

اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد کمی و برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم تحت رژیم آبیاری

نیلوفر ماهری^۱، طیب ساکی نژاد^۲، عادل مدحج^{۳*}، محمد رضا دادنیا^۲ و سید کیوان مرعشی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم تحت رژیم آبیاری، این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در ۲ سطح شامل: آبیاری تا پایان فصل و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، رقم گندم نان شامل: چمران ۲ و دوروم کرخه در کرت‌های فرعی و تنظیم‌کننده‌های رشد در ۴ سطح شامل: بدون تنظیم‌کننده رشد (شاهد)، جاسمونیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید و سایتوکینین در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری کامل و کاربرد سالیسیلیک‌اسید در رقم چمران ۲ بود. هر چند با قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ی رشد در رقم کرخه از عملکرد دانه به میزان ۱۵/۵ درصد کاسته شده است، اما کاربرد سالیسیلیک‌اسید توانست تا حدودی اثر منفی تنش خشکی در عملکرد دانه را جبران نماید. هم‌چنین برهم‌کنش رژیم آبیاری و تنظیم‌کننده‌رشد بر وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، آنزیم کاتالاز و شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. اگرچه تنش خشکی موجب کاهش عملکرد گندم شد، لیکن تنظیم‌کننده‌های رشد موجب جبران بخشی از کاهش عملکرد ناشی از خشکی گردیدند. به‌طور کلی برای افزایش رشد و عملکرد در شرایط مطلوب و کاهش افت در شرایط تنش، استفاده از تنظیم‌کننده سالیسیلیک‌اسید در رقم چمران ۲ در منطقه اهواز و مناطق مشابه از نظر آب و هوایی قابل توصیه است.

واژگان کلیدی: جاسمونیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید، سایتوکینین، کاتالاز، گندم نان، وزن هزار دانه.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

(نگارنده مسئول)

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان تیره پوآسه، سهم عمده‌ای در تغذیه انسان‌ها و همچنین تأمین علوفه برای حیوانات را به خود اختصاص داده است (Radwan *et al.*, 2015). اغلب مناطق تولید گندم در جهان در بخشی از فصل رشد با کمبود آب مواجه هستند. خشکی از مهمترین عوامل تنش‌زای محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد می‌شود (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2012). در حالی‌که در دهه‌های گذشته، محور اصلی برنامه‌های تحقیقات به‌نژادی غلات در ایران معرفی ارقام پرمحصول در شرایط بهینه آبی بوده است، محدودیت آبیاری اراضی گندم آبی بویژه در اواخر فصل به دلیل رقابت زراعت‌های بهاره با آخرین آبیاری گندم در مرحله بحرانی دانه‌بندی گیاه، باعث شده تا شناسایی و معرفی ارقامی که با حداکثر دو نوبت آبیاری در بهار پس از پایان بارندگی‌های بهاره عملکرد قابل قبولی دارند، در برنامه‌های به‌نژادی مورد توجه قرار گیرد. در این زمینه، معرفی ارقامی که بتوانند در هر دو شرایط آبیاری معمول و یا تنش خشکی آخر فصل، محصول بیش‌تری تولید کنند، اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند (Rajaei *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای خاتیوادا و همکاران (Khatiwada *et al.*, 2020) اظهار داشتند که صفات تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی ارقام گندم تحت اثر منفی تنش خشکی قرار گرفتند. در شرایط عدم تأمین نیاز آبی گندم، کاهش فتوسنتز برگ و در نتیجه کاهش میزان آسیمیلات برای دانه‌های در حال رشد موجب

کاهش عملکرد دانه گندم گردید. در شرایط تنش خشکی، استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید و سایتوکنین می‌تواند به عنوان راهکار جلوگیری از اثرات منفی تنش خشکی بر گیاهان در نظر گرفته شود (Madadi and Fallah, 2018). سالیسیلیک‌اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید یک ترکیب فنلی است که قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی است که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزنده مانند خشکی دارد (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). عملکرد سالیسیلیک‌اسید به گونه‌ای می‌باشد که در غلظت‌های مختلف عملکردهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهد، به عبارتی سالیسیلیک‌اسید در غلظت‌های بالا یا خارج از محدوده با انباشته شدن در سلول خاصیت بازدارندگی خود را به‌صورت تأثیر بر بیان برخی ژن‌ها و تولید برخی بازدارنده‌ها همچون اتیلن نشان می‌دهد، در حالی‌که در برخی غلظت‌ها، عملکردهای مطلوبی را از طریق تأثیر بر عملکرد هورمون ABA و کنترل تنفس سلول که موجب افزایش برخی از اجزای عملکردی در گیاه می‌شود را از خود بروز می‌دهد (Wang *et al.*, 2020). جاسمونات‌ها یکی از جدیدترین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه هستند که موجب کاهش آسیب تنش‌های محیطی در گیاه می‌شوند. گزارش شده است که جاسمونیک اسید با تغییر در پروتئین، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها نقش حفاظتی خود را در برابر تنش خشکی اعمال می‌کند (Mousavoey *et al.*, 2021). یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های رشد، هورمون سیتوکنین می‌باشد که اثرات مطلوبی بر حفظ بقای گیاهان در شرایط تنش‌های غیرزنده

آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. روش نمونه برداری خاک به صورت ضربه دری از چهار نقطه از کنار مزرعه و چهار نقطه از وسط زمین از عمق صفر ۰ تا ۳۰ انجام گرفت. این تحقیق به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در گیاه گندم انجام شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در ۲ سطح شامل: آبیاری تا پایان فصل و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه (مرحله ۶۹ زادوکس در تاریخ ۲۵ اسفند تا ۲۷ فروردین در سال اول و در تاریخ ۲۳ اسفند تا ۲۹ فروردین سال دوم) بود. رقم گندم نان در ۲ سطح شامل: چمران ۲ و دوروم کرخه در کرت های فرعی و تنظیم کننده های رشد در ۴ سطح شامل: بدون تنظیم کننده رشد (شاهد)، جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید و سایتوکینین در کرت های فرعی قرار گرفتند. این آزمایش از ۹۶ کرت تشکیل شد. بذر گندم مورد استفاده در مزرعه رقم چمران ۲ و دوروم کرخه بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان تهیه گردید. رقم چمران ۲ دارای عملکرد بالا، تحمل نسبتا بالا نسبت به گرمای آخر فصل تا ۳۸ درجه سانتی گراد، زودرس بودن و مناسب بودن جهت کشت در سیستم های آبیاری بارانی بدلیل داشتن ساقه های ضخیم تر است. لاین گندم چمران ۲، نسبت به بیماری زنگ زرد، قهوه ای و ریزش دانه و خوابیدگی مقاوم است. رقم دوروم کرخه نیز مناسب کشت در مناطق گرم و خشک جنوب کشور است. میانگین ارتفاع بوته آن حدود ۹۵ سانتی متر بوده و کیفیت مطلوبی برای پخت ماکارونی دارد. مقاومت به بیماری های زنگ زرد، سفیدک پودری، سیاهک ناقص و نقطه سیاه از ویژگی های این رقم است. این رقم ظرفیت کودپذیری بالایی داشته و دارای دانه هایی با بافت

