"مجله علوم زراعی ایران"
جلد نوزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹٦

اثر محلول‌پاشی براسینولید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان (*Triticum aestivum* L.) رقم سیروان در شرایط تنش خشکی انتهای فصل

Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *cv.* Sirvan under terminal drought stress conditions

مرضیه دهقان[۱]، حمیدرضا بلوچی [۲]، علی رضا یدوی[۳] و فضل اله صفی خانی[۴]

چکیده

دهقان. م.، ح. ر. بلوچی، ع. ر. یدوی و ف. صفی خانی. ۱۳۹٦. اثر محلول‌پاشی براسینولید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان (*Triticum aestivum* L.) رقم سیروان در شرایط تنش خشکی انتهای فصل. **مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۱): ٥٦-٤٠.**

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های براسینولید بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گندم رقم سیروان در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ایستگاه زرقان، در دو سال زارعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹٥-۱۳۹٤ اجرا شد. عامل اصلی سطوح تنش خشکی در سه سطح؛ آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله آغاز گل‌دهی تا آغاز پر شدن دانه و قطع آبیاری در مرحله آغاز پر شدن دانه‌ها تا رسیدگی فیزیولوژیک و عوامل فرعی شامل محلول‌پاشی براسینولید در سه سطح؛ صفر، ۰/۰٥ و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و زمان محلول‌پاشی در دو سطح؛ قبل از گل‌دهی و قبل از پر شدن دانه بودند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش، با افزایش غلظت براسینولید، میزان عملکرد دانه و شاخص بهره‌وری آب افزایش یافتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در هر دو سال آزمایش مربوط به تنش خشکی در مرحله گلدهی بود و مقدار کاهش این صفات نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۱۸/۳، ۱۳/۱، ۲۱/۲٥، ۱۱/۳۳، ۱۱/۷۸ درصد بودند. غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید نسبت به عدم مصرف آن در میانگین دو سال باعث افزایش ۹/۱۷ درصد تعداد دانه در سنبله، ٦/٦۲ درصد وزن هزار دانه و ۷/۳ درصد در عملکرد دانه گردید. بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در هر سه سطح آبیاری (۱/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به محلول‌پاشی غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بود و همچنین بیشترین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (۱۹۳/٥ روز) در آبیاری کامل و محلول‌پاشی غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به دست آمد. نتایج دو سال آزمایش نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی بیشترین اثر منفی را بر عملکرد دانه گندم رقم سیروان داشت و محلول‌پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید تا حدودی این اثر منفی را تعدیل نمود.

واژه‌های کلیدی: براسینواستروئید، بهره‌وری مصرف آب، تنش کم‌آبی، گندم و وزن هزار دانه.

تاریخ دریافت: ۱۳۹٥/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۲/۲۰ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می باشد.

۱-دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: balouchi@yu.ac.ir)
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج
۴- استادیار موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال

مقدمه

گندم یکی ازمهم‌ترین و با ارزش‌ترین گیاهانی است که بیش ازهرگیاه زراعی دیگری در دنیاکشت می‌شود. گندم با تامین بیش از ۴۰ درصدکالری و ۵۰ درصد پروتئین مورد نیاز، درجیره غذایی جامعه ایرانی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Ahmadi *et al.*, 2011). گندم رقم سیروان دارای عملکرد بالا و کیفیت نانوایی خوب برای جایگزینی قسمتی از سطح زیر کشت ارقام گندم آبی در مناطق مواجه با تنش خشکی، در سال ۱۳۹۱ معرفی شده است. این رقم برای کاشت در مناطق معتدل معرفی شده است و سازگار به اقلیم گرم تا معتدل، دارای میانگین عملکرد ۴ تا ۸ تن در هکتار، میانگین ارتفاع بوته ۹۴ سانتی‌متر، مقاوم به خوابیدگی، زنگ زرد، زنگ سیاه، رنگ دانه زرد کهربایی، میانگین محتوای پروتئین ۱۲ درصد و کیفیت دانه آن سخت با گلوتن قوی می‌باشد (Najafian *et al.*, 2012).

عملکرد گندم تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و برهمکنش آنها می‌باشد. اگرچه همه تنش‌های زنده و غیر زنده از عوامل مهم کاهش تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شوند، ولی تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. در الگوی فصلی بارندگی مدیترانه‌ای از جمله بخش‌هایی از ایران، قسمت اعظم بارندگی در فصل زمستان اتفاق می‌افتد و گیاهان زراعی معمولاً از زمان گلدهی تا مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیک، با خشکی و کم‌آبی مواجه می‌شوند (Jafarnejad *et al.*, 2013). در زراعت آبی گندم، به‌علت محدودیت در میزان آب، مزارع با تنش کم‌آبی مواجه می‌شوند و لازم است واکنش گندم به خشکی بیش از پیش بررسی و صفات و فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس گزارش برخی از محققان، حساس‌ترین مرحله رشد گیاه گندم نسبت به کمبود رطوبت خاک، از مرحله سنبله دهی تا اوایل پرشدن دانه است (Giunta *et al.*, 1993). نتایج برخی آزمایشات نیز نشان داده‌اند که دوره ۵ تا ۱۵ روز قبل از ظهور سنبله در گندم، مرحله حساس به تنش خشکی است (Elyasi *et al.*, 2011).

با توجه به اهمیت تنش خشکی، در بین روش‌های مختلفی که برای مقابله با آن می‌توان به کار برد، استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در بهبود و رفع آثار کم آبی در گیاهان بسیار سودمند است. مصرف براسینواستروئیدها باعث القای اثرات مثبتی در کارکرد گیاهان از جمله حفظ فعالیت فتوسنتزی، فعال کردن آنتی اکسیدانت‌ها، تجمع مواد حفاظت کننده اسمزی و القای فعالیت سایر هورمون‌ها می‌شود (Ahmadi Mousavi *et al.*, 2011). گزارش شده است که برخی از انواع براسینواستروئیدها، به‌ویژه براسینولید و هوموبراسینولید، باعث افزایش عملکرد محصول از طریق افزایش وزن دانه، به خصوص در شرایط تنش در گندم می‌شوند (Sairam, 1994). براسینولید رشد گیاهان را از طریق افزایش برخی از فعالیت‌های متابولیکی مانند فتوسنتز، بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، افزایش می‌دهند، بنابراین افزایش عملکرد و شاخص‌های کیفی محصولات غذایی با مصرف مناسب و به‌موقع تنظیم کننده‌های رشد گیاهی قابل حصول است (Sengupta *et al.*, 2011). لی و فنگ (Li and Feng, 2011) نشان دادند که مصرف براسینولید می‌تواند از طریق افزایش محتوای آب نسبی، قندهای محلول، پروتئین، پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، اثرات تنش رطوبتی را در گیاهچه‌های یک گیاه زینتی (*Xanthoceras sorbifolia*) کاهش داده و مقاومت آن را به تنش خشکی افزایش دهد. زولو و آدام (Zullo and Adam, 2002) در گزارشی اعلام نمودند که مصرف براسینواستروئید در گلخانه و مزرعه، عملکرد گندم، سیب زمینی، برنج و کلزا را به میزان زیادی افزایش داد و همچنین کیفیت

دانه حاصل از گیاه بادام زمینی که با این هورمون تیمار شده بود نیز، افزایش یافت. آنانتی و همکاران (Ananthi *et al.*, 2013) اعلام نمودند که محلول‌پاشی براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه و تعداد گل در گیاه ماش می‌شود که این موضوع می‌تواند به علت جلوگیری از ریزش گل‌ها به‌دلیل وجود ترکیبات فنلی در آنها باشد.

