Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 54, No 1, Spring 2023 (213-227)
DOI: 10.22059/IJFCS.2022.344225.654917

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۲ (۲۲۷-۲۱۳)

Effect of exogenous application of plant growth regulators on quantitative and qualitative of grain yield and gas exchange rate of different bread wheat cultivars

Razieeh Teimoori[1], Mohsen Saeidi[2*], Saeid Jalali Honarmand[2], Mohammad Eghbal Ghobadi[2], Mokhtar Ghobadi[2]
1,2. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
(Received: June 28, 2022 - Accepted: October 19, 2022)

ABSTRACT
Plant growth regulators are the most important factors that regulate crop production. Hence, this study was conducted to evaluate the effect of some plant growth regulators on physiological traits, gas exchange variables and grain yield quality and quantity of wheat in Razi university, Iran, in 2013-2014 crop year. A factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) with three replications was used. In this study, the first factor included 10 bread wheat cultivars (Zare, Parsi, Sivand, Pishtaz, Bahar, Azar 2, Bezostaya, Gaspard, Sirvan, and Marvdasht) and also the second factor at four levels included foliar application of 50 µM concentration of cytokinin, auxin, gibberellin and lack of foliar application (control) at flowering and booting stages of the spike. The results showed that there were significant differences among cultivars in terms of agronomic and physiological traits. Sivand and Parsi cultivars had the highest grain yield, biological yield, harvest index, number of grains per spike, thousand grain weight, hectoliter weight, photosynthetic rate and chlorophyll a, but Azar 2 cultivar had the lowest of the above traits. The results showed that application of plant growth regulators increased grain yield, biological yield, harvest index, thousand grain weight, photosynthesis rate, soluble proteins content and crude protein. Among the investigated plant growth regulators, the application of 50 µM of cytokinin caused the highest increase in the rate of plant photosynthesis (18.4%).
Keywords: Auxin, cytokinin, gibberellin, grain protein, photosynthesis.

اثر کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر عملکرد کمی و کیفی دانه و سرعت تبادلات گازی رقم‌های مختلف گندم نان

راضیه تیموری[۱]، محسن سعیدی*[۲]، سعید جلالی‌هنرمند[۲]، محمداقبال قبادی[۲]، مختار قبادی[۲]
۱و۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۷)

چکیده
تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از مهم‌ترین عوامل تنظیم‌کننده تولید محصولات زراعی می‌باشند. بنابراین به منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر صفت‌های فیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی دانه گندم (*Triticum aestivum* L.)، این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول در ۱۰ سطح شامل ۱۰ رقم گندم نان (زارع، پارسی، سیوند، پیشتاز، بهار، آذر ۲، بزوستایا، گاسپارد، سیروان و مرودشت) و فاکتور دوم در چهار سطح شامل محلول‌پاشی غلظت ۵۰ میکرومولار تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سیتوکینین، اکسین، جیبرلیک اسید و عدم محلول‌پاشی (شاهد) در زمان متورم شدن غلاف سنبله و گلدهی بود. نتایج نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین رقم‌ها از نظر صفت‌های زراعی و فیزیولوژیک وجود داشت. رقم‌های سیوند و پارسی در این شرایط به‌ترتیب با ۱۱۴۷ و ۱۰۹۷ گرم در هکتار دارای بیش‌ترین و رقم آذر ۲ با ٦٣٦ گرم در هکتار دارای کم‌ترین عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، وزن هکتولیتر، سرعت فتوسنتز و محتوی کلروفیل a بودند. نتایج نشان دادند که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، سرعت فتوسنتز جاری، محتوی پروتئین-های محلول برگ و درصد پروتئین دانه شد. در بین تنظیم کننده های رشد مورد بررسی، کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین، بیشترین افزایش در سرعت فتوسنتزی گیاه (۱۸/٤ درصد) را موجب شد.
واژه‌های کلیدی: **اکسین، پروتئین دانه، جیبرلین، سیتوکینین، فتوسنتز.**

* Corresponding author E-mail: msaeidi@razi.ac.ir

مقدمه

گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. مهم‌ترین گیاه زراعی ایران و جهان محسوب می‌شود. گندم به علت داشتن گلوتن بالا، خاصیت نانوایی مطلوب و درصد نشاسته بالای دانه نسبت به دیگر گیاهان خانواده غلات برتری دارد (Arzani, 2011). مقدار تولید جهانی گندم در سال ۲۰۲۰ معادل با ۷۶۱ میلیون تن با متوسط تولید ۳۴۷۴ کیلوگرم در هکتار (FAO, 2022) و در همین سال زراعی مقدار تولید گندم در ایران برابر با ۱۳/۵ میلیون تن با متوسط عملکرد ۴۲۰۰ و ۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در شرایط کشت آبی و دیم بوده است (Ahmadi *et al*., 2021).

با شناخت نیازهای گیاه و برطرف‌کردن این نیازها و ارائه راهکارهای مناسب جهت تنظیم رشد و نمو و افزایش عملکرد می‌توان به تولید بیش‌تر گیاهان زراعی مانند گندم کمک کرد. یکی از مهم‌ترین عوامل تنظیم‌کننده در این ارتباط فیتوهورمون‌ها یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (Plant Gowth Regulators) می‌باشند (Hirayama *et al*., 2022). تنظیم نمو گیاه جهت رشد مناسب گیاه و حصول عملکرد مناسب در شرایط متغیر مزرعه، نتیجه اثرات متقابل بین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است (Ku *et al*., 2018). تغییر غلظت هورمون‌ها در این شرایط و حتی برهم‌خوردن غلظت هورمون‌ها نسبت به هم در کاهش یا افزایش کارایی گیاهان نقش اساسی دارد (Yu *et al*., 2020). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند ایندول‌استیک‌اسید (IAA)، آبسیزیک‌اسید (ABA)، سیتوکینین (CK) و جیبرلیک‌اسید (GA) ارتباط نزدیکی با نمو دانه (بافت مخزن) دارند و از طریق تأثیر بر جنبه‌های مختلف قدرت مخزن شامل اندازه و فعالیت مخزن در شکل‌گیری عملکرد دانه نقش تعیین کننده دارند (Li *et al*., 2021).

تحقیقات نشان داده محلول‌پاشی GA، انتقال مواد فتوسنتزی به آوندهای آبکش را تسریع می‌نماید. همچنین بیان شده که رشد طولی اندام‌های هوایی که به‌واسطه GA در گیاهان مختلف رخ می‌دهد، در نتیجه افزایش تقسیم سلولی، طویل‌شدن سلول‌ها و یا هر دو با هم می‌باشد (Betrand & Ernstsen, 2001). IAA قادر است همانند CK و یا در مشارکت با آن تقسیم سلولی را تحریک کند (Yang *et al*., 2016). در این ارتباط، محققان نشان دادند که IAA برای افزایش عملکرد دانه مفید بوده و همچنین غلظت IAA از ۵۰ تا ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر اثر قابل توجهی بر رشد بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد نشان داد (Hussain *et al*., 2001; Pustovoitova *et al*., 2004; Abdoli *et al*., 2013).