دارند (Wani et al., 2016). سیتوکینین نقش تعیین کننده ای در تنظیم رشد و پایداری سیستم فتوسنتزی در طول دوره تنش داشته و همچنین بسیاری از فعالیت های فیزیولوژیکی القا شده توسط تنش خشکی را تعدیل می نماید (Werner et al., 2010). در طی تحقیقی صداقت و امام (Sadaqat and Emam, 2016) با بررسی اثر محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاهی بر عملکرد دانه ارقام گندم نان در شرایط تنش خشکی انتهای فصل گزارش نمودند که قطع آبیاری باعث کاهش معنی دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه ارقام گندم در مقایسه با آبیاری معمول گردید. همچنین اظهار داشتند اگرچه قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد و اجزای آن شد، لیکن محلول پاشی تنظیم کننده های رشد باعث جبران بخشی از کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی گردید.

با توجه به نقش بسیار مهم و اساسی تنظیم کننده های رشد به خصوص هورمون هایی نظیر سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید و سیتوکینین ها در کاهش آثار تنش خشکی در گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی اثر تنظیم کننده های رشد بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم نان در شرایط تنش خشکی پایان فصل انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در در مزرعه ای واقع در شهرستان اهواز با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل

شیشه‌ای و به رنگ زرد کهربایی است. هر کرت دارای هشت خط به طول پنج متر بود و به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر و نیم، کرت‌های فرعی یک متر، کرت‌های فرعی نیم متر و بین تکرارها نیز دو متر فاصله در نظر گرفته شد. برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز، بعد از آماده‌سازی زمین به صورت پیش کاشت کود فسفر و پتاسیم مورد نیاز از منبع سوپرفسفات‌تریپل براساس ۱۰۰ کیلوگرم فسفر خالص و کود پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، کود نیتروژن از منبع اوره (۴۶٪) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار که نصف آن همراه با دیسک در مزرعه پخش و نصف دیگر نیتروژن در انتهای مرحله پنجه‌دهی با شروع رشد ساقه در مرحله ۳۰ زادوکس به‌صورت نواری در مزرعه توزیع گردید. عملیات کاشت بذر در تاریخ‌های ۱۵ آبان ۱۳۹۶ و ۱۵ آبان ۱۳۹۷ صورت گرفت. بذور آماده شده به‌وسیله‌ی دست و به‌طور منظم با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت شدند. سپس روی خطوط کشت به ضخامت چهار سانتی‌متر با خاک پوشیده شد. آبیاری اول بعد از کاشت انجام شد. تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه براساس نقشه طرح اعمال گردید. اعمال تیمار محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مول، سالیسیلیک‌اسید با غلظت یک میلی‌مولار و هورمون سیتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار در دو مرحله ساقه‌رفتن و ظهور برگ پرچم (به‌ترتیب مراحل ۳۰ و ۴۱ زادوکس) با پمپ مخصوص سمپاشی ۲۰ لیتری در اوایل روز در صورت عدم وجود وزش باد در کرت‌ها انجام شد. به‌منظور افزایش مدت زمان ماندگاری و اثر بخشی بیشتر هورمون سیتوکینین روی بوته‌ها از ماده‌ای

چسبنده و مومی به نام توپین مایع ۲۰ با نسبت نیم درصد حجمی استفاده گردید (Ghatei et al., 2015). در طول دوره رشد محصول، علف‌های هرزی از خانواده گرامینه شروع به رشد کردند که در این مدت به‌صورت دستی ریشه کن شدند، اما در طول دوره رشد مزرعه از نظر ابتلا به بیماری و حمله آفات مصون بود. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی و بعد از حذف نیم متر از انتهای هر کرت و دو ردیف اول و آخر هر کرت از چهار خط میانی در سطحی معادل دو مترمربع برداشت انجام گرفت. پس از خرم‌کوبی دانه از کاه جدا گردیده و پس از توزین عملکرد دانه سپس به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد (Modhaj et al., 2011). برای تعیین تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد کل سنبله‌های برداشت شده در سطح دو مترمربع را مورد شمارش قرار داده و پس از تقسیم بر عدد دو به عنوان تعداد سنبله در مترمربع در نظر گرفته شد (Rajaei et al., 2014). برای محاسبه وزن هزار دانه پس از توزین دو مجموعه‌ی ۵۰۰ تایی در صورتی که اختلاف وزن دو نمونه کمتر از پنج درصد بود، مجموع آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه محاسبه شد (Modhaj et al., 2011). جهت تعیین عملکرد بیولوژیکی از هر کرت، مساحتی معادل دو مترمربع (از چهار خط میانی) برداشت و بخشی حدود ۵۰۰ گرم جدا کرده و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آون تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از خشک شدن وزن آن‌ها محاسبه گردید و سپس به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. به‌منظور تعیین شاخص سطح برگ از روش ترسیمی استفاده شد (Koocheki and Sarmadnia, 2008). شاخص کلروفیل (عدد اسپاد) با دستگاه اسپادمتر، مدل

تنظیم‌کننده‌های رشد، و اثر متقابل رژیم آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و همچنین برهم‌کنش سه گانه رژیم آبیاری در ارقام گندم در تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیکی در سال ۱۳۹۶ به میزان ۴ درصد از سال ۱۳۹۷ بیش‌تر بود (جدول ۳). براساس نتایج (جدول ۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیکی با تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ مشاهده شد. برهم‌کنش سه‌گانه تیمارهای رژیم آبیاری، تنظیم‌کننده‌های رشد در ارقام گندم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد سالیسیلیک‌اسید در رقم چمران ۲ به‌دست آمد (که با تیمار آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد جاسمونیک اسید در رقم چمران ۲ تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد در رقم کرخه حدود ۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در این تحقیق کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی گیاه شد و توانستند با بالابردن تحمل گیاه به شرایط تنش تا حدودی اثرات منفی تنش کمبود آب در گیاه را کاهش دهند. کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش رشد گیاهان از طریق افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های ریشه گردیده است و همین امر سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی گردید. پژوهش‌گران تأثیر مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد بیولوژیک را به توسعه اندام‌های زیرزمینی (ریشه‌ها) و ادامه فرایند فتوسنتز تحت تنش خشکی و در نهایت تولید ماده خشک بیش‌تر در این شرایط نسبت داده‌اند (Sadaqat and Emam, ۲۰۰۷).