براسینواستروئیدها در بسیاری از کارکردهای فیزیولوژیک گیاهان دخیل هستند، با این وجود اطلاعات زیادی در رابطه با بهترین میزان مصرف آن‌ها در ارقام گندم و نحوه اثر آن در شرایط تنش در دست نمی‌باشد. این پژوهش به منظور تعیین میزان و زمان مناسب مصرف براسینولید و اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و طول دوره رویش گندم رقم سیروان در شرایط تنش خشکی انتهای فصل که یکی از تنش‌های مهم در ایران می‌باشد، انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در دو سال زارعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس (ایستگاه زرقان) با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۹۶ متر از سطح دریا اجرا شد. میانگین ۳۰ ساله بارندگی این منطقه ۳۰۸ میلی‌متر، با آب و هوای نسبتاً معتدل و زمستان توأم با بارندگی و تابستان‌های گرم و خشک است. این تحقیق روی گندم رقم سیروان (با شجره PRL/2*PASTOR و با کد WS-85-10) به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی سطوح تنش خشکی در سه سطح؛ ۱- آبیاری کامل، ۲- قطع آبیاری از آغاز گلدهی تا آغاز پر شدن دانه و ۳- قطع آبیاری از آغاز پر شدن دانه‌ها تا رسیدگی فیزیولوژیک بود. عوامل فرعی شامل محلول‌پاشی براسینولید در سه سطح؛ صفر، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و زمان محلول‌پاشی در دو سطح؛ قبل از گلدهی (کد زادوکس ۵۹-۴۹) و قبل از پر شدن دانه (کد زادوکس ۷۲-۷۱) بودند.

محلول‌پاشی براسینولید در یک نوبت با استفاده از سمپاش پشتی به میزان دو لیتر محلول برای هر کرت، انجام شد. جهت سهولت جذب محلول براسینولید، مویان توئین ۲۰ با آن مخلوط شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به میزان بارندگی و دما در طول فصل رشد در منطقه در جدول ۲ ارائه شده است (از یک هفته قبل از اعمال تنش و بعد از آن، بارندگی بیشتر از ۲۰ میلی‌متر وجود نداشت و بارندگی‌ها مربوط به مرحله ظهور برگ پرچم تا اواسط آبستنی بود).

هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی متر، به طول چهار و عرض دو متر بود. قبل از کشت بر اساس نتیجه آزمون خاک و توصیه فنی بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات فارس، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن (از منبع اوره) در سه نوبت، قبل از کشت، اواسط ساقه دهی و در مرحله تشکیل سنبله به خاک داده شد. کاشت بذر به صورت دستی (با تراکم ۴۰۰ عدد بذر در متر مربع) انجام و پس از کشت، زمین آبیاری شد. برای اندازه‌گیری حجم آب آبیاری، از پارشال فلوم تیپ چهار استفاده (Rahimian and Ghodsi, 2015) و حجم آب آبیاری استفاده شده برای هر کرت، بر حسب متر مکعب محاسبه گردید. محلول‌پاشی مربوط به مرحله گلدهی تا پر شدن دانه در فروردین ماه هر دو سال (۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) و قبل از آغاز گل‌دهی، انجام شد. محلول‌پاشی مربوط به مرحله پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیک در اردیبهشت ماه هر دو سال و قبل از آغاز پر شدن دانه‌ها انجام شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت محصول با

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experimental site

عمق خاک Soil depth (cm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (mmhos.cm^{-1})	کربن آلی OC (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	شن Sand (%)	لای Silt (%)	رس Clay (%)
0-15	7.6	0.98	0.86	10.8	422	24	41	35
15-30	7.7	0.91	0.79	9	400	22.2	44.4	33.4

جدول ۲- اطلاعات اقلیمی فصل رشد گندم در منطقه زرقان (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴)

Table 2. Meteorological information of wheat growth seson in Zarghan, Iran (2014-15 and 2015-16)

Mounts	ماه	بارندگی ۹۴-۱۳۹۳ Precipitation (mm) 2014-2015	بارندگی ۹۵-۱۳۹۴ Precipitation (mm) 2015-2016	بارندگی میانگین ۳۰ ساله Precipitation 30 Years average (mm)	دما ۹۴-۱۳۹۳ 2014-2015 Temperature (˚C)	دما ۹۵-۱۳۹۴ 2015-2016 Temperature (˚C)	دما میانگین ۳۰ ساله Temperature 30 Years average (˚C)
21 Oct-20 Nov	آبان	22.5	76.2	22.39	12	13.4	13
21 Nov-20 Dec	آذر	41.5	10.3	60.36	8.3	7.7	7.6
21 Dec-20 Jan	دی	11.6	86.6	69.56	7.4	6.1	5.1
21 Jan-20 Feb	بهمن	56.4	10.6	55.9	9.4	6.3	9.5
21 Feb-20 Mar	اسفند	36	5.7	43.76	9.3	11.8	9.5
21 Mar-20 Apr	فروردین	21.5	30.8	40.80	15.5	13.2	13.3
21 Apr-20 May	اردیبهشت	8.5	3.8	12.23	20.7	21.3	18.8
21 May-20 Jun	خرداد	0	0	0.49	26.8	24.6	24

