

## اثر تغذیه کودی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش خشکی

فاطمه چهارلنگ بدیل<sup>۱</sup>، خسرو عزیزی<sup>۲</sup>، حمیدرضا عیسوند<sup>۳\*</sup>، علی حیدر نصرالهی<sup>۲</sup>، احمد اسماعیلی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [eisvand.hr@lu.ac.ir](mailto:eisvand.hr@lu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375155.1298

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۱

### چکیده

در بررسی اثر تغذیه کودی و اسید سالیسیلیک در گندم تحت تنش خشکی آزمایشی بصورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۹۹ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح آبیاری در دو سطح عدم تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش خشکی (۵۰ درصد نیاز آبی) و کرت‌های فرعی شامل کود در پنج سطح شامل ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، نیتروکسین به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار محلول‌پاشی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش پراکسیداز، پرولین و نشت الکترولیت و کاهش دیگر صفات مورد ارزیابی شد و تیمار ترکیبی کود زیستی نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی به ترتیب سبب افزایش ۴۰/۵۳، ۵/۱۸، ۵/۸۹، ۱۳/۸۵، ۸/۴۶، ۸/۹۰ درصدی در عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ، غلظت روی دانه، پراکسیداز، پرولین، محتوای نسبی آب برگ و کاهش ۶/۲۹ درصد نشت الکترولیت نسبت به ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش ۱۱/۴۵، ۲/۸۲، ۴/۳۲، ۷/۴۶، ۹/۱۹، ۸/۰۲ درصدی در عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ، غلظت روی دانه، پراکسیداز، پرولین، محتوای نسبی آب برگ و کاهش ۱۸/۱۱ درصدی نشت الکترولیت نسبت به عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک شدند و به‌عنوان یک کود مؤثر و جایگزین در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کمبود آب در جهت کشاورزی پایدار عمل کند.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، تغذیه گیاه، سطوح آبیاری، نشت الکترولیت

### مقدمه

و تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و متابولیک می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن یکی دیگر از تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی است. گونه‌های فعال اکسیژن بسیار سمی و واکنش‌پذیر هستند و می‌توانند متابولیسم طبیعی سلول‌ها را در غیاب مکانیسم‌های محافظتی به شدت مختل کنند (Kamali and Mehraban, 2020a). در گیاهان گونه‌های فعال اکسیژن می‌توانند باعث تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی (آسیب غشایی)، آسیب به فرآیندهای فتوسنتزی، غشاء تیلکوئید، رنگدانه‌های فتوسنتزی (Abdelaal et al., 2020)، اختلال در عملکرد RNA و DNA، و در نتیجه آسیب جدی به سلول‌ها و ساختار گیاهان شود که به نوبه خود بر رشد ریشه و ساقه گیاه تأثیر می‌گذارد (Kamali and Mehraban, 2020a) هم‌چنین تنش

امنیت غذایی جهان با افزایش سریع جمعیت و تغییرات اقلیمی شدیداً تحت تأثیر قرار گرفته است (Lesk et al., 2016). در حال حاضر کمبود آب مشکلی است که در سرتاسر جهان دیده می‌شود و در حال تبدیل شدن به یک معضل بزرگ است (Mathur et al., 2019). تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در سراسر جهان است که عامل کاهش تولید و بهره‌وری محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Mahdavikia et al., 2019)، تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر می‌رسد و تغییرات نامساعد آب و هوایی امنیت غذایی را به شدت تهدید می‌کند (Abdelaal et al., 2020). تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان (Daiyoulghagh et al., 2020)، کاهش در محتوای آب

منابع تولید کودهای بیولوژیک متفاوت است، یکی از شناخته شده‌ترین میکروارگانیسم‌هایی که چنین کودهایی تولید می‌کنند قارچ میکوریزا (Ziane *et al.*, 2021) و نیتروکسین هستند (Zahedyan *et al.*, 2022). قارچ میکوریزا آربوسکولار توانایی همزیستی با اکثر گونه‌های گیاهی را دارد (Ziane *et al.*, 2021). برخی از مفیدترین اثرات میکوریزا افزایش گستردش سطح ریشه، بهبود جذب آب و مواد مغذی، افزایش فتوسنتز و تحمل در برابر تنش‌های محیطی است، همزیستی میکوریزا علاوه بر تأثیری که در افزایش محصول دارد، نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیکی خاک نیز دارد (Kamaei *et al.*, 2019). نیتروکسین نیز یکی دیگر از کودهای بیولوژیکی است که حاوی مجموعه‌ای از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند ازتوباکتر و آزوسپیریلوم است (Dahham, 2021). نیتروکسین علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا، جذب عناصر ماکرو و میکرو را در گیاه متعادل می‌کند و سبب رشد و نمو ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاه شده و عملکرد را افزایش می‌دهد (Zahedyan *et al.*, 2022)، هم‌چنین این ریزوباکتری‌ها از طریق افزایش در جذب مواد مغذی، تثبیت نیتروژن، فلاوین، تیمین، سنتز آنتی‌بیوتیک، ضد قارچ‌ها و فیتوهورمون‌ها مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکین رشد گیاه را تحریک می‌کنند (Kamali and Mehraban, 2020b).

استفاده از فیتوهورمون‌ها نیز یکی از راهبردهای مهم برای توانمندسازی گیاهان برای مقاومت در برابر شرایط نامطلوب مانند خشکی است. فیتوهورمون‌ها مولکول‌های سیگنالی هستند که مسیرهای سیگنالینگ را تحریک می‌کنند (Ilyas *et al.*, 2017). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی طبیعی است که می‌تواند اثرات مضر ناشی از تنش‌های غیر زنده محیطی را به طور مؤثر کاهش دهد (Shemi *et al.*, 2021) و به عنوان یک مولکول سیگنالینگ است (Kareem *et al.*, 2019) که در مکانیسم‌های دفاعی گیاهان با تنظیم عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده شرکت می‌کند (Sedaghat *et al.*, 2020) و فرآیندهای فیزیولوژیکی حیاتی گیاهان به ویژه جذب آب و انتقال یون و فتوسنتز را تنظیم می‌کند (Azmat *et al.*, 2020). گزارش شده است کاربرد توام کودهای زیستی و اسید سالیسیلیک، باعث بهبود عملکرد و صفات بیوشیمیایی در گندم تحت تنش خشکی شده

خشکی با ایجاد طیف وسیعی از تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نامطلوب (Ullah *et al.*, 2018) و مهار رشد رویشی و زایشی تولید و بهره‌وری را در گندم محدود می‌کند (Mathur *et al.*, 2019).