spad-502 ساخت کشور ژاپن انجام شد. برای این منظور از سه قسمت ۱۰ برگ پرچم در ساعت‌های ۹:۳۰-۱۰ صبح از هر کرت در مرحله گلدهی، شاخص کلروفیل قرائت و میانگین آن‌ها به عنوان شاخص کلروفیل ثبت شد (Jiriaei *et al.*, 2013). برای سنجش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز در مرحله گلدهی کامل (۵۹ زادوکس)، نمونه‌هایی از برگ‌های تازه انتهایی گیاه تهیه و در تانک نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به این منظور، ۹۰۰ میکرولیتر از محلول واکنش (شامل محلول ۱۰ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن در بافر فسفات سالین بدون PVP و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی) داخل کوت و پس از افزودن آب اکسیژنه (H_2O_2) در محلول واکنش، بلافاصله کاهش ناشی از تجزیه H_2O_2 در اثر عمل کاتالاز، در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در مدت یک دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Uvi Light XS 5 SECOMAM) اندازه‌گیری و سپس میزان فعالیت آنزیم محاسبه گردید (Doran, 2002).

به‌منظور تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از انجام آزمون بارتلت، از مدل آماری طرح کرت-های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (Ver.8) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و برای رسم جدول از ورد ۲۰۰۷ استفاده گردید.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۲)، اثر سال، تیمارهای رژیم آبیاری، ارقام گندم و

2016). هم‌چنین در بین دو رقم مورد بررسی بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از رقم چمران ۲ با تیمار سالیسیلیک‌اسید در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد پتانسیل بالای رقم چمران ۲ در شرایط آبیاری نرمال و کاربرد تنظیم‌کننده رشد نسبت به رقم دیگر آزمایش (کرخه) در استفاده از منابع جاری و نیز سایر عواملی است که سبب افزایش در تولیدات فتوسنتزی و آسمیلات‌ها می‌شوند، که در نهایت منجر به رشد بیش‌تر اندام‌های گیاه و به ویژه افزایش بیوماس و عملکرد دانه از طریق بیش‌تر شدن تعداد دانه‌ها و وزن آن‌ها می‌شود (Ranjbar and Alavifazel, 2017). نتایج تحقیقات احمد و همکاران (Ahmad et al., 2018) و خاتیوادا و همکاران (Khatiwada et al., 2020) نیز مؤید نتایج این تحقیق بود.

تعداد سنبله در مترمربع

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تعداد سنبله در مترمربع تحت اثر تیمارهای ارقام گندم و تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج همبستگی معنی‌داری بین تعداد سنبله در مترمربع با تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که در بین ارقام زراعی، رقم چمران ۲ با میانگین ۴۴۲ بالاترین میزان تعداد سنبله در مترمربع را به خود اختصاص داد و نسبت به رقم دوروم کرخه به میزان ۷ درصد تعداد سنبله در مترمربع بیش‌تری داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، سالیسیلیک‌اسید بیش‌ترین اثر را بر تعداد سنبله در مترمربع داشت و کم‌ترین تعداد سنبله در مترمربع هم از تیمار شاهد حاصل شد (جدول

۳). نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه اثری بر تعداد سنبله در مترمربع نگذاشته‌اند. تعداد سنبله در گیاه قبل از مرحله گلدهی تعیین می‌شود، در نتیجه تحت اثر قطع آبیاری در این مرحله قرار نمی‌گیرند. ظرفیت فتوسنتزی بالای ارقام، انتقال مواد غذایی به طرف دانه و هم‌چنین عرضه میزان ماده خشک از عواملی هستند که روی تعداد سنبله بارور اثر می‌گذارند (Zahedian et al., 2016). به‌نظر می‌رسد در این تحقیق رقم چمران ۲، به علت انعطاف‌پذیری در استفاده از شرایط و پتانسیل تولید توانست تعداد سنبله در واحد سطح بیش‌تری را نسبت به رقم کرخه تولید کند. براساس نتایج جدول مقایسه میانگین مشاهده شد که هر سه تنظیم‌کننده رشد مورد استفاده موجب افزایش تعداد سنبله در مترمربع در مقایسه با شاهد شدند. سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها شده و از این طریق باعث بهبود رشد و افزایش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه روی عملکرد و اجزای عملکرد اثر می‌گذارد (Shakirova and Bezrukova, 1997). برطبق یافته‌های صفا و یوسفی‌راد (Safa and Yousefirad, 2021) تغییر زاویه سنبلک‌ها در زمان گرده‌افشانی و اثر مثبت آن بر افزایش لقاح و باروری به دنبال کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند به ازدیاد تعداد سنبله منجر شود. سایر محققین نظیر احمد و همکاران (Ahmad et al., 2018) و بالاوندی (Balavandi, 2015) نیز به نقش مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد در افزایش تعدد سنبله در مترمربع اشاره نموده‌اند که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.

وزن هزار دانه

تجزیه واریانس مرکب دو ساله نشان داد که اثرهای سال، رژیم آبیاری، ارقام گندم و تنظیم‌کننده‌های رشد و برهمکنش رژیم آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن هزار دانه معنی-دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که وزن هزاردانه در سال ۱۳۹۶ به میزان ۱۱ درصد از سال ۱۳۹۷ بیش‌تر بود (جدول ۳). در بین ارقام زراعی، رقم چمران ۲ با میانگین ۳۵/۱ گرم بالاترین میزان وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد و نسبت به رقم دوروم کرخه به میزان ۶ درصد وزن هزاردانه بیش‌تری داشت (جدول ۳). هم‌چنین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری بر تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل و کاربرد سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید به‌دست آمد که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد به‌ترتیب حدود ۲۴/۵ و ۱۵/۵ درصد افزایش و تفاوت معنی‌دار با این تیمار داشتند (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده مبنی بر کاهش وزن هزار دانه گندم در شرایط تنش با نتایج مهربان و همکاران (Mehraban et al., 2019) مطابقت می‌نماید. این کاهش از آن‌جا ناشی می‌شود که تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز در گیاه شده و این خود باعث کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. هم‌چنین تنش خشکی انتقال مواد غذایی را از برگ‌ها به دانه‌ها کاهش می‌دهد (Qaseem et al., 2019). در شرایط مطلوب رطوبتی سالیسیلیک‌اسید وزن هزار دانه را افزایش داد اما در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، مصرف سالیسیلیک‌اسید توانست با بالابردن تحمل گیاه به شرایط تنش تا حدودی اثرات منفی تنش

خشکی در کاهش وزن هزار دانه در گیاه را بکاهد. در شرایط تنش، سالیسیلیک‌اسید از طریق اثر بر بیوسنتز اتیلن پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و از این طریق مدت زمان حفظ سطح برگ افزایش و به دنبال آن فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن افزایش یافته است (Sharifzadeh et al., 2013). وزن هزار دانه به خصوصیات ژنتیکی هر یک از ارقام بستگی دارد. در مطالعه حاضر رقم چمران ۲ به طور معنی‌داری بیش‌ترین وزن هزار دانه را در مقایسه با رقم کرخه تولید نمود. در این خصوص صالح روان و همکاران (Saleh Ravan et al., 2015) در گندم گزارش نمودند که رقم زاگرس سنگین‌ترین وزن هزار دانه را نسبت به سایر ارقام به خود اختصاص داد. سنگین‌تر بودن وزن هزار دانه در زاگرس مربوط به خصوصیات ژنتیکی آن برمی‌گردد که موجب اختصاص اسیملات بیش‌تری به دانه‌ها شده و در نتیجه منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌شود که نتایج این تحقیق را تأیید نمود.

