

Effect of gibberellin application on sink strength and remobilization of wheat cultivars under terminal drought stress

Ali Ahmadi^{1*}, Robab mahmoudi², Mehri Asiaban³

1,2,3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: April 17, 2022- Accepted: July 4, 2022)

ABSTRACT

Hormones play an important role in grain filling regulation (as reproductive sinks) and the demand for assimilates from current photosynthesis and remobilization sources as well. The objective of this study was to improve sink strength through GA₃ application, measuring remobilization and yield under terminal drought stress. Twenty wheat cultivars were cultivated in a split plot arrangement based on RCBD design with three replications, full irrigation and 40% of field capacity being main plots, GA₃ foliar application (60 μM) and control (No GA₃) were regarded as sub-plots and wheat cultivars were sub-sub-plots. Grain yield, biological yield, yield components and remobilization (by internodes) were estimated. Significant variation among cultivars was observed under both full irrigation and stress treatments. However, the response of the cultivars to the gibberellin application was almost the same. Drought stress reduced grain yield (33%), biological yield (20%), 1000-seed weight (14%), number of grains per spike (14%) and remobilization (8%), but application of gibberellin increased these traits under both conditions. Gibberellin foliar application at the wheat pollination stage had a positive effect on sink strength and remobilization, especially under full irrigation conditions. Under drought stress conditions, the positive effect of gibberellin application on the studied traits was less due to the reduction of grain filling period. Based on the results of present experiment, foliar application of gibberellin is not recommended under drought stress conditions.

Keywords: Gibberellic acid, photo assimilate remobilization, sink strength, terminal drought stress.

اثر محلول پاشی جیبرلین بر قدرت مقصد فیزیولوژیکی و انتقال مجدد ارقام گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل

علی احمدی^{۱*}، رباب محمودی^۲، مهری آسیابان^۳

۱، ۲، ۳. استاده، دانش آموخته دکتری و کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی،

دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۳)

چکیده

هورمون‌ها نقش مهمی در تنظیم فرایند پر شدن دانه‌ها به عنوان مقصد فیزیولوژیکی زایشی و تقاضای مواد پرورده از منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ایفا می‌کنند. هدف از این تحقیق، بهبود قدرت مقصد فیزیولوژیکی از طریق محلول پاشی جیبرلین و اندازه‌گیری انتقال مجدد و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی آخر فصل بود. ۲۰ رقم زراعی گندم در قالب یک طرح کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند؛ به طوری که آبیاری در دو سطح آبیاری متداول و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اصلی، محلول پاشی جیبرلین (GA₃) در دو سطح شاهد و محلول پاشی GA₃ با غلظت 60 μM در مرحله گرده‌افشانی به عنوان عامل فرعی و رقم به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، اجزای عملکرد و انتقال مجدد به تفکیک میانگروه تعیین شد. تنوع ژنتیکی زیادی از نظر انتقال مجدد و عملکرد بین ارقام گندم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی وجود داشت. اما پاسخ ارقام به کاربرد جیبرلین تقریباً مشابه بود. تنش خشکی آخر فصل سبب کاهش عملکرد دانه (۳۳ درصد)، عملکرد بیولوژیکی (۲۰ درصد)، وزن هزار دانه (۱۴ درصد)، تعداد دانه در سنبله (۱۴ درصد) و انتقال مجدد (۸ درصد) شد؛ اما کاربرد جیبرلین با تنظیم و تغییر فرایندهای فیزیولوژیکی سبب بهبود این صفات در هر دو شرایط آزمایشی شد. محلول پاشی جیبرلین در مرحله گرده‌افشانی گندم تأثیر مثبتی بر تقویت مقصد فیزیولوژیکی و انتقال مجدد به ویژه در شرایط آبیاری مطلوب داشت. در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه، اثر مثبت محلول پاشی جیبرلین روی صفات مورد مطالعه کمتر بود. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش در شرایط تنش خشکی محلول پاشی جیبرلین توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، تقویت مقصد فیزیولوژیکی، تنش خشکی آخر فصل، جیبرلیک‌اسید.

* Corresponding author E-mail: Ahmadi@ut.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهمترین محصول غذایی جهان از نظر سطح زیر کشت، ارزش تجاری و تغذیه انسانی است و در مقایسه با سایر محصولات، بیشترین نقش را در تأمین امنیت غذایی جهانی داراست (Reynolds *et al.*, 2012). با این وجود میانگین عملکرد گندم در واحد سطح در ایران پایین تر از میانگین عملکرد در جهان است. به طوری که طبق گزارش فائو متوسط عملکرد گندم آبی در سال ۲۰۲۰ در جهان ۳۴۷۴ و در ایران ۱۹۷۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (<http://www.fao.org>). در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ میانگین عملکرد گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب ۴۲۳۶ و ۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار بود (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۰). بروز تنش خشکی به ویژه بعد از گلدهی، یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد گندم در اکثر بخش های آسیای میانه، خاورمیانه و از جمله ایران می باشد (Lopez *et al.*, 2003). به علاوه انتظار می رود تحت تأثیر تغییر اقلیم نیز، شدت و فراوانی بروز تنش خشکی در اغلب نقاط جهان بیش از پیش افزایش یابد (IPCC, 2013).

در طی دوره ای از رشد گندم، تجمع ماده خشک در گیاه بیشتر از میزان مصرف آن است، در این حالت مواد فتوسنتزی مازاد به صورت قندهای مختلف اغلب در ساقه ذخیره می شوند و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گلدهی شروع می شود به دانه انتقال می یابند (Sehgal *et al.*, 2018). محققان گزارش کرده اند تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل، ذخایر ساقه به نوعی نقش بافر را در تولید بیوماس و عملکرد دانه، از طریق افزایش جذب آب و بهبود کارایی مصرف آب ایفا می کنند (Pietragalla & Pask, 2012). از طرفی تفاوت

ارقام از نظر قدرت مقصد فیزیولوژیکی از مرحله گلدهی تا تکمیل پر شدن دانه ظرفیت فتوسنتز مبدأ و کربوهیدرات های ذخیره ای انتقال یافته را تنظیم می کند (Jagadish *et al.*, 2015). مطالعات زیادی نشان داده است که تعداد مخزن ها و فعالیت آن ها نیز به راحتی توسط تنظیم کننده های رشد تحت تأثیر قرار می گیرند (Yang *et al.*, 2013).

جیبرلین ها گروهی از تنظیم کننده های رشد گیاهی و دارای ساختار دی ترپن های چهار حلقه ای هستند که در تنظیم فرایندهای مختلف رشد و نمو مانند جوانه زنی، تنظیم خواب، آغاز گلدهی، نمو گل، نمو دانه (میوه)، توسعه و طویل شدن برگ، بلوغ دانه کرده و طول دوره رسیدگی دانه نقش دارد (Rhaman *et al.*, 2021). جیبرلین ها با تأثیر بر تقسیم و طویل شدن سلول های ساقه در طویل شدن میانگره ها و توان ذخیره سازی آنها نیز نقش دارند (Yan *et al.*, 2022). بهبود پتانسیل منبع، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و نیز افزایش قدرت مخزن یا به عبارت دیگر روابط منبع-مخزن نیز تحت تأثیر جیبرلین ها قرار می گیرند (Khan *et al.*, 2007). نقش جیبرلین در تنظیم روابط منبع-مخزن در سه مسیر امکان پذیر است: ۱) جیبرلین از طریق تنظیم فعالیت آنزیم های فروکتوز ۱، ۶- بیس فسفاتاز و ساکارز فسفات سینتاز تأثیر مثبت بر سنتز ساکارز در منبع دارد (Iqbal *et al.*, 2011). ۲) جیبرلین از طریق تأثیر بر تورژسانس سلولی، اسیدیته آپوپلاست و غلظت هورمون ها، فرآیند بارگیری آوند آبکش را نیز تحریک می نماید (Iqbal *et al.*, 2011) و ۳) جیبرلین فرایند انتقال به مخزن را از طریق افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز خارج سلولی (آنزیمی که مسئول فرایند تخلیه از آوند آبکش به مخزن است) و افزایش قدرت مقصد فیزیولوژیکی تنظیم

از مکانیسم‌های احتمالی پاسخ جیبرلین به تنش در گیاهان اثر متقابل^۱ این هورمون با هورمون‌های اتیلن، آبسیزیک‌اسید (از طریق تجمع DELLA پروتئین)، اسیدسالیسیلیک (Fahad et al., 2021;) و ایندول‌استیک‌اسید (Alonso-Ramírez et al., 2009) عنوان شده است (Qiu et al., 2019; Yan et al., 2022). نقش دیگر جیبرلین، حفظ سرعت فتوسنتز، بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش خسارت تنش اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی است (Kaya et al., 2006; Roghayyeh et al., 2014).

با توجه به موارد ذکر شده، مطالعه رابطه انتقال مجدد به-عنوان منبع مواد فتوسنتزی با قدرت مقصد فیزیولوژیک ارقام برای شناخت ویژگی‌های فیزیولوژیکی مناسب به-منظور گزینش ژنتیکی و در نهایت بهبود عملکرد دانه حائز اهمیت است. در این مطالعه کوشش شده است به این پرسش که آیا کاربرد خارجی هورمون جیبرلین قادر است علاوه بر تقویت قدرت مقصد فیزیولوژیک، میزان انتقال مجدد و تحمل تنش خشکی آخر فصل را در ارقام گندم بهبود بخشد یا خیر، پاسخ داده شود. بنابراین، این آزمایش با هدف تعیین انتقال مجدد و عملکرد ارقام گندم با کاربرد خارجی جیبرلین در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی انجام شد.