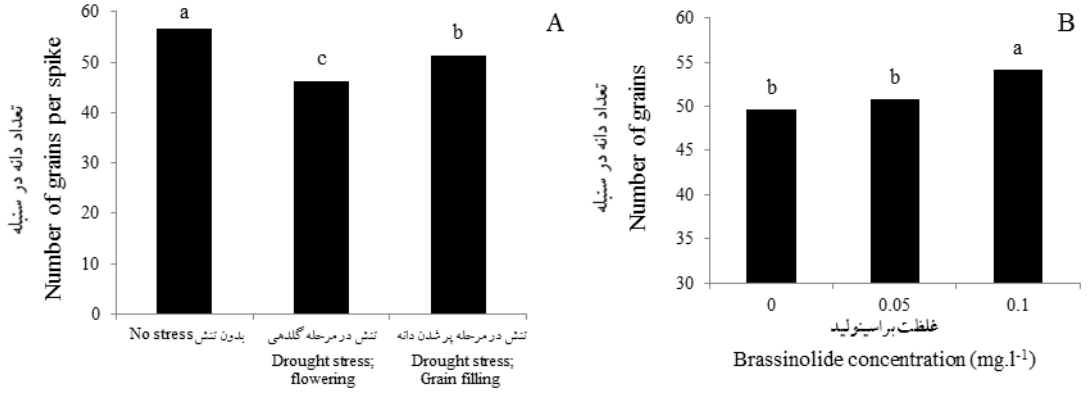
رعایت نیم متر از حاشیه‌های هر کرت از سطح چهار متر مربع وسط آن انجام و عملکرد دانه و اجزای عملکرد، زیست توده، شاخص برداشت محاسبه شدند. تعداد سنبله در واحد سطح با شمارش تعداد سنبله‌های شمارش شده در یک مترمربع در زمان برداشت محصول، تعداد دانه در سنبله با محاسبه میانگین تعداد دانه در ده سنبله انتخابی تصادفی از ناحیه مرکزی هر کرت و وزن هزار دانه با نمونه‌گیری هزار عدد دانه از محصول دانه هر کرت بدست آمدند. بهره‌وری مصرف آب، از نسبت عملکرد دانه به میزان آب آبیاری و بارندگی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز زرد شدن دم گل‌آذین در ۵۰ درصد از سنبله‌ها، معیار قرار گرفت (Dastfal *et al.*, 2010).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. آزمون بارتلت روی کلیه صفات مورد بررسی انجام شد و در مواردی که واریانس خطای صفات در دو سال آزمایش دو به دو با یکدیگر همگون بودند، تجزیه آنها به صورت تجزیه مرکب انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تیمارهای تنش خشکی و غلظت براسینولید بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بودند. بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار بدون تنش خشکی و کمترین تعداد آن در تیمار تنش در مرحله گلدهی بود (شکل ۱-A). میزان این کاهش در تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله پر شدن دانه نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۱۸/۳ و ۹/۴ درصد بود که حاکی از کاهش باروری دانه‌ها به دلیل اختلال در تلقیح و رقابت بین دانه‌ها برای جذب مواد غذایی بوده است. کاهش تعداد دانه در سنبله در تیمار تنش در مرحله پر شدن دانه نسبت به شاهد می‌تواند به دلیل ریز و یا پوک بودن دانه‌ها و در نظر گرفته نشدن دانه‌های ناسالم در شمارش تعداد دانه‌ها باشد. گزارش شده است که تعداد دانه در سنبله در تیمار تنش پس از گلدهی، در پنجه‌هایی که از نظر مرحله نموی عقب هستند، کاهش می‌یابد (Gibson and Paulsen, 1999). جعفرنژاد و همکاران (Jafarnejad *et al.*, 2013) در آزمایشی روی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل اعلام نمودند که در برخی از ژنوتیپ‌ها، تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد کمتر بود که این موضوع نشان دهنده کاهش باروری دانه‌ها و همچنین رقابت بین آنها در جذب مواد فتوسنتزی است. کائور و بل (Kaur and Behl, 2010) نشان دادند که در بین مراحل مختلف تنش اعمال شده در گیاه گندم، بیشترین کاهش در تعداد دانه (۲۱ درصد) در تیمار تنش در مراحل خروج سنبله از غلاف برگ پرچم و بعد از گرده افشانی بود. تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بیشترین تعداد دانه در سنبله را تولید کرده و کمترین مقدار آن در شرایط عدم استفاده از براسینولید مشاهده شد که البته با غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر، تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱- B). این نتایج نشان داد که استفاده از غلظت بالاتر براسینولید باعث افزایش تعداد دانه در سنبله به میزان ۹/۱۷ درصد نسبت به عدم استفاده از آن شد که دلیل آن می‌تواند تلقیح مناسب‌تر و یا افزایش در شدت انتقال مواد فتوسنتزی به سنبله در حال تشکیل و یا دانه‌ها باشد که هم باعث افزایش وزن هزار دانه و هم تعداد دانه در سنبله می‌شود. محلول‌پاشی براسینولید در زمان‌های پنجه‌دهی و گرده‌افشانی می‌تواند باعث افزایش توسعه سلول و طویل شدن سلول‌ها و همچنین افزایش جریان مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن از طریق افزایش تعداد پنجه‌ها، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه شود (Fujii *et al.*, 1991). نتایج تحقیق دایال و همکاران (Dhayal *et al.*, 2012) نشان داد که محلول‌پاشی گندم با غلظت ۰/۵ میلی‌گرم

بر لیتر براسینولید باعث افزایش تعداد دانه در سنبله به میزان ۹/۳۶ درصد نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی گردید و با افزایش غلظت براسینولید به یک میلی‌گرم در لیتر، تعداد دانه در سنبله ۱۳/۸۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج آزمایش سایرام (Sairam, 1994) روی دو رقم گندم در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری) و آبیاری کامل نشان داد که استفاده از غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر هوموبراسینولید هم به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله گل‌دهی و هم به‌صورت تیمار بذر، باعث افزایش تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی گردید.



شکل ۱- میانگین تعداد دانه در سنبله گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی (A) و غلظت براسینولید (B) (۹۴ و۱۳۹۳)