عملکرد دانه

مشاهده شد که عملکرد دانه تحت اثر سال، تیمارهای رژیم آبیاری، ارقام گندم و تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل رژیم آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و هم‌چنین برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری در ارقام گندم در تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج (جدول ۷) در میان اجزای عملکرد بالاترین میزان همبستگی عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله ($r = 0.881^{**}$) و پس از آن تعداد سنبله در مترمربع ($r = 0.875^{**}$) بود. نتایج نشان داد که سال ۱۳۹۶ (با میانگین ۴۶۷۶/۲ کیلوگرم در هکتار) از عملکرد دانه بیش‌تری (به‌دلیل بالا بودن اجزای عملکرد در این سال) برخوردار بود

که نسبت به سال ۱۳۹۷ به میزان ۱۰ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد علت اختلاف عملکرد بین دو سال آزمایش بیش‌تر بودن میزان بارندگی در منطقه در سال اول آزمایش نسبت به سال دوم بود. بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد سالیسیلیک‌اسید در رقم چمران ۲ به‌دست آمد (که با تیمار آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد جاسمونیک‌اسید در رقم چمران ۲ تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد در رقم کرخه حدود ۱۵/۵ درصد افزایش و از نظر آماری تفاوت نشان داد (جدول ۵). کاهش عملکرد دانه تحت اثر تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل عقیم‌شدن دانه‌های گرده در زمان تنش و ایجاد حالت غیرعادی در فتوسنتز و کاهش انتقال مواد به دانه و در نتیجه کاهش وزن و عملکرد دانه باشد (Tabatabayi et al., 2013). در این تحقیق تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه به‌ترتیب به میزان ۱۵/۵ و ۷/۵ درصد شدند. در شرایط قطع آبیاری کاربرد سالیسیلیک‌اسید از طریق افزایش رشد و شاخص سطح برگ در گیاهان حاصله توانسته عملکرد دانه را در هر دو حالت آبیاری نرمال و تنش خشکی افزایش دهد (Popova et al., 2009). در همین راستا صداقت و امام (Sadaqat and Emam, 2016) اظهار داشتند اگرچه قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد و اجزای آن شد، لیکن محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد باعث جبران بخشی از کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی گردید که با نتایج این تحقیق

مطابقت داشت. از طرفی در این مطالعه بیش‌ترین عملکرد دانه از رقم چمران ۲ حاصل شد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که رقم چمران ۲ از نظر تولید دانه و به تبع آن اجزای عملکرد نسبت به رقم کرخه در جهت افزایش عملکرد و بالا بردن توان و پتانسیل گیاه در استفاده از شرایط و منابع جاری، توانایی بیش‌تری داشته است. براساس گزارش‌های شاکیروا و بزروکوا (Shakirova and Bezrukova, 1997) سالیسیلیک‌اسید بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش‌زا، اثر مثبت دارد در واقع سالیسیلیک‌اسید این عمل را از طریق توسعه واکنش‌های ضد تنش‌زایی، نظیر افزایش در تجمع پرولین، انجام می‌دهد و باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع استرس می‌شود. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز به نقش مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد در افزایش عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری اشاره دارد (Shemi et al., 2021). مطابق نتایج بدست آمده از تجزیه رگرسیون چند متغیره خطی به روش گام به گام (جدول ۶) مشاهده شد که $Y =$ عملکرد دانه تابعی از $X_1 =$ تعداد دانه در سنبه و $X_2 =$ وزن هزار دانه، $X_3 =$ تعداد سنبه در مترمربع می‌باشد که با وارد شدن این صفات به مدل رگرسیونی که به روش گام به گام انجام شد بر اساس معادله ذیل، این مدل حدود ۹۸/۸ درصد از تغییرات ناشی از عوامل متغیر را توجیه نمود. در این مدل تعداد دانه در سنبه، تعداد سنبه در مترمربع، وزن هزار دانه بر روی عملکرد دانه بسیار تأثیرگذار بودند و به ترتیب بیش‌ترین و کمترین تأثیر مستقیم و مثبت را تعداد دانه در سنبه و تعداد سنبه در مترمربع بر روی عملکرد دانه داشتند. مدل ریاضی رگرسیون نیز به صورت ذیل می‌باشد:

$$Y = 715.12 + 0.88 (X_1) + 0.67 (X_2) + 0.51 (X_3)$$

شاخص سطح برگ

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب، شاخص سطح برگ تحت اثر تیمارهای سال، ارقام و تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ در سال ۱۳۹۶ به میزان ۴ درصد از سال ۱۳۹۷ بیش‌تر بود (جدول ۳). براساس نتایج همبستگی معنی‌داری بین شاخص سطح برگ با تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که رقم چمران ۲ شاخص سطح برگ بالاتر را به خود اختصاص داد که نسبت به رقم دوروم کرخه حدود ۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، بیش‌ترین شاخص سطح برگ از کاربرد سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید و کم‌ترین شاخص سطح برگ از تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد می‌توان بالاتر بودن شاخص سطح برگ در رقم چمران ۲ را نسبت به رقم کرخه، تولید بیش‌تر بوته در واحد سطح، سطح برگ بیشتر و افزایش جذب نور در این رقم دانست که در نهایت افزایش شاخص سطح برگ را به‌دنبال دارد (Ranjbar and Alavifazel, 2017). در این پژوهش در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بیش‌ترین اثر را بر شاخص سطح برگ داشتند. به‌نظر می‌رسد استفاده از سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید باعث گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن و جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر به تولید بیش‌تر برگ و افزایش شاخص سطح برگ آن می‌شود. نتایج تحقیقی نشان داد که سالیسیلیک‌اسید با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب بهبود فتوسنتز و افزایش

شاخص سطح برگ می‌گردد (Shemi et al., 2021). در همین راستا بیدشکی و آروین (Bideshki and Arvin, 2010) بیان داشتند که افزایش در شاخص سطح برگ و توده گیاه به‌دنبال کاربرد سالیسیلیک‌اسید احتمالاً به دلیل تحریک و توسعه رشد ریشه و ساقه و در نتیجه جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی از خاک بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

شاخص کلروفیل

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب شاخص کلروفیل تحت اثرهای سال، رژیم آبیاری، ارقام و تنظیم‌کننده‌های رشد و برهم‌کنش رژیم آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که سال ۱۳۹۶ با میانگین ۴۹/۵ از شاخص کلروفیل بیش‌تری برخوردار بود که نسبت به سال ۱۳۹۷ به میزان ۶ درصد افزایش یافت (جدول ۳). مشاهده می‌شود که شاخص کلروفیل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه است که هر چه میزان کلروفیل بیشتر شود (البته تا یک میزان مشخص)، بر میزان فتوسنتز گیاه افزوده خواهد شد (جدول ۷).