مواد و روش‌ها

۱- مواد گیاهی: در این تحقیق ۲۰ رقم از گندم‌های ایران با سوابق اصلاحی متفاوت با بررسی شجره‌نامه ارقام و با حداکثر تنوع ژنتیکی از ارقام قدیمی و جدید، متحمل تا حساس به تنش خشکی مورد مطالعه قرار

می‌کند (Iqbal et al., 2011). مطالعات قبلی نشان داده که کاربرد خارجی GAها بیان ژن‌های بیوسنتزکننده هورمون جیبرلین درون‌زا را تنظیم و تحریک می‌کند و غلظت داخلی هورمون GA را افزایش می‌دهد (Ci et al., 2021; Yang et al., 2013). علاوه بر موارد ذکر شده، شواهدی مبنی بر دخالت مسیر سیگنالی جیبرلین در پاسخ‌های گیاهان به تنش‌های غیر زنده نظیر تنش سرما، شوری، دمای بالا، غرقابی و خشکی وجود دارد (Colebrook et al., 2014; Ahmad et al., 2017). نقش جیبرلین‌ها در تنش خشکی هنوز به‌خوبی شناخته نشده است و مشاهدات متناقضی در مورد آن وجود دارد (Fahad et al., 2021). برخی مطالعات نشان داده‌اند که در تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب میزان جیبرلین گیاه کاهش می‌یابد (Abdel & Al-Rawi, 2011). کاهش سطوح جیبرلین در ذرت (*Zea mays* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و *(Boehmeria nivea* (L.) Gaud) تحت تنش خشکی گزارش شده است (Wang et al., 2008; Coelho Filho et al., 2013). در مقابل، گزارشی نیز از افزایش میزان جیبرلین گیاه در تنش خشکی موجود است (Zhao et al., 2007). Xu et al. (2022) نیز گزارش کردند که میزان جیبرلین حتی بین چند رقم کلزای مورد مطالعه در یک آزمایش تحت تنش خشکی نیز با یکدیگر متفاوت است. اخیراً ژن‌های مربوط به تحمل تنش خشکی که توسط هورمون جیبرلین تنظیم می‌شوند در برنج (Zhou et al., 2019)، ذرت (Chen et al., 2019) و پنبه (Shi et al., 2019) شناسایی شده‌اند که فوق بیان ژن‌های بیوسنتز جیبرلین، سبب افزایش بیان ژن‌های فوق و افزایش تحمل به تنش خشکی در این آزمایش‌ها شده است. یکی

¹ Crosstalk

انجام شد. عملیات آبیاری به روش قطره‌ای انجام شد. رژیم‌های رطوبتی شامل: ۱. شاهد (آبیاری متداول (معادل ۷۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک کلاس A) ۲. تنش رطوبتی (معادل ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک کلاس A) بودند. هر دو تیمار شاهد و تنش تا مرحله ظهور سنبله به‌طور همزمان با یکدیگر آبیاری شدند و از این مرحله به بعد اعمال تیمار تنش تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت؛ در صورتی که تیمارهای عدم تنش تا پایان مرحله رشد آبیاری شدند. زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های رقم معمول مورد کشت در منطقه (پیش‌تاز) وارد مرحله ظهور سنبله شدند تیمار تنش آغاز شد.

بر اساس توصیه متداول کودی برای مزرعه آزمایشی کود آمونیوم فسفات برمبنای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۴۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) قبل از کاشت و همچنین کود اوره برمبنای ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۶۹ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن به‌صورت سرک به زمین داده شد (Moshiri *et al.*, 2014). به‌منظور اعمال تیمار تقویت مقصد فیزیولوژیک بعد از تکمیل گرده‌افشانی (زادوکس ۶۱) $60\mu\text{M GA}_3$ (با شناسه ۵۲۲۶۳۶، ساخت مرک آلمان) روی سنبله‌های بوته‌های مورد نظر در سه روز متوالی، با استفاده از دستگاه محلول‌پاش دستی با نازل مخروطی به‌صورت کاملاً یکنواخت اسپری شد (Yang *et al.*, 2013). در هر بار تیمار حجم محلول پاشی ۵۰۰ میلی‌لیتر بر متر مربع بود و در هر محلول پاشی ۰/۰۵ درصد (v/v) توئین ۲۰ به‌عنوان خیس‌کننده استفاده شد. در تیمارهای شاهد نیز با استفاده از همان حجم آب محلول پاشی انجام شد. برای تعیین مقدار انتقال مجدد، در زمان گرده‌افشانی ۸۰ بوته

گرفتند. برخی ویژگی‌های ارقام مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

۲- مشخصات محل اجرای آزمایش: این آزمایش در مزرعه پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران واقع در کرج (طول جغرافیایی ۵۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ انجام شد. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی آب و هوایی بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن پیشرفته جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد محسوب شده و میانگین بارندگی آن حدود ۲۷۱ میلی‌متر است (Ghaemi *et al.*, 2016). خاک محل آزمایش دارای بافت لومی-رسی بود. برخی اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

۳- نحوه اجرای آزمایش و صفات مورد مطالعه: این آزمایش به صورت کرت‌های دوبارخردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتور تنش و عدم تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در کرت اصلی، تیمار محلول پاشی و عدم محلول پاشی جیبرلین در کرت فرعی و ارقام مورد مطالعه در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت فرعی شامل پنج خط چهار متری با فاصله ۱۴ سانتی‌متر بود. بین هر دو کرت فرعی نیم‌متر فاصله به‌صورت نکاشت در نظر گرفته شد. همچنین جهت جلوگیری از نشت آب از هر کرت اصلی به کرت اصلی مجاور، فاصله سه‌متر بین کرت‌های اصلی و فاصله دو متر بین تکرارهای آزمایش منظور شد. پس از عملیات آماده‌سازی زمین، بذور با قارچ‌کش (تیکونازول) ضد عفونی شده و عملیات کاشت با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۱۷ آبان به‌صورت دستی انجام شد. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری

در روابط فوق کاهش تنفسی در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای ارقام و شرایط محیطی مورد استفاده در این مطالعه یکسان است. Ehdai et al. (2008) نیز در مطالعه خود در رابطه با تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم چنین فرضی را صحیح دانسته‌اند. برای تعیین عملکرد دانه و بیولوژیکی در زمان رسیدگی کامل، پس از حذف حاشیه از ابتدا و انتهای کرت‌ها مساحت نیم متر مربع، به‌طور جداگانه برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین شد. سنبله‌های گیاهان نمونه‌گیری شده با خوشه‌کوب دستی سابیده شدند و تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. در نهایت داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی ($p \leq 0.05$)، محلول‌پاشی جیبرلین و رقم و نیز اثر متقابل رقم و تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جیبرلین ($p \leq 0.01$) بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جیبرلین نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه (تا ۳۳ درصد) شد؛ اما کاربرد جیبرلین سبب افزایش ۴/۲ و ۳/۲ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۴). از آنجایی که بین ارقام مورد مطالعه از نظر پاسخ به جیبرلین تفاوت زیادی وجود نداشت اثر متقابل رقم و جیبرلین معنی‌دار نشد. افزایش عملکرد دانه گندم در اثر کاربرد جیبرلین توسط Yang et al. (2013)،

به نسبت مشابه (یا گروه‌های به نسبت مشابه) که در یک روز گرده‌افشانی کردند، علامت‌گذاری شدند. باتوجه‌به تفاوت در فنولوژی ارقام، تاریخ گرده‌افشانی هر رقم یادداشت‌برداری و برای نمونه‌برداری مد نظر قرار گرفت. از گیاهان علامت‌گذاری شده ۴۰ بوته در مرحله حداکثری ذخایر ساقه کفبر شدند و ۴۰ بوته دوم در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت شد و برگ‌ها جدا شده و ساقه‌های اصلی به میانگره‌ها تفکیک شده و جهت خشک‌کردن به آون (به مدت ۴۸ ساعت در ۸۰ درجه سلسیوس) منتقل شد. لازم به ذکر است که مرحله حداکثری ذخایر ساقه با نمونه‌گیری از ۱۰ بوته به فواصل پنج روز از ظهور سنبله (زادوکس ۵۲) تا پایان مرحله شیر شدن (زادوکس ۷۵) باتوجه‌به فنولوژی هر رقم تعیین شد. میانگره‌ها شامل پدانکل (دم گل‌آذین)، پنالتیمیت (میانگره ماقبل آخر) و میانگره‌های زیرین (مجموع بقیه میانگره‌ها) بود. همچنین برای تعیین میزان انتقال مجدد^۱ و کارایی انتقال مجدد^۲ مقایسه تغییرات وزنی ۴۰ بوته اول با ۴۰ بوته دوم که در مرحله رسیدگی برداشت می‌شوند از طریق روابط ۱ و ۲ انجام شد.

(رابطه ۱) (Bonnet & Incoll, 1993)

انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه = وزن خشک ساقه در مرحله حداکثری ذخایر ساقه - وزن خشک ساقه در مرحله رسیدن دانه.

(رابطه ۲)

کارایی انتقال مجدد (٪) = (انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه / وزن خشک ساقه در مرحله حداکثری ذخایر ساقه) * ۱۰۰.

