

پاسخ اجزای عملکرد و عملکرد دانه چهار رقم گندم به کند کننده رشد سایکوسل در شرایط تنش آبی انتهای فصل

ملیحه برزگری^۱، یحیی امام^{۲*} و افشین زمانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۴)

چکیده

این پژوهش به منظور پاسخ عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) چهار رقم گندم به کند کننده رشد سایکوسل در شرایط تنش آبی انتهای فصل اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح تنش آبی (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی)، محلول‌پاشی سایکوسل در دو سطح (غلظت‌های صفر و ۴ گرم در لیتر) و چهار رقم گندم (سیروان-بهاران-وارداتی و افق) بود. تنش آبی سبب کاهش تعداد دانه در سنبله (۱۹ درصد)، وزن هزاردانه (۱۴ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۲۲ درصد)، عملکرد دانه (۲۹ درصد) و شاخص NDVI (۱۷ درصد) در ارقام گندم شد. از طرفی محلول‌پاشی سایکوسل موجب جبران بخشی از این کاهش در ویژگی‌های تعداد سنبله در متر مربع (۱۸ درصد)، تعداد دانه در سنبله (۲۹ درصد)، وزن هزاردانه (۶ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۱۱ درصد)، عملکرد دانه (۱۷ درصد) و شاخص NDVI (۵ درصد) شد. رقم‌های افق و سیروان در شرایط تنش آبی انتهای فصل در صورت کاربرد سایکوسل در بیشتر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برتری داشتند. با توجه به نقش تعدیل‌کنندگی سایکوسل در کاهش اثرات منفی تنش آبی انتهای فصل و افزایش سبزمانی، می‌توان کاربرد این تنظیم‌کننده را در شرایط مشابه با پژوهش حاضر توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: سبزمانی، قطع آبیاری، تنظیم‌کننده رشد، سایکوسل، شاخص NDVI

۱ و ۲. به ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری و استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Yaemam@shirazu.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی است و در مساحت وسیعی از زمین‌های کشاورزی جهان کشت می‌شود. معروف است که این گیاه زراعی هر روز در نقطه‌ای کاشت و همان روز در نقطه‌ای دیگر برداشت می‌شود. این امر حاکی از توانایی سازش بسیار زیاد این گیاه با اقلیم‌های گوناگون است. این گیاه در ایران نیز از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی است؛ که افزایش عملکرد آن مورد توجه بوده و از نظر اقتصادی و تأمین امنیت غذای از اهمیت بسیاری برخوردار است. بخش زیادی از زمین‌های زیر کشت گندم در ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. در این مناطق، به علت کمبود منابع آب و در نتیجه بروز تنش برای گیاه، عملکرد گندم به شدت کاهش می‌یابد. به همین دلیل در ایران، تنش خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده تولیدات زراعی مطرح است و برای حصول عملکرد مناسب، گیاهان زراعی باید قادر به تحمل این دوره خشکی باشد (۸، ۱۱ و ۱۸). اثر تنش آبی بر عملکرد غلات، بستگی به زمان، مدت و شدت تنش دارد. پاسخ گیاهان به تنش آبی دارای سازوکار پیچیده‌ای است که شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به کل فرایندهای متابولیسم گیاه و تأثیر آن بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فنولوژیک است (۷ و ۱۷). تنش آبی اغلب در طول دوره پرشدن دانه در گندم اتفاق می‌افتد و باعث کاهش محصول در بیشتر مناطق تحت کشت در دنیا می‌شود (۳۳ و ۴۲).

امروزه نقش سنجش از دور در تشخیص، ارزیابی و مدیریت تنش آبی بسیار مهم تلقی می‌شود زیرا اطلاعات مختلفی را در مقیاس‌های زمانی و مکانی ارائه می‌دهند که در صورت استفاده از روش‌های سنتی نیاز به صرف زمان و هزینه‌های زیادی است. شاخص پوشش گیاهی (Vegetation index) مورد توجه بسیاری از دانشمندان به عنوان یکی از پارامترهای مهم در نقشه‌برداری مزارع کشاورزی، برآورد محاسبه زیست توده، عملکرد محصول، تعیین میزان بنیه

گیاهی و سبزمانی گیاهی، قرار گرفته است (۴۵). گرچه انواع مختلفی از شاخص‌های پوشش گیاهی وجود دارند، لیکن شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI, normalized difference vegetation index) نسبت به سایر شاخص‌های رایج ساده‌تر و کارآمدتر است (۴۵). با استفاده از داده‌های NDVI، تغییرات پوشش گیاهی و همچنین نحوه پیش روی شدت تنش خشکی قابل بررسی است. بین سبزمانی گیاه و شاخص NDVI رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد (۲۱). سبزمانی بیشتر بدان معناست که بخش‌های سبز سایه‌انداز گیاهی برای مدت طولانی‌تری حفظ شده و عملکرد بیولوژیک و دانه بهبود می‌یابد (۴۵). لویز و رینولد (۲۷) در پژوهشی گزارش کردند که در شرایط خشکی، عملکرد گندم با شاخص NDVI و سبزمانی رابطه مثبت و با سرعت مسن شدن برگ‌ها رابطه منفی دارد.

با وجود دستاوردهای مهم در جهت درک پاسخ‌های فیزیولوژیک و مولکولی گندم به کمبود آب، هنوز فاصله زیادی بین عملکرد در شرایط مطلوب و شرایط تنش آبی وجود دارد. لذا، نیاز به کاربرد روش‌های دیگری مانند استفاده از مواد تنظیم کننده رشد نظیر سایکوسل به نظر می‌رسد (۱۷). در اوایل دهه ۱۹۰۰، این جمله که «بدون مواد رشد گیاهی، رشدی وجود ندارد» معروف شد (۴). امروزه به طور کلی پذیرفته شده است که مواد رشد گیاهی در سراسر زندگی گیاهان یک نقش تنظیم‌کنندگی به عهده دارند. تنظیم کننده‌های رشد، مواد شیمیایی ساخته شده یا طبیعی هستند که به طور مستقیم با هدف تغییر برخی فرایندهای ساختاری گیاه زراعی به کار می‌روند؛ انتظار می‌رود که این مواد تعادل هورمون‌ها و رشد را در گیاه بهبود بخشیده منجر به افزایش عملکرد، بهبود کیفیت محصول و یا تسهیل در برداشت گیاه زراعی شوند. سایکوسل یکی از مشتقات کولین است که به شکل کریستال و قابل حل در آب بوده و از آن به عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی استفاده می‌شود. سایکوسل یا کلرومکوات کلراید از گروه ترکیبات آمونیومی بوده و از پرمصرف‌ترین کند کننده‌های رشد گیاهی است که

هکتار با غلظت چهار گرم در لیتر و آب مقطر به جای شاهد) و چهار رقم گندم (سیروان- بهاران- وارداتی و افق) بود. دو سطح آبیاری بدون تنش و قطع آبیاری پس از گلدهی (ZGS=۶۰) به عنوان عامل اصلی، دو سطح محلول پاشی تنظیم کننده رشد (۱۵۰۰ گرم ماده تجاری در هکتار با غلظت چهار گرم در لیتر و آب مقطر به جای شاهد) به عنوان عامل فرعی و نیز عامل فرعی شامل چهار ژنوتیپ گندم در نظر گرفته شد. بذر ژنوتیپ‌های گندم (شامل سیروان- بهاران- وارداتی و افق) از آزمایشگاه غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه شد (جدول ۱).

محلول پاشی تیمار سایکوسول (۱۲، ۱۶ و ۳۶) و آب مقطر (تیمار شاهد) در مرحله پایان پنجه زنی (۱۲، ۱۶ و ۲۵) زمانی که سنبله اولیه در مرحله برجستگی دوگانه (۴۹) ZGS30 (Zadoks Growth Stage= 30) بود، بر مبنای تشریح بوته‌های نماینده مزرعه، به صورت شاخساره‌ای، در هوای آرام با استفاده از یک دستگاه محلول پاش دقیق دستی با فشار ثابت انجام گرفت. نمونه برداری مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش تعیین شد (جدول ۲).

