیر تنش آبی، توسط Kauseri و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش شده‌است. آن‌ها اعلام کردند در بسیاری از گیاهان که متأثر از تنش آبی بوده‌اند، غلظت کلروفیل b می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی موردتوجه قرار گیرد. همچنین، نشان دادند که غلظت کلروفیل b و عملکرد دارای رابطه‌ی مستقیم و مثبت است. در مطالعه‌ی حاضر نیز عملکرد دانه همبستگی مثبت با غلظت کلروفیل b در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی (به‌ترتیب $r^2 = ۰/۸۷۰^{**}$ و $r^2 = ۰/۴۳۶$) نشان داد.

غلظت کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیمار بقایا × منبع کود نیتروژن (در سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

احتمال ۱ درصد) معنی‌دار بود. بیشترین غلظت کاروتنوئید (۰/۲۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و کود تلفیقی و کمترین غلظت کاروتنوئید (۰/۱٤۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (جدول ٤).

در مقایسه منابع کود در شرایط بدون بقایا، تیمارهای کود نیتروژن و تلفیقی باعث افزایش معنی‌دار به ترتیب ۲۰ و ۱٤ درصدی در غلظت کاروتنوئید شدند. اما، این دو تیمار کودی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. همچنین، کود زیستی کاهش ۲۱ درصدی و اما غیر معنی‌دار را نسبت به شاهد سبب شد (جدول ٤). در مقابل، در تیمار با بقایا، همه منابع کودی باعث افزایش غلظت کاروتنوئید شدند و برخلاف شرایط بدون بقایا میزان افزایش نسبت به شاهد بسیار بیشتر بود (به ترتیب ۱۰٦، ۱۰۸ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد در تیمارهای کود نیتروژن، کود تلفیقی و کود زیستی) (جدول ٤). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر غلظت رنگریزه‌های فتوسنتزی در گیاه گلرنگ توسط حیدری و همکاران (۱۳۹٤) نیز به اثبات رسیده‌است. همچنین، با توجه به مشاهدات Peng و همکاران (۱۹۹۹) بر روی برنج، غلظت رنگریزه‌های فتوسنتزی در اثر کاربرد نیتروژن بهبود یافت. در بررسی مقایسه تیمارهای بدون بقایا و با بقایا، نتایج به این صورت بود که افزودن بقایا به خاک تأثیر معنی‌داری بر غلظت کاروتنوئید نداشت (جدول ٤).

همچنین، غلظت کاروتنوئید به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) تحت تأثیر برهمکنش تیمار آبیاری × بقایا قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین غلظت کاروتنوئید (۰/۳۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار آبیاری مطلوب و بدون بقایا و کمترین غلظت کاروتنوئید (۰/۱۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار تنش آبی و با بقایا بود (شکل ۱). حضور بقایا در هر دو حالت تنش آبی و آبیاری مطلوب اثر معنی‌داری بر غلظت کاروتنوئید نداشت (شکل ۱). همچنین، تنش آبی در هر دو حالت با بقایا و بدون بقایا باعث کاهش معنی‌دار غلظت کاروتنوئید شد. اما، این کاهش در شرایط حذف بقایا بیشتر (۳۸ درصد) از شرایط حضور بقایا (۲۸ درصد) بود (شکل ۱).

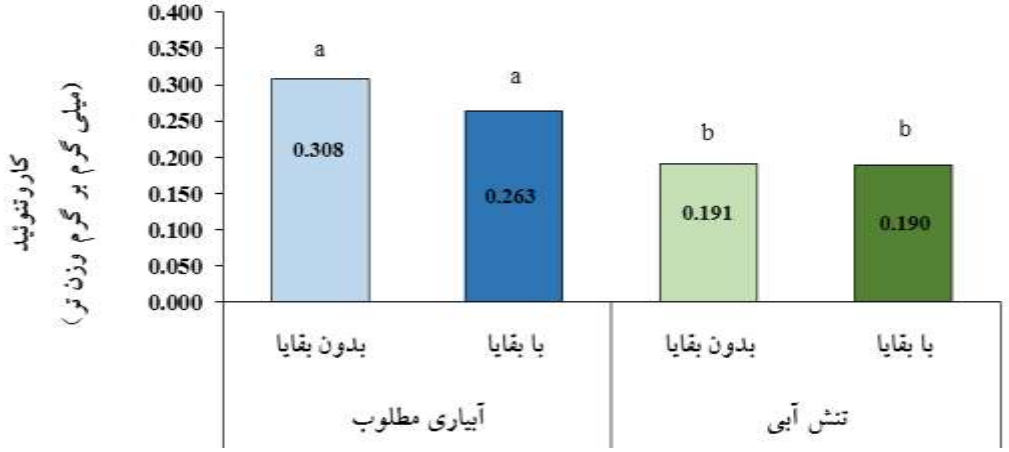
ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی بر روی زوفا نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش غلظت رنگریزه فتوسنتزی از جمله کارتنوئید گردید. کاهش کمتر غلظت کارتنوئید در تیمار با بقایا به‌واسطه‌ی تنش آبی، احتمالاً به دلیل اثرات مثبت بقایای گیاهی در نگهداری بیشتر رطوبت خاک و کاهش شدت تنش آبی بوده‌است (صادقی، ۱۳۸٦).

فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تیمار بقایا × منبع کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۸۳٤ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و کود نیتروژن و کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/٥٤٥ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (جدول ٤).