بیش‌ترین شاخص کلروفیل از رقم چمران ۲ به‌دست آمد که نسبت به رقم کرخه ۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری بر تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که بیش‌ترین شاخص کلروفیل در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل و کاربرد سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید به‌دست آمد که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۱۳/۶ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۴). در این تحقیق حداکثر شاخص کلروفیل در طول فصل

فعالیت آنزیم کاتالاز

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول ۲) اثر رژیم آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد و برهم‌کنش رژیم آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد بر میزان فعالیت کاتالاز معنی‌دار بود. در بین ارقام زراعی رقم چمران ۲ با میانگین ۱۰۹/۲۶ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز و کم‌ترین فعالیت این آنزیم به رقم دوروم کرخه اختصاص یافت، اگرچه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). نتایج جدول همبستگی نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فعالیت آنزیم کاتالاز با شاخص کلروفیل و عملکرد دانه مشاهده نشد (جدول ۷). هم‌چنین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و کاربرد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد به‌ترتیب حدود ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۴). کاتالاز آنزیمی با وزن مولکولی بالا و با ساختار پلیمری در پراکسیزوم مستقر است و هنگامی در سلول‌های گیاهی وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد (Gill and Tuteja, 2010). فزونی پراکسید هیدروژن ممکن است مانع فعالیت پراکسیداز شود، لذا فعالیت کاتالاز به احتمال زیاد در جهت نگهداری فعالیت پراکسیداز تحت تنش شدید می‌باشد (Ashraf, 2010). به نظر می‌رسد که سالیسیلیک‌اسید سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدان را طی تنش‌های محیطی در بهبود پاسخ گیاه به تنش تنظیم می‌کند که در ایجاد تحمل در برابر

رشد، به تیمار آبیاری کامل به دلیل تأمین مناسب آب و مواد غذایی و عدم ایجاد بیماری‌ها اختصاص یافت، زیرا به‌نظر می‌رسد در این شرایط گیاه با تولید حجم سبزینه ای بالا توانسته شاخص کلروفیل بالایی تولید نماید که این امر باعث سبزمانی بیشتر برگ و در نتیجه دوام سطح برگ می‌گردد. برگ‌هایی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند دوام بیشتری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع در آن‌ها افزایش می‌یابد که این نتایج با یافته‌های لیندکوئیست و همکاران (Lindquist et al., 2005) مطابقت داشت.

از طرفی تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ و کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت-های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی به خصوص، کلروفیل‌ها می‌گردد (Kilic and Yagbasanlar, 2010). تنش آبی در مرحله زایشی، اثرهای منفی بسیاری بر گیاه خواهد داشت اما، مشخص شد که استفاده از سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید می‌تواند تا حدودی از اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد بکاهد. سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل نموده و از آسیب به رنگدانه‌ها به ویژه کلروفیل جلوگیری می‌کند به طوری که گزارش شده است سالیسیلیک‌اسید از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش خشکی شده است (Khan et al., 2003).

در ارتباط با افزایش شاخص کلروفیل با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش خشکی گزارشات مختلفی توسط حبیب‌پور و همکاران (Habibpor et al., 2016) ارائه شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

شرایط تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع و شاخص سطح برگ در گندم تقریباً در تمام تنظیم‌کننده‌های رشد دیده شد. به گونه‌ای که تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه به ترتیب به میزان ۱۵/۵ و ۷/۵ درصد شدند. همچنین هر دو رقم مورد بررسی چمران ۲ و کرخه در مرحله پرشدن دانه به تنش خشکی حساس بوده و هم زمانی تنش با این مرحله از رشد گیاه، باعث ایجاد خسارت به محصول می‌شود. در این تحقیق کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید اثرات تنش خشکی را بر صفات کاتالاز، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه جبران کردند. در شرایط تنش خشکی با کاربرد سالیسیلیک‌اسید عملکرد دانه به میزان ۹۲/۵ درصد نسبت به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید (۴۰۶۵ کیلوگرم در هکتار) افزایش نشان داد. به طور کلی برای افزایش رشد و عملکرد در شرایط مطلوب و کاهش افت در شرایط تنش، استفاده از تنظیم‌کننده سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در رقم چمران ۲ در منطقه اهواز و مناطق مشابه از نظر آب و هوایی قابل توصیه است.

تنش خشکی در گیاهان مؤثر است (Hayat et al., 2010). در همین راستا آگاروال و همکاران (Agarwal et al., 2005) گزارش کردند که محلول پاشی یک میلی مولار سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه گندم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شد. از طرفی آنانیوا و همکاران (Ananieva et al., 2004) بیان داشتند که تیمار سالیسیلیک‌اسید به تنهایی باعث افزایش فعالیت کاتالاز به میزان ۱۷ درصد در مقایسه با تیمار شاهد گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد سالیسیلیک‌اسید در رقم چمران ۲ به دست آمد (که با تیمار آبیاری کامل تا پایان فصل با کاربرد جاسمونیک‌اسید در رقم چمران ۲ تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد در رقم کرخه حدود ۱۵/۵ درصد افزایش نشان داد. هرچند بیش‌ترین نتایج مثبت کاربرد استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط آبیاری کامل حاصل شد، لیکن، اثر تعدیل‌کنندگی آنها در

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of field's soil

سال زراعی Farming year	عمق خاک Depth of soil (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	مواد آلی Organic Matter (%)	هدایت الکتریکی EC(dc.m ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg)	پتاسیم K (mg.kg)
۱۳۹۶-۹۷	0-30	Clay Silty	7.5	0.88	3.92	0.07	10.35	174
۱۳۹۷-۹۸	0-30	Clay Silty	7.3	0.91	3.71	0.05	11	180.1

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در گندم در دو سال آزمایش

Table 2- Composite variance analysis of studied traits in wheat in two years of experiment