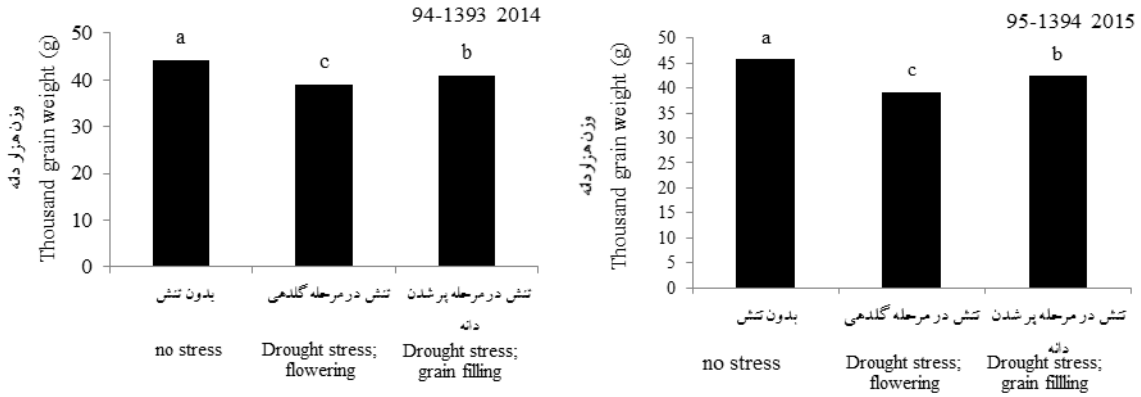
Fig. 1. Number of grain.spike^{-1} of wheat *cv.* Sirvan in drought stress (A) and Brassinolide concentration (B) treatments (2014-2016)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای تنش خشکی در هر دو سال و غلظت براسینولید در هر دو سال برای وزن هزاردانه معنی‌دار بود. در بین سطوح تنش خشکی، بیشترین وزن هزار دانه در هر دو سال مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. در تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، وزن هزار دانه در سال اول ۷/۳۸ درصد کمتر از آبیاری کامل و در سال دوم ۷/۵۱ درصد کمتر از آبیاری بود. در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، وزن هزار دانه در سال اول ۱۱/۹ درصد کمتر از آبیاری کامل و در سال دوم ۱۴/۳۱ درصد کمتر از آبیاری کامل بود (شکل ۲). این موضوع می‌تواند به‌دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه و تعداد سلول‌های آندوسپرم و یا کاهش ظرفیت مخزن جهت تجمع ماده خشک در دانه‌ها به دلیل تنش رطوبتی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ها باشد (Jafarnejad *et al.*, 2013). بهداد و همکاران (Behdad *et al.*, 2013) گزارش نمودند که تیمار شاهد (بدون تنش) دارای بیشترین طول دوره موثر پر شدن دانه و در نتیجه بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد ارقام گندم بوده و قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی، طول دوره پر شدن دانه را کاهش داد. کائور و بل (Kaur and Behl, 2010) نشان دادند که حداکثر کاهش در وزن هزار دانه در گندم (۲۷ درصد) در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله بعد از گرده افشانی مشاهده گردید. وو و همکاران (Wu *et al.*, 2008) نیز گزارش نمودند که براسینولید از طریق تحریک جریان شیره پرورده، باعث افزایش وزن دانه و عملکرد دانه در برنج گردید.

در میان غلظت‌های براسینولید بیشترین وزن هزار دانه در هر دو سال آزمایش مربوط به غلظت ۰/۱

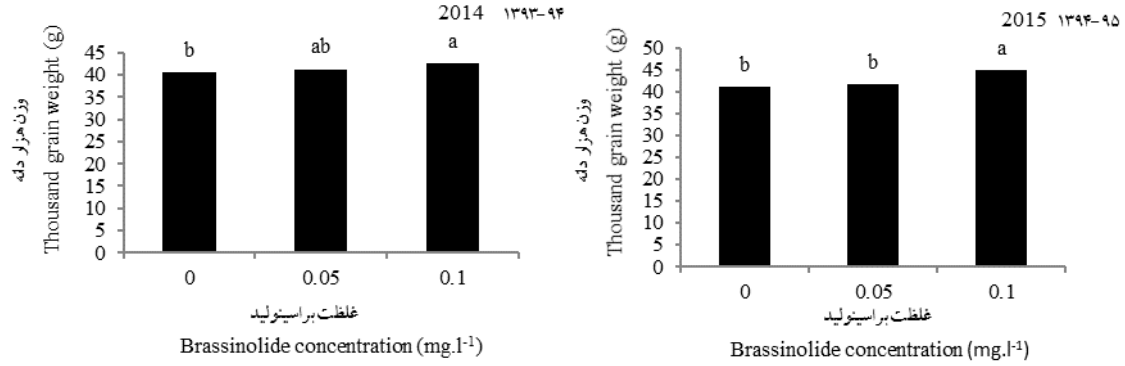
میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ۳). در رابطه با زمان محلول‌پاشی در هر دوسال آزمایش تفاوت معنی‌داری بین محلول‌پاشی قبل از اعمال تنش در مرحله گلدهی و محلول پاشی قبل از اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه بر وزن هزار دانه وجود نداشت.

تعداد سنبله در مترمربع، با توجه به اینکه اولین مرحله اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی صورت گرفت، تحت تأثیر هیچ یک از تیمارها در سال اول آزمایش قرار نگرفت، اما در سال دوم این صفت تنها در رابطه با عامل سطوح تنش خشکی معنی دار شد. در سال دوم آزمایش بیشترین تعداد سنبله در مترمربع به تیمار بدون تنش اختصاص داشت و تیمار اعمال تنش در مرحله گلدهی از کمترین تعداد سنبله در مترمربع برخوردار بود (شکل ۴).



شکل ۲- میانگین وزن هزار دانه گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی در سال اول (۹۴-۱۳۹۳) و سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 2. Mean of thousand grain weight of wheat *cv.* Sirvan in drought stress treatments in first (2014) and second year (2016)

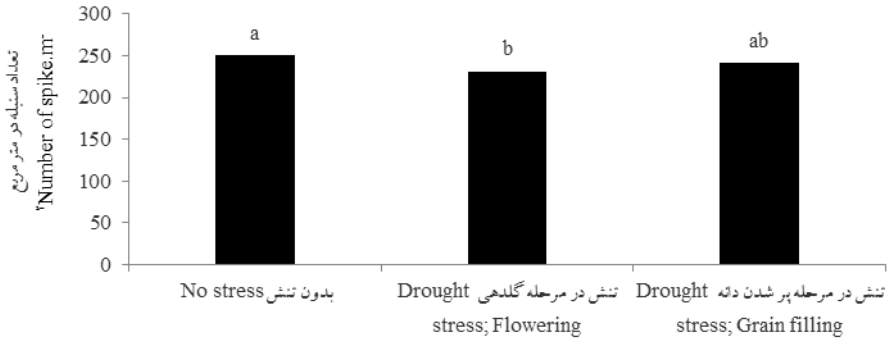


شکل ۳- میانگین وزن هزار دانه در گندم رقم سیروان در تیمارهای غلظت براسینولید در سال اول (۹۴-۱۳۹۳) و سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 3. Mean of thousand grain weight of wheat *cv.* Sirvan in Brassinolide concentration treatments in first (2014) and second year (2016)