در مقایسه منابع کود در شرایط بدون بقایا، اگرچه تیمار کود نیتروژن و تلفیقی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، اما باعث افزایش معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۰۸ و ۱۱٤ درصد در فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد شدند. اما، کاربرد کود زیستی کاهش جزئی و غیر معنی‌داری را نسبت به شاهد به وجود آورد (جدول ٤). در مقابل، در تیمار با بقایا همه منابع کود باعث افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز شدند و برخلاف شرایط بدون بقایا میزان واکنش فعالیت آنزیم کاتالاز به کاربرد کود نیتروژن – صرف‌نظر از منبع آن – بسیار بیشتر بود. به‌طوری‌که، در کود نیتروژن و تیمار تلفیقی افزایش معنی‌دار و به ترتیب به مقدار ٤۲۰ و ٤۱۸ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. همچنین، کود نیتروژن و تیمار تلفیقی در این شرایط نیز اختلاف معنی‌داری در فعالیت آنزیم کاتالاز نداشتند (جدول ٤). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم کاتالاز توسط حیدری و همکاران (۱۳۹٤) نیز به اثبات رسیده است. بعلاوه، مشاهدات Logan و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که نیتروژن تأثیر زیادی بر فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز داشت. به‌طوری‌که در صورت نبود نیتروژن کافی از فعالیت آنزیم‌ها کاسته و بر میزان انتقال الکترون در مسیر احیاء نوری اکسیژن از طریق واکنش مهلر در درون کلروپلاست

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]



شکل ۱- اثر برهمکنش رژیم آبیاری × بقایا بر غلظت کاروتنوئید. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. اعداد درون ستون‌ها مقدار عددی هر میانگین را نشان می‌دهند.

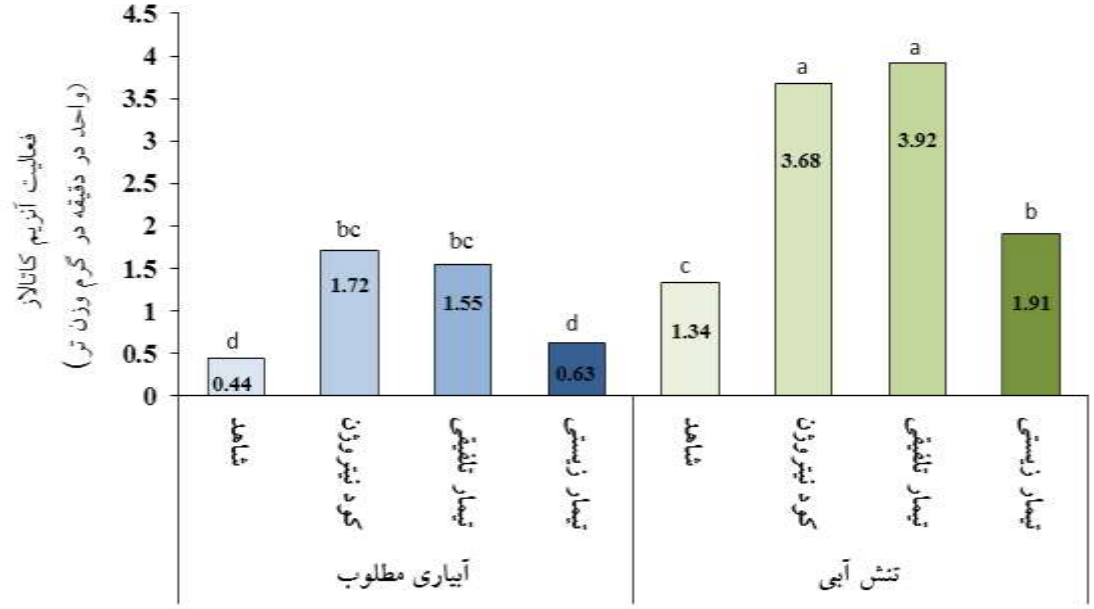
افزوده می‌شود که این امر در نهایت تولید آنزیمی و غیر آنزیمی آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاهان را می‌کاهد و خسارت‌های اکسیداتیو را در گیاه باعث می‌شود. در مقابل، سی‌وسه مرده و همکاران (۱۳۹۳) و Lin و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزایش مصرف و به‌کارگیری نیتروژن سبب بالا رفتن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و عوامل غیر آنزیمی شامل کاروتنوئیدها در گیاه می‌شود. در نهایت بسیاری از رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن بدین طریق خنثی می‌شوند و از خسارت‌های اکسیداتیو ممانعت می‌شود.

در رابطه با مقایسه شرایط بدون بقایا و با بقایا، در همه منابع کودی کاربرد بقایا اگرچه غیر معنی‌دار، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۰، ۷ و ٦٤ درصد به ترتیب در کود نیتروژن، تیمار تلفیقی و زیستی) شد. در شرایط عدم استفاده از نیتروژن (شاهد)، حضور بقایا باعث کاهش ٥٦ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ٤). در شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) و حضور بقایا به دلیل استفاده میکروارگانیسم‌های درون خاک از نیتروژن موجود، گیاه با کمبود نیتروژن مواجه شده و میزان جذب کاهش یافته و در نهایت سطح فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شرایط عدم استفاده از بقایا کاهش می‌یابد. اما، افزودن کود نیتروژن به خاک در کنار استفاده از بقایای گیاهی سبب کاهش رقابت بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها بر سر نیتروژن و همچنین، تجزیه‌ی سریعتر بقایای گیاهی خواهد شد. تجزیه‌ی بقایای گیاهی نیتروژن بیشتری را در مقایسه با شرایط عدم حضور بقایا به خاک اضافه خواهد کرد و جذب بیشتر نیتروژن توسط گیاه را باعث خواهد شد. جذب بیشتر نیتروژن توسط گیاه نیز سبب افزایش سطح فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه خواهد شد.

همچنین، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۳). در رژیم آبیاری مطلوب همه منابع کودی فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد افزایش دادند. اما، این افزایش فقط در تیمار کود نیتروژن و تیمار تلفیقی معنی‌دار بود، هر چند که این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در مقابل، در شرایط تنش آبی تمام منابع کودی فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. در این شرایط نیز دو تیمار کود نیتروژن و تلفیقی اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۲).