¹ Remobilization

² Remobilization efficiency

Iqbal & Ashraf (2013) گزارش شده است. به عقیده محققان در اثر کاربرد جیبرلین فتوسنتز سنبله به دلایلی مانند تأخیر پیری، بازدارندگی تجزیه کلروفیل (Iqbal *et al.*, 2017)، افزایش فعالیت آنزیم‌های روبیسکو و ساکارز فسفات سینتاز بهبود یافته و در نتیجه دوره پرشدن دانه طولانی‌تر می‌شود (Yang *et al.*, 2013). اما همانطوری که مشاهده می‌شود در این آزمایش اثر مثبت جیبرلین در افزایش عملکرد دانه در تنش خشکی احتمالاً به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره پرشدن دانه کمتر از آبیاری مطلوب بود.

جدول ۱- نام و برخی مشخصات ارقام گندم مورد مطالعه در آزمایش.

Table 1. Names and properties of studied cultivars in experiment

Cultivar	Cultivated area	Year of cultivar release	Pedigree
1 Akbari	Temperate	2006	1-63-31-/3/12300/Tob//Cno/Sx-0IRN
2 Arta	Warm and humid	2006	HD2206/Hork//Bul/6/CMH80A.253/2/M2A/CML//....
3 Baharan	Temperate	2014	KAUZ/PASTOR/PBW343
4 Bam	Temperate	2006	Vee'S'/Nac//1-66-22
5 Chamran	Hot and dry	1997	Attila (CM85836-50Y)
6 Dena	Warm and temperate	2007	CIMMYT taroo- 3 from
7 Dez	Hot and dry	2002	Kauz*2/Opata//Kauz
8 Hamoon	Hot and dry	2002	Roshan*Falat
9 Marvdasht	Temperate	1999	HD2172/Bloudan//Azd
10 Mehregan	Hot and dry	2014	OASIS/KAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR
11 Moghan3	Warm and humid	2006	Luan/3/V763.23/V879.C8//Pvn/4/Picus 5/Opata
12 Parsi	Temperate	2009	Dove'S'/Buc'S'//2*Darab
13 Pishgam	Cold	2009	Bkt/90-Zhong87
14 Pishtaz	Temperate	2002	Alvand//Aldan/Ias58
15 Rasul	Warm and humid	1992	Veery'S'≠7 = Kvz/Buho'S' /Kal/Bb
16 Shabrang	Hot and dry	2014	SORA/2*PLATA12
17 Shiraz	Temperate	2002	Gv/D630//Ald'S'/3/Azd
18 Shoosh	Hot and dry	2014	CBRD-3/STORKxDICOCOIDEOS ICW99-0474-11AP-0AP-0AP-4AP-0AP
19 Zagros	Warm and humid	1996	Tan"s"/vee"/opata
20 Zare	Cold	2010	L1.11//F35.70/Mo73/4/Ymh/Tob/Mcd/3/Lira CIT925080-0SE-0YC-7YC-0YC-1YC-0YC-3YC-0YC

جدول ۲- برخی اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴

Table 2. Some meteorological data of the experimental site during 2015-2016 growing season

Average	October	November	December	January	February	March	April	May	June
Evaporation (mm)	7.0	2.4	1.0	0.0	0.0	3.4	3.4	7.5	11.0
Rainfall (mm)	3.5	77.4	28.6	15.6	8.7	17.8	47.3	2	0.0
Temperature (C°)	19.4	10.5	4.6	5.1	4.9	11.8	14	20.2	26.2

تنوع نسبتاً زیادی از نظر عملکرد دانه در بین ارقام مورد مطالعه در پاسخ به تنش خشکی دیده شد (جدول ۵). ارقام پیشگام، شبرنگ، پارسی، مهرگان و دز بالاترین و ارقام رسول، مرودشت، آرتا و اکبری کمترین عملکرد دانه را در شرایط آبیاری مطلوب دارا بودند (جدول ۵). تنش خشکی سبب کاهش میانگین عملکرد دانه تا ۳۳ درصد شد. پاسخ ارقام مورد مطالعه به تنش خشکی اعمال شده متفاوت بود. به طوری که ارقام شیراز، زارع، دنا

رقم و تنش خشکی ($p \leq 0.01$) بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود (جدول ۳). محلول‌پاشی جیبرلین میانگین عملکرد بیولوژیکی را از ۱۱۳۷ گرم بر متر مربع به ۱۱۵۳ گرم در متر مربع افزایش داد. اثر مثبت کاربرد جیبرلین در تولید ماده خشک و شاخه‌زایی و طول غلاف در ماش (*Vigna radiata* L.) (Raina et al., 2020) و نخود (*Vigna unguiculata* L.) (Emongor, 2007) نیز گزارش شده است.

طبق جدول مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی ارقام مهرگان، پیشگام، پارسی و شبرنگ بالاترین و ارقام رسول، آرتا، مرودشت و اکبری کمترین عملکرد بیولوژیکی را در شرایط آبیاری مطلوب دارا بودند (جدول ۵). تنش خشکی پس از گرده‌افشانی میانگین عملکرد بیولوژیکی را در این آزمایش تا ۲۰ درصد کاهش داد. پاسخ ارقام از نظر عملکرد بیولوژیکی نیز به تنش خشکی متفاوت بود. ارقام اکبری، پارسی و زارع بیشترین کاهش عملکرد بیولوژیکی (بین ۴۰ تا ۵۰ درصد) را نشان دادند در حالی که در ارقام پیشگام، هامون، رسول و شوش با تنش خشکی عملکرد بیولوژیکی تفاوت چندانی نشان نداد (جدول ۵). علت کاهش عملکرد بیولوژیک تحت تنش خشکی را می‌توان به دلایل مختلفی نسبت داد. تنش خشکی موجب بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش ورود دی‌اکسیدکربن و در نتیجه کمبود دی‌اکسیدکربن مورد نیاز برای رشد و فرایندهای نگهداری گیاه می‌شود. از طرف دیگر کمبود رطوبت و همراه با آن افزایش دمای برگ موجب پژمردگی و پیچیدگی و کاهش سطح برگ‌ها می‌شود و در نهایت تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (Lafitte, 2002).

و شبرنگ بیشترین کاهش عملکرد دانه (بین ۴۴ تا ۵۵ درصد) و ارقام شوش، پیشگام، مهرگان و مغان ۳ کمترین کاهش عملکرد دانه (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) را نشان دادند (جدول ۵). از نظر فیزیولوژیک، تنش خشکی آخر فصل سبب کاهش نرخ تبادل کربن فتوسنتزی، رسیدگی زودرس، پیری برگ، کاهش قدرت مقصد فیزیولوژیک و عملکرد دانه می‌شود (Manavalan et al., 2009). محققان بسیاری کاهش عملکرد دانه گندم را در شرایط تنش خشکی آخر فصل گزارش کرده‌اند (Ahmadi et al., 2009; Jouidi, 2012; Mahmoudi et al., 2021). طبق نتایج همبستگی در شرایط آبیاری مطلوب عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در سنبله داشت؛ اما در شرایط تنش، همبستگی معنی‌داری بین تعداد دانه در سنبله و عملکرد مشاهده نشد. بدین معنی که افزایش یا کاهش عملکرد ارقام در شرایط تنش متأثر از تعداد دانه نبوده بلکه وزن هزاردانه تأثیر بیشتری در آن دارد (به بخش وزن هزاردانه مراجعه شود). به نظر می‌رسد در شرایط تنش و در نتیجه کمبود مواد فتوسنتزی، تعادل بین منبع و مقصد فیزیولوژیک از طریق تعداد دانه کمتر حفظ شده و دانه‌های باقی‌مانده در سنبله از وزن بیشتری برخوردار می‌شوند (جدول ۸). عملکرد دانه شرایط تنش خشکی با انتقال مجدد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۸). همبستگی بالاتر به انتقال مجدد در شرایط تنش خشکی احتمالاً به این دلیل است که در شرایط تنش خشکی گیاه بیشتر به ذخایر ساقه و انتقال مجدد آن‌ها به دانه وابسته می‌شود.

عملکرد بیولوژیک

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی ($p \leq 0.05$)، محلول‌پاشی جیبرلین و رقم و نیز اثر متقابل

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف گندم تحت تیمارهای آزمایش

Table 3. Analysis of variance for different traits of wheat cultivars under different treatments

Source of variation	df	Grain yield	Biological yield	Grain number per spike	1000-seed weight
Rep (R)	2	3793	3224.2	154.43	57.39
Drought (A)	1	2080840.9*	3838465.7*	2671.27	2021.71**
Error a	2	42530.1	129403.1	177.05	11.7
GA application (B)	1	15227.5**	15044.8**	4.62**	63.48**
A×B	1	947.6**	31.5	0.001	1.01**
Error b	4	7.9	123.8	0.002	0.01
Cultivar (C)	19	251937**	1318760.8**	456.81**	98.69**
A×C	19	24664.8**	166151.9**	117.14**	81.41**
B×C	19	127.4	148.7	0.05	0.51
A× B×C	19	44.7	70.3	0.02	0.23
Error	152	9636.1	30453.5	21.95	15.83
CV (%)		20.77	15.24	10.86	10.49

Rest of the Table 3.

ادامه جدول ۳-

Source of variation	df	Remobilization of peduncle	Remobilization of penultimate	Remobilization of lower internodes	Remobilization (Total)	Remobilization efficiency
Rep (R)	2	13471.5	500.7	59.71	12074.1	98.72
Drought (A)	1	3965.6	12852.6**	30333.68*	104598.2*	897.53**
Error a	2	2383	14.6	446.14	5321.3	3.33
GA application (B)	1	1815.2**	1473.6**	998.94**	12673.9**	16.47**
A×B	1	46.4	337.8**	332.67**	1888**	6.03*
Error b	4	7.5	7.01	13.55	76.1	0.47
Cultivar (C)	19	31349.6**	53738.6**	143539.03**	484326.5**	1280.79**
A×C	19	4025.4**	2480.6**	2918.33**	14211**	114.6**
B×C	19	22	21.2	21.12	185.7	0.94
A× B×C	19	17.1	17.6	19.17	153.5	0.71
Error	152	453.8	391	1201.59	2543.7	20.71
CV (%)		21.56	13.69	13.69	10.06	14.12

* and ** represent significant at 5% and 1% level

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می باشند.