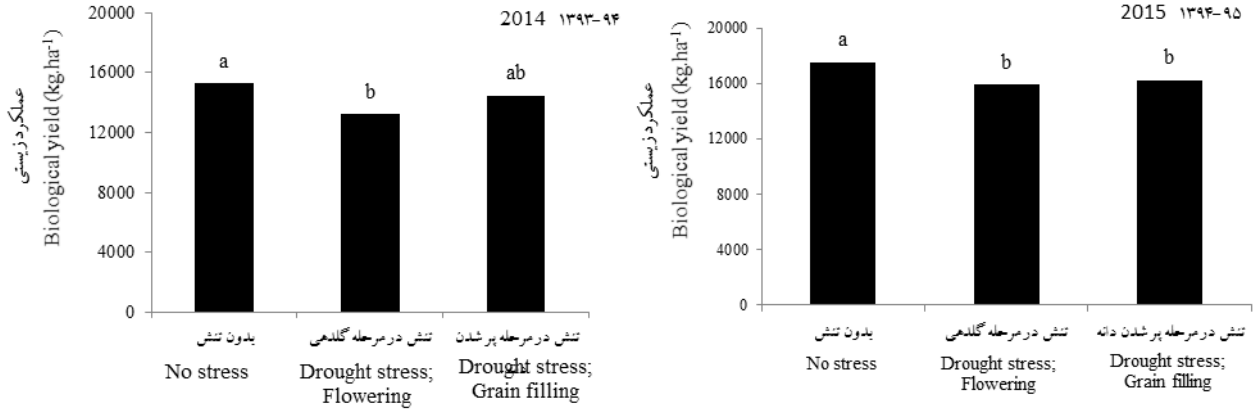
اثر تیمارهای تنش خشکی بر عملکرد زیستی در هر دو سال معنی‌دار بود. اثر سطوح غلظت براسینولید بر عملکرد زیستی در سال اول غیرمعنی‌دار و در سال دوم معنی‌دار بود. اثر تیمار زمان محلول‌پاشی نیز در سال دوم معنی‌دار و در سال اول غیرمعنی‌دار بود. در میان سطوح تیمار تنش خشکی، بیشترین میزان عملکرد زیستی در سال اول و دوم در آبیاری کامل بدست آمد که در سال اول تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش در

مرحله پر شدن دانه نداشت، همچنین تفاوت معنی‌داری میان تنش در مرحله گلدهی و پر شدن دانه وجود نداشت (شکل ۵). کاهش در میزان عملکرد زیستی در هر دوسال در تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بیشتر از تنش در مرحله پر شدن دانه بود. میزان کاهش در این مرحله در سال اول ۱۳/۴۹ درصد و در سال دوم ۹/۱۷ درصد نسبت به آبیاری کامل بود. میزان کاهش عملکرد زیستی در تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه نسبت به آبیاری کامل در سال اول و دوم به‌ترتیب ۵/۴۵ و ۷/۳۵ درصد بود. گزارش شده است که کاهش در میزان زیست توده در شرایط تنش رطوبتی در مرحله گلدهی می‌تواند مربوط به عدم توانایی گیاه در جذب، انتقال و ساخت ترکیبات ذخیره‌ای در مدت کاهش رطوبت خاک باشد که باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Kisman, 2003). افزایش در عملکرد زیستی گیاهان در شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به علت پایداری و دوام بیشتر سطح برگ باشد که باعث افزایش عملکرد زیستی از طریق تولید منابع فیزیولوژیک کافی برای برای جذب نور بیشتر می‌شود (Jacobs and Pearson, 1991).



شکل ۴- میانگین تعداد سنبله در مترمربع گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی در سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

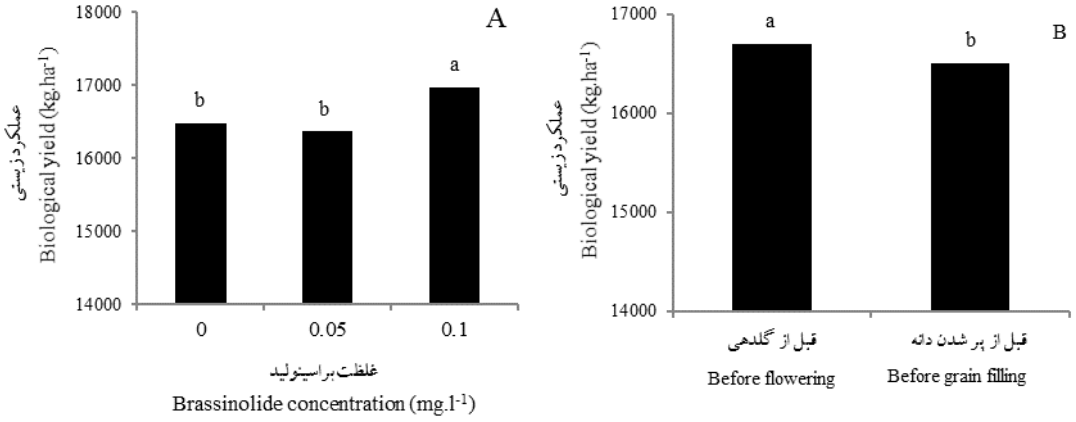
Fig. 4. Number of spike.m^{-2} of wheat *cv.* Sirvan in drought stress treatments in second year (2016)



شکل۵- میانگین عملکرد زیستی گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی در سال اول (۹۴-۱۳۹۳) و سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 5. Mean of biological yield of wheat *cv.* Sirvan in drought stress treatments in first (2014) and second year (2016)

پرزیوند و همکاران (Parizvand *et al.*, 2012) در آزمایشی نشان دادند که قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه باعث کاهش عملکرد بیولوژیک گندم گردید، اما شدت این کاهش برای قطع آبیاری در مرحله گلدهی بیشتر بود. سعیدی و عبدلی (Saeidi and Abdoli, 2015) اعلام نمودند که تنش رطوبتی بعد از مرحله گرده افشانی باعث کاهش عملکرد زیستی در ارقام گندم شد. وفا و همکاران (Vafa *et al.*, 2014) در ارزیابی اثر تنش خشکی بر اجزای عملکرد گندم دوروم اعلام نمودند که بیشترین میزان عملکرد زیستی در آبیاری کامل به میزان ۱۳ تن در هکتار و کمترین مقدار آن در تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه به میزان ۱۰۹۸۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بیشترین مقدار عملکرد زیستی در غلظت‌های براسینولید در دو سال آزمایش متعلق به غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر بوده و عدم مصرف آن و غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر، تفاوت معنی‌دار از نظر تاثیر بر عملکرد زیستی نداشتند (شکل ۶-A). اثر زمان محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی در سال دوم معنی‌دار بود، با این‌حال میزان عملکرد زیستی در محلول‌پاشی قبل از تنش در مرحله گل‌دهی ۱/۱۸ درصد بیشتر از محلول‌پاشی قبل از تنش در مرحله پرشدن دانه بود (شکل ۶-B). افزایش در میزان عملکرد زیستی در گونه‌ای از چاودار وحشی نیز که با براسینولید تیمار شده بود گزارش شد و عملکرد زیستی در غلظت‌های $۰/۰۲\times۱۰^{-۴}$، $۰/۲\times۱۰^{-۴}$ و ۲×۱۰^{-۴} میلی مول به‌ترتیب ۴۸/۲، ۵۴/۶ و ۹۵/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Jun Hu *et al.*, 2013). سایرام (Sairam, 1994) نیز اعلام نمودند که محلول‌پاشی و تیمار بذر با دو غلظت ۰/۰۵ و ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر هوموبراسینولید در دو رقم گندم، باعث افزایش بیوماس در هر دو رقم و هر دو حالت آبیاری کامل و تنش خشکی گردید که البته میزان این افزایش در غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر، بیشتر بود.