کاربرد کودهای زیستی در جایگزینی کود نیتروژن و فسفر در مدیریت زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و علاوه بر کاهش مصرف کود شیمیایی، هزینه‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی، حرکتی در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار است (Seyedi *et al.*, 2018). امروزه با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی، توجه بیشتری به مسئله جایگزینی کودهای زیستی با کودهای شیمیایی شده است (Dahham, 2021). از این‌رو، به منظور استفاده حداکثری از کودها به لحاظ اقتصادی و کاهش آثار کودهای شیمیایی در محیط زیست، کودهای زیستی به عنوان یک رویکرد جایگزین امیدوارکننده برای گونه‌های گیاهی در نظر گرفته می‌شوند. این کودهای زیستی عمدتاً بر اساس میکروارگانیسم‌های مفید در حالت زنده هستند که به بذر یا خاک با هدف افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاه از طریق افزایش تعداد و فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های مورد نظر در ریزوسفر اعمال می‌شود (Gao *et al.*, 2020). مشکلات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی، تولید و هزینه‌های مصرف از موضوعات قابل توجهی است که نیازمند روش‌هایی برای افزایش تولید محصول و بهبود غذای کافی برای جمعیت جهان است (Javan Gholiloo *et al.*, 2019). هم‌چنین آسیب‌های اقتصادی و اثرات مخرب زیست‌محیطی مانند آلودگی آب و خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و بروز برخی بیماری‌ها (EI-Sobky *et al.*, 2022) ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده‌اند و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این کودها یافت شود (Kamaei *et al.*, 2019). در حال حاضر از کودهای زیستی به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات زراعی، حاصل‌خیزی خاک بر اساس اصول زیست‌محیطی کشاورزی پایدار (Javan Gholiloo *et al.*, 2019) و تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری استفاده می‌شود (Kamali and Mehraban, 2020b).

است (Abdelaal *et al.*, 2020).

با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و محدودیت آب در کشور و مبارزه با خشک‌سالی و توجه به چالش بحران آب و کمبود مواد آلی و اثرات مخرب کودهای شیمیایی استفاده از کودهای زیستی به‌همراه کود شیمیایی و اسید سالیسیلیک در راستای کشاورزی پایدار و با هدف کاهش مصرف کود شیمیایی و سلامت محیط زیست در شرایط تنش خشکی در عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی در نظر گرفته شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش بصورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۹-۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد، ۵ کیلومتر ۵ جاده خرم‌آباد - اندیمشک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح آبیاری در دو سطح  $A_1$  عدم تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و  $A_2$  تنش خشکی (۵۰ درصد نیاز آبی) و کرت‌های فرعی شامل مصرف کود در پنج سطح شامل  $B_0$  ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر،  $B_1$  کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی،  $B_2$  مصرف کود زیستی نیتروکسین به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی،  $B_3$  مصرف مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی،  $B_4$  مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، و تیمار محلول‌پاشی در دو سطح ( $C_1$  محلول‌پاشی با آب و  $C_2$  محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار با اسید سالیسیلیک) بود. ابعاد هر کرت فرعی ۸ مترمربع، شامل ۸ خط کاشت با فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر و تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع بود. فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۳ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر بود. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و تهیه زمین کشت در ۲۴ آبان انجام گرفت. سطوح مختلف آبیاری از استقرار کامل گیاه گندم تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه اعمال شد. در این تحقیق نیاز آبی گیاه بر اساس کمبود رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه تعیین شد. برای محاسبه بارش موثر از روش حفاظت خاک آمریکا استفاده شد که در این روش میزان باران موثر با استفاده

از باران ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همینطور عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری محاسبه و برآورد گردید (Azizi, 2000). برای محاسبه عمق آبیاری رطوبت خاک روز قبل آبیاری به روش وزنی اندازه‌گیری شد و عمق و حجم آبیاری از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه گردید (Alizadeh *et al.*, 2020).

$$dn = (\Theta_{fc} - \Theta_i) \times Pb \times Zr \quad (1)$$

$$dg = dn / Ea \quad (2)$$

$$V = (dg \times A \times f) \quad (3)$$

در این روابط  $dn$ : عمق خللص آبیاری (میلی‌متر)،  $\Theta_i$ :

درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری،  $\Theta_{fc}$ : درصد رطوبت وزنی

خاک در نقطه ظرفیت زراعی،  $Pb$ : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $Zr$ : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)،  $dg$ : عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر)،  $Ea$ : راندمان آبیاری با توجه به بررسی‌های مزرعه‌ای ۹۵ درصد در نظر گرفته شد و حجم آب ورودی به هر کرت بوسیله کنتور حجمی کنترل شد،  $V$ : حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری (لیتر)،  $A$ : سطح هر کرت (متر مربع) و  $f$ : ضریب مربوط به تیمار مورد نظر بود که برای تیمار عدم تنش خشکی یک و برای تیمار تنش خشکی ۰/۵ در نظر گرفته شد. رطوبت ظرفیت زراعی به روش وزنی معادل ۱۷/۷ درصد که با در نظر گرفتن چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب معادل ۲۳ درصد حجمی بود. تیمار محلول‌پاشی با استفاده از سالیسیلیک اسید تهیه شده از شرکت مرک آلمان (با جرم مولکولی ۱۳۸/۱۲ گرم بر مول و چگالی ۱/۴۴۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره، در سه نوبت بصورت ۵۰ کیلوگرم قبل از کاشت بصورت پایه، و ۱۰۰ کیلوگرم در زمان پنجه‌زنی و ۱۰۰ کیلوگرم در ساقه رفتن به‌صورت سرک استفاده شد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، در هنگام قبل از کاشت در مزرعه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است کود نیتروژن و فسفر در تمام تیمارهای کودی به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی به میزان نصف توصیه کودی فوق در مزرعه استفاده گردید. قارچ مایکوریز تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب کرج شامل ترکیبی از سه گونه از قارچ‌های مایکوریزا (گلوبوس موسه، گلوبوس

پرویلین برگ پرچم در مرحله پرشدن دلنه طبق روش بیتس و همکاران با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (Bates *et al.*, 1973). محتوای نسبی آب برگ پرچم در مرحله پرشدن دانه طبق روش ریتچی و همکاران انجام شد (Ritchie *et al.*, 1990). جهت اندازه‌گیری غلظت روی در دانه در مرحله رسیدگی کامل از روش خاکسترگیری خشک و عصاره‌گیری با اسید کلریدریک انجام شد و از محلول نهایی برای اندازه‌گیری عنصر روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (Agilent 240FS AAS, USA) استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، در آخر خرداد ماه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت، بصورت جداگانه بوته‌های موجود در سطحی معادل دو متر مربع برداشت و پس از خرمن کوبی دانه از کاه جدا گردیده و پس از توزین عملکرد دانه محاسبه گردید. مشخصات داده‌های هواشناسی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS آنالیز گردید، برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش آماری چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم جدول‌ها و شکل با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

اینترادایسیسز، گلوموس اتونیکاتوم) بوده و جهت تلقیح بذرها استفاده شد. نیتروکسین مورد استفاده تهیه شده از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا و دارای مجموعه‌ای از موثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت بصورت بذرمال استفاده شد. بذور گندم رقم چمران دو تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان با نیتروکسین و مایکوریزابه‌صورت جداگانه و با هم در سایه، دور از تابش مستقیم نور آفتاب بذرمال گردید، سپس بذرها در سایه پهن شده تا خشک شوند آن‌گاه به کاشت بذور اقدام شد. محلول پاشی اسید سالیسیلیک در مرحله پنجه‌زنی و ساقه رفتن انجام شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ<sup>۱</sup>، نشت الکتروولیت، غلظت روی دانه، پراکسیداز، پرویلین و محتوای نسبی آب بودند.