در مقایسه آبیاری مطلوب نسبت به تنش آبی، تنش آبی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط کاربرد کود نیتروژن، تیمار تلفیقی، تیمار زیستی و شاهد به ترتیب به مقدار ۱۱٤، ۱٥۳، ۲۰۳ و ۲۰٥ درصد نسبت به آبیاری مطلوب شد (شکل ۲). فابریکی اورنگ و مهرآباد پوربناب (۱۳۹۷) نشان دادند که در شرایط تنش آبی آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]



شکل ۲– اثر برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود بر فعالیت آنزیم کاتالاز. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. اعداد درون ستون‌ها مقدار عددی هر میانگین را نشان می‌دهند.

غیرآنزیمی در گیاه فعال می‌شوند. غشاهای سلولی و اندامک‌ها، اولین محل آسیب به سلول‌ها در شرایط تنش آبی توسط شکل-های فعال اکسیژن هستند (Schwars *et al.*, 2001). گیاهان برای مقابله با این ترکیبات فرآیندهایی را در خود توسعه داده‌اند که به‌طورکلی به‌عنوان فرآیند دفاع آنتی‌اکسیدانی شناخته می‌شوند. آنزیم کاتالاز نقش جاروب کننده رادیکال سوپر اکسید و تبدیل آن به آب و اکسیژن را به عهده دارد. افزایش فعالیت این آنزیم تحت شرایط تنش آبی باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش آبی شده و از کاهش رشد و عملکرد گیاه جلوگیری می‌کند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹٤). با توجه به اینکه گیاهان در شرایط تنش آبی با دریافت کود نیتروژن حساسیت بیشتری پیدا می‌کنند (van Herwaarden *et al.*, 1998) پس احتمالاً در آزمایش حاضر در شرایط تنش آبی و مصرف کود نیتروژن (به صورت خالص و به صورت تلفیقی) تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش یافته و نیاز به فعالیت کاتالاز جهت تجزیه آن‌ها افزایش یافته است. از اینرو سطح تولید فعالیت این آنزیم در تیمار کود نیتروژن و تیمار تلفیقی در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی افزایش بیشتری در مقایسه با سایر منابع کودی نشان داده است.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمار بقایا × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۵/۸۷۵ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و کود نیتروژن و کمترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۱/۲۵٤ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار با بقایا و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (جدول ٤).

در مقایسه‌ی منابع کود در شرایط بدون بقایا، تیمارهای کود نیتروژن و کود تلفیقی اگرچه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. اما، باعث افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به ترتیب به مقدار ۹٦، ۱۰۲ درصد نسبت به شاهد شدند. کود زیستی کاهش جزئی (۲۱ درصد) و غیر معنی‌داری را نسبت به شاهد به وجود آورد (جدول ٤). در رابطه با تیمار با بقایا، واکنش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به کاربرد کود نیتروژن – صرف نظر از منبع آن – نسبت به شرایط بدون بقایا بسیار بیشتر بود. به‌طوری‌که در کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی به ترتیب افزایش ۳٦۹، ۳٦۷ و ۱٦۸ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. همچنین، این افزایش فقط در تیمارهای کود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

نیتروژن و تلفیقی نسبت به شاهد معنی‌دار بود و این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ٤). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز توسط حسن پور و همکاران (١٣٩٤) نیز به اثبات رسیده‌است.

در رابطه با مقایسه شرایط بدون بقایا و با بقایا، در همه منابع کودی به‌جز شاهد برگرداندن بقایا به خاک فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز را به طور جزئی و غیر معنی‌دار افزایش داد (۹، ۵ و ٥٤ درصد به ترتیب در کودهای نیتروژن، تلفیقی و زیستی) (جدول ٤). در شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) حضور بقایا باعث کاهش ۵۵ درصدی در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد.

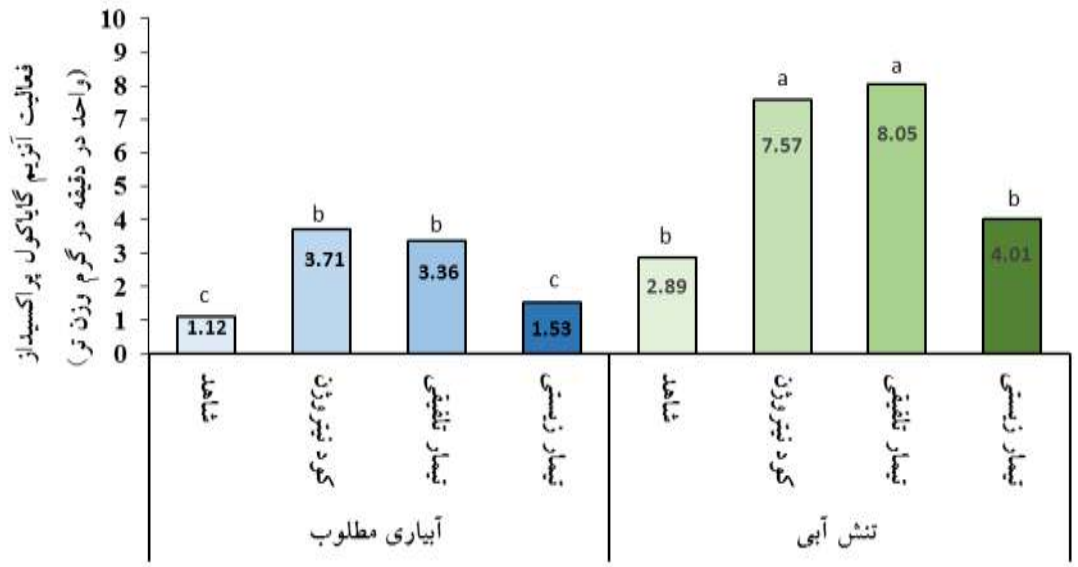
از نتایج تجزیه واریانس می‌توان دریافت که برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۸/۰۵ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار تنش آبی و کود تلفیقی و کمترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۱/۱۲ واحد در دقیقه در گرم وزن تر) در تیمار آبیاری مطلوب و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد (شکل ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، در همه منابع کود نیتروژن افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. اما، این افزایش فقط در تیمار کود نیتروژن و کود تلفیقی معنی‌دار و به ترتیب ۲۳۱، ۲۰۰ درصد بود. همچنین، این دو منبع نیتروژن اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳). در مقابل، در شرایط تنش آبی روندی مشابه شرایط آبیاری مطلوب رخ داد. واکنش افزایشی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به کاربرد کود نیتروژن بسیار شدید بود بطوریکه کود نیتروژن و تلفیقی افزایش معنی‌دار و به ترتیب ١٦٢ و ١٧٨ درصدی در فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز نسبت به شاهد شدند (شکل ۳). فعالیت بیشتر گایاکول پراکسیداز به‌واسطه‌ی کاربرد کود نیتروژن (به صورت خالص و یا تلفیقی) نسبت به شاهد در شرایط تنش آبی را می‌توان چنین توجیه کرد که گیاهان با دریافت کود نیتروژن حساسیت بیشتری به تنش آبی پیدا می‌کند (van Herwaarden *et al.*, 1998) در چنین شرایطی تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش‌یافته و احتمالاً گیاه برای تجزیه آن‌ها سطح فعالیت گایاکول‌پراکسیداز را نسبت به شاهد افزایش بیشتری می‌دهد.