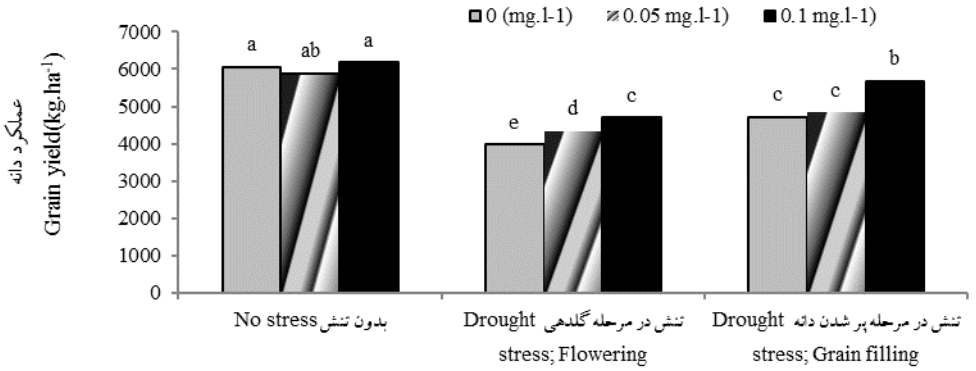


شکل ۶- میانگین عملکرد زیستی گندم رقم سیروان در تیمارهای غلظت براسینولید (A) و زمان محلول‌پاشی (B) در سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 6. Mean of biological yield of wheat *cv.* Sirvan in Brassinolide concentration (A) and foliar application time (B) treatments in second year (2016)

نتایج تجزیه واریانس در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای تنش خشکی و غلظت براسینولید بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما برهمکنش سطوح غلظت براسینولید در سطوح تنش خشکی بر عملکرد

دانه تنها در سال اول معنی‌دار بود. در سال اول آزمایش در آبیاری کامل، بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بود که البته تفاوت معنی‌داری با غلظت صفر و ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر نداشت. در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه، بیشترین عملکرد دانه مربوط به غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بود که با سایر سطوح آن تفاوت معنی‌داری داشت. در مجموع در سال اول و در تیمار تنش در مرحله گلدهی و بدون محلول‌پاشی، عملکرد دانه نسبت به شرایط بدون تنش، ۳۴ درصد کاهش یافت و با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید در این سطح تنش، عملکرد دانه به میزان ۱۵/۵ درصد افزایش یافت (شکل ۷).



شکل ۷- میانگین عملکرد دانه گندم رقم سیروان در برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و غلظت براسینولید در سال اول (۹۴-۱۳۹۳)

Fig. 7. Mean of grain yield of wheat *cv*. Sirvan in interaction effect of drought stress and Brassinolide concentration treatments in first year (2014)

در سال دوم در میان تیمارهای تنش خشکی بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب متعلق به تیمارهای بدون تنش و تنش در مرحله گلدهی بود و کاهش عملکرد در تیمار تنش در مرحله گلدهی نسبت به شاهد در این سال، ۱۴/۵ درصد بود. این کاهش عملکرد را می‌توان به کاهش وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در سنبله در این تیمارها نسبت داد. کائور و بل (Kaur and Behl, 2010) نشان دادند که بیشترین میزان کاهش عملکرد دانه گندم در آزمایش آنها در تیمار تنش خشکی در زمان گرده افشانی و چند روز پس از آن بود. پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al*., 2010) نیز اعلام نمودند که بیشترین عملکرد دانه ارقام گندم در تیمار شاهد و کم‌ترین میزان آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بود.

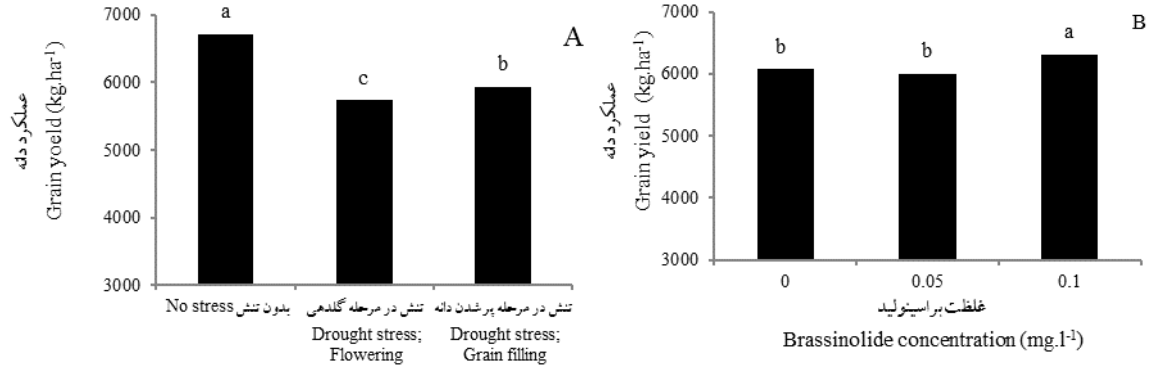
بیشترین میزان عملکرد دانه در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید مشاهده گردید (۴/۹۱ درصد بیشتر از غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۳/۷۲ درصد بیشتر از عدم مصرف براسینولید) و بین عدم مصرف و غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸). وریت و همکاران (Vriet *et al*., 2012) اثر مثبت براسینواستروئیدها بر عملکرد دانه گیاهان برنج و ذرت را به صورت افزایش شکل فعال براسینواستروئید از طریق اصلاح، تغییر در اجزای سازنده، متابولیسم و یا مصرف خارجی آن گزارش کردند. چنین گیاهانی به دلیل تعداد دانه بیشتر و با اندازه بزرگتر، ۴۴-۱۵ درصد بیش از گیاهان شاهد