CK نیز نقش مهمی در تشکیل وزن دانه‌ها در قسمت-های مختلف سنبله و سنبلچه بازی می‌کند. مقادیر بالای CK در دانه‌ها در مرحله‌ی پر شدن دانه، احتمالاً ممکن است تقسیم سلولی آندوسپرم را افزایش داده و در نتیجه مخزن قوی‌تری را ایجاد می‌کند که انتقال مواد پرورده و تجمع مواد را در دانه‌های در حال رشد افزایش می‌دهد. در این راستا، Saeidi *et al*. (2006) گزارش کردند که اعمال خارجی CK در مرحله تقسیم سلولی دانه‌ها سبب افزایش عملکرد دانه، زیست‌توده و تعداد دانه در سنبله گندم می‌شود و بیش‌ترین شاخص برداشت هنگام اعمال CK در مرحله تقسیم سلولی ایجاد شد. همچنین Yang *et al*. (2003) گزارش کردند که اعمال خارجی CK در مرحله تقسیم سلولی در برنج، بیش‌ترین تأثیر مثبت را در شکل‌گیری عملکرد دانه داشت. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند CK، IAA و GA نقش مثبت در تنظیم صفت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه از جمله فتوسنتز و در نهایت بهبود کمی و کیفی عملکرد دانه گیاهان زراعی دارند (Muller and Munne-Bosch, 2021). در این ارتباط،

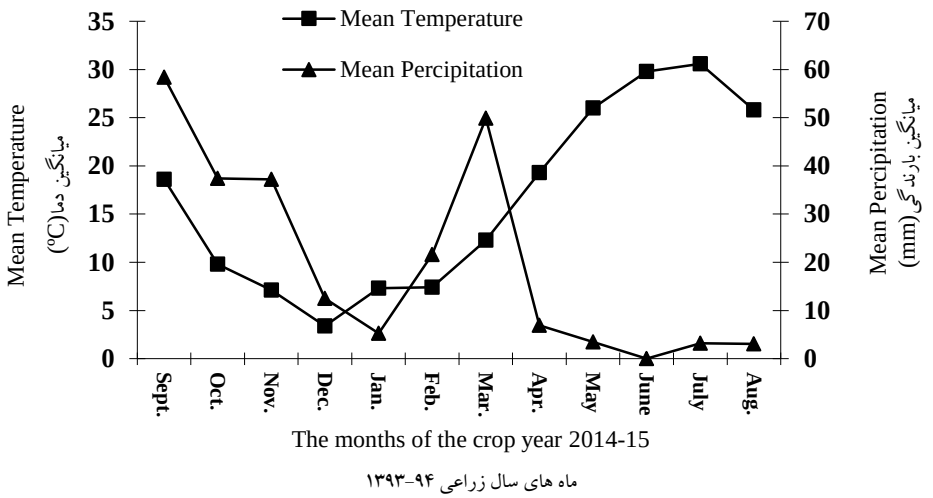
Mahrokh *et al.* (2016) گزارش کردند که مصرف سیتوکینین با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل a را به مقدار ۳۷/۷ درصد افزایش داد و تولید اسیدآمینه پرولین را به مقدار ۱۶/۶ درصد کاهش داد و همچنین تنظیم‌کننده رشد گیاهی اکسین با غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب باعث افزایش کلروفیل a به میزان ۲۲/۸ درصد و کاهش پرولین به میزان ۱۸/۰ درصد شد. علاوه بر تأثیر مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، برخی از محققان نیز به تأثیر مثبت آن‌ها بر کیفیت محصول تولیدی نیز اشاره کرده‌اند. به طور مثال، Yang *et al.* (2003) با اعمال خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در دو رقم مختلف گندم مشاهده کردند که درصد پروتئین دانه با اعمال آبسیزیک‌اسید و جیبرلیک‌اسید به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کردند. باتوجه‌به اهمیت گیاه زراعی گندم و نقش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در شکل‌گیری عملکرد دانه گندم، تحقیق حاضر در راستای بررسی تأثیر کاربرد خارجی تنظیم‌کننده رشد در در دو مرحله‌ی متورم‌شدن غلاف سنبله و ابتدای گلدهی بر عملکرد دانه (از نظر کمی و کیفی) و همچنین برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با شکل‌گیری عملکرد دانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق فوق در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی با ۱۳۱۹متر ارتفاع از سطح دریا قرار داشت. قبل از اجرای آزمایش، زمین با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و تسطیح و بلوک‌بندی در اوایل پاییز انجام گرفت. کشت در تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۹۳ به صورت خطی در شش خط با فواصل خطوط ۲۵ سانتی‌متر و به طول پنج متر با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع انجام شد. عملیات داشت نظیر مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری و کوددهی در طول فصل رشد به طور یکنواخت برای کلیه‌ی کرت‌ها و در صورت نیاز صورت گرفت. میانگین دما و بارندگی ماه‌های سال محل انجام پژوهش در شکل ۱ و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اول در ۱۰ سطح و شامل ۱۰ رقم مختلف گندم نان بود. رقم‌های مورد بررسی عبارتند از: زارع (زمستانه و متوسطرس)، پارسی (بهاره و زودرس)، سیوند (بهاره و متوسطرس)، پیشتاز (بهاره و متوسطرس)، بهار (بهاره و نسبتاً زودرس)، آذر ۲ (زمستانه و زودرس)، بزوستایا (زمستانه، متوسط تا دیررس)، گاسپارد (زمستانه، دیررس)، سیروان (بهاره و زودرس) و مرودشت (بهاره و متوسطرس) از تیپ‌های مختلف رشدی بودند. بذرها از مرکز تحقیقات دیم سرارود و مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی کرمانشاه تهیه شدند. فاکتور دوم نیز در چهار سطح از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل سیتوکینین، اکسین و جیبرلین و عدم محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (محلول‌پاشی با آب) بودند. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در دو مرحله‌ی متورم‌شدن غلاف سنبله و ابتدای گلدهی صورت گرفت. باتوجه‌به نتایج محققان دیگر (Yang *et al.*, 2003) غلظت ۵۰ میکرو مولار سیتوکینین (به فرم BAP)، اکسین (به فرم IAA) و جیبرلین (به فرم GA_3) استفاده شد. این مواد از شرکت سیگما تهیه شدند. جهت سهولت در حل‌شدن، ابتدا مقادیر محاسبه‌شده این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در دو میلی‌لیتر محلول سود یک نرمال حل شده و با

آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. جهت جذب سطحی بهتر از چند قطره تیپول (۰/۰۵ درصد) به عنوان مویان استفاده شد و جهت اطمینان از جذب‌شدن تنظیم‌کننده‌های رشد توسط گیاه، عمل محلول‌پاشی سه روز متوالی در هر کرت در سطح هفت متر مربع انجام شد.