عملیات تهیه بستر بذر شامل شخم با گاواهن برگردان دار و دو دیسک عمود برهم و سپس تسطیح و کرت بندی زمین زراعی در اول آبان ماه هر سال بود. پس از آماده سازی ۴۸ کرت آزمایشی، در سال اول هر کرت دارای ۱۰ خط و در سال دوم ۸ خط کشت بود. بذرها به صورت یکنواخت در عمق ۳-۵ سانتی متری و فاصله روی خط کشت ۲ سانتی متری به صورت دستی کشت شدند. فاصله خط‌ها ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. کاشت در نیمه آبان ماه هر سال با تراکم ۲۵۰ بوته در هر متر مربع انجام شد. میزان کود فسفر بر حسب ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار محاسبه شد و پیش از کاشت به خاک اضافه شد.

کود نیتروژن بر مبنای ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره تأمین شد و طی سه مرحله، یک سوم در زمان کاشت، یک سوم

برای کاهش خوابیدگی بوته و کنترل رشد رویشی گیاهان زراعی به ویژه غلات کاربرد فراوانی دارد (۱۵، ۱۶ و ۴۲).

اثر مثبت سایکوسول بر افزایش عملکرد دانه و اجزای آن در گزارش‌های برخی پژوهشگران در گیاهان خانواده غلات از جمله در گندم (۱۵)، جو (۲۵ و ۲۹) و یولاف (۴۰) وجود دارد. در غلاتی نظیر گندم و جو، کاربرد سایکوسول در مرحله برجستگی دوگانه موجب افزایش پنجه بارور و در نتیجه افزایش سنبله، تعداد سنبلک‌های بارور و تعداد دانه و در برخی موارد وزن دانه شده است (۳۵). با این حال پژوهش‌های بسیاری (۱۶، ۱۹ و ۲۹) نشان دادند که تعداد دانه بخش اصلی و مهم در افزایش عملکرد دانه در پاسخ به سایکوسول شد. در حقیقت اثر سایکوسول هم از راه افزایش تعداد پنجه بارور در هر بوته و هم از راه ازدیاد تعداد دانه در سنبله صورت می‌گیرد و نتیجه آن تولید تعداد دانه بیشتری است (۳۵ و ۴۱). پژوهشگران متعددی ازدیاد عملکرد دانه در گندم (۲، ۲۶ و ۴۴) و جو (۶، ۱۳ و ۲۵) را در نتیجه ازدیاد تعداد دانه گزارش کرده‌اند.

با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد تأثیر مثبت سایکوسول بر عملکرد دانه گندم به ویژه در شرایط تنش آبی انتهای فصل، مطالعه حاضر با هدف درک واکنش‌های عملکرد دانه و سبزمانی چهار ژنوتیپ گندم (سیروان- افق- بهاران- وارداتی) به کاربرد سایکوسول در شرایط تنش آبی انتهای فصل طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از دریا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح تنش آبی (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی)، محلول پاشی سایکوسول در دو سطح (۱۵۰۰ گرم ماده تجاری در

جدول ۱. ویژگی‌های زراعی ارقام گندم مورد استفاده در این پژوهش

سیروان	متحمل به خشکی آخر فصل - مناسب کشت در مزارع آبی مناطق معتدل - معرفی در سال ۱۳۹۰ - متوسط ارتفاع بوته ۹۴ سانتی‌متر - رقمی زودرس - مقاوم به خوابیدگی و نیمه مقاوم به ریزش دانه
افق	مناسب کشت در مناطق دارای آب یا خاک شور و لب شور در اقلیم‌های معتدل تا تقریباً گرم - معرفی در سال ۱۳۹۱ - میانگین ارتفاع بوته ۷۴ سانتی‌متر - رقمی مقاوم به خوابیدگی و نیمه حساس به بیماری زنگ قهوه‌ای
بهاران	مناسب کشت در مناطق معتدل مواجه با تنش رطوبتی آخر فصل - معرفی در سال ۱۳۹۳ - متوسط ارتفاع بوته ۸۹ سانتی‌متر - مقاوم به خوابیدگی و نیمه مقاوم به بیماری زنگ زرد
وارداتی	رقمی وارداتی که از دهه ۱۳۸۰ در آزمایشگاه غلات تحت بررسی و مقایسه با رقم‌های داخلی است.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

سال	بافت خاک	رس	سیلت	شن	نیترژن کل	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی عصاره اشباع
					(درصد)		(mg/kg)		(dS/m)
۹۶-۱۳۹۵	سیلت رس	۳۹	۴۰	۲۰	۰/۱۲	۰/۵۱	۲۱/۵	۵۷۲	۰/۹۷
۹۷-۱۳۹۶	سیلت رس	۳۹	۴۰	۲۰	۰/۱۲	۰/۵۰	۲۱	۶۰۱	۰/۹۷

Green seeker (Trimble, California, Handheld- 500) استفاده شد. این دستگاه انعکاس نور مادون قرمز را از سطح پوشش گیاهی ثبت می‌کند. یک پوشش گیاهی سبز و سالم بیشترین انعکاس نور مادون قرمز را دارد. فاصله بین Green seeker و گیاه در تمام اندازه‌گیری‌ها ثابت بود. دستگاه به صورت افقی و بالای سر گیاه قرار داده شد و برای اجتناب از اندازه‌گیری سطح بدون پوشش مزرعه با دست دستگاه روی دو ردیف کاشت مجاور قرار گرفت (۲۷).

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند و برای رسم نمودارها و شکل‌ها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال نشان داد که برهم‌کنش سال با فاکتورهای اصلی و سال با اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه بر ویژگی‌های موجود به جز عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، لذا داده‌های دو سال زراعی به صورت جداگانه تجزیه شدند.

ابتدای ساقه‌رفتن و یک سوم دیگر در اوایل گلدهی به کرت‌های آزمایشی افزوده شد. مراقبت‌های زراعی به صورت یکنواخت برای همه کرت‌های آزمایشی در طول فصل رشد انجام شد. تمام کرت‌های آزمایشی تا قبل از شروع گلدهی به صورت منظم و بر اساس حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. برای این کار ابتدا ۲۴ ساعت قبل از هر آبیاری با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه با جگاه میزان آب آبیاری محاسبه و آبیاری انجام شد. آبیاری کرت‌های تیمار تنش نیز با شروع گلدهی، قطع شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح قطع آبیاری پس از گلدهی و آبیاری مطلوب در مزرعه اعمال شد. منظور از آبیاری مطلوب، آبیاری به شیوه معمول است.

برداشت مزرعه در نیمه دوم خرداد با توجه به شرایط آب‌وهوایی هر سال هنگامی که کل بوته‌های مزرعه زرد شده بودند، پس از حذف حاشیه از کرت، صورت گرفت. برداشت کرت‌های آزمایشی به صورت دستی از سطح خاک با داس و در مساحتی معادل یک متر مربع ناحیه مرکزی هر کرت انجام شد. ویژگی‌های عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص NDVI (طی چهار مرحله از گلدهی تا برداشت) از روش پاسک و همکاران (۳۲) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص NDVI از دستگاه

تعداد سنبله در متر مربع

تعداد سنبله در متر مربع به طور معنی داری تحت تأثیر تنظیم کننده رشد سایکوسل و رقم در سطح پنج درصد در هر دو سال زراعی قرار گرفت (جدول ۳). تعداد سنبله در بوته در زمان ظهور سنبله تابع تعداد پنجه بارور در هر بوته در مرحله ساقه رفتن است و قطع آبیاری از این مرحله به بعد تأثیری بر این ویژگی نداشت. کاربرد سایکوسل باعث افزایش ۱۸ و ۱۹ درصدی تعداد سنبله در متر مربع به ترتیب در سال‌های اول و دوم (شکل ۱) شد. کاربرد سایکوسل قبل از شروع رشد طولی ساقه، با کاهش غالبیت انتهایی در ساقه اصلی موجب تسهیم بیشتر مواد پرورده به رشد سایر بخش‌های گیاه می‌شود و در نتیجه امکان باروری پنجه‌های بیشتری در گیاهان تیمار شده فراهم می‌شود (۳۸). افزایش تعداد سنبله در متر مربع به دنبال کاربرد سایکوسل توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۶، ۲۳ و ۳۸). احمدی و همکاران (۱) نیز در پژوهش خود با گیاه گندم افزایش تعداد سنبله در واحد سطح را در اثر کاربرد سایکوسل گزارش کردند. این پژوهشگران افزایش تعداد سنبله را به تحریک پنجه‌زنی به دنبال کاربرد سایکوسل و در نتیجه ایجاد سنبله‌های بارور بیشتر در بوته نسبت دادند. در هر دو سال زراعی ژنوتیپ‌های افق و وارداتی به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد سنبله را در متر مربع را تولید کردند که این موضوع را می‌توان به ویژگی ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها نسبت داد (شکل ۱).