وزن هزاردانه

شرایط آبیاری مطلوب بیشتر از تنش خشکی بود؛ زیرا در شرایط آبیاری مطلوب، طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه که توسط جیبرلین القا می شود صفت مطلوب تری در مقایسه با تنش خشکی است. طبق گزارش (Xia *et al.* 2019; Shen *et al.* 2020) در شرایط عدم تنش افزایش غلظت جیبرلین در مراحل اولیه رشد دانه از سنتز ABA ممانعت می کند و سبب افزایش غلظت اکسین و سیتوکینین در مراحل انتهایی رشد دانه و افزایش وزن دانه می شود. مصرف جیبرلین خارجی سبب افزایش جیبرلین درونزا و کاهش آبسزیکاسید درونزا می شود و از طریق تغییر فعالیت آنزیم های مقصد

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی، محلول پاشی جیبرلین و رقم و نیز اثر متقابل رقم و تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی جیبرلین ($p \leq 0.01$) بر وزن هزاردانه معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی جیبرلین نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش وزن هزاردانه (تا ۱۶ درصد) شد اما کاربرد جیبرلین سبب افزایش ۳/۸ و ۲/۶ درصدی وزن هزاردانه به ترتیب در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۴). همانطور که مشاهده می شود مشابه عملکرد دانه تأثیر مثبت جیبرلین بر افزایش وزن هزاردانه در

در تنش‌های خشکی پس از گرده‌افشانی مهمترین مؤلفه‌ای که تحت تاثیر کمبود رطوبت قرار می‌گیرد وزن هزاردانه است. کاهش وزن دانه‌ها در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از تأثیر کاهش تولید مواد پرورده، کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرم و کاهش اندازه مقصد فیزیولوژیک در هر دانه باشد (Leilah & Al-Khateeb, 2005). Modhej *et al.* (2012) نیز دلیل کاهش وزن هزاردانه در تنش خشکی را مواجهه با دمای بالاتر طی روزهای پایانی دوره نمو دانه عنوان کردند که متعاقباً سبب ریزتر شدن دانه‌ها گردید. تنش خشکی کوتاه‌شدن دوره پر شدن دانه با تولید دانه‌های کوچکتر را القا می‌کند. بنابراین به‌نظر می‌رسد این موضوع دلیل تفاوت ارقام در پاسخ به تنش خشکی بوده و ارقام با دوره بلوغ دانه طولانی‌تر در شرایط تنش خشکی عملکرد بهتری داشته باشند.

فیزیولوژیک وزن دانه را تنظیم می‌کند (Li *et al.* 2013; Bali *et al.*, 2020). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی نشان داد که ارقام پیشگام، شیراز و رسول بالاترین و ارقام چمران و دنا کمترین وزن هزاردانه را در شرایط آبیاری مطلوب دارا بوده‌اند (جدول ۵). تنش خشکی به‌طور متوسط ۱۴ درصد میانگین وزن هزاردانه را کاهش داد. بیشترین کاهش وزن هزاردانه در اثر تنش خشکی در ارقام شیراز، رسول و آرتا مشاهده شد؛ درحالی‌که در ارقام پیشتاز، شوش و شبرنگ افزایش جزئی وزن هزاردانه (احتمالاً به-دلیل کاهش تعداد دانه در سنبله) مشاهده شد (جدول ۵). باتوجه‌به همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن هزاردانه با میزان عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (جدول ۸) به نظر می‌رسد که زیادتربودن وزن هزاردانه در شرایط تنش خشکی هماهنگ با عملکرد دانه تحت این شرایط باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جیبرلین بر برخی صفات گندم
Table 4. Mean comparison of interaction of GA application and cultivar on some traits of wheat

Traits	Drought stress			Normal irrigation		
	Control	GA application	% Variation	Control	GA application	% Variation
Grain yield (g/m ²)	373.4 ^d	385.3 ^c	3.19	555.6 ^b	578.5 ^a	4.12
1000-seed weight (g)	34.6 ^d	35.5 ^c	2.60	39.9 ^b	41.4 ^a	3.73
Remobilization of Penultimate (mg/stem)	135.8 ^d	138.4 ^c	1.91	148.1 ^b	155.4 ^a	4.93
Remobilization of Lower internodes	244.8 ^d	246.5 ^c	0.69	264.9 ^b	271.4 ^a	2.45
Remobilization (Total)	476.1 ^d	485 ^{c a}	1.87	512.2 ^b	532.4 ^a	3.94
Remobilization Efficiency (%)	34.1 ^a	34.3 ^a	0.59	29.9 ^c	30.7 ^b	2.68

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ردیف، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means that have a common letter in each row, are not significantly different together.

میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی در جدول ۶ نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب ارقام دنا، شبرنگ و پیشگام و در شرایط تنش خشکی ارقام دنا، زارع و هامون بیشترین تعداد دانه در سنبله را دارا بودند (جدول ۶). تنش خشکی میانگین تعداد دانه در سنبله ارقام را ۱۴ درصد کاهش داد؛ اما درصد کاهش برای همه ارقام

تعداد دانه در سنبله

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده محلول‌پاشی جیبرلین و رقم و نیز اثر متقابل رقم و تنش خشکی ($p \leq 0.01$) بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد دانه در سنبله در تیمار محلول‌پاشی جیبرلین، ۲/۷ عدد بیشتر از تیمار شاهد بود. مقایسه

مشابه نبود. ارقام پیشگام و دز به ترتیب با ۴۵ و ۳۲ درصد بیشترین کاهش تعداد دانه در سنبله و ارقام اکبری، هامون، مغان ۳ و بم با کمتر از پنج درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و وزن هزاردانه

Table 5. Mean comparison of interaction of drought × cultivar on grain yield, biological yield and 1000-seed weight, of wheat

Cultivar	Grain yield (g/m ²)			Biological yield (g/m ²)			1000-seed weight (g)		
	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation
Arta	349.4 ^{m-q}	274.3 ^{p-t}	-21.5	776 ^{l-o}	745 ^{m-o}	-4.0	43.7 ^{b-d}	31.6 ^{o-r}	-27.7
Akbari	378.3 ^{l-p}	175.6 ^t	-53.6	855 ^{lm}	429 ^p	-49.8	44 ^{a-d}	36.6 ^{h-n}	-16.8
Bam	422.1 ^{k-n}	268.5 ^{p-t}	-36.4	1074 ^{h-k}	767 ^{m-o}	-28.6	41.9 ^{b-g}	32.1 ^{o-r}	-23.4
Baharan	679.4 ^{b-e}	402.6 ^{k-o}	-40.7	1480 ^{d-f}	967 ^{i-l}	-34.7	41.4 ^{b-g}	35.7 ^{j-o}	-13.8
Parsi	763.9 ^{ab}	374.6 ^{l-p}	-51.0	1686 ^{bc}	974 ^{i-l}	-42.2	38.8 ^{e-k}	35.7 ^{j-o}	-8.0
Pishtaz	649 ^{c-f}	474.8 ^{i-l}	-26.8	1375 ^{fg}	1140 ^{hi}	-17.1	36.7 ^{h-m}	38.8 ^{e-k}	5.7
Pishgam	837.4 ^a	729.1 ^{a-c}	-12.9	1761 ^{a-c}	1827 ^a	3.7	48.4 ^a	40.5 ^{d-i}	-16.3
Chamran	553.1 ^{fi}	340 ^{n-q}	-38.5	1241 ^{gh}	865 ^{lm}	-30.3	33.5 ^{m-q}	33.9 ^{l-q}	1.2
Dez	726.5 ^d	511.3 ^{g-k}	-29.6	1454 ^{ef}	1364 ^{fg}	-6.2	42.3 ^{b-f}	39.5 ^{d-j}	-6.6
Dena	504.6 ^{h-k}	278.4 ^{p-t}	-44.8	1080 ^{h-k}	844 ^{lm}	-21.9	34.8 ^{k-p}	31 ^{qr}	-10.9
Rasul	295.5 ^{o-s}	221.1 ^{r-t}	-25.2	639 ^{n-v}	645 ^{no}	0.9	45.4 ^c	31.1 ^{p-r}	-31.5
Zare	616.9 ^{d-g}	333.4 ^{n-q}	-46.0	1588 ^{c-e}	923 ^{j-m}	-41.9	43.1 ^{b-e}	33 ^{m-q}	-23.4
Zagros	536.5 ^{g-j}	355.4 ^{m-p}	-33.8	1222 ^{gh}	892 ^{k-m}	-27.0	41.4 ^{b-g}	34.4 ^{k-p}	-16.9
Shabrang	808.2 ^a	454.3 ^{i-m}	-43.8	1658 ^{b-d}	1215 ^{k-m}	-26.7	38.7 ^{e-k}	39.5 ^{d-j}	2.1
Shoosh	496.3 ^{h-k}	434.9 ^{j-n}	-12.4	1240 ^{gh}	1242 ^{gh}	0.2	36.4 ^{h-n}	38.1 ^{f-l}	4.7
Shiraz	475 ^{j-l}	243.1 ^{q-t}	-48.8	1107 ^{h-j}	727 ^{gh}	-34.3	45.8 ^{ab}	29.5 ^{qr}	-35.6
Marvdasht	328.1 ^{n-r}	215.3 ^{s-t}	-34.4	800 ^{l-n}	590 ^{m-o}	-26.3	36 ^{i-o}	28 ^r	-22.2
Moghan 3	594.9 ^{e-h}	482.5 ^{i-l}	-18.9	1379 ^{fg}	1246 ^{gh}	-9.6	40.4 ^{d-i}	37.4 ^{g-m}	-7.4
Mehregan	737.6 ^{a-c}	616.8 ^{d-g}	-16.4	1805 ^{ab}	1616 ^{b-e}	-10.5	42.9 ^{b-e}	40.9 ^{c-h}	-4.7
Hamoon	559.1 ^{fi}	401.5 ^{k-o}	-28.2	1208 ^{gh}	1245 ^{gh}	3.1	41.3 ^{b-g}	33.5 ^{m-q}	-18.9
Average	565.6	379.4	-32.9	1271	1018	-19.8	40.8	35	-14.2

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Means that have a common letter in each column, are not significantly different together.