شکل ۱- میانگین دما و بارندگی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در منطقه کرمانشاه
Figure 1. Average temperature and percipitation of the crop year 2014-2015 in Kermanshah region

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1. Chemical and physical characteristics of the soil where the experiment was carried out

P	K	Cu	Fe	Zn	Mn	Organic Mater	$CaCO_3$	Sand	Silt	Clay	N	pH	Soil Texture
ppm						%							
18	360	1.8	4.5	0.48	14	0.99	28	10.7	43.9	45.4	0.09	7.8	Clay silty

همچنین به‌منظور جلوگیری از تجزیه سریع آن توسط نور خورشید، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در زمان غروب آفتاب انجام شد و صفت‌های زیر در این ارتباط مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

عملکرد دانه و صفت‌های زراعی: برای هر یک از رقم-های مورد بررسی در مرحله رسیدگی کامل (رسیدگی تکنولوژیک)، دو متر مربع از هر کرت برداشت شد و عملکرد دانه و زیست‌توده محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله، پنج بوته در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و تعداد دانه در سنبله آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، سه نمونه تصادفی ۱۰۰۰ تایی از بذر هر کرت توزین شدند و میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه لحاظ شد. برای اندازه‌گیری تعداد سنبله در متر مربع، تمام سنبله‌های یک خط یک متری از هر کرت با رعایت اثر حاشیه شمارش شد. شاخص برداشت از تقسیم‌کردن عملکرد دانه هر کرت بر عملکرد بیولوژیک همان کرت محاسبه شد. ارتفاع بوته از سطح خاک تا سنبلچهٔ انتهایی بدون درنظرگرفتن طول ریشک در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. وزن هکتولیتر نیز با وزن‌کردن بذرهای داخل استوانه مدرج که حجم آن‌ها مشخص شده است و تعمیم آن به وزن یک حجم ۱۰۰ لیتری محاسبه شد.

محتوی پروتئین دانه: این صفت در زمان رسیدگی تکنولوژیک و در بذرها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری

این صفت از دستگاه NIR مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی کرمانشاه استفاده شد.

صفت‌های فیزیولوژیک مورد بررسی در این تحقیق که ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی مورد بررسی قرار گرفتند، به شرح زیر بودند:

ارزیابی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II برگ‌ها: جهت اندازه‌گیری شاخص F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگارشده با تاریکی) از دستگاه استرس‌متر قابل حمل (PSM, Hansonthech, UK) استفاده شد. به‌این‌منظور از هر کرت آزمایشی، آخرین برگ توسعه‌یافته در پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب و بعد از قراردادن برگ‌ها در تاریکی توسط گیره‌های مخصوص (جهت عادت‌دادن برگ به تاریکی) به مدت ۱۷ دقیقه از ساعت ۹ تا ۱۲ صبح، شاخص حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II(F_v/F_m) و شاخص زنده‌مانی (Pi) از روی دستگاه قرائت شدند.

محتوی پروتئین‌های محلول برگ‌ها: برای تعیین غلظت پروتئین‌های محلول از روش Bradford (1976) استفاده شد. در این روش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، با استفاده از پلیت‌های الایزا میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه مخصوص پلیت الایزا (Bio Tek, Powerwave XS2, USA) قرائت شد. به منظور کمی‌کردن داده‌های به‌دست‌آمده، از غلظت‌های مشخص سرم آلبومین گاوی (BSA) استفاده شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری محتوی رنگیزه‌های گیاهی شامل: کلرفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها از روش Lichtenthaler & Wellburn (1983) استفاده شد. در این روش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، با استفاده از پلیت الایزا میزان جذب نوری در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ توسط دستگاه مخصوص پلیت الایزا (Bio Tek, Powerwave XS2, USA) قرائت شد. در ادامه با استفاده از روابط زیر غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها محاسبه شد.

Chlorophyll a = 12.21 (A663) – 2.81 (A646)
Chlorophyll b = 20.13 (A646) – 5.1 (A663)
Chlorophyll t = Chl a + Chl b
Carotenoids = (1000 A470 – 3.27 [Chl a] – 104 [Chl b]/227

تبادلات گازی برگ پرچم: به منظور اندازه‌گیری خصوصیات مرتبط با تبادلات گازی در واحد سطح برگ شامل: هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک روزنه و دمای سطح برگ از دستگاه فتوسنتز متر (Portable LCi) ساخت شرکت Bio scientific Ltd کشور انگلستان استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۹ الی ۱۲ صبح و در شدت نور ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد. پس از بررسی نرمال‌بودن داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار SPSS، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. جهت انجام مقایسات میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

صفت‌های زراعی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد و اجزای آن (جدول ۲) نشان دادند که اثر تیمار محلول‌پاشی بر صفت‌های عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز از نظر صفت‌های عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، وزن هکتولیتر و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم سیوند و پارسی (به‌ترتیب ۱۱۴۷ و ۱۰۹۴

گرم بر متر مربع) و کم‌ترین عملکرد نیز مربوط به رقم آذر ۲ (۶۳۶ گرم بر متر مربع) و سپس بزوستایا (۷۵۹ گرم بر متر مربع) بود. همچنین مشابه با نتایج بالا، بیش‌ترین مقدار عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن هزار دانه به رقم‌های سیوند و پارسی و کم‌ترین مقدار به رقم آذر ۲ تعلق داشت (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله در رقم سیوند (۴۷ دانه در سنبله) و کم‌ترین تعداد دانه در سنبله به رقم آذر ۲ (۳۱ دانه در سنبله) تعلق داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج، بیش‌ترین وزن هکتولیتر به میزان ۸۰/۶ و ۸۱/۹ کیلوگرم به‌ترتیب در رقم‌های پارسی و سیوند و کم‌ترین مقدار آن به‌میزان ۶۴/۸ در هر دو رقم آذر ۲ و بزوستایا به دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته نیز به‌ترتیب به رقم‌های آذر ۲ و گاسپارد تعلق داشت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمار محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و متورم‌شدن غلاف سنبله بر عملکرد دانه و برخی صفت‌های مرتبط با آن در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه.

Table 2. Analysis of variance (mean of square) for effect of exogenous application treatment in flowering and booting stages on grain yield and some traits connected it in different bread wheat cultivars in Kermanshah region.

Source of variation	df	Mean of square (MS)							
		Grain yield	Biological yield	Harvest index	Number of grains per spike	1000 grain weight	Number of spikes per m^2	Hectoliter weight	Plant heigh
Block	2	22857^{**}	2653^{**}	0.292^{ns}	37.1^{**}	4.31^{*}	7460^{**}	581^{**}	118^{*}
Cultivar (C)	9	26334^{**}	184961^{**}	11.14^{**}	29.4^{**}	21.4^{**}	113^{ns}	7231^{**}	794^{**}
Exogenous application (E)	3	3112^{**}	9862^{*}	47.87^{**}	8.47^{ns}	5.90^{**}	291^{ns}	13.0^{ns}	44.5^{ns}
C × E	27	23.6^{ns}	402^{ns}	3.42^{ns}	2.15^{ns}	0.138^{ns}	581^{ns}	1.50^{ns}	19.5^{ns}
Error	78	27.6	200	3.10	4.44	1.32	487	7.25	31.4
CV (%)	-	2.3	1.6	3.53	5.27	2.78	10.6	3.80	6.54

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک پنج و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و برخی صفت‌های مرتبط با آن در در رقم‌های مختلف گندم نان تحت شرایط محلول-پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در منطقه کرمانشاه.