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed Yield	تعداد سنبله در مترمربع Spikes/m ²	وزن هزار دانه 1000-grain weight
تکرار سال Year (Y)	1	90.48**	131.2 *	115.11 ns	155.28 *
(سال) تکرار (Year)*Replication	4	3.02	9.17	640.1	14.31
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	1	6101183 **	409251*	507.2 ns	7620.1 *
رژیم آبیاری*سال Y*I	1	921.4 ns	1563.2 ns	638.9 ns	21.1 ns
خطای کرت‌های اصلی (Main plots error)	4	15731.6	18044	2961.2	180.3
ارقام Varieties (V)	1	8215080**	316450*	113584*	634.2**
سال*ارقام Y*V	1	1005.1 ns	269.9 ns	427.31 ns	0.01 ns
رژیم آبیاری*ارقام I*V	1	1604.25 ns	93 ns	384 ns	43.7 ns
سال*ارقام*رژیم آبیاری Y*V*I	1	3018.4 ns	101.5 ns	416.3 ns	70.16 ns
خطای کرت‌های فرعی (Sub-plots error)	8	11359.1	18039.42	2208.8	135.65
تنظیم‌کننده‌های رشد Growth regulators (G)	3	964077**	267531**	74362.3**	928.7**
سال*تنظیم‌کننده‌های رشد Y*G	3	821.4 ns	714.2 ns	290.82 ns	16.4 ns
رژیم آبیاری*تنظیم‌کننده‌های رشد I*G	3	2276430**	825709**	157.1 ns	1002.3 **
سال*رژیم آبیاری*تنظیم‌کننده‌های رشد Y*I*G	3	1981.7 ns	810.6 ns	198.64 ns	22.4 ns
ارقام*تنظیم‌کننده‌های رشد V*G	3	1169.11 ns	282.2 ns	33.75 ns	12.2 ns
سال*ارقام*تنظیم‌کننده‌های رشد Y*V*G	3	2812.5 ns	500.4 ns	94.03 ns	20.06 ns
رژیم آبیاری*ارقام*تنظیم‌کننده‌های رشد I*V*G	3	303581.2**	109631.5**	201.8 ns	51.27 ns
سال*رژیم آبیاری*ارقام*تنظیم‌کننده‌ها Y*I*V*G	3	466.3 ns	628.4 ns	392.5 ns	11.83 ns
خطای کرت‌های فرعی (Sub sub plots error)	48	9641.7	6500	1621.01	35.14
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	7	18.13	9.42	17.40

ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** no significant differences, significant at the 5 and 1% probability level, respectively.

ادامه جدول ۲
Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کاتالاز Catalase
تکرار سال Year (Y)	1	1.39**	3.57*	1.04 ^{ns}
(سال) تکرار (Year)*Replication	4	0.04	0.19	3.61
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	1	5.2 ^{ns}	866.3*	7501.2**
رژیم آبیاری*سال Y*I	1	6.1 ^{ns}	2.05 ^{ns}	0.28 ^{ns}
خطای کرت های اصلی (Main plots error)	4	9.6	54.06	139.5
ارقام Varieties (V)	1	39.6*	559.2**	3.1 ^{ns}
سال*ارقام Y*V	1	0.1 ^{ns}	0.04 ^{ns}	10.66 ^{ns}
رژیم آبیاری*ارقام I*V	1	0.03 ^{ns}	11.6 ^{ns}	15.4 ^{ns}
سال* رژیما*ارقام Y*V*I	1	1.9 ^{ns}	15.64 ^{ns}	28.75 ^{ns}
خطای کرت های فرعی (Sub-plots error)	8	4.51	48.66	102.18
تنظیم کننده های رشد Growth regulators (G)	3	60.33**	1025.3**	5129.76**
سال* تنظیم کننده های رشد Y*G	3	0.87 ^{ns}	21.5 ^{ns}	16.44 ^{ns}
رژیم آبیاری* تنظیم کننده های رشد I*G	3	0.04 ^{ns}	922.4**	6008.2**
سال* رژیم آبیاری* تنظیم کننده های رشد Y*I*G	3	0.79 ^{ns}	16.8 ^{ns}	30.12 ^{ns}
ارقام* تنظیم کننده های رشد V*G	3	0.14 ^{ns}	0.3 ^{ns}	2.65 ^{ns}
سال* ارقام* تنظیم کننده های رشد Y*V*G	3	0.22 ^{ns}	1.61 ^{ns}	45.01 ^{ns}
رژیم آبیاری* ارقام* تنظیم کننده های رشد I*V*G	3	0.05 ^{ns}	27.2 ^{ns}	20.36 ^{ns}
سال* آبیاری* ارقام* تنظیم کننده ها Y*I*V*G	3	0.06 ^{ns}	30.9 ^{ns}	52.05 ^{ns}
خطای کرت های فرعی فرعی (Sub sub plots error)	48	1.01	40.11	85.09
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	20	13.19	8.53

ns غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال خطای ۵٪ و ۱٪.
ns, * and ** no significant differences, significant at the 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر سال، رژیم آبیاری، ارقام و تنظیم‌کننده‌های رشد
Table 3- Mean comparison of traits under year, irrigation regime, cultivars and growth regulators

تیمارها Treatment	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	تعداد سنبله در مترمربع Spikes/m ²	وزن هزاردانه 1000- grain weight(g)	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کاتالاز Catalase (Unit.mg ¹ Protein)
سال Year							
2017	14411.1 a	4676. 2 a	431.02 a	36.01a	5 a	49.5 a	114.1a
2018	13845 b	4215 b	424.29 a	32.11b	4.8 b	46.63 b	103.04a
رژیم آبیاری Irrigation regime							
آبیاری کامل Full irrigation	14552 a	4903.3a	430.01 a	37.11 a	5.03a	51.31 a	90.63 b
قطع آبیاری در مرحله پاشیدن دانه Stop irrigation in the stage of seed filling	13704. b 6	3987.4b	425.3 a	31.02 b	5 a	44.82 b	126.52 a
ارقام Varieties							
چمران ۲ Chamran 2	14350. 8 a	4728 a	442.12 a	35.1 a	5.15a	50.1 a	109.26 a
کرخه Karkheh	13905. b 2	4163.2b	413.18 b	33.03 b	4.88b	46.02 b	107.74 a
تنظیم‌کننده‌های رشد growth regulators							
شاهد Control	13400. 6 c	3800.2c	402.58 c	30 c	4.76c	42.02c	89.08 c
جاسمونیک اسید Jasmonic acid	14433. 1 a	4761.2ab	430.03 b	36.21 a	5.04ab	51.42a	115.03 ab
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	14600. 5 a	4880. 1a	460.2 a	38.03 a	5.28 a	52.01 a	117.16 a
سایتوکینین Cytokinin	14081. b 2	4342.3b	417.8 bc	32.01 b	4.98 b	46.79 b	113.1 b

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.
 Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 4- Mean comparison of traits under interaction of irrigation regime × growth regulators