تعداد دانه در سنبله

در سال زراعی اول، تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر تیمار آبیاری و رقم در سطح یک درصد و تنظیم کننده رشد در سطح پنج درصد قرار گرفت. در سال زراعی دوم تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر معنی دار آبیاری، کاربرد تنظیم کننده رشد سایکوسل، رقم، برهم کنش دو گانه آبیاری و سایکوسل، آبیاری و رقم، سایکوسل و رقم و برهم کنش سه گانه آبیاری، سایکوسل و رقم در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). قطع آبیاری موجب

کاهش ۱۹ درصدی تعداد دانه در سنبله شد که کاربرد سایکوسل، بهبود ۵۱ درصدی تعداد دانه در شرایط قطع آبیاری را به همراه داشت (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در سنبله در رقم وارداتی بود که تفاوت معنی داری با سایر رقم‌ها داشت؛ پس از آن، رقم افق بود که نسبت به رقم وارداتی ۱۴ درصد کمتر بود. ارقام سیروان و بهاران که پس از رقم‌های وارداتی و افق قرار داشتند، نسبت به هم تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۵).

نتایج برهم کنش دو گانه آبیاری و رقم (جدول ۵) نشان داد که رقم وارداتی در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین تعداد دانه در سنبله را تولید کرد که در شرایط قطع آبیاری ۲۳ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت. کمترین تعداد دانه در رقم بهاران در شرایط قطع آبیاری بود. برهم کنش دو گانه تنظیم کننده رشد سایکوسل و رقم نشان داد که ابتدا رقم وارداتی و سپس رقم افق با کاربرد سایکوسل بالاترین میزان تعداد دانه در سنبله را داشتند.

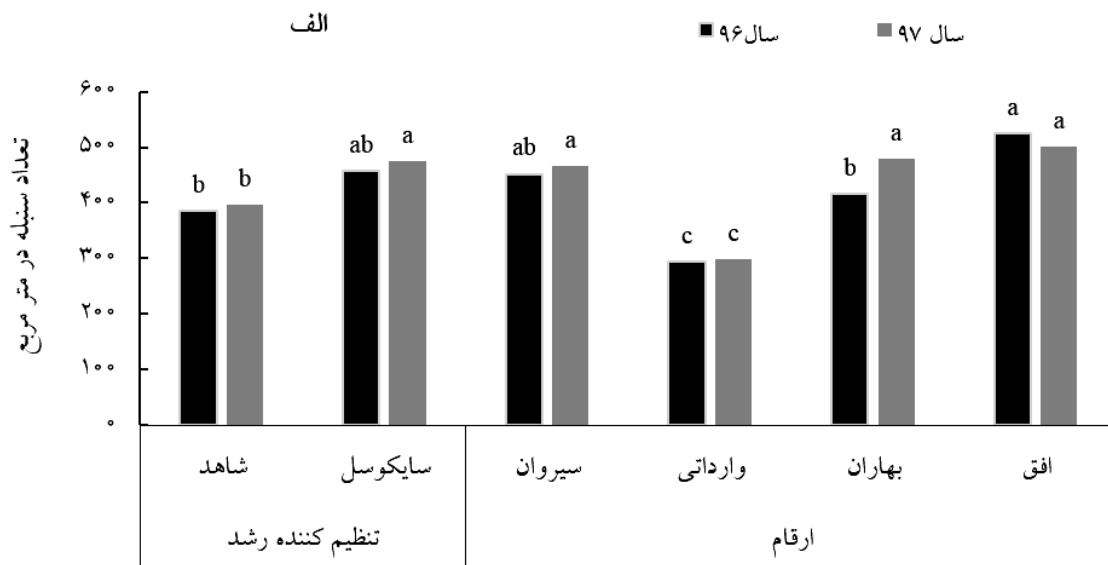
در شرایط بدون کاربرد تنظیم کننده رشد، کمترین تعداد دانه در سنبله متعلق به رقم بهاران بود. با توجه به برهم کنش آبیاری و تنظیم کننده رشد، بیشترین تعداد دانه در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد سایکوسل در رقم وارداتی به دست آمد و سپس در شرایط قطع آبیاری با کاربرد سایکوسل تنها با کاهش هشت درصدی، بیشترین تعداد دانه را تولید کرد. کمترین تعداد دانه از تیمار قطع آبیاری بدون کاربرد سایکوسل به دست آمد. تعداد دانه در سنبله از اجزای تعیین کننده عملکرد در غلات است (۳)، به این صورت که تعداد دانه در واحد سطح، از حاصل ضرب تعداد پنجه‌های بارور در واحد سطح در میانگین تعداد دانه در هر سنبله به دست می‌آید (۱۵). کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر تنش آبی می‌تواند به دلیل اثر تنش آبی در کند کردن تشکیل و نمو آغازهای سنبلک یا اختلال در تقسیم میوز، تشکیل گامت‌ها، بارور نشدن تخمک‌ها و سرعت زیاد نمو دانه‌ها باشد (۳۰، ۳۷ و ۳۸).

تنش آبی پس از گلدهی با آسیب رساندن به فرایند باروری دانه،

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری و محلول پاشی سایکوسل بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم گندم نان در دو سال زراعی ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷

تجزیه واریانس	سال ۹۶-۹۷				سال ۹۵-۹۶				تجزیه واریانس	رتبه آماری	تجزیه واریانس	رتبه آماری
	تجزیه واریانس	وزن هزار دانه	عملکرد	تعداد دانه در تناوب	تجزیه واریانس	وزن هزار دانه	عملکرد	تعداد دانه در تناوب				
تکرار	۲	۹*	۲۹۵۴۲	۱۴	۲۸	۹*	۲۹۵۴۲	۱۴	۲۸	۵۶۰۲	۲	تکرار
آبیاری (A)	۱	۴۱۱**	۱۰۳۶۴۷۴*	۷۷۲**	۳۸۹**	۴۱۱**	۱۰۳۶۴۷۴*	۷۷۲**	۳۸۹**	۳۶۹۲	۱	آبیاری (A)
خطای (a)	۲	۲۰	۳۹۳۵۸	۳۰	۱۹	۲۰	۳۹۳۵۸	۳۰	۱۹	۱۲۶۴۰	۲	خطای (a)
تنظیم کننده (B)	۱	۱۳۳**	۲۲۲۴۴۴**	۱۳۲*	۱۹۸**	۱۳۳**	۲۲۲۴۴۴**	۱۳۲*	۱۹۸**	۶۱۴۱۸*	۱	تنظیم کننده (B)
AB	۱	۰/۰۰۱	۱۳۱۹۱	۱	۲	۰/۰۰۱	۱۳۱۹۱	۱	۲	۷۵۲۵	۱	AB
خطای (b)	۴	۳	۱۴۰۶۴	۱۳	۵	۳	۱۴۰۶۴	۱۳	۵	۱۹۵۸۶	۴	خطای (b)
ارقام (C)	۳	۲۸**	۷۳۷۶۹*	۱۷۴۱۰**	۶۸*	۲۸**	۷۳۷۶۹*	۱۷۴۱۰**	۶۸*	۱۱۱۵۴۴**	۳	ارقام (C)
AC	۳	۱۳*	۱۷۷۷۶	۴۱	۲۰	۱۳*	۱۷۷۷۶	۴۱	۲۰	۱۸۱۳	۳	AC
BC	۳	۷	۲۳۵۳۹	۶۵	۳۱	۷	۲۳۵۳۹	۶۵	۳۱	۱۵۳۰۷	۳	BC
ABC	۳	۸	۱۳۰۴۵	۲	۱	۸	۱۳۰۴۵	۲	۱	۱۷۲۱	۳	ABC
خطای آزمایش	۲۴	۳	۱۹۰۰۵	۲۲	۱۶	۳	۱۹۰۰۵	۲۲	۱۶	۱۱۷۵۸	۲۴	خطای آزمایش
ضریب تغییرات	۲۶	۵	۱۶	۷	۸	۵	۱۶	۷	۸	۲۶	۲۶	ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح پنج و یک درصد هستند.