در مقایسه آبیاری مطلوب نسبت به تنش آبی، تنش آبی باعث افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تمامی منابع کودی شد (شکل ۳). در تأیید نتایج آزمایش حاضر، باقری و مظاهری لقب (۱۳۸۹) در پژوهشی بر روی گیاه جو نشان دادند که تنش آبی باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد. همچنین، Smirinof وهمکاران (١٩٩٦) بیان کردند که در شرایط تنش آبی رادیکال‌های اکسیژنی آزاد شده سبب بروز اختلال در فرآیند فتوسنتز می‌شود، در نتیجه گیاه با فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز از سمیت رادیکال‌های اکسیژن می‌کاهد. به‌علاوه Asada (١٩٩٤) بیان کرد که آنزیم گایاکول پراکسیداز از جمله‌ی اولین آنزیم‌هایی است که در شرایط تنش آبی تولید می‌شود تا با اثرات مخرب پراکسید هیدروژن و سوپراکسید هیدروژن که از ترکیبات نخستین تولیدی در شرایط تنش است، مقابله کند.

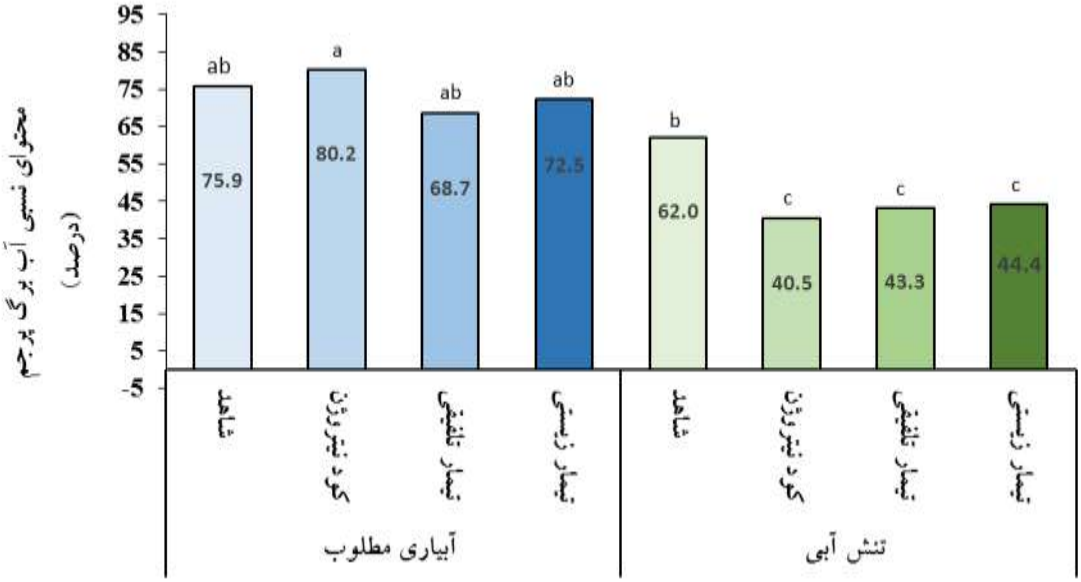
محتوای نسبی آب برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش آبیاری × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوای نسبی آب برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ پرچم (۸۰/۲ درصد) در تیمار آبیاری مطلوب و کود نیتروژن و کمترین میزان آن (٤٠/٥ درصد) در شرایط تنش آبی و کود نیتروژن مشاهده شد (شکل ٤). در تیمار آبیاری مطلوب، کاربرد کود نیتروژن صرف نظر از منبع کود تغییر معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ پرچم ایجاد نکرد. در مقابل، در شرایط تنش آبی، اختلاف معنی‌داری بین منابع کود نیتروژن وجود نداشت. اما، هر سه منبع کود نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به شاهد شدند (شکل ٤). این کاهش در تیمار کود زیستی (۲۹ درصد) و تلفیقی (۳۰ درصد) کمتر از کود نیتروژن (۳۵ درصد) بود؛ این برتری محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط استفاده از کود زیستی و تلفیقی نسبت به کود نیتروژن را می‌توان به توان باکتری در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]



شکل ۳- اثر برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. اعداد درون ستون‌ها مقدار عددی هر میانگین را نشان می‌دهند.



شکل ٤- اثر برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود بر مقدار محتوای نسبی آب برگ پرچم. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. اعداد درون ستون‌ها مقدار عددی هر میانگین را نشان می‌دهند.