دانه در شرایط آبیاری مطلوب احتمالاً به‌خاطر توان فتوسنتزی بالای برگ‌ها و سایر اندام‌های سبز و نیز طولانی‌بودن فعالیت فتوسنتزی این اندام‌ها و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیشتر می‌باشد.

انتقال مجدد ساقه به تفکیک میانگرم

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر ساده تنش خشکی بر انتقال مجدد تمامی میانگرم‌ها به جز پدانکل، اثر ساده

به‌طور کلی، تنش خشکی با کاهش میزان فتوسنتز و اختلال در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در برگ‌ها و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها، عقیم‌شدن دانه‌های گرده، عقیم‌شدن گل‌های انتهایی سنبله، منجر به سقط دانه و کاهش عملکرد می‌شود (Lemoine *et al.*, 2013). در واقع تعداد دانه در سنبله بالاتر به معنی بالابودن پتانسیل و ظرفیت مقصد فیزیولوژیک در یک رقم می‌باشد. ارتباط مثبت بین تعداد دانه با عملکرد بالای

محلول پاشی جیبرلین و رقم بر انتقال مجدد تمامی میانگره‌ها معنی دار بود. تنش خشکی و محلول پاشی جیبرلین بر انتقال مجدد تمامی میانگره‌ها به جز پدانکل معنی دار بود (جدول ۳).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر تعداد دانه در سنبله، انتقال مجدد پدانکل و پنالتمیت

Table 6. Mean comparison of interaction of drought × cultivar on grain number, remobilization of peduncle and penultimate

Cultivar	Grain number per spike			Remobilization of Peduncle (mg/stem)			Remobilization of Penultimate (mg/stem)		
	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation
Arta	35.3 ^{m-p}	32.1 ^q	-9.1	74 ^{a-n}	36 ^{p-r}	-51.4	107 ^{mn}	82 ^q	-23.4
Akbari	36 ^{m-p}	35.1 ^{n-p}	-2.5	129 ^g	85 ^{j-l}	-34.1	235 ^{bc}	181 ^{f-h}	-23.0
Bam	44 ^{e-i}	42.2 ^{f-k}	-4.1	29 ^s	19 ^s	-34.5	36 ^t	25 ^t	-30.6
Baharan	47.8 ^{c-e}	40.8 ^{s-m}	-14.6	52 ^{n-q}	84 ^{j-l}	61.5	71 ^{qr}	47 st	-33.8
Parsi	47.2 ^{c-f}	36.3 ^{l-p}	-23.1	92 ^{i-k}	58 ^{m-p}	-37.0	98 ^{n-p}	94 ^{n-p}	-4.1
Pishtaz	47.8 ^{c-e}	43.5 ^{e-j}	-9.0	36 ^{p-r}	31 ^s	-13.9	60 ^s	84 ^{o-q}	40.0
Pishgam	57.6 ^{ab}	31.8 ^q	-44.8	141 ^{f-h}	130 ^g	-7.8	243 ^{bc}	272 ^a	11.9
Chamran	49.7 ^c	39.1 ^{l-n}	-21.3	40 ^{p-r}	77 ^{k-m}	92.5	86 ^{n-q}	32 ^t	-62.8
Dez	48 ^{c-e}	32.4 ^q	-32.5	127 ^{f-h}	141 ^{ef}	11.0	225 ^{cd}	235 ^{bc}	4.4
Dena	61.6 ^a	56.1 ^b	-8.9	201 ^{ab}	216 ^a	7.5	250 ^{ab}	222 ^{cd}	-11.2
Rasul	48 ^{c-e}	44.2 ^{d-j}	-7.9	143 ^{ef}	67 ^{l-o}	-53.1	182 ^{fg}	147 ^{i-k}	-19.2
Zare	49.5 ^{cd}	47 ^{c-f}	-5.1	44 ^{o-r}	91 ^{j-l}	106.8	70 ^{qr}	76 ^{p-r}	8.6
Zagros	44.9 ^{e-i}	38 ^{k-n}	-15.4	103 ^{b-j}	97 ^{i-k}	-5.8	179 ^{f-h}	164 ^{g-i}	-8.4
Shabrang	58.5 ^{ab}	45.5 ^h	-22.2	190 ^{bc}	156 ^{de}	-17.9	226 ^{cd}	211 ^{de}	-6.6
Shoosh	48 ^{c-e}	45.2 ^{e-i}	-5.8	32 ^{r-s}	42 ^{p-r}	31.3	106 ^{m-o}	153 ^{ij}	44.3
Shiraz	36.6 ^{l-p}	33.1 ^{o-q}	-9.6	115 ^{g-i}	85 ^{j-l}	-26.1	158 ^{hi}	125 ^{k-m}	-20.9
Marvdasht	40.1 ⁱ⁻ⁿ	37.9 ^{k-o}	-5.5	122 ^{f-h}	91 ^{i-l}	-25.4	193 ^{ef}	143 ^{i-l}	-25.9
Moghan 3	41.6 ^{g-l}	40.2 ^{h-n}	-3.4	56 ^{m-p}	92 ^{i-k}	64.3	123 ^{lm}	134 ^{j-l}	8.9
Mehregan	39.9 ⁿ	29 ^q	-27.3	171 ^{cd}	210 ^{ab}	22.8	199 ^{ef}	163 ^{g-i}	-18.1
Hamoon	47.5 ^{c-f}	46.1 ^{c-g}	-2.9	160 ^{de}	87 ^{j-l}	-45.6	191 ^{ef}	153 ^{ij}	-19.9
Average	46.5	39.8	-14.4	103	95	-7.8	152	137	-9.9

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Means that have a common letter in each column, are not significantly different together.

افزایش انتقال مجدد در تیمار تنش خشکی کمتر از آبیاری مطلوب بود. محققان تأثیر کاربرد جیبرلین روی انتقال مواد پرورده و عناصر غذایی گیاه را از طریق تنظیم رشد و نمو ساختارهای آوندی و نسبت بافت‌های آوند آبکش/چوب گزارش کردند. همچنین ایشان اظهار کردند که تغییرات رشد و نمو ناشی از کاربرد جیبرلین تنها به دلیل تغییر میزان جیبرلین در گیاه نبوده است. بلکه کاربرد جیبرلین تجمع، سیگنال‌دهی، انتقال و کارکرد سایر هورمون‌های گیاه را تغییر داده و از این

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی جیبرلین نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش انتقال مجدد پنالتمیت، میانگره‌های زیرین و انتقال مجدد کل ساقه (به ترتیب ۹، ۸ و ۸ درصد) شد؛ اما کاربرد جیبرلین سبب افزایش ۴/۹ و ۱/۹ درصدی انتقال مجدد پنالتمیت، افزایش ۲/۴ و ۰/۷ درصدی انتقال مجدد میانگره‌های زیرین، افزایش ۳/۹ و ۱/۹ درصدی انتقال مجدد کل ساقه به ترتیب در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۴). اگرچه کاربرد جیبرلین اثر مثبتی بر انتقال مجدد از میانگره‌ها داشت؛ اما درصد

مجدد را دارا بودند. ارقام چمران، بم و زارع در هر دو شرایط آزمایشی کمترین انتقال مجدد را به خود اختصاص دادند (جدول ۷). دلیل این تفاوت‌ها احتمالاً وجود تنوع ژنتیکی از نظر توان ذخیره‌سازی یا به‌عبارت دیگر تسهیم متفاوت ساکارز در فرآیندهای فیزیولوژیکی و قدرت مخزن (اندازه و فعالیت مخزن) در ارقام گندم می‌باشد. مطالعه همبستگی بین اجزای عملکرد و انتقال مجدد نشان داد که در شرایط تنش خشکی بین وزن هزاردانه و انتقال مجدد (در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف جیبرلین) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۸). علاوه بر آن همانطور که در بخش عملکرد دانه اشاره شد بین عملکرد دانه و انتقال مجدد نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. این نتایج تا حدودی نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی گیاه با بهره‌گیری از ذخایر ساقه و انتقال مجدد آن به دانه از افت شدید عملکرد دانه جلوگیری می‌کند. به عقیده محققان ارقام متحمل به تنش خشکی باید ظرفیت مناسب ذخیره‌سازی مواد پرورده در ساقه برای پر کردن دانه در شرایط تنش را داشته باشند (Farhangi & Ghodsi, 2011).