شکل ۱. تأثیر تنظیم کننده رشد سایکوسل و ارقام بر تعداد سنبله در متر مربع در دو سال زراعی

(در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

جدول ۴. برهم‌کنش آبیاری و سایکوسل بر تعداد دانه در سنبله چهار رقم گندم نان سال دوم (در متر مربع)

تنظیم کننده رشد		آبیاری
سایکوسل	شاهد	
۵۵ ^a	۴۸ ^c	آبیاری مطلوب
۵۱ ^b	۳۹ ^d	قطع آبیاری

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. برهم‌کنش آبیاری و رقم و برهم‌کنش سایکوسل و رقم بر تعداد دانه در سنبله چهار رقم گندم نان در سال دوم (در متر مربع)

ارقام				
افق	بهاران	وارداتی	سیروان	آبیاری
۵۰ ^b	۴۴ ^d	۶۵ ^a	۴۷ ^c	آبیاری مطلوب
۴۶ ^{cd}	۳۶ ^e	۵۰ ^b	۴۷ ^c	قطع آبیاری
تنظیم کننده رشد				
۴۵ ^c	۳۶ ^d	۵۰ ^b	۴۵ ^c	شاهد
۵۱ ^b	۴۴ ^c	۶۶ ^a	۴۹ ^b	سایکوسل

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

گلچه‌های بارور را به‌صورت قابل توجهی کاهش دهد. همچنین تنش آبی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به‌دلیل کاهش

تعداد دانه در هر سنبله را کاهش می‌دهد. تنش آبی حتی برای مدت کوتاهی در زمان باز شدن گلچه‌ها ممکن است تعداد

به میزان تجمع مواد پرورده در دانه‌ها دارد و اگر در مراحل انتهایی رشد تنش آبی وجود داشته باشد وزن دانه از طریق کاهش و افت سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد (۳۱). کاربرد تنظیم کننده رشد سایکوسل تأثیر مثبتی بر وزن هزاردانه ارقام گندم داشت به طوری که این افزایش در سال اول ۱۵ درصد بود. در سال دوم نیز کاربرد سایکوسل (شکل ۲-ب) موجب افزایش وزن هزاردانه ارقام به‌ویژه ارقام وارداتی (۱۱ درصد) و افق (۷ درصد) شد. افزایش وزن هزاردانه با کاربرد سایکوسل ممکن است به دلیل افزایش دوام بیشتر سطح سبز باشد (۴۴).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و تنظیم کننده رشد قرار گرفت (جدول ۶). قطع آبیاری باعث کاهش ۲۲ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار آبیاری مطلوب شد (جدول ۷). عملکرد بیولوژیک که شامل وزن خشک تمام قسمت‌های هوایی گیاه است، تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (۱۱ و ۳۳). تنش آبی باعث تسریع مسن شدن و اندام‌های فتوسنتز کننده و در نتیجه کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود و همین موضوع موجب کاهش ماده خشک تولیدی می‌شود؛ به‌علاوه فتوسنتز و تولید ماده خشک وابستگی جدانشدنی با میزان آب در دسترس داشته و با افزایش آب قابل دسترس تولید ماده خشک افزایش می‌یابد (۶ و ۲۲). نتایج آزمایش وهبی و همکاران (۴۷) و صداقت و امام (۴۳) نیز نشان داد که تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شد که این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

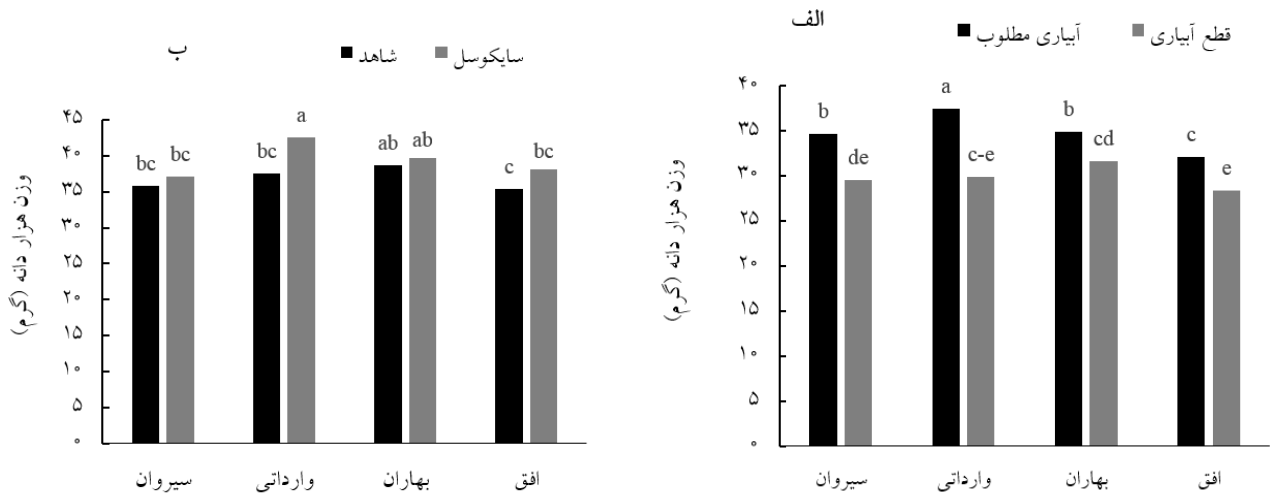
تنظیم کننده رشد سایکوسل باعث افزایش ۱۰ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد (جدول ۷). از مرحله گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک، ظرفیت فتوسنتزی بوته به برگ پرچم و ویژگی‌های آن شامل مساحت، سرعت فتوسنتزی، غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم رویسکو بستگی دارد (۲۸).

سنبلک‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله موجب کاهش محصول می‌شود (۱۵). کاربرد سایکوسل باعث افزایش پنج درصدی تعداد دانه نسبت به شاهد شد. دلیل افزایش تعداد دانه، کاهش نسبت اندام نابارور قبل از پر شدن دانه گزارش شده است (۱۹). همچنین در پژوهشی علت افزایش تعداد دانه در سنبله افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به دانه گزارش شد (۳۱). تعداد دانه در سنبله با افزایش اندازه مقصد فیزیولوژیک، نقش مهمی در عملکرد دانه دارد. به طوری که اثر جبران‌کنندگی سایکوسل بر کاهش تعداد دانه در سنبله در شرایط خشکی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شود. این موضوع حاکی از نقش حمایتی سایکوسل از عملکرد گندم در شرایط تنش آبی است (۷ و ۴۳).

وزن هزاردانه

وزن هزاردانه در سال اول تحت تأثیر آبیاری، کاربرد سایکوسل، رقم و برهم‌کنش آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. در سال دوم نیز تحت تأثیر آبیاری در سطح احتمال یک درصد، رقم و برهم‌کنش دوگانه تنظیم کننده رشد و رقم در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). با قطع آبیاری، وزن هزاردانه در هر دو سال کاهش یافت. در سال اول، در شرایط مطلوب آبیاری، ارقام وارداتی و افق به‌ترتیب دارای بیشترین (۳۷/۵۳ گرم) و کمترین (۳۲/۰۷ گرم) وزن هزاردانه بودند که قطع آبیاری موجب کاهش معنی‌دار ۲۶ درصدی در این دو ژنوتیپ شد (شکل ۲-الف). نتایج به‌دست آمده مبنی بر کاهش وزن هزاردانه در شرایط تنش آبی با نتایج پیراسته انوشه و همکاران (۳۷) و شکوفا و امام (۴۴) مطابقت دارد. کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه در این شرایط در اثر زودرس شدن گیاه به دلیل فرار از تنش آبی است. زودرس شدن گیاه با کاهش و کوتاه شدن زمان دوره پر شدن دانه و کاهش زمان لازم برای تولید و انتقال مواد پرورده به دانه‌ها موجب کاهش وزن و چروکیدگی دانه می‌شود (۱۴، ۳۱ و ۳۴).