شاخص کلروفیل برگ پرچم در مرحله گل‌دهی بوسیله دستگاه کلروفیل‌سنج دستی SPAD-502، Minolta اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری نشت الکتروولیت برگ پرچم در مرحله پرشدن دلنه از روش لوتس و همکاران انجام شد (Lutts *et al.*, 1996). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ پرچم در مرحله پرشدن دانه طبق روش مک آدام و همکاران با اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۵ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (MacAdam *et al.*, 1992). تعیین میزان

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل آزمایش  
Table 1- Weather conditions of the test site

ماه Month	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	حداقل دما Minimum temperature (°C)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	متوسط دما Mean temperature (°C)
آبان November	53.9	56	6.1	19.9	13
آذر December	111.9	69.5	1.9	13.5	7.7
دی January	68.8	64	0.2	12.6	6.4
بهمن February	36	61	-0.6	11.8	5.6
اسفند March	188.8	58	4.9	17.9	11.4
فروردین April	39.6	61	6.3	19.6	13
اردیبهشت May	12.1	50	10.2	27.3	18.8
خرداد June	0.1	26	15.5	36.6	26

<sup>1</sup> Leaf chlorophyll index (SPAD)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the soil of the test site

عمق خاک	بافت خاک	کربن آلی	نیترژن کل	فسفر	پتاسیم	اسیدیته	هدایت
Soil depth	Soil texture	Organic Carbon (%)	Total N (%)	قابل دسترس P Available (mg.kg <sup>-1</sup> )	قابل دسترس K Available (mg.kg <sup>-1</sup> )	pH	الکتریکی EC (dS/m)
0-30 (cm)	لوم رس Loam clay	0.86	0.078	4.85	367.5	7.1	0.46

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی، کود زیستی و اسید سالیسیلیک بر صفات اندازه‌گیری شده گندم

Table 3- Results of analysis of variance of the effects of drought stress, biofertilizer and salicylic acid on the measured traits of wheat

میانگین مربعات Mean of squares								
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	شاخص کلروفیل برگ	نشست الکترولیت	غلظت روی دانه	پراکسیداز	پروبین	محتوای نسبی آب
S.O.V	df	Grain yield	Leaf chlorophyll index	Electrolyte leakage	Grain zinc concentration	Peroxidas	Proline	Relative water content
r	2	315621.21 <sup>ns</sup>	17.49 <sup>ns</sup>	82.44 <sup>ns</sup>	8.07 <sup>ns</sup>	0.01	4.59 <sup>ns</sup>	67.57 <sup>ns</sup>
A	1	25130960.50*	252.45*	1478.94*	15.58 <sup>ns</sup>	0.29*	45.62*	3439.34**
Error A	2	495753.64	5.88	49.35	4.6	0.01	1.25	27.48
B	4	2431017.19**	5.60**	38.93**	4.78**	0.02**	5.61**	72.69**
C	1	2344537.20**	12.63**	2177.00**	16.22**	0.04**	59.82**	465.91**
A×B	4	114112.34 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	4.89 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.0022**	1.02 <sup>ns</sup>	12.47 <sup>ns</sup>
A×C	1	610.84 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	5.99 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.000004	0.12 <sup>ns</sup>	19.75 <sup>ns</sup>
B×C	4	44645.72 <sup>ns</sup>	1.91 <sup>ns</sup>	4.96 <sup>ns</sup>	1.26**	0.004**	1.51 <sup>ns</sup>	9.34 <sup>ns</sup>
A×B×C	4	18533.54 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	1.08 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.006**	2.44*	19.20*
Error T	36	92504.44	0.85	5.77	0.31	0.0006	0.91	6.26
C.V(%)	-	8.33	2.78	3.97	2.26	3.53	4.2	3.67

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد و غیر معنی‌داری است.

A: تنش خشکی، B: منابع کود و C: محلول پاشی اسید سالیسیلیک

ns, \* and \*\*: non-significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.  
foliar application of salicylic acid :A: drought stress, B: Fertilizer sources, and C

## عملکرد دانه

نشان داد که محلول پاشی اسید سالیسیلیک عملکرد دانه را ۱۱/۴۵ درصد نسبت به عدم محلول پاشی با اسید سالیسیلیک افزایش داده است (جدول ۴).

تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه شد. کاهش عملکرد در گندم ناشی از تنش خشکی ممکن است به دلیل تغییر در روابط آبی گیاهان، اختلال در رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت فتوسنتزی، آسیب به ماکرومولکول‌ها و هم‌چنین خرابی غشاء باشد (Abdi et al., 2021). گزارش شده است تنش آبی فتوسنتز برگ را کاهش می‌دهد و با کاهش مدت زمان فتوسنتز بر نقل و انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه‌ها تأثیر می‌گذارد در نتیجه، عملکرد گندم را تحت تنش آبی کاهش می‌دهد (Zhao et al., 2020). کاهش عملکرد تحت تنش خشکی در

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۲۹۸/۳ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش خشکی و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۳۰۰۳/۹ کیلوگرم در شرایط تنش خشکی در هکتار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی منابع کودی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۰۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوبیز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نداشت و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۲۹۱۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج

گندم توسط محققان مختلف گزارش شده است (Ahmadian *et al.*, 2021; Rani *et al.*, 2018; Bukhari *et al.*, 2021). افزایش عملکرد دانه در سورگوم در تلقیح توام با میکوریز و نیتروکسین (Kamaei *et al.*, 2019) در ذرت با کود زیستی و ۵۰ درصد کود شیمیایی (Amani *et al.*, 2017) هم‌چنین افزایش عملکرد در گندم تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریز در مقایسه با عدم تلقیح گزارش شده است (Zhang *et al.*, 2019). کاربرد کود زیستی عملکرد گندم را به میزان قابل توجهی افزایش داد که نشان‌دهنده تعادل در جذب مواد مغذی است. کود زیستی ممکن است با افزایش سطح جذب ریشه و بهره‌وری مصرف آب، اثرات منفی کمبود آب را کاهش دهد، افزایش رشد و عملکرد توسط میکروارگانیسم‌های محرک رشد به توانایی کودهای زیستی در فراهمی بیشتر عناصر غذایی در ریزوسفر گیاهان نسبت داده‌اند (Seyed Sharifi *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای دیگر اثر مثبت تلقیح مایکوریزا افزایش سطح جذب ریشه و فراهم شدن بیشتر مواد مغذی عنوان شد.

گندم توسط محققان مختلف گزارش شده است (Ahmadian *et al.*, 2021; Rani *et al.*, 2018; Bukhari *et al.*, 2021). افزایش عملکرد دانه در سورگوم در تلقیح توام با میکوریز و نیتروکسین (Kamaei *et al.*, 2019) در ذرت با کود زیستی و ۵۰ درصد کود شیمیایی (Amani *et al.*, 2017) هم‌چنین افزایش عملکرد در گندم تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریز در مقایسه با عدم تلقیح گزارش شده است (Zhang *et al.*, 2019). کاربرد کود زیستی عملکرد گندم را به میزان قابل توجهی افزایش داد که نشان‌دهنده تعادل در جذب مواد مغذی است. کود زیستی ممکن است با افزایش سطح جذب ریشه و بهره‌وری مصرف آب، اثرات منفی کمبود آب را کاهش دهد، افزایش رشد و عملکرد توسط میکروارگانیسم‌های محرک رشد به توانایی کودهای زیستی در فراهمی بیشتر عناصر غذایی در ریزوسفر گیاهان نسبت داده‌اند (Seyed Sharifi *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای دیگر اثر مثبت تلقیح مایکوریزا افزایش سطح جذب ریشه و فراهم شدن بیشتر مواد مغذی عنوان شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی، کودهای زیستی و اسید سالیسیلیک بر صفات مورد مطالعه در گندم