افزایش توسعه ریشه و در نتیجه بهبود اثرات مخرب تنش آبی نسبت داد (هادی و همکاران، ۱۳۹۰). در آزمایش حاضر کاهش بیشتر محتوای نسبی آب برگ بواسطه کاربرد کود نیتروژن در مقایسه با سایر منابع نیتروژن نسبت به شاهد در شرایط تنش آبی را نیز می‌توان به حساسیت بیشتر گیاهان دریافت‌کننده‌ی کود نیتروژن نسبت داد. به طور کلی گیاهانی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند نسبت به خشکی حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. بر اساس نظر van Herwaarden و همکاران (۱۹۹۸) در شرایط تنش آبی پدیده "hay off" باعث می‌شود عملکرد زیست‌توده بالا رفته و ریشه‌ها آب بیشتری را از نیم‌رخ خاک تخلیه می‌کنند و در نتیجه باعث حساسیت بیشتر گیاه در بازه زمانی تنش آبی می‌شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

در مقایسه آبیاری مطلوب نسبت به تنش آبی، در همه‌ی منابع کود نیتروژن، تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ پرچم شد (۵۰، ۳۷ و ۳۹ درصد کاهش به ترتیب در تیمارهای کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی) (شکل ٤). مشاهدات تجلی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داد که تنش آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ پرچم شد. در مطالعه حاضر، کاهش کمتر محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط حضور باکتری در تیمار تلفیقی و زیستی را می‌توان به توانایی‌های باکتری در بهبود شرایط تنش نسبت داد. باکتری آزوسپیریلوم دارای مکانیسم‌هایی برای کاهش اثرات سوء تنش آبی می‌باشد (Sandhya *et al.,* 2010). هرچند جزئیات مکانیسم عمل آزوسپیریلوم برای کاهش اثرات تنش در گیاهان هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، ولی نتایج بیشتر پژوهش‌ها (Sharma, 2003; Sarig, 1988) گویای آن است که آزوسپیریلوم به کمک توان تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد و برخی از ویتامین‌ها سبب گسترش سطح ریشه و درنتیجه جذب بهینه آب و عناصر غذایی و درنهایت کاهش اثرات تنش می‌شود (عموآقایی و همکاران، ۱۳۸۲).

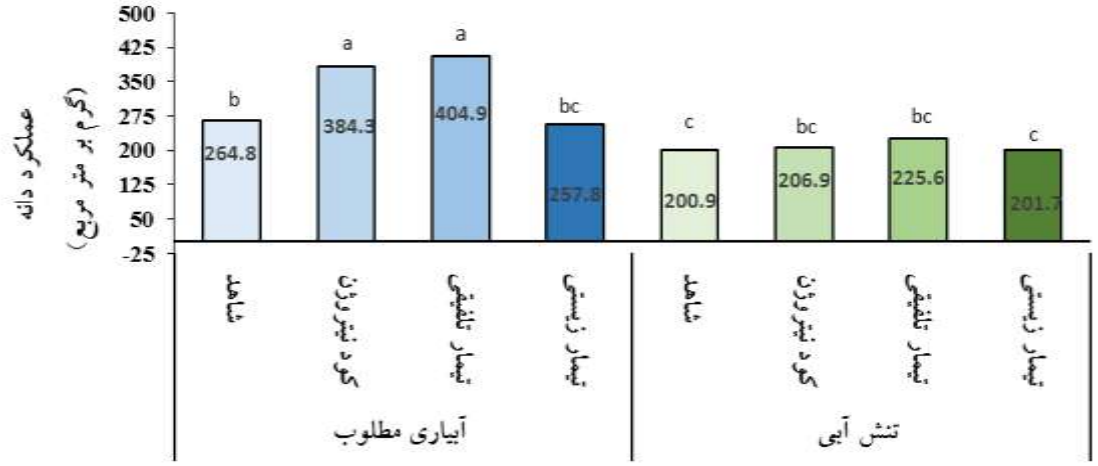
عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیمار رژیم آبیاری × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (٤۰٤/۹ گرم بر مترمربع) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و استفاده تلفیقی از باکتری و کود نیتروژن بود و کمترین عملکرد دانه (۲۰۰/۹ گرم بر مترمربع) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد) به دست آمد (شکل ۵). اثر برهمکنش آبیاری × منبع نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داد که تنش آبی عملکرد دانه را در همه منابع کودی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کودی متفاوت بود (٤٦، ٤٤ و ۲۲ درصد کاهش به ترتیب در تیمارهای کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی). با توجه به اینکه کمترین میزان کاهش عملکرد دانه به‌واسطه تنش آبی در شرایط استفاده از تیمار زیستی و سپس تیمار تلفیقی نسبت به کاربرد کود نیتروژن به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که باکتری در کاهش اثرات تنش آبی موفق بوده است (شکل ۵) و به لحاظ فیزیولوژیک گیاهان مقاومت بیشتری به تنش آبی در این شرایط نشان دادند. همچنین، پژوهشگران متعددی نشان داده‌اند که تلقیح با باکتری آزوسپیریلوم تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه در شرایط تنش آبی داشته است (Marulanda *et al.,* 2009; Sarig *et al.,* 1988). در همین راستا Sarig و همکاران (۱۹۸۸) نیز نشان دادند که تلقیح بذر سورگوم با باکتری آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) باعث بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش آبی از طریق بهبود بهره‌وری استفاده از رطوبت خاک می‌شود.