Table 3. Mean of comparison of grain yield and some traits connected it in different bread wheat cultivars on exogenous application of plant growth regulators treatment in Kermanshah region.

Cultivar	Grain yield (kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Harvest index (%)	Number of grains per spike	1000 grain weight (g)	Hectoliter weight (kg)	Plant heigh (cm)
Azar2	6360 g	15050 f	42 e	31 g	36.7 f	64.8 f	102 a
Bahar	8890 e	17780 cde	50 bc	41 cd	39.8 cd	68.1 de	89.8 c
Pishtaz	9260 d	18510 b	50 bc	43 c	42.8 b	74.1 b	81.1 e
Sivand	10940 b	20490 a	53 a	47 a	49.2 a	81.9 a	80.6 e
Parsi	11470 a	20990 a	54 a	45 b	48.3 a	80.6 a	78.4 e
Zare	8720 e	17550 de	49 bcd	37 e	38.6 e	70.5 c	86.4 cd
Marvdasht	8840 e	17640 def	50 bc	38 e	38.8 de	66.5 ef	83.1 de
Sirvan	8840 e	17750 cd	49 bcd	41 cd	40.2 c	67.8 de	79.6 e
Gaspard	9920 c	18920 c	52 ab	35 f	40.1 c	69.7 cd	78.8 e
Bezostaya	7590 f	16360 ef	46 d	37 e	38.8 de	64.8 f	95.9 b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

رقم‌های سیوند و پارسی که بالاترین عملکرد دانه و بالاترین وزن هکتولیتر دانه را دارا بودند و رقم‌های کم عملکرد آذر ۲ و بزوستایا در این تحقیق پایین‌ترین وزن هکتولیتر دانه را داشتند (جدول ۳). برعکس وزن هکتولیتر، رقم‌های با عملکرد بیش‌تر (مانند سیوند و پارسی) ارتفاع بوته پایین و رقم‌ها با عملکرد پایین‌تر (مانند: آذر ۲ و بزوستایا) ارتفاع بوته بالا داشتند. بنابراین براساس نتایج، رقم‌های پاکوتاه دارای عملکرد بیش‌تری نسبت به رقم‌های پابلند گندم بودند. در این ارتباط Richards (1992) گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد دانه در گندم در ارتفاع ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر ساقه حاصل شده است. از دلایل عمده پایین‌تربودن عملکرد دانه رقم‌های پابلند نسبت به رقم‌های پاکوتاه، کودپذیری پایین و ورس این رقم‌ها می‌باشد (Khajepour, 2021). جدول ضرایب همبستگی (جدول ۵) نیز در تایید این نتایج همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و وزن هکتولیتر نشان داد. وزن هکتولیتر همچنین با تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و سرعت تعرق همبستگی مثبت و معنی‌دار و با ارتفاع بوته‌ها همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. وزن هکتولیتر نشانگر میزان استحصال آرد از دانه گندم می‌باشد. هرچه میزان این پارامتر بیش‌تر باشد، قابلیت استحصال آرد نیز افزایش می‌یابد. پس با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که هرچه دانه پرتر (وزن دانه بیش‌تر) باشد میزان وزن هکتولیتر نیز افزایش می‌یابد. اعمال تیمار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد اثر معنی‌داری بر صفت‌های وزن هکتولیتر و ارتفاع بوته در این شرایط نداشتند. براساس نتایج جدول ضرایب همبستگی صفت‌ها (جدول ۵)، همبستگی عملکرد دانه با عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن هکتولیتر، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود، اما با ارتفاع ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار بود. این بدان معناست که به احتمال زیاد عملکرد دانه با اجزای عملکرد در ارتباط است و افزایش اجزای عملکرد به‌خصوص تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. در این بین، بخاطر همبستگی منفی بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته چنین می‌توان اظهار کرد که همبستگی عملکرد زیست‌توده نیز با شاخص برداشت، وزن هکتولیتر، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود اما با ارتفاع همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). شاخص برداشت با وزن هکتولیتر، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و سرعت تعرق همبستگی مثبت و معنی‌دار و با ارتفاع همبستگی منفی و معنی‌دار داشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد و اجزای مرتبط با آن در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه

Table 4. Mean of comparison for effect of exogenous application of plant growth regulators treatment on grain yield and some traits connected it in different bread wheat cultivars in Kermanshah region

Exogenous application	Grain yield (kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Harvest index (%)	1000 grain weight (g)
Control	8960 c	11200 b	51.66 c	40.7 b
Gibberellic acid (GA)	9080 b	11300 ab	52.46 bc	41.4 a
Increase compared to control (%)	+1.33	+1.99	+1.54	+1.72
Cytokinin (CK)	9200 a	11370 a	53.69 a	41.8 a
Increase compared to control (%)	+2.67	+1.98	+3.29	+2.70
Indol acetic acid (IAA)	9040 bc	11250 ab	52.7 b	41.2 ab
Increase compared to control (%)	+0.89	+1.97	+2.01	+1.23

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

نتایج به‌دست‌آمده از مقایسات میانگین صفت‌های زراعی (جدول ۴) در شرایط کاربرد تیمارهای محلول-پاشی تنظیم‌کننده رشد در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن هزار دانه رقم‌های مورد بررسی شد. در این شرایط محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید سبب افزایش ۱/۳۳، ۱/۹۹، ۱/۵۴ و ۱/۷۲ درصدی صفت‌های عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن هزار دانه شد و در شرایط کاربرد سیتوکینین این افزایش به‌ترتیب ۲/۶۷، ۱/۹۸، ۳/۲۹ و ۲/۷۰ درصد و در شرایط کاربرد ایندول‌استیک‌اسید به‌ترتیب ۰/۸۹، ۱/۹۷، ۲/۰۱ و ۱/۲۳ درصد بود (جدول ۴). در این تحقیق، در تمامی رقم‌های مورد بررسی بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار سیتوکینین، جیبرلیک‌اسید و ایندول‌استیک‌اسید بود. البته میزان اثر جیبرلیک‌اسید با اکسین اختلاف معنی-داری نداشتند. تأثیر بیش‌تر سیتوکینین بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه شاید به دلیل اثر این تنظیم‌کننده بر تسریع تقسیم سلولی در ابتدای رشد دانه و افزایش اندازه مخزن باشد. احتمالاً این تنظیم‌کننده رشد گیاهی با به‌تأخیرانداختن پیری سبب می‌شود دوره فعال رشد دانه بیش‌تر شود و در نهایت عملکرد دانه افزایش یابد. در همین ارتباط Kong *et al.* (2015) اظهار داشتند که سیتوکینین در اوایل دوره رشد دانه گندم از طریق تحریک تقسیم سلولی و افزایش اندازه مخزن سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. افزایش غلظت سیتوکینین در دانه‌های گندم در اوایل دوره رشد دانه از طریق افزایش طول دوره رشد دانه و سرعت تقسیم سلولی، سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Yang *et al.*, 2002). ایندول استیک اسید قادر است همانند سیتوکینین و یا در مشارکت با آن تقسیم سلولی را تحریک کند (Yang *et al.*, 2016; Chaudhry & Khan, 2007). Saeidi *et al.* (2015) گزارش کردند که محلول‌پاشی ایندول‌استیک‌اسید در ابتدای تقسیم سلولی دانه‌های در حال رشد، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، ولی اعمال این تیمار در مرحله پرشدن دانه چنین تأثیری بر عملکرد دانه نداشت. بنابراین ممکن است این تنظیم‌کننده رشد در طویل‌شدن سلول‌های دانه نقش داشته باشد و از این طریق افزایش ظرفیت مخزن، انباشت فتوآسیمیلات‌ها را بهبود ببخشد و در نهایت سبب افزایش وزن دانه و بالتبع عملکرد دانه شود. تعداد دانه در سنبله با وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. وزن هزار دانه نیز با ارتفاع همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). برخلاف نتایج این تحقیق Abdoli & Saeidi (2012) به همبستگی منفی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله اشاره کرده‌اند. اعمال تنظیم‌کننده‌های رشد پس از گلدهی معمولاً از طریق افزایش وزن دانه سبب افزایش عملکرد دانه می‌شوند. البته درصورتی‌که تیمار محلول‌پاشی در زمان متورم‌شدن غلاف سنبله و ابتدای گلدهی (همانند تحقیق حاضر) انجام شود، تیمارهای تنظیم‌کننده رشد ممکن است از طریق افزایش میوه‌نشینی، سبب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد و در نتیجه ایجاد همبستگی مثبت در چنین شرایطی شده باشد.