Table 4- Comparison of mean of main effects of drought stress, biofertilizers and salicylic acid on studied traits in wheat

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Grain yield (kg.h <sup>-1</sup> )	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	غلظت روی دانه Grain zinc concentration (mg kg <sup>-1</sup> )	پراکسیداز Peroxidas ( $\mu\text{mol.min}^{-1}\text{g}^{-1}\text{fw}$ )	پرولین Proline ( $\mu\text{mol.g}^{-1}\text{fw}$ )	محتوای نسبی آب Relative water content (%)
A1	4298.30 a	35.15 a	55.48 b	25.12 a	0.63 b	21.90 b	79.80 a
A2	3003.90 b	31.05 b	65.41 a	24.10 a	0.77 a	23.64 a	64.65 b
B4	4093.8 a	33.94 a	59.58 b	25.18 ab	0.74 a	23.72 a	74.95 a
B3	3673.6 b	33.19 ab	59.25 b	24.16 c	0.73 a	23.06 ab	74.20 a
B2	3661.8 b	32.67 bc	60.38 b	25.22 a	0.68 b	22.52 bc	71.08 b
B1	3913.5 ab	33.53 a	59.46 b	24.72 b	0.69 b	22.68 bc	72.08 b
B0	2913 c	32.27 c	63.58 a	23.78 c	0.65 c	21.87 c	68.82 c
C2	3848.81 a	33.56 a	54.43 b	25.13 a	0.72 a	23.77 a	75.01 a
C1	3453.46 b	32.64 b	66.47 a	24.09 b	0.67 b	21.77 b	69.44 b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن، اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

A1: عدم تنش خشکی، A2: تنش خشکی، B0: کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی، B1: کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، B2: مصرف نیتروکسین به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، B3: مصرف مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، B4: مصرف نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، C1: عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، C2: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک.

Means with at least a common letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ ).

A1: (without drought stress), A2: (drought stress), B0: (use of 50% chemical fertilizer), B1: (use of 100% chemical fertilizer), B2: (use of nitroxin biofertilizer with 50% Chemical fertilizer), B3: (use of mycorrhizal with 50% chemical fertilizer), B4: (use of biofertilizers nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer), C1: (no foliar application of salicylic acid), C2: (Foliar application of 1 mM salicylic acid)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × کودهای زیستی × اسید سالیسیلیک بر صفات مورد مطالعه در گندم

Table 5- Comparison of the mean of interactions of drought stress × biofertilizers × salicylic acid on studied traits in wheat

تیمارها	پراکسیداز	پرولین	محتوای نسبی آب
Treatments	Peroxidas ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fw}$ )	Proline ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fw}$ )	Relative water content (%)
A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	0.48 g	18.77 g	76.32 b
A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	0.64 ef	22.46 c-e	79.85 b
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	0.63 ef	21.25 ef	77.59 b
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	0.65 ef	22.86 b-e	79.98 b
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	0.61 f	20.91 f	77.51 b
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0.64 ef	22.68 b-e	79.73 b
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	0.64 ef	21.86 d-f	78.16 b
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	0.66 d-f	22.98 b-e	85.26 a
A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	0.64 ef	21.93 d-f	78.34 b
A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	0.68 c-e	23.27 b-d	85.23 a
A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	0.72 b-d	22.25 c-e	53.05 g
A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	0.75 b	23.98 bc	66.05 c-e
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	0.74 bc	22.53 c-e	62.67 ef
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	0.75 b	24.09 bc	68.08 cd
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	0.74 bc	22.63 b-e	60.47 f
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0.75 b	23.87 bc	66.59 c-e
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	0.75 b	22.90 b-e	64.87 d-f
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	0.86 a	24.49 b	68.50 cd
A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	0.75 b	22.69 b-e	65.41 de
A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	0.87 a	26.99 a	70.83 c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن، اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

A1: عدم تنش خشکی، A2: تنش خشکی، B0: کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی، B1: کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، B2: مصرف نیتروکسین به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، B3: مصرف مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، B4: مصرف نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، C1: عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، C2: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک.

Means with at least a common letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ ).

A1: (without drought stress), A2: (drought stress), B0: (use of 50% chemical fertilizer), B1: (use of 100% chemical fertilizer), B2: (use of nitroxin biofertilizer with 50% Chemical fertilizer), B3: (use of mycorrhizal with 50% chemical fertilizer), B4: (use of biofertilizers nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer), C1: (no foliar application of salicylic acid), C2: (Foliar application of 1 mM salicylic acid)

## شاخص کلروفیل برگ

هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

شاخص کلروفیل برگ را ۲/۸۲ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک افزایش داده است (جدول ۴).

گزارش شده است شاخص کلروفیل برگ تحت تنش خشکی در گندم کاهش یافت (Hafez et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر بیان شد تنش‌های محیطی از جمله خشکی به دلیل افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند ابسزیک اسید و اتیلن که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند موجب می‌شوند کلروفیل بر اثر این آنزیم تجزیه شود و اثرات مفید تلقیح بذر با باکتری در افزایش محتوای کلروفیل را در دسترس بودن بیشتر نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی نسبت

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی

نشان داد که تنش خشکی شاخص کلروفیل برگ را ۱۱/۶۶ درصد کاهش داد. مقایسه میانگین اثر اصلی منابع کودی نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل برگ با میانگین ۳۳/۹۴ از تیمار ترکیبی کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و تیمار مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی نداشت و کمترین شاخص کلروفیل برگ در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۳۲/۲۷ به دست آمد.

الکتريکی به نحوی به محتوای کلروفیل وابسته است و کاهش در میزان کلروفیل در اثر تنش آبی باعث پیری و در نتیجه نفوذپذیرتر شدن غشاء شده است (Seyed Sharifi *et al.*, 2020). گزارش شده است استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی به طور قابل توجهی باعث کاهش سطح نشت غشای سلولی شده است و استفاده از کودهای زیستی، احتمالاً از طریق تأثیر بر پروتئین‌های مرتبط با گلوکاتیون اس-ترانسفراز، در محافظت از غشای سلولی از آسیب و تخریب توسط گونه‌های فعال اکسیژن نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند (Kamali and Mehraban, 2020b). گزارش شده است نشت الکترولیت غشایی تحت تنش خشکی در گندم افزایش یافت (Sedaghat *et al.*, 2017) و کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک به‌طور قابل توجهی نشت الکترولیت غشا را در شرایط بدون تنش و شرایط تنش در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک کاهش داده است (Khalvandi *et al.*, 2021).