بررسی برهمکنش آبیاری × منبع کود نیتروژن گویای این است که بیشترین کاهش عملکرد دانه به‌واسطه تنش آبی در شرایط استفاده از کود نیتروژن (٤٦ درصد) مشاهده شد (شکل ۵) که نشان می‌دهد گیاهانی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند نسبت به خشکی حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. بر اساس نظر van Herwaarden و همکاران (۱۹۹۸) کاهش بیشتر عملکرد دانه به‌واسطه کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش آبی به پدیده "hay off" نسبت داده می‌شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که کود نیتروژن به مقدار زیاد در مراحل رشد رویشی غلاتی که در معرض تنش آبی انتهایی هستند، به کار رود (van Herwaarden *et al.,* 1998). در چنین شرایطی عملکرد زیست‌توده بالا رفته و ریشه‌ها آب بیشتری را از نیم‌رخ خاک تخلیه می‌کنند و این باعث کاهش فراهمی آب در دوره پر شدن دانه شده و نهایتاً کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه را به دنبال خواهد داشت. سایر پژوهشگران (Barati *et al.,* 2015; Barati and Ghadiri, 2017) نیز در مطالعات خود بر روی گیاه جو نشان دادند که در شرایط آبیاری مطلوب مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. اما، در شرایط تنش آبی انتهایی کاربرد مقدار بالای کود نیتروژن عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار نداد.

بررسی اثر برهمکنش رژیم آبیاری × منبع نیتروژن بر عملکرد دانه از منظری دیگر نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری مطلوب استفاده از کود نیتروژن و تیمار تلفیقی عملکرد دانه را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]



شکل ۵– اثر برهمکنش رژیم آبیاری × منبع کود بر مقدار عملکرد دانه. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی دار (LSD)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. اعداد درون ستون‌ها مقدار عددی هر میانگین را نشان می‌دهند.

به‌طور معنی‌دار و به ترتیب به میزان ٤٥ و ۵۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۵). در این شرایط تیمار کود نیتروژن و تیمار تلفیقی اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما، نسبت به تیمار زیستی افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد کردند. بنابراین، در شرایط بدون تنش رطوبتی، کاربرد تیمار تلفیقی با توجه به بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد قابل توصیه است. در مقابل در شرایط تنش آبی، استفاده از کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی عملکرد دانه را به ترتیب به مقدار ۳، ۱۲ و ۰/٤ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. از این‌رو، در شرایط تنش نیز با توجه به بیشترین مقدار افزایش عملکرد دانه در تیمار تلفیقی نسبت به شاهد، این رژیم کودی پیشنهاد می شود. کاهش واکنش غلات به کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب را سایر پژوهشگران (van Herwaarden *et al.*, 1998; Barati and Ghadiri, 2017) نیز گزارش کرده‌اند. همچنین، عدم تأثیر معنی‌دار تیمار زیستی به‌تنهایی بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی در آزمایش حاضر را سایر پژوهشگران (Kasim *et al.*, 2016) و (حجتی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) نیز گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که برهمکنش تیمار بقایا × منبع کود نیتروژن بر صفات: کلروفیل a، کاروتنوئید، آنزیم کاتالاز و آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بود. این برهمکنش نشان داد که در شرایط بدون بقایا کود نیتروژن و تیمار تلفیقی اگرچه اختلاف معنی-داری با هم در این صفات نداشتند، اما سبب افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به شاهد شدند. در مقابل در شرایط حضور بقایا، روندی مشابه شرایط مطلوب رطوبتی وجود داشت با این تفاوت که شدت واکنش صفات به کاربرد این دو منبع نیتروژن بسیار شدیدتر بود. بررسی اثر برهمکنش تیمار رژیم آبیاری × منبع کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز نشان داد که در شرایط مطلوب رطوبتی، کاربرد کود نیتروژن صرف نظر از منبع آن سبب افزایش مقدار فعالیت این آنزیم‌ها شد. بیشترین مقدار افزایش در مقایسه با شاهد مربوط به کود نیتروژن و سپس کود تلفیقی بود. روندی مشابه شرایط مطلوب در شرایط تنش آبی نیز وجود داشت، البته شدت واکنش به کاربرد نیتروژن به‌ویژه تیمار کود نیتروژن و تیمار تلفیقی بسیار بیشتر از شرایط مطلوب بود. در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین عملکرد دانه (٤۰٤/۹ گرم بر مترمربع) مربوط به تیمار کود تلفیقی بود که به‌طور معنی‌دار و به مقدار ۵۳ درصد بیشتر از شاهد بود. همچنین، در شرایط تنش نیز بیشترین عملکرد دانه متعلق به کود تلفیقی بود که میزان ۱۲ درصد بیشتر از شاهد بود. به‌طور کلی با توجه به برتری کود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

تلفیقی در شرایط مطلوب و تنش رطوبتی به لحاظ بیوشیمیایی و عملکرد دانه، این رژیم کودی در شرایط عدم اطمینان از آبیاری پس از گلدهی در مناطق جنوبی ایران قابل توصیه است.

منابع

امینی، ز.، حداد، ر. و مرادی، ف. (۱۳۸۷) بررسی اثر تنش کم آبی بر نحوه فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده در مراحل رشد زایشی گیاه جو(*Hordeum vulgare* L.). مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۱۲ :۷٤- ٦٥.

باقری، ع. و مظاهری لقب، ح. (۱۳۸۹) بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی جو بدون پوشینه (*Hordeum Sativum* L.) در منطقه اقلید فارس. مجله دانش نوین کشاورزی ٦: ۲۹-۱۹.

براتی، و. و غدیری، ح. (۱۳۹۵) اثرات تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزاء عملکرد و محتوای پروتئین دانه دو رقم جو. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ٦ : ۲۰۷-۱۹۱.

بستامی، ا. و مجیدیان، م. (۱۳۹٤) تأثیر میکوریزا، کود فسفات زیستی و کود دامی بر مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد گشنیز (*Coriandurum sativum* L.). *تولیدات گیاهی* ۳۸: ٦۰-٤۰.

حسن‌پور، ک.، احمدی، ج.، دانشیان، ج. وحاتمی، ص. (۱۳۹٤) بررسی تغییرات میزان کلروفیل، پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گندم دوروم تحت تنش خشکی. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۷ :۸۷-۷٦.