کارایی انتقال مجدد

کارایی ساقه در انتقال مجدد مواد نشان‌دهنده نسبت مواد انتقال‌یافته از ساقه به کل ماده خشک ساقه است. طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی، محلول‌پاشی جیبرلین و رقم و نیز اثر متقابل رقم و تنش خشکی ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جیبرلین ($p \leq 0.05$) بر کارایی انتقال مجدد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جیبرلین نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش کارایی انتقال مجدد (تا ۱۴ درصد)

طریق موجب تغییرات فیزیولوژیکی و رشد گیاه می‌شود (Willige *et al.*, 2011).

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر انتقال مجدد ساقه به تفکیک میانگرم‌ها در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد میانگرم‌های زیرین بیشترین مقدار انتقال مجدد را داشتند و پنالتمیت و پدانکل به-ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در بین ارقام نیز از نظر مقدار ماده انتقال مجدد یافته تنوع قابل توجهی وجود داشت (جدول ۶ و ۷). در شرایط آبیاری مطلوب ارقام شبرنگ، هامون، پیشگام و دنا بیشترین و ارقام زارع، چمران، بم و شوش کمترین انتقال مجدد را داشتند (جدول ۷). در شرایط تنش خشکی میزان انتقال مجدد از میانگرم‌های پدانکل، پنالتمیت و میانگرم‌های زیرین به ترتیب ۸، ۱۰ و ۸ درصد کاهش یافت (جدول ۶ و ۷). هرچند چنین واکنشی در همه ارقام مشاهده نشد و برخی ارقام افزایش در انتقال مجدد را نشان دادند. ارقام زارع، مغان ۳ و بهاران در تنش خشکی افزایش در انتقال مجدد نشان دادند که علت آن می‌تواند کاهش سهم فتوسنتز جاری به دلیل وقوع تنش خشکی و افزایش تقاضای مخزن‌ها باشد. در مقابل ارقام آرتا، رسول و اکبری بیشترین کاهش را در انتقال مجدد در تنش خشکی نشان دادند (جدول ۷). اگرچه با قاطعیت نمی‌توان علت این واکنش‌ها را توجیه کرد، اما به نظر می‌رسد وجود تفاوت‌های فیزیولوژیکی در این امر تأثیرگذار بوده است. در این خصوص Plaut *et al.* (2004) بر این باورند برخی از ارقام گندم با نگهداری کربوهیدرات‌ها در ساقه خود باعث تنظیم اسمزی و در نتیجه جذب آب می‌شوند که منجر به کاهش انتقال مجدد می‌شود. در شرایط تنش خشکی ارقام پیشگام، مهرگان، شبرنگ و دنا بالاترین انتقال

باتوجه به جدول ضرایب همبستگی بین انتقال مجدد و عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و عدم مصرف جیبرلین همبستگی مثبتی مشاهده شد. همچنین کارایی انتقال مجدد در همه شرایط آزمایشی رابطه مثبت و معنی داری با انتقال مجدد از میانگره‌ها داشت. بدین معنی که ارقام دارای مقادیر بالا و پایین انتقال مجدد با ارقام دارای کارایی بالا و پایین انتقال تقریباً هماهنگ بودند (جدول ۸). به نظر می‌رسد افزایش کارایی انتقال مجدد ذخایر ساقه فرایندی مهم و پشتیبانی‌کننده عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی باشد.

شد و کاربرد جیبرلین توانست کارایی انتقال مجدد را ۲/۷ و ۰/۶ درصد به ترتیب در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی افزایش دهد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی روی کارایی انتقال مجدد نشان داد که به‌طور کلی این صفت در تنش خشکی ۱۳ درصد افزایش یافت (جدول ۷). پاسخ ارقام نیز به تنش خشکی از نظر کارایی انتقال مجدد متفاوت از یکدیگر بود (جدول ۷). در شرایط تنش خشکی در برخی ارقام مانند مغان ۳، پیشگام و بهاران افزایش کارایی انتقال مجدد و در مقابل در برخی ارقام مانند رسول، هامون و پارسو کاهش کارایی انتقال مجدد نیز مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر انتقال مجدد میانگره‌های زیرین، کل ساقه و کارایی انتقال مجدد

Table 7. Mean comparison of interaction of drought × cultivar on remobilization of lower internodes, total and remobilization efficiency

Cultivar	Remobilization of lower internodes (mg/stem)			Remobilization (mg/stem)			Remobilization efficiency (%)		
	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation	Normal	Stress	% Variation
Arta	231 ^{kl}	179 ^{m-o}	-22.5	411 ^{k-m}	300 ^{p-r}	-27.0	25.6 ^{k-n}	25.7 ^{k-n}	0.4
Akbari	164 ^{n-p}	129 ^{p-s}	-21.3	527 ^j	398 ^{k-m}	-24.5	28.3 ^{i-m}	29.9 ^{i-k}	5.7
Bam	205 ^{lm}	214 ^{k-m}	4.4	270 ^{q-s}	261 ^{q-s}	-3.3	19 ^{op}	18.8 ^{op}	-1.1
Baharan	246 ^k	253 ^{i-k}	2.8	368 ^{mn}	386 ^{l-n}	4.9	24.9 ^{k-n}	33.2 ^{hi}	33.3
Parsi	146 ^{o-r}	143 ^{o-r}	-2.1	335 ^{n-p}	299 ^{p-r}	-10.7	24.7 ^{l-n}	23.5 ^{m-o}	-4.9
Pishtaz	215 ^{k-m}	188 ^{mn}	-12.6	309 ^{o-q}	305 ^{o-q}	-1.3	23.5 ^{m-o}	26.8 ^{k-m}	14.0
Pishgam	431 ^b	403 ^{bc}	-6.5	815 ^{ab}	808 ^{a-c}	-0.9	39.7 ^g	54.6 ^a	37.5
Chamran	119 ^{q-s}	116 ^{ts}	-2.5	244 ^{rs}	228 ^s	-6.6	18.7 ^{op}	18.4 ^{op}	-1.6
Dez	292 ^{fi}	295 ^{f-h}	1.0	643 ^{fg}	673 ^{ef}	4.7	40.1 ^{e-g}	50.1 ^{a-c}	24.9
Dena	331 ^{ef}	289 ^{g-i}	-12.7	782 ^{b-d}	729 ^{de}	-6.8	38.5 ^g	39.4 ^g	2.3
Rasul	273 ^{h-j}	231 ^{kl}	-15.4	598 ^{g-i}	448 ^k	-25.1	28.7 ^{i-l}	24.7 ^{l-n}	-13.9
Zare	113 ^{r-t}	97 ^t	-14.2	226 ^s	266 ^{q-s}	17.7	16.7 ^p	21 ^{n-p}	25.7
Zagros	307 ^{f-h}	309 ^{f-h}	0.7	589 ^{g-i}	574 ^{h-j}	-2.5	39.8 ^{fg}	45.1 ^{c-e}	13.3
Shabrang	431 ^b	359 ^{de}	-16.7	847 ^a	729 ^{de}	-13.9	39.7 ^{fg}	38.6 ^g	-2.8
Shoosh	149 ^{n-r}	74 ^t	-50.3	287 ^{p-r}	273 ^{q-s}	-4.9	17.4 ^p	18.4 ^{op}	5.7
Shiraz	158 ^{n-q}	146 ^{o-r}	-7.6	430 ^{kl}	359 ^{m-o}	-16.5	27.4 ^{j-m}	27.4 ^{j-m}	0.0
Marvdasht	314 ^{fg}	327 ^{e-g}	4.1	628 ^{f-h}	563 ^{ij}	-10.4	36.4 ^{gh}	46.1 ^{cd}	26.6
Moghan 3	388 ^{cd}	397 ^{b-d}	2.3	567 ^{ij}	626 ^{f-h}	10.4	32.3 ^{h-j}	51.5 ^{ab}	59.4
Mehregan	371 ^{cd}	375 ^{cd}	1.1	741 ^d	751 ^{cd}	1.3	35.9 ^{gh}	44.9 ^{d-f}	25.1
Hamoon	480 ^a	391 ^{cd}	-18.5	830 ^{ab}	633 ^{fg}	-23.7	48.6 ^{b-d}	45.4 ^{cd}	-6.6
Average	268	246	-8.2	522	480	8.8	30.3	34.2	12.9

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Means that have a common letter in each column, are not significantly different together.