صفت‌های فیزیولوژیک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس پارامترهای تبادلات گازی و صفت‌های فیزیولوژیک در (جدول ۶) ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار محلول‌پاشی بر سرعت فتوسنتز، پروتئین‌های محلول و خام معنی‌دار بود. اثر رقم نیز بر پروتئین‌های محلول، پروتئین خام، کاروتنوئیدها، سرعت فتوسنتز و غلظت کلروفیل a

معنی‌دار بود و فقط اثر متقابل آن‌ها (رقم در محلول-پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد) برای غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای معنی‌دار شد (جدول ۶).

نتایج به‌دست‌آمده از مقایسات میانگین اثر رقم بر سرعت فتوسنتز نشان داد (جدول ۷) که رقم پارسی بیش‌ترین و رقم آذر ۲ کم‌ترین سرعت فتوسنتز را داشتند. باتوجه‌به نقش رنگیزه‌های نوری در جذب نور و انجام فتوسنتز، بالاتربودن سرعت فتوسنتز رقم پارسی با بیش‌تر بودن غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و پایین‌تر بودن سرعت فتوسنتز رقم آذر ۲، با کم‌تر بودن غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ این رقم قابل توجیه است. همچنین مقایسات میانگین اثر تنظیم‌کننده‌ها بر سرعت فتوسنتز نشان داد که تمامی تنظیم‌کننده‌ها موجب افزایش سرعت فتوسنتز شده‌اند، به‌طوری‌که در اثر کاربرد خارجی جیبرلیک‌اسید، سیتوکینین و ایندول‌استیک‌اسید میزان فتوسنتز به‌ترتیب ۱۱/۷۶، ۸/۸۷ و ۱۸/۴۱ درصد افزایش یافت (جدول ۸). در این ارتباط، تحقیقات Gujjar *et al.* (2020) نشان داد محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در برنج از طریق افزایش غلظت داخلی این هورمون، سبب افزایش معنی-دار سرعت فتوسنتز و همچنین افزایش طول دوره رشد برگ و تداوم بیش‌تر فتوسنتز شد. Xie *et al.* (2004) نیز گزارش کردند که مصرف سیتوکینین در طول دوره رشد دانه در گندم، سرعت فتوسنتز را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. از سویی، Wingler *et al.* (1998) گزارش کردند که سیتوکینین، تخریب کلروفیل و آنزیم‌های مؤثر در زنجیره فتوسنتزی را به تأخیر می‌اندازد. پس می‌توان یکی از عوامل افزایش فتوسنتز را در اثر کاربرد این تنظیم‌کننده رشد گیاهی جلوگیری از تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم های دخیل در فتوسنتز دانست که متعاقباً سبب بهبود سرعت فتوسنتز می‌شود. در ارتباط با تأثیر مثبت جیبرلیک اسید، Abbaspour & Rezaei (2015) گزارش کرد که جیبرلیک‌اسید میزان کلروفیل‌ها، سرعت واکنش هیل و ترکیبات فنلی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، اما در میزان فلاونوئید و آنتوسیانین تغییر چشمگیری ایجاد نکرد. بنابراین، کاربرد جیبرلیک‌اسید خارجی توانست با مکانیسم‌های مختلفی توانایی گیاه را در پاسخ به تنش خشکی افزایش داده و سبب افزایش میزان فتوسنتز در گیاه شود. مطابق با نتایج این تحقیق، Ashraf & Harris (2013) نیز به افزایش میزان فتوسنتز در حضور جیبرلین اشاره کرده‌اند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول ۸) مشخص کرد که در اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها افزایش یافته و اختلاف معنی‌داری از لحاظ خصوصیت فوق در بین رقم‌های وجود داشت. بیش‌ترین میزان پروتئین‌های محلول در رقم گاسپارد و بهار (به‌ترتیب ۱۵۹ و ۱۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین مقدار در رقم‌های مرودشت و سیروان (هر دو ۱۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) دیده شد (جدول ۷). همچنین تمامی تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش درصد پروتئین‌های محلول نسبت به شرایط شاهد شدند؛ ولی تأثیر تنظیم‌کننده‌ها به-ترتیب از سیتوکینین به جیبرلیک‌اسید و ایندول-استیک‌اسید کم‌تر شد (جدول ۸). در این ارتباط Zhang *et al.* (2005) و Zhang & John (2005) گزارش کردند که سیتوکینین، سرعت فتوسنتز و مقدار کلروفیل و پروتئین‌های محلول برگ‌ها را افزایش می-دهد درحالی‌که در این ارتباط آبسیزیک‌اسید برعکس عمل می‌کند.

مقایسه میانگین نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ پروتئین خام در بین رقم‌های نیز وجود داشت (جدول ۷) و بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه در رقم‌های گاسپارد، بزوستایا و آذر ۲ (در هر سه مورد ۱۴/۳ درصد)

و کم‌ترین مقدار در رقم سیوند (۱۲/۶ درصد) دیده شد. مقایسه میانگین برای صفت پروتئین خام نشان داد که بر اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار پروتئین دانه‌ها افزایش یافت، به‌طوری‌که همه تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده سبب افزایش ۲/۱۷ درصدی صفت فوق شدند (جدول ۸). تجمع پروتئین یک فرآیند اساسی در تعیین کیفیت دانه‌های گندم است (Jiang *et al*., 2009) که مقدار پروتئین دانه به فرآیند پرشدن دانه (عوامل محیطی) و عوامل ژنتیکی بستگی دارد (Zahir *et al*., 2011). Yang *et al*. (2003) با اعمال خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد در دو رقم مختلف گندم مشاهده کردند که درصد پروتئین دانه با اعمال آبسیزیک‌اسید و جیبرلیک‌اسید به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کردند.