رژیم آبیاری Irrigation regime	تنظیم‌کننده‌های رشد growth regulators	وزن هزار دانه 1000-grain weight(g)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کاتالاز Catalase (Unit.mg ¹ Protein)
آبیاری کامل Full irrigation	شاهد Control	34.13 bc	48.6 b	91.6 e
	جاسمونیک اسید Jasmonic acid	38.04ab	50.7a	cd 103.5
	سالیسیلیک اسید Salicylic acid	40.1 a	51.83 a	105.46 cd
	سایتوکینین Cytokinin	b 36.2	49.47 ab	98.24 d
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه Stop irrigation in the stage of seed filling	شاهد Control	31 cd	43.8 c	110.06 c
	جاسمونیک اسید Jasmonic acid	33.11 bc	46.55 b	119.32 ab
	سالیسیلیک اسید Salicylic acid	34.14 bc	47.66 b	121.01 a
	سایتوکینین Cytokinin	32.05c	45.5 bc	b 116.4

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری × ارقام × تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 5- Mean comparison of traits under interaction of irrigation regime × varieties × growth regulators

رژیم آبیاری Irrigation regime	ارقام Varieties	تنظیم‌کننده‌های رشد growth regulators	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)
آبیاری کامل Full irrigation	چمران ۲ Chamran 2	شاهد Control	14293 b	4552 bc
		جاسمونیک اسید Jasmonic acid	14487 a	4765 a
		سالیسیلیک اسید Salicylic acid	14528 a	4803 a
		سایتوکینین Cytokinin	14416 ab	4724 ab
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه Stop irrigation in the stage of seed filling	کرخه Karkheh	شاهد Control	14236.6 b	4512 c
		جاسمونیک اسید Jasmonic acid	14343. 1 ab	4603.1 b
		سالیسیلیک اسید Salicylic acid	14362 ab	4689.7ab
		سایتوکینین Cytokinin	14301 b	4584 b
	چمران ۲ Chamran 2	شاهد Control	13781 d	4101 ef
		جاسمونیک اسید Jasmonic acid	13962 c	4360.5 d
		سالیسیلیک اسید Salicylic acid	14002 c	4402 d
		سایتوکینین Cytokinin	13940 c	4301 de
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه Stop irrigation in the stage of seed filling	کرخه Karkheh	شاهد Control	13703 de	4065 f
		جاسمونیک اسید Jasmonic acid	13852 cd	4237 de
		سالیسیلیک اسید Salicylic acid	13901 cd	4252 de
		سایتوکینین Cytokinin	13812 d	4194. 1 e

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

جدول ۶- مراحل رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل

Table 6- Step-by-step regression steps for grain yield as a function variable and other traits as an independent variable

متغیر اضافه شده به مدل Variable added to the model	مراحل رگرسیون گام به گام Step-by-step regression step		
	1	2	3
Constant number عدد ثابت	482.05	591.22	715.12
Grains/Spikes تعداد دانه در سنبله	0.42**	0.73**	0.88**
1000-grain weight وزن هزار دانه		0.54**	0.67**
Spikes/m ² تعداد سنبله در مترمربع			0.51**
Explanatory coefficient	67.38	70.23	98.8

* و **: ضرایب رگرسیون گام به گام به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار را نشان می‌دهد.

The step-by-step regression coefficients in the last step are significant at the probability levels of 1% (step 1) and 5% (step 2).

جدول ۷- همبستگی میان صفات

Table 7- Correlation between measured traits

Traits	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تعداد سنبله در مترمربع Spikes/m ²	تعداد دانه در سنبله Grains/Spikes	وزن هزار دانه 1000-grain weight	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.829**						
تعداد سنبله در مترمربع Spikes/m ²	0.875*	0.914**					
تعداد دانه در سنبله Grains/Spikes	0.881**	0.910**	0.933**				
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.242 ^{ns}	0.888**	0.851**	0.846**			
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.934**	0.861**	0.752**	0.821**	0.766**		
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	0.981**	0.811**	0.704**	0.799**	0.741**	0.833**	
کاتالاز Catalase	0.253 ^{ns}	0.870**	0.189 ^{ns}	0.775**	0.659**	0.802**	0.21 ^{ns}

^{ns}, *, ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

^{ns}, * and **: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

References

منابع مورد استفاده

- Agarwal, S.K.R., G.C. Sairam, T. Srivastava, C.R. Aruna, and R. Meena. 2005. Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. *Plant Science*. 169: 559-570.
- Ahmad, H., I. Khan, W. Liaqat, M. Faheem Jan, and M. Dawood Ahmadzai. 2018. Effect of salicylic acid on yield and yield components of maize under reduced irrigation. *International Journal of Environmental Science and Natural Resources*. 9(3): 1-5.
- Ananieva, A.E., L.P. Christov, and D. Popova. 2004. Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to paraquat. *Journal of Plant Physiology*. 161: 319-328.
- Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*. 28: 169-183.
- Balavandi, S. 2015. Investigating the effect of salicylic acid on the yield and some yield components of wheat and reducing the effects of drought stress. The Second National Congress of Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science of Iran - 2015.
- Bideshki, A., and M.J. Arvin. 2010. Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. *Plant Ecophysiology*. 2: 73-79.
- Boominathan, R., and P.M. Doran. 2002. Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*. *Newphytologist*. 156: 205-215.
- Ghatei, A., A. Bakhshandeh, A. Abdali Mashhadi, S.A. Siadat, K. Alami saeid, and M. Gharineh. 2015. Effect of different nitrogen levels and cytokinin foliar application on yield and yield components of wheat at terminal heat stress conditions in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*. 5(16): 107-97. (In Persian)
- Gill, S.S., and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48: 909-930.
- Habibpor, S.S., A. Naderi, Sh. Lak, H. Faraji, and M. Mojaddam. 2016. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of sweet corn hybrids under water stress conditions. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 8(3): 522-543.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. 68: 14-25.
- Jiriaei, M., A. Fateh, and A. Aineband. 2013. Evaluation of the effect of mycorrhiza and azospirillum on some characteristics of wheat cultivars in the establishment stage. *Agricultural Plant Production Journal*. 7(1): 62-45. (In Persian).
- Karimzadeh Soureshjani, H.A., Y. Emam, and S. Moori. 2012. Effect of post-anthesis drought stress on yield, yield components and canopy temperature of bread wheat cultivars. *Journal of Plant Process and Function*. 1(1): 38-58. (In Persian).
- Khan, W., B. Prithviraj, and D. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*. 160: 485-

492.