### غلظت روی دانه

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین ۲۵/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت روی دانه در شرایط تنش خشکی با میانگین ۲۴/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی منابع کودی نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه میانگین ۲۵/۲۲ در تیمار نیتروکسین به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد که از لحاظ آماری با تیمار ترکیبی کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین غلظت روی دانه با میانگین ۲۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک غلظت روی دانه را ۴/۳۲ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک افزایش داده است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کودهای زیستی و شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه با میانگین ۲۶/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار B<sub>4</sub>C<sub>2</sub> (مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید

دادند (Aghaei *et al.*, 2022). هم‌چنین در گزارشی دیگر آمده است که مقدار کلروفیل با نیتروژن در دسترس ارتباط مستقیمی دارد و کاربرد کود زیستی توأم با مصرف کود شیمیایی نیتروژن سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ در ذرت شد (Jorfi *et al.*, 2017). هم‌چنین پژوهش‌گران بیان کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک شاخص کلروفیل برگ در گیاه گندم را افزایش داد (Noreen *et al.*, 2017). این گزارشات با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

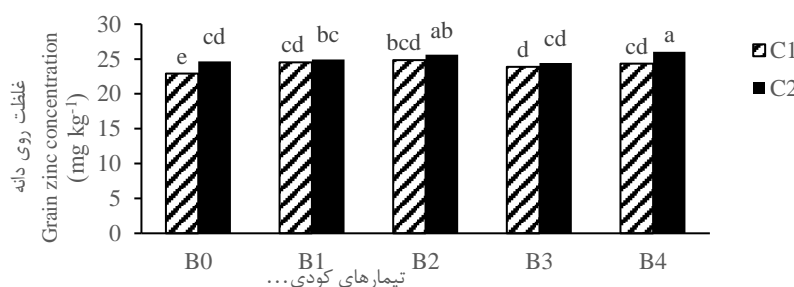
### نشت الکترولیت

مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش ۱۷/۹۰ درصدی نشت الکترولیت شد. هم‌چنین مقایسه میانگین اثر اصلی منابع کودی نشان داد که کمترین نشت الکترولیت با میانگین ۵۹/۲۵ درصد از مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد و بیشترین نشت الکترولیت با میانگین ۶۳/۵۸ درصد در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشت الکترولیت را ۱۸/۱۱ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک کاهش داده است (جدول ۴).

نفوذپذیری غشاء معمولاً با عنوان نشت الکترولیت غشایی ارزیابی می‌شود و یک شاخص کلیدی در سلامت غشای سلولی گیاهان در شرایط تنش است. تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی منجر به از هم گسیختگی لیپیدها و پروتئین‌های غشایی و در نهایت تغییر در فعالیت‌های آنزیمی می‌شوند. پایداری غشای سلولی یکی از مهم‌ترین پارامترها در پاسخ سلول‌های گیاهی و تحمل گونه‌های گیاهان زراعی در تنش غیرزیستی است. در شرایط تنش خشکی انواع اکسیژن فعال می‌توانند با DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها واکنش نشان دهند که در صورت عدم وجود مکانیسم محافظتی، این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به دیواره سلولی آسیب برسانند و در نتیجه نشت سلولی و اختلال در عملکرد گیاه افزایش یابد (Kamali and Mehraban, 2020a). گزارش شده است که محدودیت آب باعث آسیب اکسیداتیو در سطح سلولی و پراکسیداسیون لیپید بالا می‌شود که باعث کاهش پایداری غشا و افزایش نشت الکترولیت از سلول‌ها شده است و به احتمال زیاد هدایت



به کمک ریشه‌های خارج ریشه‌ای خود جذب آب و عناصر غذایی مانند روی را در گیاه افزایش داده و سبب افزایش محصول شده است (Hamidi and Marashi, 2018). در مطالعه‌ای دیگر اعلام شد پیش‌تیمار بذر با نیتروکسین در مقایسه با عدم کاربرد آن مقادیر غلظت عناصر روی را در گندم افزایش داد (Ahmadi *et al.*, 2019). نتایج گزارش شده با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.



شکل ۱- بررسی اثر متقابل دوگانه کودهای زیستی و شیمیایی × اسید سالیسیلیک

salicylic acid × Figure 1- Investigating the double interaction between biological and chemical fertilizer

که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی مانند خشکی ایجاد می‌شود (Ahmadi Nouraldinvand *et al.*, 2021). در مطالعه انجام شده بر روی گندم در شرایط تنش خشکی گزارش شد که تلقیح قارچ میکوریزی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله پراکسیداز در مقایسه با گیاهان شاهد شده است (Amjad *et al.*, 2021). یکی از دلایل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از هم‌زیستی موثر کاربرد کودهای زیستی بصورت توأم یا تک تک در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها باشد زیرا کودهای زیستی به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Ahmadi Nouraldinvand *et al.*, 2021). در گزارشی دیگر بیان شد تنش خشکی متوسط منجر به افزایش پراکسیداز در گیاهان شده است و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاهان رشد یافته در شرایط خشکی، سبب افزایش غلظت پراکسیداز شد و عنوان شد گیاهان حاوی غلظت بالای آنتی‌اکسیدان‌ها به دلیل مهار گونه‌های فعال اکسیژن، تحمل قابل توجهی در شرایط تنش از خود نشان دادند و سطوح بهینه اسید سالیسیلیک سیستم آنتی‌اکسیدانی گندم را با افزایش غلظت پراکسیداز در برگ

سالیسیلیک) به‌دست آمد و کمترین با میانگین ۲۲/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار B<sub>0</sub>C<sub>1</sub> (۵۰ درصد کود شیمیایی و عدم محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) به‌دست آمد (شکل ۱).

گزارش شده است تیمار میکوریزا سبب افزایش غلظت روی دانه در گندم شده است (Rejali *et al.*, 2019; Farahbakhsh and Sirjani, 2019). بیان شده است که قارچ‌های مایکوریزا

## آنزیم پراکسیداز

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر پراکسیداز نشان داد میزان آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش نسبت به عدم تنش افزایش یافت و بیشترین آنزیم پراکسیداز با میانگین ۸۷/۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم تر برگ در تیمار ترکیبی A<sub>2</sub>B<sub>4</sub>C<sub>2</sub> (تنش خشکی + مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریزا به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) بود که از لحاظ آماری با تیمار A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub> اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین آنزیم پراکسیداز با میانگین ۴۸/۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر برگ در تیمار A<sub>1</sub>B<sub>0</sub>C<sub>1</sub> (عدم تنش خشکی + ۵۰ درصد کود شیمیایی و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) بود (جدول ۵).

هنگامی که گیاهان در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند، گونه‌های فعال اکسیژن موجب تخریب چربی‌ها، تجزیه کلروفیل، تخریب ساختار پروتئین‌ها و آسیب به نوکلئیک اسیدها می‌شوند در این شرایط پاسخ آنتی‌اکسیدانی فرآیندی مهم در حفاظت گیاهان در برابر آسیب‌های اکسیداتیوی است

بطور معنی داری افزایش داد و اظهار کردند که پرولین به عنوان منبع نیتروژن برای گیاهان در شرایط تنش عمل کرده و از ترکیبات سلولی در برابر خسارات تنش خشکی محافظت می‌کند و در تحمل سیتوپلاسمی بسیاری از گیاهان تحت تنش کم آبی نقش اساسی دارد و کودهای زیستی با افزایش محتوای پرولین به افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی کمک می‌کنند (Ahmadi Nouraldinvand *et al.*, 2021). افزایش محتوای پرولین در گیاهان گندم تحت تنش آبی در کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک توسط محققان مختلف گزارش شده است (Sedaghat *et al.*, 2020; Maghsoudi *et al.*, 2018). نتایج پژوهش حاضر با این گزارشات هم‌خوانی دارد.