عملکرد بالقوه تابع وزن هزاردانه است که این خود بستگی



شکل ۲. الف) برهم کنش آبیاری و رقم بر وزن هزاردانه در سال زراعی اول و ب) برهم کنش سایکوسل و رقم بر وزن هزاردانه در سال زراعی دوم (در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

جدول ۶. میانگین مربعات تأثیر آبیاری، سایکوسل و رقم بر عملکرد بیولوژیک چهار رقم گندم نان

عملکرد بیولوژیک	درجه آزادی	منابع تغییر
۶۳۳۵۲	۲	تکرار
۱۸۳۶۷۷ ^{**}	۱	آبیاری (A)
۱۹۳۷	۲	خطای (a)
۲۹۴۸۱۲ ^{**}	۱	تنظیم کننده (B)
۲۲۵۱۰	۱	AB
۱۷۳۰۷	۴	خطای (b)
۵۴۰۹۰	۳	ارقام (C)
۹۳۹۵	۳	AC
۱۴۴۱۷	۳	BC
۹۰۰۲	۳	ABC
۲۳۸۷۵	۲۴	خطای آزمایش
۱۰		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد هستند.

جدول ۷. مقایسه میانگین تأثیر آبیاری و سایکوسل بر عملکرد بیولوژیک چهار رقم گندم نان (گرم بر متر مربع)

آبیاری	
۱۷۵۱ ^a	شاهد
۱۳۶۰ ^b	قطع آبیاری
تنظیم کننده رشد	
۱۴۷۷ ^b	شاهد
۱۶۳۴ ^a	سایکوسل

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در پژوهش حاضر، با توجه به سبزمانی بیشتر بوته‌های تیمار شده با سایکوسل، احتمالاً ظرفیت فتوسنتزی افزایش یافته و در نهایت به افزایش عملکرد بیولوژیک منجر شده است. پژوهشگران اثر مثبت تنظیم کننده رشد سایکوسل بر عملکرد بیولوژیک را به توسعه و گسترش ریشه‌ها و ادامه داشتن فرایند فتوسنتز و تولید ماده خشک در شرایط تنش آبی هم نسبت داده‌اند (۳۵، ۳۹ و ۴۲).

عملکرد دانه

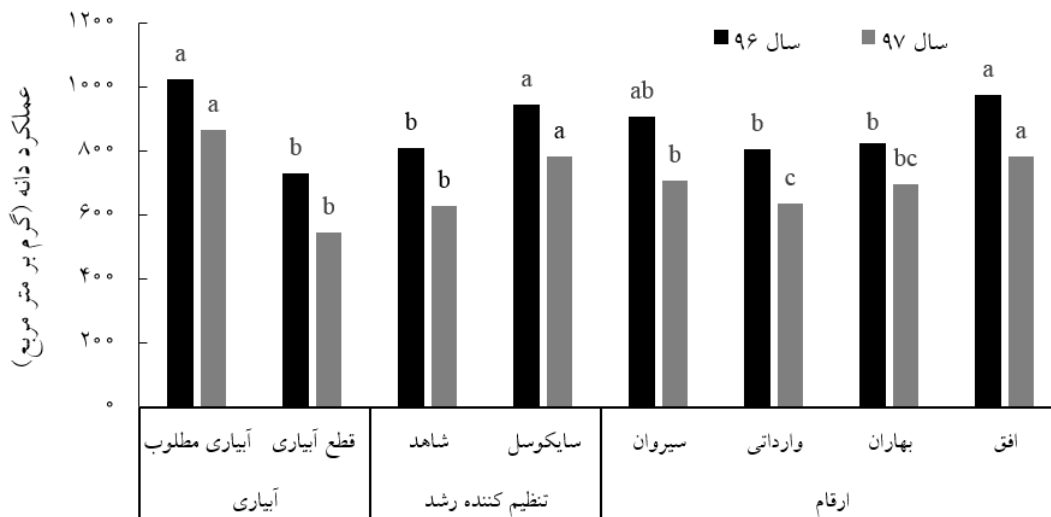
عملکرد دانه در هر دو سال زراعی تحت تأثیر معنی‌دار آبیاری، رقم و کاربرد تنظیم کننده رشد قرار گرفت (جدول ۳). با قطع آبیاری عملکرد دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۲۸ و ۳۶ درصد کاهش یافت (شکل ۳). عملکرد دانه گندم تابعی از تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه است (۱۱). بنابراین با توجه به این تعریف، کاهش عملکرد دانه در اثر تنش آبی قابل پیش‌بینی است. تنش آبی در هر مرحله از رشد گیاه می‌تواند عملکرد گندم را از راه‌های مختلف تحت تأثیر قرار دهد که میزان این تأثیر به مدت و شدت تنش وابسته است (۲۹ و ۳۱).

خشکی بعد از گلدهی، عملکرد دانه را از طریق کاهش در سرعت و طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد. در این پژوهش به نظر می‌رسد که کاهش عملکرد به دلیل تأثیر تنش آبی بر اجزای عملکرد دانه به‌ویژه تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه بوده است. این نتایج در راستای یافته‌های دیگر پژوهشگران (۱۳، ۳۷ و ۳۸) است. با کاربرد سایکوسل عملکرد دانه نسبت به شاهد به ترتیب در سال اول و دوم ۱۶ و ۲۴ درصد افزایش یافت (شکل ۳). کاربرد تنظیم کننده رشد سایکوسل، سبب بهبود عملکرد دانه هم در شرایط آبیاری و هم در قطع آبیاری شد. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد تنظیم کننده رشد سایکوسل می‌تواند به دلیل اثر مثبت آن بر اجزای عملکرد دانه باشد. در این پژوهش سایکوسل به‌طور میانگین تأثیر مثبتی بر وزن هزاردانه و تعداد دانه در گیاه داشت. بیشترین

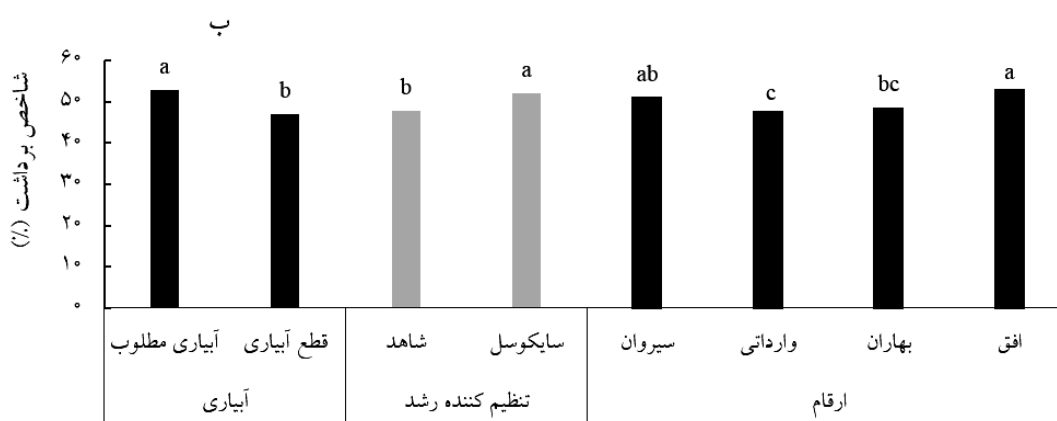
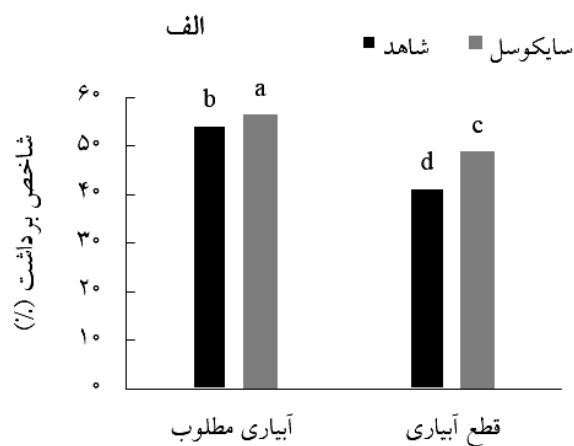
عملکرد دانه در هر دو سال زراعی مربوط به رقم افق بود. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد سایکوسل توسط پژوهشگران در گیاهان مختلفی از جمله در یولاف (۳۸)، گندم (۱۶) و کلزا (۳۸) گزارش شده است. سایکوسل با بهبود سطح برگ در شرایط تنش آبی و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز منجر به عملکرد بالاتر می‌شود. درحقیقت اثر مثبت سایکوسل در شرایط تنش آبی، شامل بهبود دوره سبزمانی در گندم است (۴۴).