حیدری، م.، محمدی، س.، دهمرده، م. و اصغری، ح. (۱۳۹٤) تأثیر نیتروژن و آرسینک بر رنگدانه های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقادیر عناصر معدنی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله تولید گیاهان زراعی ۸ : ۱۲۰-۱۰۵.

خدابنده، ن. (۱۳۹۱) غلات. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ۱۱. تهران.

خسروی، ه. (۱۳۹۳) ازتوباکتر و نقش آن در مدیریت حاصلخیزی خاک. نشریه مدیریت زراعی ۲: ۹۱-۸۰.

خلیلی، س. و مکاریان، ح. (۱۳۹۵) تأثیر بقایای گندم و جو بر رنگدانه های فتوسنتزی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط رقابت با علف‌های هرز، همایش ملی الکترونیکی پدافند غیر عامل در بخش کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، خوزستان، ایران.

دیده بان، ب.، علی بیگی نبی، د. و نژاد صادقی، ل. (۱۳۹۱) اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر مقدار کلروفیل گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار، رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز، ایران.

سید شریفی، ر. و سید شریفی، ر. (۱۳۹۸) اثر مصرف کودهای زیستی بر عملکرد، میزان روغن و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در تیمارهای قطع آبیاری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۸: ۱۰۷-۹۷.

سی‌وسه مرده، ع.، فاتح، ح. و بدخشان، ه. (۱۳۹۳) واکنش سرعت فتوسنتز، پایداری غشاء و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به تنش خشکی و کود ازته در دو رقم جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط کنترل شده .پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۲۲۸-۲۱۵.

شاه بیگی، م.، مکاریان، ح.، عباسدخت، ح. و نصیری دهسرخی، ع. (۱۳۹٤) اثر دگرآسیبی بقایای گندم و جو بر میزان رنگدانه های فتوسنتزی لوبیا چشم بلبلی و کنترل علف‌های هرز. دومین همایش بین‌المللی و پنجمین همایش ملی پژوهش‌های محیط‌زیست و کشاورزی ایران، دبیرخانه دائمی همایش، دانشکده شهید مفتح، همدان، ایران.

شهپری، ز. و فاتح، ا. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر نوع بقایا، مدیریت بقایا و نیتروژن بر عملکرد و کیفیت گندم دوروم (*Triticum durum* L.). مجله تولید گیاهان زراعی ۹: ۱۰٤-۸۷.

صادقی، ح. (۱۳۸٦) تأثیر مقادیر مختلف بقایای گیاهی و سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم. پایان‌نامه دکتری در رشته زراعت، دانشگاه شیراز، ایران.

علمی، ز.، شریعتی، م. و حسینی تفرشی، س.ع. (۱۳۹۷) بررسی تأثیر خاموش‌سازی ژن‌های HSP90، HSP70 و smHSP با استفاده از کینتیک فلوئورسنس کلروفیل a در گیاه *Nicotiana benthamiana* در پاسخ به تنش شوری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۷: ۱۸- ۱.

علیزاده، ا. (۱۳۷۸) رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا، مشهد، ایران.

عموآقایی، ر.، مستأجران، ا. و امتیازی، گ. (۱۳۸۲) . تأثیر باکتری آزوسپیریلوم بر برخی شاخص‌های رشد و عملکرد سه رقم گندم. مجله علوم آب و خاک ۷: ۱۳۹- ۱۲۷.

فابریکی اورنگ، ص. و مهرآباد پوربناب، ث. (۱۳۹۷) ارزیابی تغییرات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گونه‌های اجدادی و تکاملی گندم تحت تنش کم‌آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۱: ۸۰۲- ۷۹۱.

قاسمی، ح. و مستأجران، ا. (۱۳۹۷) بررسی اثر همیاری باکتری آزوسپیریلوم برازیلنس (*Azospirillum brasilense* Sp7 and Sp245) بر شاخص‌های رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی دانه رست‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط شوری. مجله پژوهش‌های گیاه ۳۱: ٦٤١- ٦٢٩.

کشاورز نژاد قادیکلایی، ع.، کاظمینی، س. ع. و بحرانی، م.ج. (۱۳۹۲) تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و بقایای گیاهان ذرت، کلزا، آفتابگردان و گندم بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گندم. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی۱۹۱:۳-۱۸۱.

ملک ملکی، ف.، عباسی، ن.، شریفی عاشورآبادی، ا.، براری، م. و زارع، م. (۱۳۹۷) بررسی تأثیر سطوح تنش رطوبتی بر عملکرد، میزان اسانس و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زوفایی(*Thymbra spicata* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی۱۱: ۹۵۷- ۹٤۳.

هادی، ح.، بابائی، ن.، دانشیان، ج.، ارزانش، م. و حمیدی، آ. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر آزوسپیریلوم لیپوفروم بر ویژگی‌های گیاهچه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) حاصل از بذر شرایط کم‌آبی در شرایط مزرعه. بوم‌شناسی کشاورزی ۳: ۳۲۷- ۳۲۰.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration. Guide lines for computing crop water requirements (Irrigation and Drainage Paper 56). Food and Agriculture Organization, Rome.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Arzanesh, M. H., Alikhani, H., Khavazi, K., Rahimian, H. and Miransari, M. (2010) Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27: 197-205.

Barati, V. and Ghadiri, H. (2017) Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. Archives of Agronomy and Soil Science 63: 841-855.

Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, Sh. and Karimian, N. (2015) Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. Archives of Agronomy and Soil Science 61: 15-32.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidase. Methods Enzymology 2: 764-775.

Compant, S., Van Der Heijden, M. G. and Sessitsch, A. (2010) Climate change effects on beneficial plant–microorganism interactions. FEMS Microbiology Ecology 73: 197-214.

Fazeli, F., Ghorbanli, M. and Niknam, V. (2007) Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. Biologia Plantarum 51: 98-103.

Grimes, D., Yamada, H. and Hughes, S. (1987) Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. Agricultural Water Management 12: 293-304.