### محتوای نسبی آب

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × کودهای زیستی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد که تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد و بیشترین محتوای نسبی آب برگ با میانگین ۸۵/۲۶ درصد در تیمار  $A_1B_3C_2$  (عدم تنش خشکی + مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) بود که از لحاظ آماری با تیمار  $A_1B_4C_2$  اختلاف معنی‌دار نداشت و کمترین محتوای نسبی آب برگ با میانگین ۵۳/۰۵ درصد در تیمار  $A_2B_0C_1$  (تنش خشکی + ۵۰ درصد کود شیمیایی + عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک) بود (جدول ۵).

توانایی گیاه در حفظ محتوای نسبی آب برگ به عنوان عامل مهم مقاومت به خشکی در نظر گرفته می‌شود (Azmat *et al.*, 2020). کاهش در محتوای آب نسبی تحت تنش خشکی توسط محققان مختلف در سورگوم و گندم گزارش شده است (Mathur *et al.*, 2019; Asadi *et al.*, 2021). گزارش شده است محتوای نسبی آب برگ پرچم تحت شرایط تنش ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه کاهش یافت و تلقیح مایکوریزایی و فسفر سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم در گندم شد (Zhang *et al.*, 2018). افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاهان تحت تیمار با کود زیستی در جذب آب و مواد مغذی، تنظیم اسمز و تأثیر مثبت در رشد ریشه تحت شرایط محدودیت آب بیان شده است (Seyed Sharifi *et al.*, 2020).

گندم بهبود بخشیده است (Ahmad *et al.*, 2021). مطالعه‌ای دیگر بیان شد که محلول پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش آنزیم پراکسیداز شد (Rezabeigi *et al.*, 2020). نتایج بیان شده در متون با نتایج پژوهش حاضر هم‌سویی دارد.

### پرولین

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × کودهای زیستی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین برگ نشان داد که میزان پرولین در شرایط تنش نسبت به عدم تنش افزایش یافت و بیشترین محتوای پرولین برگ با میانگین ۲۶/۹۹ میکرومول بر گرم تر برگ در تیمار ترکیبی  $A_2B_4C_2$  (تنش خشکی + مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) بود و کمترین محتوای پرولین برگ با میانگین ۱۸/۷۷ میکرومول بر گرم تر برگ در تیمار  $A_1B_0C_1$  (عدم تنش خشکی + ۵۰ درصد کود شیمیایی + عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک) بود (جدول ۵).

افزایش اسمولیت‌هایی مانند پرولین، توسط محققان مختلف در گندم تحت تنش خشکی گزارش شده است (Yadav *et al.*, 2020; Parveen *et al.*, 2021; Abbaspour *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگر بیان شد که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه تجمع پرولین در گندم را از طریق تنظیم اسمز افزایش داده است (Seyed Sharifi *et al.*, 2020). پرولین به عنوان یک اسمولیت در محافظت از آنزیم‌ها و سایر ماکرومولکول‌ها عمل می‌کند و از طریق تنظیم اسمز در برابر شرایط پتانسیل کم آب مکانیسم حفاظتی ایجاد می‌کند و به عنوان یک گیرنده الکترون عمل کرده و از آسیب به فتوسیستم با حذف گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند (Parveen *et al.*, 2021). در تحقیقی دیگر گزارش شد با افزایش محدودیت آبی میزان پرولین افزایش یافت و بیان شد زمانی که گیاه تحت شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد، مقدار پرولین در سلول‌ها افزایش می‌یابد، تا با افزایش غلظت داخل سلول، جذب و نگه‌داری آب داخل سلول را حفظ کند و بیان شد عدم کاربرد کودهای زیستی سبب کاهش محتوای پرولین برگ شد و کاربرد مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد میزان پرولین در گیاهان را

برگ، محتوای نسبی آب و هم‌چنین افزایش پراکسیداز، پرولین و نشت الکترولیت شد و تیمار تغذیه کودی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به تنهایی و با هم توانستند اثر تنش را تا حدودی کاهش دهند. کاربرد کود زیستی نیتروکسین و مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک توانست با افزایش مقاومت به شرایط تنش خشکی، از طریق بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی شرایط مساعدی برای رشد و عملکرد مطلوب‌تر گیاه، فراهم کند. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت کاربرد کود زیستی نیتروکسین و مایکوریز به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان یک کود مؤثر و جایگزین به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کمبود آب در شرایط خرم‌آباد در جهت کشاورزی پایدار عمل کند. در نتیجه می‌توان جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشت گندم در شرایط تنش خشکی این تیمار به کشاورز توصیه شود.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان از کارشناسان آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان که در انجام این پژوهش صمیمانه همکاری داشتند، قدردانی می‌نمایند.

تنظیم اسمزی بیشتر به گیاهان در حفظ فشار تورگر و جلوگیری از دست دادن آب کمک می‌کند که در نهایت می‌تواند به گیاهان در جذب بهتر آب و افزایش فعالیت‌های متابولیکی کمک کند (Azmat *et al.*, 2020). مایکوریزا سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه گندم شده است علت احتمالی افزایش جذب آب در گیاهان مایکوریزایی فراهمی بیشتر عناصر غذایی معدنی بویژه فسفر، تنظیم اسمزی و هدایت هیدرولیکی بالای آب نسبت به گیاهان غیر میکوریزی بیان شده است (Mathur *et al.*, 2019). هم‌چنین بیان شده است اسید سالیسیلیک هیدراتاسیون سلول‌ها را تا حد مطلوب حفظ نموده و تحت شرایط تنش از طریق تجمع اسمولیت‌ها، جذب آب را افزایش داده و محتوای نسبی آب بافت‌ها را افزایش می‌دهد (Moradi Tarnabi *et al.*, 2020). پژوهش‌گران گزارش دادند اسید سالیسیلیک با تأثیر در صفات فیزیولوژیکی و فرآیندهای فتوسنتزی و بهبود کارایی ریشه در جذب آب و رشد گیاه سبب افزایش محتوای آب برگ می‌شود (Hafez *et al.*, 2019). این گزارش‌ها با نتایج پژوهش حاضر هم‌سو است.

### نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه، شاخص کلروفیل

## References

- Abdelaal, K., Attia, K., Alamery, S., El-Afry, M., Ghazy, A., Tantawy, D. and Hafez, Y. 2020. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. *Sustainability*, 12(5): 1736.
- Abdi, N., van Biljon, A., Steyn, C. and Labuschagne, M.T. 2021. Bread Wheat (*Triticum aestivum*) responses to arbuscular mycorrhizae inoculation under drought stress conditions. *Plants*, 10(9): 1756.
- Aghaei, F., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2022. The effects of biofertilizers and nano iron-silicon oxide on yield and grain filling components of triticale (*Triticosecale Wittmack*) under water limitation condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*. (In Persian).
- Ahmad, A., Aslam, Z., Naz, M., Hussain, S., Javed, T., Aslam, S. and Jamal, M.A. 2021. Exogenous salicylic acid-induced drought stress tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under hydroponic culture. *PLoS one*, 16(12): e0260556.
- Ahmadi Nouraldin, F., Seyed Sharifi, R., Siadat, S.A. and Khalilzadeh, R. 2021. Effect of water limitation and application of bio-fertilizer and nano-silicon on yield and some biochemical traits of wheat. *Cereal Research*, 10(4): 285-298. (In Persian).