در شرایط گلخانه و مزرعه عملکرد داشتند. این محققان علت این موضوع را تحریک جریان شیره پرورده از مبدأ به مخزن اعلام کردند. در آزمایش سایرام (Sairam, 1994) روی دو رقم گندم در شرایط تنش رطوبتی در مرحله گلدهی مشخص گردید که از میان دو غلظت استفاده شده هموبراسینولید، غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش و در هر دو حالت محلول‌پاشی و تیمار بذر گردید. دایال و همکاران (Dhayal *et al.*, 2012) در آزمایشی روی گندم در شرایط تنش خشکی اعلام کردند که تیمار با براسینولید با غلظت ۱/۵ میلی گرم در لیتر، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته و عملکرد را نسبت به شاهد ۳۲ درصد افزایش داد. در آزمایش دیگری روی برخی ارقام گندم نشان داده شد که تنش خشکی بعد از گرده افشانی باعث کاهش ۳۴ درصد در عملکرد دانه و کاهش ۲۷ درصد در وزن هزار دانه گردید (Saeidi and Abdoli, 2015). بنظر می‌رسد که استفاده از براسینولید از زمان گرده افشانی تا رسیدگی دانه از طریق بهبود در پر شدن دانه‌ها، باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد، بعلاوه براسینولید فرایندهای مرتبط با پیری را در قبل و بعد از گرده افشانی کند می‌کند، بنابراین محلول‌پاشی براسینولید در شرایط تنش باعث حفظ و ثبات سنبله روی گیاه شده و ترکیبات فنلی موجود در آن می‌تواند باعث جلوگیری از سقط جنین در بذر شود. با توجه به اینکه مصرف براسینولید می‌تواند باعث افزایش انتقال و جابجایی مواد شود، می‌تواند باعث افزایش در تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و شاخص برداشت گردد که این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. اثرات سودمند مشاهده شده براسینولید در افزایش عملکرد دانه می‌تواند به علت افزایش ثبات سلول‌های غشایی و یا سنتز پروتئین‌هایی خاص در شرایط تنش باشد. به نظر برخی محققان دیگر نیز عملکرد دانه بالاتر در اثر مصرف براسینولید می‌تواند در نتیجه حفظ و یا تشدید فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه در شرایط عادی یا تنش برای ساخت مواد غذایی بیشتر برای گل‌های در حال رشد و بذر باشد. در این صورت بذر نمو بهتری خواهد داشت که این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ananthi *et al*., 2013).

نتایج تجزیه واریانس در دو سال آزمایش نشان داد که در میان تیمارهای آزمایشی تنها سطوح تنش خشکی در سال اول و دوم آزمایش دارای اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت بودند. در سال اول آزمایش بیشترین شاخص برداشت در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و بین تیمار تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله پر شدن دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سال دوم آزمایش نیز بیشترین شاخص برداشت در آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین آن مربوط به تنش در مرحله گل‌دهی بود (شکل ۹). کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی را می‌توان به کاهش دسترسی به مواد پرورده تولید شده و انتقال یافته به دانه، طی دوره پر شدن دانه نسبت داد (Parizvand *et al.*, 2012). در یک آزمایش نشان داده شد که تنش رطوبتی بعد از گرده افشانی، شاخص برداشت را در اغلب ارقام گندم به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Saeidi and Abdoli, 2015).

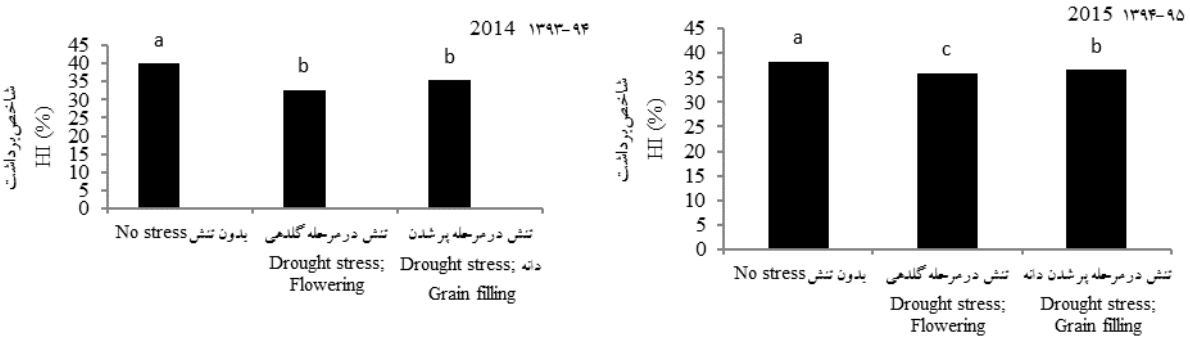
نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که برهمکنش تنش خشکی و غلظت براسینولید برای شاخص بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بودند. در تیمار آبیاری کامل، بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بود (شکل ۱۰). در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه، بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید بود که با سایر سطوح آن دارای تفاوت معنی‌داری بوده، اما با غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر و شاهد تفاوتی معنی‌داری نداشت (شکل ۱۰). به‌نظر می‌رسد براسینولید از

طریق افزایش کارایی فتوسنتز و افزایش عملکرد دانه نسبت به میزان آب مصرفی، باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شده باشد. طبق نتایج پاکنژاد و همکاران (Paknejad *et al.*, 2010)، تنش خشکی انتهای فصل تأثیر زیادی بر عملکرد و کارایی آب مصرفی گندم داشته و گلدهی و دانه بندی حساس‌ترین مراحل به تنش



شکل ۸- میانگین عملکرد دانه گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی (A) و غلظت براسینولید (B) در سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 8. Mean of grain yield of wheat *cv.* Sirvan in drought stress (A) and Brassinolide concentration (B) treatments in second year 2016



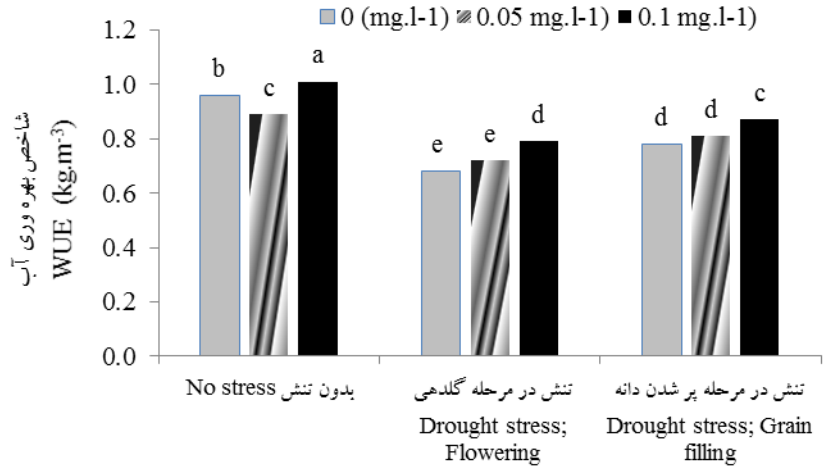
شکل ۹- میانگین شاخص برداشت گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی در سال اول (۹۴-۱۳۹۳) و سال دوم (۹۵-۱۳۹۴)