- Khatiwada, A., I. Neupane, B. Sharma, N. Bhetwal, and B. Pandey. 2020. Effects of drought stress on yield and yield attributing characters of Wheat: A Review. *Agriways*. 8 (2): 115-121.
- Kilic, H., and T. Yagbasanlar. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(1): 164-170.
- Koocheki, A., and Gh. H. Sarmadnia. 2008. Plant Physiology (translation). Mashhad Academic Publications. 467p. (In Persian).
- Lindquist, J.L., J.T. Arkebauer, T.D. Walters, G.K. Cassman, and A. Dobermann. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*. 97:72-78.
- Madadi, A., and S.A. Fallah. 2018. The effect of proline and salicylic acid on physiological parameters and yield of silage maize under different moisture regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 8(1): 15-29. (In Persian).
- Mehraban, A., A. Tobe, A. Gholipouri, E. Amiri, A. Ghafari, and M. Rostaii. 2019. The Effects of drought stress on yield, yield components, and yield stability at different growth stages in bread wheat cultivar (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 28(2): 739-746.
- Modhaj, A., A. Emam, and A. Aineband, A. 2011. The effect of nitrogen levels on the rate of origin limitation and the distribution pattern of photosynthetic substances to the grain of wheat genotypes under the conditions of end-of-season heat stress. *Iran Agricultural Research Journal*. 3(9): 485-474. (In Persian).
- Mousavoey, M., S. Jahanbakhshgade-Kahriz, M. Modaresi, Q. Parmoon, A. Ebadi, and M.A. Kohan mo. 2021. Effect of salicylic acid and jasmonic acid on yield and yield components of Milk thistle under heat stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 34(4): 1-14. (In Persian)
- Popova, L.P., L.T. Maslenkova, R.Y. Yordanova, A.P. Ivanova, A.P. Krantev, G. Szalai, and T. Janda. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology Biochemical*. 47: 224-231.
- Qaseem, M.F., R. Qureshi, and H. Shaheen. 2019. Effects of pre-anthesis drought, heat and their combination on the growth, yield and physiology of diverse Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes varying in sensitivity to heat and drought stress. *Scientific Reports*. 9:6955.
- Radwan, F. I., M.A. Gomaa, I.F. Rehab, N. Samera, and I.A. Adam. 2015. Impact of humic acid application foliar micronutrients and biofertilization on growth, production and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Middle East Journal of Agriculture research*. 4(2): 130-140.
- Rajaei, M., S. Tahmasabi, M.J. Bidadi, K. Zare, and Sh. Sarafrazi. 2014. The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. *Cereal Research*. 5(4): 352-341. (In Persian).
- Ranjbar, M., and M. Alavifazel. 2017. The effect of heat stress on yield and yield components and dry matter transfer of wheat cultivars in Ahvaz. Master's thesis.

Islamic Azad University of Ahvaz. 146 pages.

- Rivas-San Vicente, M., and J. Plasencia. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*. 62(10): 3321-3338.
- Sadaqat, M.A., and Y. Emam. 2016. Effect of application of plant growth regulators on growth and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(2): 147-132. (In Persian).
- Safa, H., and M. Yousefirad. 2021. Effect of foliar application of salicylic acid and selenium on yield and yield components of dry land wheat. *Cereal Research*. 11(1): 41-31. (In Persian).
- Saleh Ravan, M., S. Galshi, A. Zainli, R.A. Mohammadi, and A. Rahmikirizki. 2015. Investigating the effect of genotype and planting date on yield and yield components of wheat under rainfed conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*. 3(1): 105-89. (In Persian).
- Shakirova, F.M., and M.V. Bezrukova. 1997. Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. *Biology Bulletin*. 24: 109–112.
- Sharifzadeh, M., A. Naderi, S. Ata Siadat, and T. Sakinejad. 2013. Effect of salicylic Acid on wheat yield and its components under drought stress. *Advances in Environmental Biology*. 7(4):629-635.
- Shemi, R., R. Wang, E.S. Gheith, H.A. Hussain, S. Hussain, M. Irfan, L. Cholidah, K. Zhang, S. Zhang, and L. Wang. 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*. 11: 3195- 3204.
- Tabatabayi, S.A., A. Shakri, and M. Shahidi. 2013. Investigating yield changes, yield components and some physiological characteristics of barley genotypes under irrigation stress conditions. *Crop Physiology Journal*. 5(18): 115-101. (In Persian).
- Wang, J., L. Song, X. Gong, J. Xu, and M. Li. 2020. Functions of Jasmonic Acid in Plant Regulation and Response to Abiotic Stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(1446): 1-17.
- Wani, S.H., V. Kumar, V. Shriram, and S.K. Sah. 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*. 4(3): 162-176.
- Werner, T., E. Nehnevajova, I. Köllmer, O. Novák, M. Strnad, U. Kramer, and T. Schmülling. 2010. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in Arabidopsis and tobacco. *The Plant Cell*. 22(12): 3905-3920.
- Zahedian, M., M. Alavi Fazel, and A.L. Aine. 2016. The effect of planting dates on the performance of bread wheat cultivars in Ahvaz weather conditions. The second national conference on non-active defense in agriculture, natural resources and environment with a sustainable development approach, Tehran, Mehr Arvand Institute of Higher Education, Center for Sustainable Development Solutions. (In Persian).

•
Research Article

DOI:

The Effect of Growth Regulators on Quantitative Yield and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars under Irrigation Regime

Nilofar Maheri¹, Tayeb saki Nejad², Adel Modhej^{3*}, Mohammadreza Dadnia² and Seyed Keivan Marashi²

Received: March 2022, Revised: 3 March 2023, Accepted: 29 April 2023

Abstract

In order to investigate the effect of growth regulators on grain yield and some physiological traits of wheat cultivars under irrigation regime, a double split plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications, in the research farm of Ahvaz Islamic Azad University during the cropping years of 2016-17 and 2017-18. The main factor of irrigation regime in 2 levels included: irrigation until the end of the season and interruption of irrigation in the stage of seed filling. Bread wheat cultivars in 2 levels included: Chamran 2 and Durum Karkhe in the sub-plot and growth regulators in 4 levels included: no growth regulator (control), jasmonic acid, salicylic acid and cytokinin in the sub-plot. The results of composite variance analysis showed that the triple interaction of irrigation regime, cultivar and growth regulators on grain yield and biological yield was significant. The highest seed yield (4803 kg.ha^{-1}) was related to full irrigation treatment and application of salicylic acid in Chamran 2 variety. Although the grain yield has decreased by 15.5% due to the interruption of irrigation in the seed filling stage, but the application of salicylic acid was able to compensate to some extent the negative effect of drought stress on grain yield. Also, the interaction of drought stress at the end of the season and growth regulator on thousand seed weight, chlorophyll index, catalase enzyme and leaf area index was significant. Although drought stress caused a decrease in wheat yield, growth regulators partially compensated for the decrease in yield caused by drought. In general, to increase growth and yield in favorable conditions and to reduce losses in stressful conditions, it is recommended to use salicylic acid regulator in Chamran 2 variety in Ahvaz region and similar regions in terms of climate.

Key words: 1000-Seed weight, Bread wheat, Catalase, Cytokinin, Jasmonic acid, Salicylic acid.

¹ Ph.D. Student, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

²- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

³- Associate Professor, Department of Agronomy, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran.

*Corresponding Authors: adel.modhej@yahoo.com