شاخص برداشت

شاخص برداشت در هر دو سال زراعی تحت تأثیر آبیاری، تنظیم کننده رشد، رقم و برهم‌کنش دوگانه آبیاری با سایکوسل در سال زراعی دوم قرار گرفت (جدول ۳). قطع آبیاری باعث کاهش ۱۰ درصدی شاخص برداشت در سال اول شد که این میزان در سال دوم به ۱۸ درصد افزایش یافت (شکل‌های ۴-الف و ۴-ب). شاخص برداشت بیان کننده نسبت توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل گیاه است. همچنین نشان‌دهنده انتقال ماده خشک به بخشی از گیاه بوده که قابل برداشت است (۲۰ و ۲۶). کاهش شاخص برداشت در اثر تنش آبی بعد از گلدهی را به کاهش دسترسی به مواد فتوسنتزی و پرورده جاری طی دوره پر شدن دانه نسبت داده‌اند. در شرایط تنش آبی فتوسنتز کاهش می‌یابد در نتیجه باعث کاهش انتقال مواد پرورده ساخته شده به دانه‌ها می‌شود و این موضوع باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (۲۰). در هر دو سال آزمایش کاربرد سایکوسل سبب افزایش و بهبود شاخص برداشت نسبت به شاهد شد به این ترتیب که شاخص برداشت در سال اول ۸ درصد و در سال دوم ۱۰ درصد، نسبت به شرایط بدون کاربرد سایکوسل افزایش داشت (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب). تغییرات شاخص برداشت در اثر کاربرد سایکوسل نتایج متفاوتی از جمله افزایش (۱۱ و ۴۴) تا بدون تغییر (۲۵) نشان داده است. سایکوسل، از طریق کاهش ارتفاع در گیاه و تخصیص بیشتر مواد به مقصدهای فیزیولوژیک باعث بهبود شاخص برداشت می‌شود.



شکل ۳. تأثیر آبیاری، تنظیم کننده رشد سایکوسل و ارقام بر عملکرد دانه در دو سال زراعی (در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).



شکل ۴. الف) برهم کنش آبیاری و سایکوسل بر شاخص برداشت سال دوم و ب) تأثیر آبیاری، تنظیم کننده رشد سایکوسل و ارقام بر شاخص برداشت در سال اول (در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

استفاده از تنظیم کننده‌های رشد، با حفظ ماده خشک تولید شده، از طریق ازدیاد شاخص برداشت می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود (۱۱).

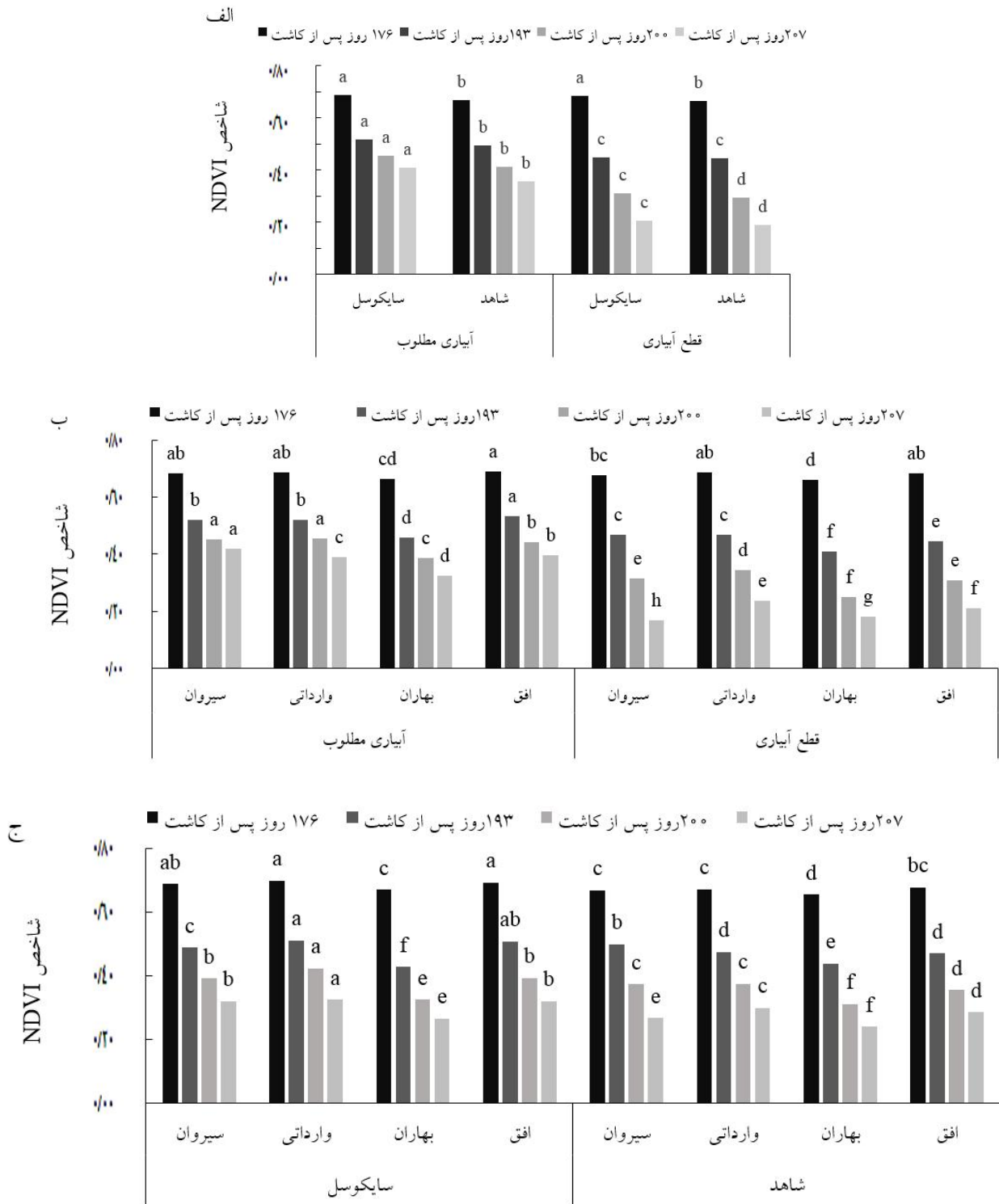
برهم‌کنش دوگانه آبیاری و سایکوسل (شکل ۴-ب) نشان داد که در شرایط آبیاری، سایکوسل باعث افزایش چهار درصدی شاخص برداشت نسبت به شرایط شاهد شد. همچنین در شرایط قطع آبیاری، سایکوسل باعث افزایش ۱۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به شرایط قطع آبیاری بدون کاربرد سایکوسل شد. صداقت و امام (۴۳) در پژوهشی مزرعه‌ای بیان کردند کاهش شاخص برداشت گندم در اثر تنش آبی را می‌توان به کاهش تعداد دانه در سنبله و میانگین وزن سنبله نسبت داد که کاربرد سایکوسل موجب حفظ ماده خشک تولید شده از طریق افزایش شاخص برداشت تا حدودی می‌تواند باعث جبران عملکرد شود. در هر دو سال زراعی، رقم افق بیشترین میزان شاخص برداشت را داشت (۵۲/۸) و کمترین میزان (۴۸/۰۱) مربوط به رقم وارداتی بود. عقیده بر این است که کاربرد سایکوسل و اثرات آن روی شاخص برداشت بسته به رقم و گونه متفاوت بوده و شاخص برداشت از ویژگی‌های به‌نسبت ثابت هر رقم است (۱۵ و ۳۹).