در بررسی اثر رقم و تیمار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای رقم‌های مورد مطالعه مشخص شد، واکنش رقم‌های مختلف یکسان نبود. کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به میزان‌های متفاوتی سبب افزایش و یا کاهش غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای در رقم‌های مختلف شدند. در این شرایط بیش‌ترین افزایش غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد مربوط به رقم گاسپارد و با اعمال جیبرلیک‌اسید (۱۵۰ درصد) و بیش‌ترین کاهش غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای مربوط به رقم پارسی و با اعمال سیتوکینین (۶۳ درصد) دیده شد (جدول ۹). این نتیجه نشان می‌دهد که رقم‌های مختلف در واکنش به اعمال تیمارهای مختلف محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سازوکارهای متفاوتی داشتند.

بر اساس نتایج حاصل از همبستگی بین صفت‌های مورد مطالعه مشخص شد که سرعت فتوسنتز با هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و پروتئین‌های محلول همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دمای برگ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). هدایت روزنه‌ای با سرعت تعرق و غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دمای برگ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. این بدان معناست که هرچه میزان هدایت روزنه‌ای بیش‌تر باشد به‌دلیل بازشدن سلول‌های نگهبان روزنه (گشودگی و بازشدن دریچه روزنه) سرعت تعرق از سطح برگ‌های گیاه افزایش می‌یابد که این امر سبب خنک‌شدن سطح برگ شده و دمای سطح برگ کاهش می‌یابد. نتایج همبستگی نشان داد که غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای با سرعت تعرق همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دمای برگ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. سرعت تعرق با حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دمای برگ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. دمای برگ با میزان پروتئین‌های محلول همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II با شاخص زنده‌مانی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. کلروفیل a نیز با کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. کلروفیل b نیز با کلروفیل کل و کاروتنوئیدها همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. غلظت کلروفیل کل نیز با غلظت کاروتنوئیدها همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). این بدان معناست که رنگیزه‌های فتوسنتزی با هم در ارتباط هستند و افزایش و کاهش هر یک از آن‌ها تحت هر عامل محیطی، روی بقیه رنگیزه‌ها موثر است. از سویی با توجه به اینکه کاروتنوئیدها نقش محافظتی از کلروفیل a در مقابل اکسایش نوری دارند بنابراین می‌توان ارتباط مستقیمی بین آن‌ها متصور شد (Mahrokh *et al*., 2016).

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای آن، صفت‌های فیزیولوژیک و تبادلات گازی تحت تیمار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه.

Table 5. Correlation coefficients between yield and its components, physiological traits and gas exchange variables under exogenous application of plant growth regulators treatment in different bread wheat cultivars in Kermanshah region

Traits	GY	BY	HI	HW	NGPS	TGW	NSPM	PH	Pn	gs	Ci	E	TLeaf	F_v/F_m	Pi	Chl a	Chl b	Chl T	Car	WSP
BY	0.81 **	1																		
HI	0.098 **	0.69 **	1																	
HW	0.81 **	0.82 **	0.74 **	1																
NGPS	0.74 **	0.75 **	0.69 **	0.75 **	1															
TGW	0.83 **	0.93 **	0.74 **	0.87 **	0.80 **	1														
NSPM	-0.11	-0.05	-0.12	-0.14	-0.15	-0.01	1													
PH	-0.70 **	-0.47 **	-0.72 **	-0.52 **	-0.55 **	-0.48 **	0.14	1												
Pn	-0.03	0.04	-0.04	-0.01	-0.02	0.01	0.02	0.08	1											
gs	0.12	0.03	0.15	0.17	0.09	0.08	0.08	-0.08	0.25 **	1										
Ci	0.11	0.03	0.12	0.12	0.15	0.09	0.13	0.01	-0.08	0.63 **	1									
E	0.20 *	0.13	0.21 *	0.24 **	0.17	0.17	0.06	-0.20 *	0.32 **	0.81 **	0.52 **	1								
TLeaf	-0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.03	-0.14	-0.24 **	0.02	-0.24 **	-0.66 **	-0.47 **	-0.55 **	1							
F_v/F_m	-0.08	-0.03	-0.09	-0.09	-0.02	-0.04	0.05	0.08	0.12	0.07	0.03	0.19 *	-0.05	1						
Pi	-0.15	-0.10	-0.15	-0.15	-0.08	-0.10	0.07	0.21 *	0.07	0.06	-0.14	0.08	-0.06	0.53 **	1					
Chl a	0.12	0.09	0.12	0.03	0.05	0.08	0.09	0.08	-0.01	0.14	0.03	0.06	-0.15	-0.01	-0.01	1				
Chl b	0.14	0.17	0.13	0.06	0.09	0.12	0.10	0.02	-0.01	0.15	0.05	0.09	-0.18	0.06	-0.02	0.86 **	1			
Chl T	0.14	0.14	0.13	0.05	0.07	0.10	0.11	0.05	-0.01	0.15	0.04	0.08	-0.17	0.03	-0.01	0.96 **	0.97 **	1		
Car	0.17	0.14	0.17	0.07	0.14	0.17	0.07	-0.01	-0.02	0.09	0.04	0.00	-0.16	-0.04	0.06	0.63 **	0.29 **	0.47 **	1	
WSP	-0.14	-0.09	-0.14	-0.10	-0.17	-0.09	0.10	0.13	0.24 **	0.10	-0.04	0.14	0.32 **	0.05	0.00	-0.06	-0.09	-0.08	0.03	1
Cp	0.04	-0.01	0.04	0.07	-0.01	-0.06	-0.08	0.11	-0.01	-0.02	0.05	-0.04	-0.00	-0.12	-0.02	-0.04	-0.11	0.08	0.04	0.18

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد.

GY =عملکرد دانه، BY=عملکرد زیست‌توده، HI=شاخص برداشت، HW=وزن هکتولیتر، NGPS=تعداد دانه در سنبله، TGW=وزن هزار دانه، NSPM=تعداد سنبله در متر مربع، PH=ارتفاع گیاه، Pn=سرعت فتوسنتز، gs=هدایت روزنه‌ای، Ci=غلظت CO2 اتاقک روزنه‌ای، E=سرعت تعرق، TLeaf =دمای سطح برگ، Fv/Fm =کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، Pi=شاخص زنده‌مانی، Chl a=محتوای کلروفیل a، Chl b =محتوای کلروفیل b، Chl T =محتوای کلروفیل کل، Car =کارتنوئید، WSP=پروتئین محلول، Cp=پروتئین خام.

* and ** significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

GY=Grain yield, BY=Biological yield, HI=Harvest index, HW=Hectoliter weight, NGPS=Number of grains per spike, TGW=Thousand grain weight, NSPM=Number of spikes per m^2, PH=Plant heigh, Pn=Photosynthetic rate, gs=Stomatal conductance, Ci=Sub-stomatal CO2, E=Transpiration rate, TLeaf=Leaf surface temperature, F_v/F_m=Chlorophyll fluorescence, Pi=Performance index, Chl a=Chlorophyll a, Chl b=Chlorophyll b, Chl T=Total chlorophyll, Car=Carotenoids, WSP=Water soluble protein, Cp=Crude protein.

جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر تبادلات گازی و برخی صفت‌های فیزیولوژیک در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه.

Table 6. Analysis of variance (mean of square) for effect of exogenous application of plant growth regulators treatment on some physiological traits and seed crude protein in different bread wheat cultivars in Kermanshah region.

Source of variation	df	Photosynthetic rate	Stomatal conductance	Sub-stomatal CO_2	Transpiration rate	Leaf surface temperature	F_v/F_m	Performance index (Pi)
Block	2	21.76^{ns}	0.418^{*}	50663^{**}	7.56^{ns}	133^{**}	0.002^{ns}	8.40^{ns}
Cultivar (C)	9	64.6^{*}	0.143^{ns}	1282^{ns}	6.89^{ns}	4.63^{ns}	0.003^{ns}	3.29^{ns}
Exogenous application (E)	3	113^{*}	0.047^{ns}	406^{ns}	9.12^{ns}	2.48^{ns}	0.001^{ns}	0.496^{ns}
C × E	27	27.4^{ns}	0.071^{ns}	17538^{*}	8.23^{ns}	1.46^{ns}	0.004^{ns}	5.21^{ns}
Error	78	34.0	0.103	7368	83.51	13.05	2.87	67.1
CV (%)	-	52.8	68.4	39.1	38.1	4.92	8.42	40.3

Continue the table 6 ادامه جدول ۶

Source of variation	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoids	Water soluble proteins	Crude protein
Block	2	24.7^{*}	34.26^{*}	116^{**}	183^{**}	52.5^{ns}	0.58^{**}
Cultivar (C)	9	12.5^{*}	12.34^{ns}	46.5^{ns}	72.5^{**}	608^{**}	3.70^{**}
Exogenous application (E)	3	5.36^{ns}	4.75^{ns}	19.4^{ns}	15.2^{ns}	6132^{**}	0.70^{**}
C × E	27	7.19^{ns}	6.90^{ns}	26.1^{ns}	32.7^{ns}	127^{ns}	0.09^{ns}
Error	78	5.6	6.64	41.1	31	132	0.11
CV (%)	-	9.93	26.2	14.5	8.48	7.74	2.37

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک پنج و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی صفت‌های فیزیولوژیک در رقم‌های مختلف گندم نان تحت شرایط محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در منطقه کرمانشاه

Table 7. Mean of comparison of some physiological traits in different bread wheat cultivars on exogenous application of plant growth regulators treatment in Kermanshah region

Cultivar	Photosynthetic rate (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})	Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)	Carotenoids (mg g^{-1} FW)	Water soluble protein (mg g^{-1} FW)	Crude protein (%)
Azar2	17.7 c	19.2 b	42.5 b	155 ab	14.3 a
Bahar	24.3 ab	20.7 a	43.7 a	158 a	13.6 bc
Pishtaz	20.8 abc	20.0 a	47.8 a	146 bcd	13.2 d
Sivand	22.2 abc	22.8 a	52.9 a	151 abc	12.6 e
Parsi	25.5 a	22.7 a	56.1 a	148 abcd	13.8 b
Zare	18.7 bc	23.3 a	52.4 a	144 cd	13.4 cd
Marvdasht	20.2 abc	22.5 a	53.2 a	140 d	13.8 b
Sirvan	22.6 abc	20.3 a	46.5 a	140 d	13.5 c
Gaspard	22.8 abc	19.9 a	45.1 ab	159 a	14.3 a
Bezostaya	22.6 abc	19.8 ab	45.1 ab	143 cd	14.3 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر برخی صفت‌های فیزیولوژیک در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه.

Table 8. Mean of comparison for effect of exogenous application of plant growth regulators treatment on some physiological traits in different bread wheat cultivars in Kermanshah region.

Exogenous application	Photosynthetic rate (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})	Water soluble protein (mg g^{-1} FW)	Crude protein (%)
Control	19.5 b	133 d	13.5 b
Gibberellic acid (GA)	22.1 ab	151 b	13.8 a
Increase (%)	+11.76	+11.92	+2.17
Cytokinin (CK)	21.4 ab	167 a	13.8 a
Increase (%)	+8.87	+20.35	+2.17
Indol acetic acid (IAA)	23.9 a	143 c	13.8 a
Increase (%)	+18.41	+6.99	+2.17

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۹- درصد تغییرات غلظت CO_2 اتاقک روزنه‌ای تحت تاثیر رقم و تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در رقم‌های مختلف گندم نان در منطقه کرمانشاه

Table 9. Percentage change of sub-stomatal CO_2 under the influence of cultivar and exogenous application of plant growth regulators in different bread wheat cultivars in Kermanshah region

Cultivar	Exogenous application	Sub-stomatal CO_2 (mmol m^{-2} s^{-1})	Changes (%)
Azar2	Control	260	
	GA	209	-19.61
	CK	270	+3.84
	IAA	285	+9.61
Bahar	Control	120	
	GA	255	+112.5
	CK	174	+45.0
	IAA	260	+116.6
Pishtaz	Control	247	
	GA	280	+13.36
	CK	168	-31.98
	IAA	194	-21.45
Sivand	Control	137	
	GA	156	+13.86
	CK	229	+118.24
	IAA	260	+98.78
Parsi	Control	275	
	GA	256	-6.90
	CK	101	-63.27
	IAA	131	-52.36
Zare	Control	173	
	GA	273	+36.63
	CK	253	+46.24
	IAA	130	-24.85
Marvdasht	Control	157	
	GA	282	+79.61
	CK	152	-3.18
	IAA	125	-20.38
Sirvan	Control	179	
	GA	274	+53.07
	CK	202	+12.84
	IAA	267	+49.16
Gaspard	Control	104	
	GA	260	+150
	CK	219	+110.57
	IAA	124	+19.23
Bezostaya	Control	308	
	GA	268	-12.98
	CK	244	-20.77
	IAA	197	-36.03

GA=جیبرلیک‌اسید، CK=سیتوکینین، IAA=ایندول‌استیک‌اسید

GA=Gibberellic acid, CK=Cytokinin, IAA=Indol acetic acid

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مصرف تنظیم‌کننده‌های رشد در دو مرحله‌ی متورم-شدن غلاف سنبله و ابتدای گلدهی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن هزار دانه رقم‌های مورد بررسی شد. تمامی تنظیم‌کننده‌ها اثرات مثبتی بر عملکرد و اجزای آن داشتند ولی اثر سیتوکینین بیش‌تر از سایرین بود.

سرعت فتوسنتز که مهمترین شاخص قدرت منبع است، در این تحقیق تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی تنظیم-کننده‌های رشد دو مرحله‌ی متورم‌شدن غلاف سنبله و ابتدای گلدهی به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد. در این شرایط بیش‌ترین افزایش به‌ترتیب متعلق به تنظیم-کننده‌های جیبرلیک‌اسید، ایندول‌استیک‌اسید و سیتوکینین بود. به‌طور کلی اعمال تنظیم‌کننده‌های رشد در این تحقیق احتمالاً از طریق تأثیر بر قدرت منبع و افزایش سرعت فتوسنتز و تبادلات گازی موجب افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه رقم‌های مورد بررسی شدند. سیتوکینین در این شرایط بیش‌ترین اثر معنی‌دار و مثبت در افزایش عملکرد دانه را داشت. بر اساس نتایج این مطالعه، رقم‌های مختلف گندم از نظر صفت‌های زراعی و فیزیولوژیک مورد بررسی دارای اختلاف معنی‌داری بودند که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در بین آن‌ها بود.