جدول ۸- همبستگی بین صفات مرتبط با انتقال مجدد و عملکرد در شرایط شاهد و محلول پاشی جیبرلین

Table 8. The correlation coefficients between traits related to remobilization and yield in control and GA application conditions

		Yield (Y)	Biological Yield (B)	1000-seed weight (TW)	Number of seed per spike (NSS)	Remobilization (R)	Remobilization efficiency (RE)
Normal Irrigation	Y	1					
	B	0.86**	1				
	TW	0.08 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1			
	NSS	0.51*	0.40 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	1		
	R	0.24 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.32 ^{ns}	1	
	RE	0.25 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.94**	1
	Y	1					
	B	0.85**	1				
	TW	0.09 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1			
	NSS	0.60**	0.39 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	1		
	R	0.22 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.32 ^{ns}	1	
	RE	0.23 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.93**	1
Drought Stress	Y	1					
	B	0.88**	1				
	TW	0.81**	0.77**	1			
	NSS	-0.28 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.28	1		
	R	0.63**	0.38 ^{ns}	0.46*	-0.05 ^{ns}	1	
	RE	0.58*	0.39 ^{ns}	0.33 ^{ns}	-0.23	0.91**	1
	Y	1					
	B	0.9**	1				
	TW	0.89**	0.76**	1			
	NSS	-0.27	-0.08 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	1		
	R	0.44*	0.36 ^{ns}	0.43*	-0.07 ^{ns}	1	
	RE	0.41 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.30 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.90**	1

گروه بندی ارقام

(شکل ۱). گروه اول اصلی شامل ارقام دز، مهرگان، شبرنگ و پیشگام (در زیرگروه اول)، زارع، پارسی، پیشتاز و بهاران (در زیرگروه دوم) بود. رقم مغان ۳ در گروه دوم اصلی قرار گرفت. گروه سوم اصلی نیز شامل ارقام زاگرس، هامون، دنا، شوش (زیرگروه اول)، چمران، شیراز، بم (زیرگروه دوم)، رسول، مرودشت، اکبری و آرتا (زیرگروه سوم) بود. ارقام گروه اول نسبت به ارقام گروه دوم و سوم از نظر عملکرد و صفات مورد بررسی برتری داشتند (شکل ۱). ارقام رسول، مرودشت، اکبری و آرتا بیشترین فاصله را با ارقام دز، مهرگان، شبرنگ و پیشگام داشتند. بنابراین این دو گروه رقم متفاوتترین ارقام

به منظور تعیین الگوی ژنتیکی، گروه بندی ارقام و تعیین فاصله ژنتیکی بین آنها از نظر صفات مورد مطالعه، تجزیه خوشه‌ای در چهار حالت شاهد، تنش خشکی، عدم محلول پاشی و محلول پاشی جیبرلین به طور مجزا انجام گرفت. اما از آنجاکه تشابه بین دندروگرام محلول پاشی و عدم محلول پاشی جیبرلین بسیار زیاد بود، تنها شکل‌های مربوط به گروه بندی ارقام در آبیاری نرمال و تنش خشکی ارائه شده است (شکل ۱ و ۲). باتوجه به دندروگرام تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ارقام گندم در شرایط شاهد به سه گروه اصلی تقسیم شدند

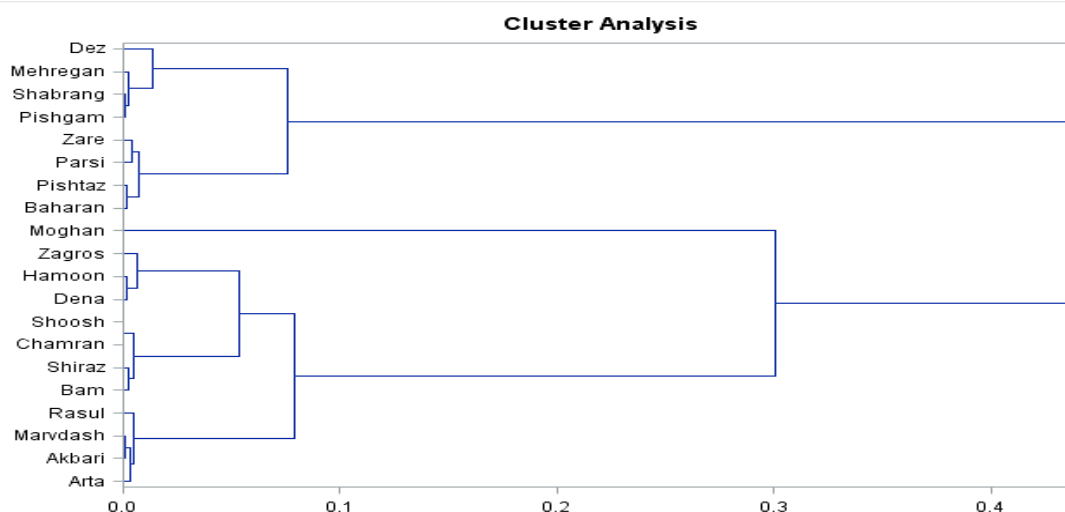
دو شرایط آبیاری و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی شد، اما تأثیر مثبت آن در شرایط آبیاری مطلوب بیشتر از تنش خشکی بود. رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ارقام نشان داد که ارقام خوشه اول نسبت به ارقام خوشه دوم و سوم از نظر عملکرد و صفات مورد بررسی برتری داشتند و در مقابل ارقام خوشه‌های پایین‌تر از نظر صفات مورد مطالعه ارقام ضعیف‌تری بودند. در شرایط آبیاری مطلوب ارقام دز، مهرگان، شبرنگ و پیشگام و در شرایط تنش خشکی آخر فصل ارقام مهرگان و پیشگام بر بقیه ارقام برتری داشتند. در مجموع محلول‌پاشی جیبرلین در مرحله گرده‌افشانی گندم تأثیر مثبتی بر تقویت مقصد فیزیولوژیک و انتقال مجدد به‌ویژه در شرایط آبیاری مطلوب داشت. در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش طول دوره پرشدن دانه در اثر تنش، اثر مثبت محلول‌پاشی جیبرلین کمتر بود. نتایج نشان داد که اگرچه جیبرلین به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد اثرات مثبتی بر تقویت مقصد فیزیولوژیک و انتقال مجدد داشت، اما کاربرد آن در شرایط اقلیمی این آزمایش و ارقام مورد مطالعه و تحت شرایط تنش خشکی، افزایش مشهودی در عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی هیچکدام از ارقام ایجاد نکرد.

نسبت به یکدیگر در شرایط آبیاری نرمال بودند (شکل ۱).

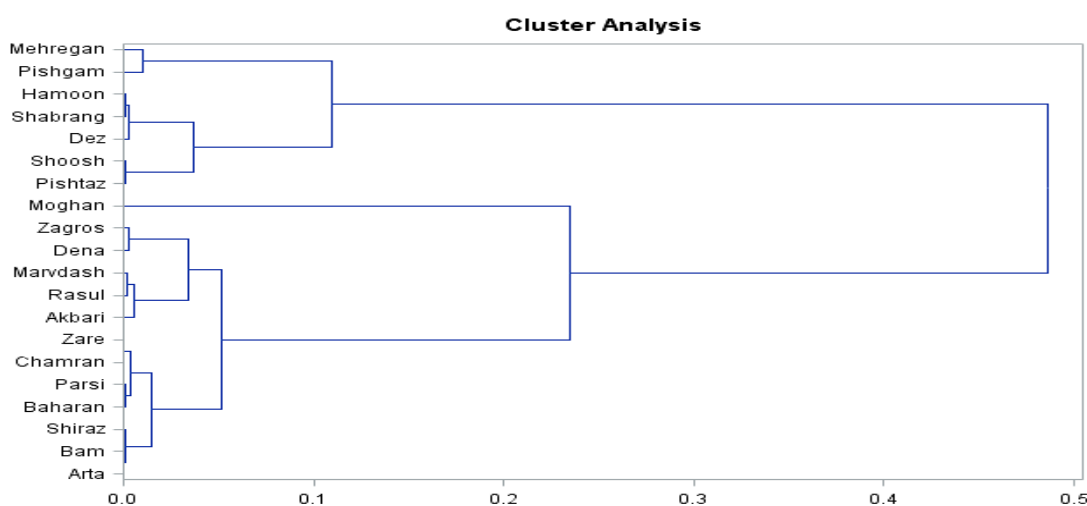
باتوجه به دندروگرام تجزیه خوشه‌ای به‌روش وارد ارقام گندم در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی نیز به سه گروه اصلی تقسیم شدند (شکل ۲). ارقام گروه اول اصلی شامل مهرگان و پیشگام (زیرگروه اول)، هامون، شبرنگ، دز، شوش و پیشتاز (زیرگروه دوم) بودند. رقم مغان ۳ در گروه دوم اصلی قرار گرفت. گروه سوم اصلی نیز شامل ارقام زاگرس، دنا، مرودشت، رسول، اکبری، زارع (زیرگروه اول)، چمران، پارسی، بهاران، شیراز، بم و آرتا (زیرگروه دوم) بود. ارقام گروه اول نسبت به ارقام گروه دوم و سوم از نظر عملکرد و صفات مورد بررسی برتری داشتند (شکل ۱). ارقام مهرگان و پیشگام بیشترین فاصله را با ارقام شیراز، بم و آرتا داشتند. بنابراین این دو گروه رقم متفاوت‌ترین ارقام نسبت به یکدیگر در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی بودند (شکل ۲).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع تنوع ژنتیکی زیادی برای انتقال مجدد و عملکرد بین ارقام گندم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی وجود داشت. هرچند چنین تنوعی از نظر پاسخ به محلول‌پاشی جیبرلین بین ارقام مشاهده نشد. کاربرد جیبرلین سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و انتقال مجدد در هر



شکل ۱- دندروگرام ۲۰ رقم گندم بر حسب تمام صفات مورد ارزیابی با استفاده از روش Ward در شرایط آبیاری نرمال.
Figure 1. Dendrogram of 20 wheat cultivars according to the evaluated traits using ward method in control treatment.



شکل ۲- دندروگرام ۲۰ رقم گندم بر حسب تمام صفات مورد ارزیابی با استفاده از روش Ward در شرایط تنش خشکی.
Figure 2. Dendrogram of 20 wheat cultivars according to the evaluated traits using ward method drought stress.

REFERENCES

1. Abdel, C. G., & Al-Rawi, I. M. T. (2011). Response of mungbean (*Vigna radiata* L., Wilczek) to gibberellic acid (GA3) rates and varying irrigation frequencies. *International Journal of Biosciences*, 1(3), 85-92.
2. Ahmad, P., Alyemini, M. N., Wijaya, L., Alam, P., Ahanger, M. A., & Alamri, S. A. (2017). Jasmonic acid alleviates negative impacts of cadmium stress by modifying osmolytes and antioxidants in faba bean (*Vicia faba* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(13), 1889-1899.
3. Ahmadi, A., Siose Marde, A., Poostini, K., & Esmaeilpour Jahromi, M. (2009). The rate and duration of grain filling and stem reserve remobilization in wheat cultivars as a response to water deficit. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(1).