Hanson, B., Schwankl, L. and Fulton, A. (2004) Scheduling irrigation: when and how much water to apply. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, California, USA.

Hong, W. A. N. G. and Jin, J. Y. (2007) Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Sciences in China 6: 988-995.

Institute S. (2004) SAS/GRAPH 9.1 Reference. SAS Institute.

Karrou, M. and Maranville, J. W. (1995) Response of wheat cultivars to different soil nitrogen and moisture regimes: III. Leaf water content, conductance, and photosynthesis. Journal of Plant Nutrition 18: 777-791.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

Kasim, W. A., Gaafar, R. M., Abou-Ali, R. M., Omar, M. N. and Hewait, H. M. (2016) Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley. Annals of Agricultural Sciences. 61: 217-227.

Kauser, R., Athar, H. U. R. and Ashraf, M. (2006) Chlorophyll fluorescence: a potential indicator for rapid assessment of water stress tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Pakistan Journal of Botany 38: 1501-1509.

Lin, T., Zhu, X., Zhang, F. and Wan, X. (2012) The interaction effect of cadmium and nitrogen on *Populus yunnanensis*. Journal of Agricultural Science 4(2): 125-134.

Logan, B. A., Demmig-Adams, B., Rosenstiel, T. N. and Adams Iii, W. W. (1999) Effect of nitrogen limitation on foliar antioxidants in relationship to other metabolic characteristics. Planta 209: 213-220.

Marulanda, Barea, A. J. M. and Azcón, R. (2009) Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. Journal of Plant Growth Regulation 28:115-124.

Masoumi, A., Kafi, M., Khazaei, H. and Davari, K. (2010) Effect of drought stress on water status, elecrolyte leakage and enzymatic antioxidants of kochia (*Kochia scoparia*) under saline condition. Pakistan Journal of Botany 42: 3517-3524.

Pan, Y., Wu, L. J. and Yu, Z. L. (2006) Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (Glycyrrhiza uralensis Fisch). Plant Growth Regulation 49: 157-165.

Peng, S., Sanico, A. L., Garcia, F. V., Laza, R. C., Visperas, R. M., Descalsota, J. P. and Cassman, K. G. (1999) Effect of leaf phosphorus and potassium concentration on chlorophyll meter reading in rice. Plant Production Science 2: 227-231.

Ridge, I. (2002) Plants. Oxford University Press. Oxford, England.

Sandhya, V., Ali, S., Grover, M., Kishore, N. and Venkateswarlu, B. (2010) *Pseudomonas* sp. strain P45 protects sunflowers seedlings from drought stress through improved soil structure. Journal Oilseed Research 26: 600-601.

Sarig, S., Blum, A. and Okon, Y. (1988) Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. The Journal of Agricultural Science 110: 271-277.

Sharma, A. K. (2003) Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India.

Somasegaran, P. and Hoben, H. J. (2012) Handbook for rhizobia: Methods in Legume-Rhizobium Technology. Springer Science and Business Media, University of Hawaii, New York, USA.

Tale, A. and Haddad, R. (2011) Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 47: 17-27.

Ullrich, S. (2011) Significance, adaptation, production, and trade of barley. In: Barley: production, improvement and uses (ed. Ullrich, S.). Blackwell. Singapore.

Van Herwaarden, A., Farquhar, G., Angus, J., Richards, R. and Howe, G. (1998) 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. Australian Journal of Agricultural Research 49: 1067-1082.

Varvel, G. E., Schepers, J. S. and Francis, D. D. (1997) Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. Soil Science Society of America Journal 61: 1233-1239.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]

Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress

Maryam Niazi Ardakani, Vahid Barati * and Ehsan Bijanzadeh

Department of Agroecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University.
(Received: 31/07/2019, Accepted: 02/11/2019)

Abstract

This research was carried out at the experimental farm of the Darab Agricultural and Natural Resources College of Shiraz University during 2017-2018 growing season. A split factorial experiment was layout based on a randomized complete block design with three replicates. Treatments included two irrigation levels as the main plots [1. Normal (IR_N): irrigation based on the plant's water requirement up to the physiological maturity and 2, Irrigation with water stress (IR_{ws}): irrigation based on the plant's water requirement up to the anthesis stage (cutting of irrigation after anthesis)]. Also, sub plots included two levels of plant residues [1. without residue, 2. with residue: returning 30% of wheat residues to soil] and four nitrogen (N) fertilizer sources [N_0, no nitrogen fertilizer (control); N_{100}, 100 kg N ha^{-1}; Bio + N_{50}, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha^{-1} and Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*)]. Results showed that the interaction effect of residue × N fertilizer source on $chlorophyll_a$, carotenoid, catalase and guaiacol peroxidase enzymes traits was significant. The N_{100} and Bio + N_{50} treatments significantly increased these traits compared to N_0 in without residue conditions. In contrast, in the presence of residue, there was a similar trend without residue conditions, however, the reaction of these traits to N_{100} and Bio + N_{50} supply were much more severe. The interaction of irrigation regime × N fertilizer source on catalase and guaiacol peroxidase enzymes showed that the N fertilizer application increased the amount of these enzymes, regardless of the N source, in IR_N conditions. Similarly, in IR_{ws} conditions, the catalase and guaiacol peroxidase enzymes levels were improved by N fertilizer supply as compared with N_0, however, the intensity of their reactions to N application, especially, N_{100} and Bio + N_{50} was much more than the normal moisture conditions. The highest grain yield was achieved by Bio + N_{50} under IR_N and IR_{ws} conditions. In general, with respect to superiority of combine N fertilizer (Bio + N_{50}) in biochemical and grain yield traits in normal and water stress conditions and economic and environmental considerations as well, the N fertilizer regime is recommended for water availability restriction conditions in Southern regions of Iran.

Keywords: *Azospirillum*, Catalase, Carotenoid, Chlorophyll, Guaiacol Peroxidase

Corresponding author, Email: v.barati@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6]