شاخص NDVI

اثر سطوح آبیاری، کاربرد تنظیم کننده رشد، ارقام و برهم‌کنش آنها بر شاخص NDVI در تمام نمونه‌برداری‌ها (به‌جز نمونه‌برداری اول که هنوز تیمار قطع آبیاری آغاز نشده بود) در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). روند تغییرات در هر دو شرایط آبیاری و قطع آبیاری نشان داد که NDVI در انتهای فصل رشد که به رسیدگی فیزیولوژیک نزدیک می‌شد، در پاسخ به مسن شدن برگ‌ها کاهش می‌یافت. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، بازتاب نور قرمز افزایش یافت، درحالی که بازتاب نور قرمز دور کاهش نشان داد. در شرایط تنش آبی کاهش شاخص پوشش گیاهی، شدیدتر بود. با شروع تنش آبی، طول دوره سبزمانی گیاه کاهش یافت، در نتیجه مقادیر شاخص

NDVI نیز کاهش نشان داد (شکل ۵-الف). مقادیر کمتر NDVI در این شرایط، در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب، نشان‌دهنده تنش آبی بوده است. از طرفی با کاربرد تنظیم کننده رشد سایکوسل، در تمام زمان‌ها این شاخص و طول دوره سبزمانی گیاه نسبت به شاهد بیشتر بود، به این صورت که تیمارهای آبیاری با کاربرد سایکوسل نسبت به تیمارهای آبیاری بدون کاربرد سایکوسل در هر نمونه‌برداری، از شاخص NDVI بیشتری برخوردار بودند. این روند در شرایط قطع آبیاری با کاربرد سایکوسل و قطع آبیاری بدون کاربرد سایکوسل نیز صادق بود (شکل ۵-الف). این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت سایکوسل در شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری است. سبزمانی گیاه شاخص مناسبی از ظرفیت فتوسنتزی است (۹ و ۱۱). در پژوهشی (۲۷) نشان داده شده که با گذشت زمان از گلدهی، شاخص NDVI در شرایط تنش آبی کاهش می‌یابد. سایکوسل با کند کردن سرعت نمو و طولانی‌تر کردن طول فصل رشد، می‌تواند به افزایش عملکرد گیاه از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی کمک کند (۱۱ و ۱۵).

برهم‌کنش تنظیم کننده رشد سایکوسل با رقم در طول فصل رشد نشان داد که به‌طور کلی شاخص NDVI در ارقام گندم با مصرف سایکوسل، افزایش یافت. در واقع، با مصرف سایکوسل، طول دوره سبزمانی در همه رقم‌ها به‌ویژه رقم وارداتی و افق افزایش یافت (شکل ۵-ج). سایکوسل با تأثیر بر دوام بیشتر سطح سبز گیاه، منجر به طولانی‌تر شدن جذب تابش و حفظ ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (۱۱ و ۴۴). از آنجا که مسن شدن برگ فرایندی پویا است، رقم‌های دارای الگوی متفاوت مسن شدن، شاخص NDVI متفاوتی نیز از خود نشان می‌دهند (۴۵). برهم‌کنش آبیاری با رقم در طول فصل رشد نشان داد که بیشترین و کمترین میزان شاخص NDVI به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در ارقام به‌دست آمد (شکل ۵-ب). در نمونه‌برداری اول که هنوز تنش آبی اعمال نشده بود، رقم‌های وارداتی، افق و سیروان (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر)، از شاخص NDVI بالاتری برخوردار بودند. در



شکل ۵. الف) برهم کنش آبیاری و سایکوسل بر شاخص NDVI، ب) برهم کنش آبیاری و رقم بر شاخص NDVI و ج) برهم کنش سایکوسل و رقم بر شاخص NDVI در تاریخ‌های مختلف

(در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

جدول ۸. میانگین مربعات تأثیر آبیاری، سایکوسل و رقم بر عملکرد بیولوژیک و شاخص NDVI چهار رقم گندم نان

شاخص NDVI				درجه آزادی	منابع تغییر
(۲۰۷ روز پس از کاشت)	(۲۰۰ روز پس از کاشت)	(۱۹۳ روز پس از کاشت)	(۱۷۶ روز پس از کاشت)		
۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۳	۲	تکرار
۰/۴۰**	۰/۲۰**	۰/۰۴**	۰/۰۰۰۰۱	۱	آبیاری (A)
۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۲	خطای (a)
۰/۰۱**	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۴**	۱	تنظیم کننده (B)
۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۰۲	۱	AB
۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۴	خطای (b)
۰/۰۰۸**	۰/۰۱۴**	۰/۰۱**	۰/۰۰۱**	۳	ارقام (C)
۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۴	۳	AC
۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۱	۳	BC
۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۳	۳	ABC
۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	۲۴	خطای آزمایش
۱/۲۱	۲/۰۹	۱/۵۲	۱/۵۱		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد هستند.

(۲۷) در پژوهشی گزارش کردند که در شرایط تنش آبی، عملکرد گندم با شاخص NDVI و سبزمانی رابطه مثبت و با سرعت مسن شدن برگ‌ها رابطه منفی دارد. از مرحله گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک، ظرفیت فتوسنتزی بوته به برگ پرچم و ویژگی‌های آن شامل مساحت، سرعت فتوسنتزی، غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو بستگی دارد (۲۸).

طول دوره سبزمانی با بهبود پایداری عملکرد در گونه‌های مهم زراعی مانند گندم (۲۱) و سورگوم (۲۴)، به‌ویژه در شرایط تنش آبی انتهای فصل توسط پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است. گیاهانی که دارای طول دوره سبزمانی بیشتری باشند، قادرند سطح سبز برگ خود را به‌مدت طولانی‌تری پس از گلدهی حفظ کنند که این موضوع منجر به تداوم دوره طولانی‌تری از فتوسنتز در دوره پر شدن دانه می‌شود (۴۴). با پایش شاخص NDVI از گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک، می‌توان چگونگی مسن شدن برگ‌های سایه‌انداز گیاهی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

نمونه‌برداری دوم پس از تأثیر تنش آبی، رقم افق که بالاترین شاخص NDVI در شرایط مطلوب را داشت، بیشترین کاهش را در تیمار قطع آبیاری از خود نشان داد. در سومین نمونه‌برداری، در هر دو شرایط مطلوب و قطع آبیاری، رقم‌های وارداتی و سیروان دارای شاخص NDVI زیادتری بودند. در آخرین نمونه‌برداری در شرایط آبیاری مطلوب رقم سیروان و افق شاخص NDVI بیشتری را به‌خود اختصاص دادند، لیکن، در شرایط قطع آبیاری رقم‌های افق و وارداتی کمتر تحت تأثیر قرار گرفتند و شاخص NDVI بیشتری از خود بروز دادند. مقادیر بیشتر NDVI در برخی رقم‌ها در مقایسه با سایر آنها در همان مرحله رشدی، می‌تواند نتیجه تداوم سطح سبز برگ و محتوای کلروفیل بیشتر باشد (۹، ۴۶ و ۴۸). بر اساس نتایج کریستوفر (۱۰)، مقادیر NDVI در دوره گلدهی تا پر شدن دانه بیشترین همبستگی را با سبزمانی و عملکرد ژنوتیپ‌های گندم داشت و ژنوتیپ‌های دارای سرعت مسن شدن کمتر در مرحله پر شدن دانه، از عملکرد بهتری برخوردار بودند. همچنین لویز و رینولد

نتیجه گیری

عملکرد دانه و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در شرایط تنش افزایش یافتند. رقم افق و بهاران به ترتیب در بیشتر ویژگی‌های مورد مطالعه نسبت به سایر رقم‌ها بیشترین و کمترین واکنش را نشان دادند. با توجه به نقش تعدیل‌کنندگی سایکوسل در کاهش اثر منفی تنش آبی، می‌توان کاربرد سایکوسل در شرایط مشابه با پژوهش حاضر را توصیه کرد.

در این پژوهش قطع آبیاری باعث کاهش تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و شاخص NDVI در ارقام مورد آزمایش شد. کاربرد تنظیم‌کننده رشد سایکوسل اثر مثبتی بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری داشت. با کاربرد سایکوسل، اجزای عملکرد،