4. Alonso-Ramírez, A., Rodríguez, D., Reyes, D., Jiménez, J. A., Nicolás, G., López-Climent, M., ... & Nicolás, C. (2009). Evidence for a role of gibberellins in salicylic acid-modulated early plant responses to abiotic stress in *Arabidopsis* seeds. *Plant Physiology*, 150(3), 1335-1344.
5. Bali, S., Kaur, P., Jamwal, V. L., Gandhi, S. G., Sharma, A., Ohri, P., ... & Ahmad, P. (2020). Seed priming with jasmonic acid counteracts root knot nematode infection in tomato by modulating the activity and expression of antioxidative enzymes. *Biomolecules*, 10(1), 98.
6. Bonnet, G., & Incoll, L. (1993). Effect on the stem of winter of barley of manipulating the source and sink during grain filling. 1. Change in composition of water-soluble carbohydrate of internodes. *Journal of Experimental Botany*, 44, 83-91.
7. Chen, Z., Liu, Y., Yin, Y., Liu, Q., Li, N., Li, X., ... & Guo, C. (2019). Expression of *AtGA2ox1* enhances drought tolerance in maize. *Plant Growth Regulation*, 89(2), 203-215.
8. Ci, J., Wang, X., Wang, Q., Zhao, F., Yang, W., Cui, X., ... & Yang, W. (2021). Genome-wide analysis of gibberellin-dioxygenases gene family and their responses to GA applications in maize. *PLoS one*, 16(5), e0250349.
9. Coelho Filho, M. A., Colebrook, E. H., Lloyd, D., Webster, C. P., Mooney, S. J., Phillips, A. L., ... & Whalley, W. R. (2013). The involvement of gibberellin signalling in the effect of soil resistance to root penetration on leaf elongation and tiller number in wheat. *Plant and soil*, 371(1), 81-94.
10. Colebrook, E. H., Thomas, S. G., Phillips, A. L., & Hedden, P. (2014). The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. *Journal of experimental biology*, 217(1), 67-75.
11. Ehdaie, B., Alloush, G. A., & Waines, J. G. (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research*, 106(1), 34-43.
12. Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A., & Waines, J. G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop science*, 46(2), 735-746.
13. Emongor, V. (2007). Gibberellic Acid (GA 3) Influence on vegetative growth, nodulation and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Agronomy*.
14. Fahad, S., Sonmez, O., Saud, S., Wang, D., Wu, C., Adnan, M., & Turan, V. (Eds.). (2021). *Plant growth regulators for climate-smart agriculture*. CRC Press.
15. Farhangi, S., & Ghodsi, M. (2011). The contribution of remobilization of storage materials in wheat yield as affected by potassium iodide (KI). *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(3), 60-63.
16. Food and agriculture organization. (2019). FAOSTAT. *Food and agriculture data*. Retrieved April 6, 2022, from <http://www.fao.org/FAOSTAT>.
17. Ghaemi, Z., Moghim, E., & Consulting Engineers Company. (2016). Alborz province planning program studies. *Published by Alborz Province Management and Planning Organization*. 126p.
18. IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Stocker, T.F... (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1535.
19. Iqbal, M., & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86, 76-85.
20. Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., & Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 8, 475.
21. Iqbal, N., Nazar, R., Khan, M. I. R., Masood, A., & Khan, N. A. (2011). Role of gibberellins in regulation of source-sink relations under optimal and limiting environmental conditions. *Current Science*, 998-1007.
22. Jagadish, K. S., Kavi Kishor, P. B., Bahuguna, R. N., Von Wirén, N., & Sreenivasulu, N. (2015). Staying alive or going to die during terminal senescence—an enigma surrounding yield stability. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1070.
23. Joudi, M. (2012). Breeding effects on dry matter accumulation and remobilization in different internodes of the stem in Iranian wheat cultivars. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 13, 149-162.
24. Kaya, M. D., Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., & Kolsarıcı, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4), 291-295.

25. Khan, N. A., Singh, S., Nazar, R., & Lone, P. M. (2007). The source-sink relationship in mustard. *Asian Aust J Plant Sci Biotechnol*, 1, 10-18.
26. Lafitte, R. (2002). Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. *Field Crops Research*, 76(2-3), 165-174.
27. Leilah, A. A., & Al-Khateeb, S. A. (2005). Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid environments*, 61(3), 483-496.
28. Lemoine, R., La Camera, S., Atanassova, R., Dédaldéchamp, F., Allario, T., Pourtau, N., ... & Durand, M. (2013). Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*, 4, 272.
29. Li, X., Jiang, H., Liu, F., Cai, J., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2013). Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. *Plant Growth Regulation*, 71(1), 31-40.
30. Lopez, C. G., Banowetz, G. M., Peterson, C. J., & Kronstad, W. E. (2003). Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Science*, 43(2), 577-582.
31. Mahmoudi, R., Ahmadi, A., Abbasi, A., Mohammadi, V. (2021). Stem carbohydrate reserves and its relationship with remobilization in wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 51-66.
32. Manavalan, L. P., Guttikonda, S. K., Phan Tran, L. S., & Nguyen, H. T. (2009). Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*, 50(7), 1260-1276.
33. Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Ayneband, A., & Normohamadi, G. (2012). Effects of post-anthesis heat stress and nitrogen levels on grain yield in wheat (*T. durum* and *T. aestivum*) genotypes. *International Journal of Plant Production*, 2(3), 257-268.
34. Moshiri, F., Tehrani, M. M., Shahabi, A. A., ... et al. (2014). Integrated soil fertility management and wheat nutrition guidelines. *Published by Soil and Water Research Institute*. 33p.
35. Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012). Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping. *Cimmyt*.
36. Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S., & Wrigley, C. W. (2004). Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*, 86(2-3), 185-198.
37. Qiu, L. H., Chen, R. F., Luo, H. M., Fan, Y. G., Huang, X., Liu, J. X., ... & Li, Y. R. (2019). Effects of exogenous GA3 and DPC treatments on levels of endogenous hormone and expression of key gibberellin biosynthesis pathway genes during stem elongation in sugarcane. *Sugar Tech*, 21(6), 936-948.
38. Raina, S. K., Yadav, P. S., Singh, A. K., Raskar, N., Rane, J., & Minhas, P. S. (2020). Exogenous gibberellic acid does not induce early flowering in mungbeans [*Vigna radiata* (L.) Wilczek.]. *Legume Research-An International Journal*, 43(5), 653-657.
39. Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., ... & Slafer, G. (2012). achieving yield gains in wheat. *Plant, cell & environment*, 35(10), 1799-1823.
40. Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., & Hasanuzzaman, M. (2021). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10(1), 37.
41. Roghayyeh, S., Saeede, R., Omid, A., & Mohammad, S. (2014). The effect of salicylic acid and gibberellin on seed reserve utilization, germination and enzyme activity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seeds under drought stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(1), 5-13.
42. Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., ... & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science*, 9, 1705.
43. Shen, Q., Zhang, S., Liu, S., Chen, J., Ma, H., Cui, Z., ... & Pang, C. (2020). Comparative transcriptome analysis provides insights into the seed germination in cotton in response to chilling stress. *International journal of molecular sciences*, 21(6), 2067.
44. Shi, J. B., Wang, N., Zhou, H., Xu, Q. H., & Yan, G. T. (2019). The role of gibberellin synthase gene *GhGA2ox1* in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) responses to drought and salt stress. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 66(3), 298-308.
45. Wang, C., Yang, A., Yin, H., & Zhang, J. (2008). Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(4), 427-434.

46. Willige, B. C., Isono, E., Richter, R., Zourelidou, M., & Schwechheimer, C. (2011). Gibberellin regulates PIN-FORMED abundance and is required for auxin transport-dependent growth and development in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*, 23(6), 2184-2195.
47. Xia, J., Kong, X., Shi, X., Hao, X., Li, N., Khan, A., & Luo, H. (2020). Physio-biochemical characteristics and correlation analysis of the seeds of some cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes under cold temperature stress. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1), 89-105.
48. Xu, Q. Q., Sami, A., Zhang, H., Jin, X. Z., Zheng, W. Y., Zhu, Z. Y., ... & Zhu, Z. H. (2022). Combine influence of low temperature and drought on different varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.). *South African Journal of Botany*, 147, 400-414.
49. Yan, Q., Li, J., Lu, L., Yi, X., Yao, N., Lai, Z., & Zhang, J. (2022). Comparative transcriptome study of the elongating internode in elephant grass (*Cenchrus purpureus*) seedlings in response to exogenous gibberellin applications. *Industrial Crops and Products*, 178, 114653.
50. Yang, W., Cai, T., Li, Y., Guo, J., Peng, D., Yang, D., ... & Wang, Z. (2013). Effects of exogenous abscisic acid and gibberellic acid on filling process and nitrogen metabolism characteristics in wheat grains. *Australian Journal of Crop Science*, 7(1), 58-65.
51. Zhao, T. J., Liu, Y., Yan, Y. B., Feng, F., Liu, W. Q., & Zhou, H. M. (2007). Identification of the amino acids crucial for the activities of drought responsive element binding factors (DREBs) of *Brassica napus*. *FEBS letters*, 581(16), 3044-3050.
52. Zhou, J., Li, Z., Xiao, G., Huang, R., & Zhang, H. (2019). *OsCYP71D8L* as a key regulator involved in growth and stress response by mediating gibberellins and cytokinins homeostasis in rice. *BioRxiv*, 538785.