REFERENCES

1. Abbaspour, H. & Rezaei, H. (2015). Effects of gibberellic acid on Hill reaction, photosynthetic pigment and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress levels. *Journal of Plant Research*, 27(5), 893-903. (In Persian)
2. Abdoli, M. & Saeidi, M. (2012). Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Annals of Biological Research*, 3(3), 1322-1333.
3. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S. & Azhand, M. (2013). The effect of foliar application of Indole-3-Acetic Acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 4(6), 1406-1413.
4. Ahmadi, K., Ebadzade, H. R., Hatami, F., Mohammadnia-Afrouzi, S., Esfaniaripour, E. & Abastaghani, R. (2021). *Agricultural statistics: Crops.* Ministry of jihad and agriculture press, Tehran. 89 pp.
5. Arzani, A. (2011). *Breeding field crops* (Translation). By: Sleper, D. A. & Poehlman, J. M., 4th edition. Isfahan University of Technology Publications, Iran. 628 p. (In Persian)
6. Ashraf, M. & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163-190.
7. Betrand, A. M. & Ernsten, A. (2001). Endogenous gibberellins in *Lolium perenne* and influence of defoliation on their contents in elongating leaf bases and in leaf sheats. *Journal of Plant Physiology*, 111, 123-231.
8. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dyebinding. *Annals of Biochemistry*, 72, 248-254.
9. Chaudhry, N. Y. & Khan, A. S. (2007). Role of mercury and exogenous IAA on xylem vessels and sieve elements in *Cucumis sativus* L. *Pakistan Journal of Botany*, 39(1), 135-140.
10. Food and Agriculture Organization. (2022). *FAOSTAT Statistics Database*. Available at: http://www.faostat.fao.org.
11. Gujjar, R. S., Banyen, P., Chuekong, W., Worakan, P., Roytrakul, S. & Supaibulwatana, K. (2020). A synthetic cytokinin improves photosynthesis in rice under drought stress by modulating the abundance of proteins related to stomatal conductance, chlorophyll contents, and rubisco activity. *Plants (Basel)*, 27(9), 106-120.
12. Hirayama, T. & Mochida, K. (2022). Plant hormonomics: A key tool for deep physiological phenotyping to improve prop productivity. *Plant and Cell Physiology*, 1-14.
13. Hussain, K. H., Hussain, M., Navaz, K. H., Maeed, A. & Hayat-Bhatti, K. H. (2001). Morphochemical response of chaksa (*Cassia absus* L.) to different concentration of indol-3-acetic acid (IAA). *Pakistan Journal Botany*, 43(3), 1491-1493.
14. Jiang, D. H., Yue, B., Wollenweber, W., Tan, H., Mu, Y., Bo, T., Da, Q. & Cao, W. (2009). Effects of post-anthesis drought and waterlogging on accumulation of high-molecular-weight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(2), 89-97.
15. Khajepour, M. R. (2021). *Principle of cultivation*. Jahad Press. Isfahan. 662 pp.
16. Kong, L., Guo, H. & Sun, M. (2015). Signal transduction during wheat grain development. *Planta*, 241, 789-801.

17. Ku, Y. S., Sintaha, M., Cheung, M. Y. & Lam, H. M. (2018). Plant hormone signaling crosstalks between biotic and abiotic stress responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 3206-3241.
18. Li, Y. M., Forney, C., Bondada, B., Leng, F. & Xie, Z. S. (2021). The molecular regulation of carbon sink strength in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-14.
19. Lichtenthaler, H. & Wellburn, A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603, 591-592.
20. Mahrokh, A., Nabi-Pour, M., Roshanfekr Dezfuli, H. A. & Choukan, R. (2016). The effect of spraying auxin and cytokinin hormones on photosynthetic pigments and leaf proline amino acid in maize hybrid 704 under drought stress condition. *Iranian of Plant Process and Function*, 5(16), 165-178. (In Persian)
21. Muller, M. & Munne-Bosch, S. (2021). Hormonal impact on photosynthesis and photoprotection in plants. *Palnt Physiology*, 185, 1500–1522.
22. Pustovoitova, T. N., Zhdanova, N. E. & Zholevich, V. N. (2004). Change in the levels of IIA and ABA in cucumber leaves under progressive soil drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 52, 513-517.
23. Richards, R. A. (1992). The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. I. Agronomic characteristics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43, 517-527.
24. Saeidi, M., Abdoli, M., Azhand, M. & Jalali-Honarmand, S. (2015). The effect of water deficiency stress and foliar application of indole acetic acid at different stages of grain growth on grain yield and germination traits of produced seeds in bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 3(2), 173-187. (In Persian)
25. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Poostini, K. & Najafian, G. (2006). Effect of exogenous application of ABA and CK at different stages of grain development on some physiological aspects of source and sink relationship in two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(3), 268-282. (In Persian)
26. Wingler, A., Scahewen, A., Richard, C. L., Peter, J. & Paul-Quic, W. L. (1998). Regulation of leaf senescence by cytokinin, sugars and light. *Plant Physiology*, 116, 329-335.
27. Xie, Z., Jiang, D., Dai, T. & Cao, W. (2004). Effect of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regulation*, 44, 25-32.
28. Yang, D., Li, Y., Shi, Y., Cui, Z., Luo, Y., Zheng, M., Chen, J., Li, Y., Yin, Y. & Wang, Z. (2016). Exogenous cytokinins increase grain yield of winter wheat cultivars by improving stay-green characteristics under heat stress. *PLoS One*, 11(5), 1-19.
29. Yang, J., Zhang, J., Huang, Z., Wang, Z., Zhu, Q. & Liu, L. (2002). Correlation of cytokinin levels in the endosperms and roots with cell number and cell division activity during endosperm development in rice. *Annals of Botany*, 90, 369-377.
30. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. & Zhu, Q. (2003). Hormones in the grains in relation to sink strength and development of spikelets in rice. *Plant Growth Regulators*, 41, 185-195.
31. Yu, Z., Duan, X., Luo, L., Dai, S., Ding, Z. & Xia, G. (2020). How plant hormones mediate salt stress responses? *Trends in Plant Science*, 25(11), 1117-1130.
32. Zahir, Z. A., Asghar, H. N. & Arshad, M. (2011). Cytokinin and its precursors for improving growth and yield of rice. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 405-408.
33. Zhang, K. & John, P. C. L. (2005). Raised level of cyclin dependent kinase after prolonged suspension culture of *Nicotiana plumbaginifolia* is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 82, 295-308.
34. Zhang, X., Wang, T. & Li, C. (2005). Different responses of two contrasting wheat genotypes to abscisic acid application. *Biologia Planta*, 49, 613-616.