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi Lahijani, M. J. and Y. Emam. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing* 3(9): 163-176. (In Farsi).
2. Ahmadi, M., M. Zare and Y. Emam. 2018. The effect of CCC, zinc sulfate and nitroxin on root growth and grain yield of wheat under dry land farming and greenhouse conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 8(2): 121-134. (In Farsi).
3. Alaei, M., M. Farboodi, M. B. K. Benam and M. Zaeifizadeh. 2010. Durum wheat land race screening for drought tolerance. *Middle East Journal of Scientific Research* 6(3): 289-292.
4. Arteca, R. N. 1995. Plant Growth Substances, Principles and Application. Springer. New York.
5. Ashraf, M., N. A. Akram, F. Qurainy and M. R. Foolad. 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy* 111: 249-296.
6. Bahrami, K., H. Pirasteh-Anosheh and Y. Emam. 2014. Yield and yield components responses of barley cultivars to foliar application of Cycocel. *Journal of Crop Production and Processing* 4(12): 27-37. (In Farsi).
7. Bartels, D. and R. Sunkar. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Review in Plant Science* 24: 23-58.
8. Bartels, D. and R. Phillips. 2010. Drought stress tolerance. PP. 139-157, In: Kempken F. and Ch. Jung (Eds.), Genetic Modification of Plants: Agriculture, Horticulture and Forestry. Academic Press, London.
9. Christopher, J. T., M. J. Christopher, A. K. Borrell, S. Fletcher and K. Chenu. 2016. Stay-green traits to improve wheat adaptation in well-watered and water-limited environments. *Journal of Experimental Botany* 67(17): 5159-5172.
10. Christopher, J. T., M. Veyradier, A. K. Borrell, G. Harvey, S. Fletcher and K. Chenu. 2014. Phenotyping novel stay-green traits to capture genetic variation in senescence dynamics. *Functional Plant Biology* 41(11): 1035-1048.
11. Emam, Y. 2011. Cereal Crop Production. Shiraz University press. Shiraz, Iran. (In Farsi).
12. Emam, Y., and G. R. Moaied. 2000. Effect of planting density and chlormequat chloride on morphological and physiological characteristics of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Valfajr. *Journal of Agriculture Science and Technology* 2: 75-83.
13. Emam, Y. and H. R. Karimi. 1996. Influence of chlormequat chloride on five winter barley cultivars. *Iran Agricultural Research-Shiraz University Press* 15(2): 89-104.
14. Emam, Y. and M. J. Seghatoleslami. 2005. Crop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. (In Farsi).
15. Emam, Y. and M. Niknezhad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. (In Farsi).
16. Espindula, M. C., V. S. Rocha, J. A. S. Grossi, M. A. Souza, L. T. Souza and L. F. Favaroto. 2009. Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha* 27(2): 379-387.
17. Evans, L. T. 2001. Feeding the Ten Billion: Plants and Population Growth. Cambridge: Cambridge University Press.
18. FAO. 2017. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, Italy.
19. Gill, K. S. and O. S. Singh. 1978. Physiological response of dwarf wheat to chlorocholine chloride under soil moisture stress. *Biological Plantarum* 20: 421-424.
20. Gooding, M., R. Ellis, P. Shewry and J. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Sciences* 37: 295-309.
21. Gregersen, P. L., A. Culetic, L. Boschian and K. Krupinska. 2013. Plant senescence and crop productivity. *Plant Molecular Biology* 82: 603-622.
22. Hopkins, W. G. and N. P. Huner. 2004. Introduction to Plant Physiology. Wiley, New York.

23. Jiriaie, M., N. A. Sajedi, H. Madavi and M. Sheikhi. 2009. Effect of PGPR and water deficit on agronomical traits of wheat (cv. Shahriar). *New Findings in Agriculture* 3(4): 333-343.
24. Jordan, D. R., C. H. Hunt, A. W. Cruickshank, A. K. Borrell and R. G. Henzell. 2012. The relationship between the stay-green trait and grain yield in elite sorghum hybrids grown in a range of environments. *Crop Science* 52(3): 1153-1161.
25. Khajeh, N., Y. Emam, H. Pakniyat and A. A. Kamgar haghghi. 2008. Interaction of plant growth regulator chlormequat chloride (CCC) and drought stress on growth and grain yield of three barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Field Crop Science Journal* 39: 215- 224. (In Farsi).
26. Latifkar, M., M. Mojaddam and T. S. Nejad. 2014. The effect of application time of Cycocel hormone and plant density on yield and yield components of wheat (Chamran cultivar) in Ahvaz weather conditions. *International Journal of Biosciences* 4(10): 234-242.
27. Lopes, M. S. and M. P. Reynolds. 2012. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *Journal of Experimental Botany* 63(10): 3789-3798.
28. Luigi, C., F. Rizza, B. Farnaz, E. Mazzucotelli, A. M. Mastrangelo, E. Francia, C. Mare, T. Alessandro and M. A. Stanca. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1- 14.
29. Ma, B. L. and D. L. Smith. 1992. Modification of tiller productivity in spring barley by application of chlormequat or ethephon. *Crop Science* 32: 735-740.
30. Moori, S., Y. Emam and H. Karimzadeh Sureshjani. 2012. Effect of cutting off irrigation at flowering stage on physiological characters, yield and yield components of wheat genotypes in Shiraz. *Journal of Crop Production and Processing* 2(4): 105-119. (In Farsi).
31. Ozturk, A. and F. Aydin. 2004. Effect of water stress at various stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 93-99.
32. Pask, A. J. D., J. Pietragalla, D. Mullan and M. Reynolds. 2012. Physiological Breeding II: a Field Guide to Wheat Phenotyping. Mexico DF: CIMMYT.
33. Pessaraki, M. 2016. Handbook of Plant and Crop Physiology. Marcel Dekker, New York.
34. Pirasteh Anosheh, H. and Y. Emam. 2015. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using growth regulators at different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 2(5): 29-46. (In Farsi).
35. Pirasteh Anosheh, H., Y. Emam and A. Khaliq. 2016. Response of cereals to cycocel application. *Iran Agricultural Research* 35(1): 1-12.
36. Pirasteh Anosheh, H., Y. Emam and M. Ashraf. 2014. Impact of cycocel on seed germination and growth in some commercial crops under osmotic stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60: 1277-1289.
37. Pirasteh Anosheh, H., Y. Emam, M. Ashraf and M. R. Foolad. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Advanced Studies in Biology* 11: 501-520.
38. Pourmohammad, A., F. Shekari and V. Soltaniband. 2014. Cycocel priming and foliar application affect yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova* 47(1): 59-69.
39. Rajala, A. 2003. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in northern growing conditions. *Agricultural Food Science* 13: 186-197.
40. Rajala, A. and P. Peltonensainio. 2001. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agronomy Journal* 93(4): 936-943.
41. Rajala, A. and P. Peltonensainio. 2002. Timing applications of growth regulators to alter spring cereal development at high latitudes. *Agricultural and Food Science* 11: 233-244.
42. Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20: 57-166.
43. Sedaghat, M. E. and Y. Emam. 2017. 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): 132-147. (In Farsi).
44. Shekoofa, A. and Y. Emam. 2008. Effect of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology* 10: 101-08.
45. Sruthi, S. and M. M. Aslam. 2015. Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. *Aquatic Procedia* 4: 1258-1264.
46. Thapa, S., J. C. Rudd, Q. Xue, M. Bhandari, S. Reddy, K. E. Jessup, S. Liu, R. N. Devkota and S. Baker. 2019. Use of NDVI for characterizing winter wheat response to water stress in a semi-arid environment. *Journal of Crop Improvement* 33(5): 633-648.

47. Vahabi, N., Y. Emam and H. Pirasteh-Anosheh. 2017. Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid under water stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15: 124-135. (In Farsi).
48. Verhulst, N., and B. Govaerts. 2010. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Green Seeker Tm Handheld Sensor: Toward the Integrated Evaluation of Crop Management: Concepts and Case Studies. Mexico, D. F. CIMMYT.
49. Zadoks, G. C., T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.

Yield Components and Grain Yield Responses of Four Wheat Cultivars to Growth Retardant Cycocel under Terminal Drought Stress Conditions

M. Barzegari¹, Y. Emam^{2*} and A. Zamani¹

(Received: September 17-2019; Accepted: February 23-2020)

Abstract

This research was carried out to study the grain yield, yield components and NDVI (normalized difference vegetation index) responses of four wheat cultivars to growth retardant cycocel under terminal drought stress conditions. The experiment was laid out as a split split plot with three replicates at the experimental farm of the School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran in 2016-2017 and 2017-2018 growing seasons. The treatments consisted of two levels of water stress (full irrigation and irrigation cut off at the beginning of flowering), exogenous cycocel in two levels (4 g ha⁻¹ and 0) and four wheat cultivars (Sirvan, Baharan, Varedati and Ofogh). Water stress reduced the measured traits including, grain number per ear (19%), 1000-grain weight (14%), biological yield (22%), grain yield (29%), and NDVI (17%). Exogenously-applied cycocel compensated for some of such reductions including, number of spikes per square meter (18%), grain number per ear (29%), 1000-grain weight (6%), biological yield (11%), grain yield (17%), and NDVI (5%). Ofogh and Sirvan cultivars showed a better response for most of the measured traits to water stress conditions when cycocel was used. Regarding the ameliorating role of cycocel in reducing negative impacts of terminal water stress, application of this growth regulator could be recommended for similar conditions.

Keywords: Stay-green, Irrigation cut-off, Plant growth regulator, Cycocel, NDVI

1, 2. MSc. and PhD Students, and Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Yaemam@shirazu.ac.ir