- Ahmadi, M., Zare, M.J., Emam, Y. and Hatami, A.** 2016. Studying the amount of protein and the concentration of some nutrients in wheat grain under the influence of Cyclocel, zinc sulfate and nitroxin biofertilizer. Third National Conference on Environmental and Agricultural Research in Iran, PP: 1-11. (In Persian).
- Ahmadian, K., Jalilian, J. and Pirzad, A.** 2021. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 244: 106544.
- Ajmal, M., Ali, H.I., Saeed, R., Akhtar, A., Tahir, M., Mehboob, M.Z. and Ayub, A.** 2018. Biofertilizer as an alternative for chemical fertilizers. *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 7(1): 1-7.
- Alizadeh, F., Nasrollahi, A.H., Saeedinia, M. and Sharifipour, M.** 2020. Effect of deficit irrigation and different nitrogen levels on wheat yield and water productivity (case study: Khorramabad). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6): 1417-1426. (In Persian).
- Amani, N., Sohrabi, Y. and Heidari, G.** 2017. Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(2): 65-83. (In Persian).
- Asadi, M. and Eshghizadeh, H.** 2021. Response of sorghum genotypes to water deficit stress under different CO<sub>2</sub> and nitrogen levels. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158: 255-264.
- Azizi, G.** 2000. Estimation of effective rainfall in relation to rainfed wheat cultivation (Case: Khorramabad plain). *Geographical Research Quarterly*, 32(38): 115-123. (In Persian).
- Azmat, A., Yasmin, H., Hassan, M.N., Nosheen, A., Naz, R., Sajjad, M. and Akhtar, M.N.** 2020. Co-application of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress, *PeerJ*. 8: e9960.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.** 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1): 205-207.
- Bukhari, M.A., Ahmad, Z., Ashraf, M.Y., Afzal, M., Nawaz, F., Nafees, M. and Manan, A.** 2021. Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. *Silicon*, 13(12): 4757-4772.
- Chaechian, F., Pasari, B., Sabaghpour, S.H., Rokhzadi, A. and Mohammadi, K.** 2022. Evaluation of ecological and economic indicators in chickpeas and wheat intercropping by application of nitroxin biofertilizer in rain-fed conditions of Hamedan. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(2): 125-141. (In Persian).
- Dahham, A.A.** 2021. The effect of nitroxin application and drought stress on growth and yield of two Persian and Iraqi celery populations. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, PP:1-8.
- Daiyoolhagh, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F. and Mershekari, B.** 2020. Yield stability analysis of advanced spring wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Plant Productions*, 44(2): 489-502. (In Persian).
- El-Sobky, E., Taha, A., El-Sharnouby, M., Sayed, S.M. and Elrys, A.S.** 2022. Zinc-biochemical co-fertilization

- improves rice performance and reduces nutrient surplus under semi-arid environmental conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3): 1653-1667.
- Farahbakhsh, H. and Sirjani, A.K.** 2019. Enrichment of wheat by zinc fertilizer, mycorrhiza and preharvest drought stress. *Turkish Journal of Field Crops*, 24(1): 1-6.
- Gao, C., El-Sawah, A., Ali, D., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H. and Sheteiwy, M.** 2020. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 10(3): 319.
- Hafez, E., Omara, A.E.D. and Ahmed, A.** 2019. The coupling effects of plant growth promoting rhizobacteria and salicylic acid on physiological modifications, yield traits, and productivity of wheat under water deficient conditions. *Agronomy*, 9(9): 524.
- Hamidi, H. and Marashi, S.K.** 2018. Effect of different mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on growth traits and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Production Science*, 8(1): 13-22. (In Persian).
- Ilyas, N., Gull, R., Mazhar, R., Saeed, M., Kanwal, S., Shabir, S. and Bibi, F.** 2017. Influence of salicylic acid and jasmonic acid on wheat under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(22): 2715-2723.
- Javan Gholiloo, M., Yarnia, M., Ghorttapeh, A.H., Farahvash, F. and Daneshian, A.M.** 2019. Evaluating effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(13): 1417-1429.
- Jorfi, A., Alavifazel, M. and Modhej, A.** 2017. Investigation the effect of different levels of nitrogen and nitroxin fertilizer on yield, growth and physiological indices of maize hybrids (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(32): 121-138. (In Persian).
- Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M. and Jahan, M.** 2019. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, 42(18): 2221-2233.
- Kamali, S. and Mehraban, A.** 2020 a. Effects of Nitroxin and arbuscular mycorrhizal fungi on the agro-physiological traits and grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under drought stress conditions. *Plos one*, 15(12): e0243824.
- Kamali, S. and Mehraban, A.** 2020 b. Nitroxin and arbuscular mycorrhizal fungi alleviate negative effects of drought stress on Sorghum bicolor yield through improving physiological and biochemical characteristics. *Plant Signaling & Behavior*, 15(11): 1813998.
- Kareem, F., Rihan, H. and Fuller, M.P.** 2019. The effect of exogenous applications of salicylic acid on drought tolerance and up-regulation of the drought response regulon of Iraqi wheat. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(1): 37-45.
- Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E. and Keramati, S.** 2021. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1): e05908.

- Lesk, C., Rowhani, P. and Ramankutty, N.** 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584): 84-87.
- Lutts, S., Kinet, J. and Bouharmont, J.** 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3): 389-398.
- MacAdam, J.W., Sharp, R.E. and Nelson, C.J.** 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: II. Spatial distribution of apoplastic peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, 99(3): 879-885.
- Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M. and Arvin, M.J.** 2019. Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. *Crop and Pasture Science*, 70(1): 36-43.
- Maghsoudi, K., Emam, Y., Niazi, A., Pesarakli, M. and Arvin, M.** 2018. P5CS expression level and proline accumulation in the sensitive and tolerant wheat cultivars under control and drought stress conditions in the presence/absence of silicon and salicylic acid. *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 461-471.
- Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A. and Mohammadkhani, N.** 2019. Effects of fertilizer treatments on antioxidant activities and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water limitation conditions. *Journal of Medicinal Plants and By-product*, 8(2): 143-151.
- Mathur, S., Tomar, R.S. and Jajoo, A.** 2019. Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139(1): 227-238.
- Moradi Tarnabi, Z., Iranbakhsh, A., Mehregan, I. and Ahmadvand, R.** 2020. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on gene expression of some cell wall and membrane elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit using transcriptome analysis. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(1): 143-162.
- Noreen, S., Fatima, K., Athar, H., Ahmad, S. and Hussain, K.** 2017. Enhancement of physio-biochemical parameters of wheat through exogenous application of salicylic acid under drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(1): 153-163.
- Parveen, A., Arslan Ashraf, M., Hussain, I., Perveen, S., Rasheed, R., Mahmood, Q. and Al-Arjani, A.-B. F.** 2021. Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed *Triticum aestivum* in relation to foliar-application of salicylic acid. *Water*, 13(9): 1316.
- Rani, B., Madan, S., Pooja, S., Kumari, N. and Kumar, A.** 2018. Mitigating the effect of drought stress on yield in wheat (*Triticum aestivum*) using arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae*). *Indian Journal of Agricultural Science*, 88: 95-100.
- Rejali, F., Esmailizadeh, A. and Saghafi, K.** 2019. Effect of symbiosis interaction of Mycorrhizae Arbuscular on mineral uptake in wheat (*Pishtaz cultivar*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(4): 51-63. (In Persian).
- Rezabeigi, S., Bijanzadeh, E. and Behpouri, A.** 2020. Effect of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of durum wheat (*Triticum durum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35): 243-258. (In Persian).

- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S.** 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1): 105-111.
- Safar-Noori, M., Assaha, D.V.M. and Saneoka, H.** 2018. Effect of salicylic acid and potassium application on yield and grain nutritional quality of wheat under drought stress condition. *Cereal Research Communications*, 46(3): 558-568.
- Sedaghat, M., Sarvestani, Z.T., Emam, Y., Bidgoli, A.M. and Sorooshzadeh, A.** 2020. Foliar-applied GR24 and salicylic acid enhanced wheat drought tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4): 733-739.
- Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y. and Mokhtassi-Bidgoli, A.** 2017. Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119: 59-69.
- Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., Pirzad, A. and Anwar, S.** 2020. Effects of biofertilizers and nano zinc-iron oxide on yield and physicochemical properties of wheat under water deficit conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(19): 2511-2524.
- Seyedi, M., Mojaddam, M., Babaei Nejad, T. and Derogar, N.** 2018. Study of the chemicals and biological interaction effects on quantitative and qualitative characteristics of some bread wheat cultivars in Shoushtar climatic. *Journal of Plant Production Sciences*, 8(1): 1-11. (In Persian).
- Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.S., Hussain, H.A., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S. and Wang, L.** 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 11(1): 1-14.
- Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A.H., Akbar, A., Ali, U. and Fahad, S.** 2018. Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33): 33103-33118.
- Vafa, Z.N., Sohrabi, Y., Sayyed, R., Luh Suriani, N. and Datta, R.** 2021. Effects of the combinations of rhizobacteria, mycorrhizae, and seaweed, and supplementary irrigation on growth and yield in wheat cultivars. *Plants*, 10(4): 811.
- Yadav, T., Kumar, A., Yadav, R., Yadav, G., Kumar, R. and Kushwaha, M.** 2020. Salicylic acid and thiourea mitigate the salinity and drought stress on physiological traits governing yield in pearl millet-wheat. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8): 2010-2017.
- Yousefi Rad, M. and Safa, H.** 2021. Effect of foliar application of salicylic acid and selenium on yield and yield components of dry land wheat. *Cereal Research*, 11(1): 31-41. (In Persian).
- Zahedyan, A., Jahromi, A.A., Zakerin, A., Abdossi, V. and Torkashvand, A.M.** 2022. Nitroxin bio-fertilizer improves growth parameters, physiological and biochemical attributes of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) under water stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(1): 8-20.
- Zebhi taft, H., Abbaspour, H., Peyvandi, M. and Majd, A.** 2021. Arbuscular mycorrhizal symbiosis improves growth, physiological, and biochemical properties of wheat under different irrigation regimes in a semiarid area. *Russian Journal of Plant Physiology*, 68(6): 1135-1142.

- Zhang, B., Zhang, H., Wang, H., Wang, P., Wu, Y. and Wang, M.** 2018. Effect of phosphorus additions and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on the growth, physiology, and phosphorus uptake of wheat under two water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(7): 862-874.
- Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z. and Rillig, M.** 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: A meta-analysis. *New Phytologist*, 222(1): 543-555.
- Ziane, H., Hamza, N. and Meddad-Hamza, A.** 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization rates optimize tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth and yield in a Mediterranean agroecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(7): 454-458.



## Effect of fertilizer nutrition and salicylic acid on yield and some biochemical traits of wheat under drought stress

Fatemeh Chaharlang Badil<sup>1</sup>, Khosro Azizi<sup>2</sup>, Hamid Reza Eisevand<sup>2</sup>, Ali heidar Nasrollahi<sup>3</sup>, Ahmad Ismaili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

<sup>2</sup>Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

<sup>3</sup>Department of Water Sciences Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

\*Corresponding Author: [eisevand.hr@lu.ac.ir](mailto:eisevand.hr@lu.ac.ir)

Received: 31 January 2023

Accepted: 6 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375155.1298

### Abstract

**Introduction:** Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most strategic crops for food, feed, and biofuel security worldwide. Drought stress is one of the most destructive environmental stresses that limit crop productivity worldwide. Drought stress causes a wide range of physiological changes and disturbances in metabolic processes. Environmental problems caused by the use of chemical fertilizers, production costs, and consumption costs are significant issues that require methods to increase crop production and improve sufficient food for the world's population. Today, the economic damage and destructive effects of the environment due to the excessive use of chemical fertilizers in agriculture are known worldwide, and it is obvious that a suitable alternative must be found for these fertilizers. Currently, biofertilizers are used as an alternative to chemical fertilizers based on the principles of sustainable agriculture and the stress tolerance of plants. Salicylic acid is a plant growth regulator that plays an important role in the plant protection system against biotic and abiotic stresses and can affect many physiological and biochemical processes.

**Materials and Methods:** In order to investigate the effect of biological and chemical fertilizers and foliar application of salicylic acid on wheat tolerance to drought stress experiment, a factorial split plot in the form of a randomized complete block design in the 2019-2020 crop year in the research farm of the Faculty of Agriculture of Lorestan University in three replications was performed. The Main plot includes irrigation levels in two levels: A1: without stress (100% of water requirement) and A2: drought stress (50% of water requirement) and sub-plots including fertilizer in five levels, including B0: use of 50% chemical fertilizer, nitrogen and phosphorus fertilizer (B1: use of 100% chemical fertilizer), B2: use of nitroxin biofertilizer with 50% chemical fertilizer, B3: use of mycorrhizal with 50% chemical fertilizer, B4: use of biological fertilizers nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer, and foliar application treatment at two levels (C1: foliar application with water and C2: foliar application with a concentration of 1 mM salicylic acid).

**Results and Discussion:** The results showed that drought stress caused a decrease in grain yield, leaf chlorophyll index (SPAD), and relative water content, as well as an increase in peroxidase, proline, and electrolyte leakage. Combined treatment of biofertilizer nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer caused an increase of 40.53%, 5.18%, 5.89%, 13.85%, 8.46%, and 8.90%, respectively, in grain yield, leaf chlorophyll index, grain zinc concentration, peroxidase, proline, relative water content of the leaf, and 6.29 % reduction of electrolyte leakage compared to the use of 50% chemical fertilizer. Also, salicylic acid foliar spray treatment caused an increase of 11.45%, 2.82%, 4.32%, 7.46%, 9.19%, and 8.02 % in grain yield, leaf chlorophyll index, grain zinc concentration, peroxidase, proline, relative water content of the leaf, and 18.11 % reduction of electrolyte leakage compared to no foliar spraying of salicylic acid. Combined fertilizer treatments of nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer and salicylic acid could reduce the effect of drought stress on the traits evaluated in this research.

**Conclusion:** Fertilizer application of nitroxin and mycorrhiza with 50% chemical fertilizer and salicylic acid foliar spraying could provide favorable conditions for the growth and better

performance of the plant by improving the biochemical characteristics of the plant while increasing its resistance to drought stress conditions. In general, it can be concluded that the application of biological fertilizers nitroxin and mycorrhiza with 50% of chemical fertilizers and foliar spraying of salicylic acid can be an effective and alternative fertilizer to reduce the consumption of chemical fertilizers in the conditions of drought stress in Khorram Abad in the direction of sustainable agriculture. As a result, this treatment can be recommended to farmers in order to reduce the consumption of chemical fertilizers in wheat under drought -stress conditions.

**Keywords:** Electrolyte leakage, Irrigation levels, Plant nutrition, Proline