Fig. 9. Mean of Harvest Index (HI) of wheat *cv.* Sirvan in drought stress treatments in first (2014) and second year (2016)

خشکی بودند. اویس و همکاران (Oweis *et al.*, 2000) گزارش کردند که عملکرد دانه گندم تابع الگوی مصرف آب در دوره پس از گلدهی است و آبیاری در این مرحله علاوه بر افزایش نرخ فتوسنتز، زمان بیشتری برای انتقال ذخایر کربوهیدراتی به دانه را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. فاروق و همکاران (Farooq *et al.*, 2009) گزارش نمودند که کاربرد خارجی ۲۸ هموبراسینولید و ۲۴ اپی براسینولید، هم به صورت پرایمینگ بذر و هم به صورت محلول‌پاشی، باعث افزایش تحمل به تنش در لاین‌های برنج شد

کـه یکـی از عوامـل مـوثر در ایجـاد ایـن تغییـر، افـزایش کـارایی مصـرف آب بـود. نتـایج برخـی آزمـایش‌هـا نشـان داد کـه اسـتفاده از براسـینولید در غلظـت‌هـای $۰/۲\times۱۰^{-۴}$ و ۲×۱۰^{-۴} میلـی مـول، باعـث افـزایش کـارایی مصـرف آب در گونـه‌ای از چـاودار وحشی گردید (Jun Hu *et al.*, 2013).

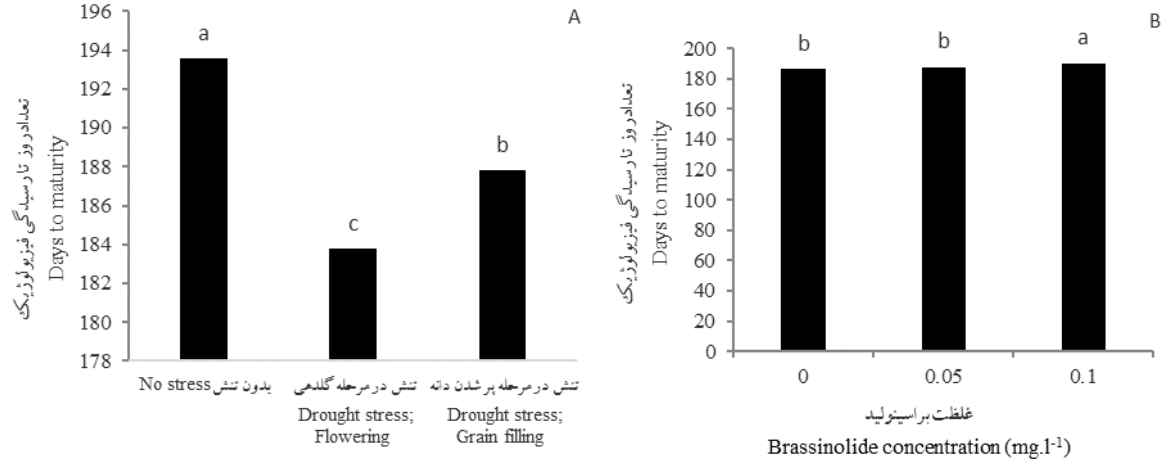
نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سطوح تنش خشکی و غلظت براسینولید برای تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود. میانگین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در آبیاری کامل بیشترین و



شکل ۱۰- میانگین بهره‌وری مصرف آب گندم رقم سیروان در برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و غلظت براسینولید (۹۴ و۱۳۹۳)

Fig. 10. Mean of water productivity of wheat *cv*. Sirvan in interaction effect of drought stress and Brassinolide concentration treatments (2014- 2016)

پس از آن به‌ترتیب تنش در مرحله پر شدن دانه و تنش در مرحله گلدهی قرار داشتند. تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت تأثیر غلظت براسینولید نیز قرار گرفت و بیشترین میزان آن در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن در تیمار بدون محلول‌پاشی بدست آمد (شکل ۱۱). دستفال و همکاران (Dastfal *et al.*, 2010) نیز در بررسی اثر تنش خشکی انتهای فصل بر ارقام مختلف گندم اعلام نمودند که مدت زمان رسیدگی فیزیولوژیک در تیمار حذف آبیاری پس از مرحله گل‌دهی، کمتر از تیمار شاهد بود و مدت آن در تیمار حذف آبیاری از مرحله شیری شدن به بعد نیز از تیمار شاهد کمتر بود.بین طول مدت برخی از مراحل رشدی با حفظ پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی ارتباط معنی‌داری وجود دارد و کاهش طول دورهٔ کاشت تا گلدهی، باعث افت چشمگیر عملکرد دانه در هر دو شرایط فاریاب و تنش خشکی می‌گردد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2011) با آزمایش روی ارقام گندم گزارش نمودند که رشد دانه در شرایط بدون تنش تا ۴۲ روز پس از گلدهی ادامه دارد، اما در تیمار تنش، رشد آن در ۲۸ روز بعد از گلدهی تقریباً متوقف شد. نتایج برخی آزمایش‌ها نیز نشان داده است که وقوع گرما، به ویژه در مراحل پایانی رشد در گندم، در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، باعث کاهش طول دوره زایشی و پر شدن دانه‌ها می‌شود (Paknejad *et al.*, 2010).



شکل ۱۱- میانگین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک گندم رقم سیروان در تیمارهای تنش خشکی (A) و غلظت براسینولید (B) (۹۵ و ۱۳۹۴)

Fig. 11. Mean of days to physiological maturity of wheat *cv.* Sirvan in drought stress (A) and Brassinolide concentration (B) treatments (2014-2016)

نتیجه‌گیری

نتایج دو سال آزمایش حاضر نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب گندم رقم سیروان در تیمار آبیاری کامل بوده و تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش بیشتری در میزان عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب نسبت به تنش در مرحله پر شدن دانه گردید. نتایج دو سال آزمایش نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی بیشترین اثر منفی را بر عملکرد دانه گندم رقم سیروان داشت و محلول‌پاشی ۰/۱ میلی-گرم بر لیتر براسینولید تا حدودی این اثر منفی را تعدیل نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، بویژه جناب آقای دکتر ابراهیم زارع رییس محترم مرکز، جهت مساعدت در اجرای این تحقیق کمال تشکر را دارد.

منابع مورد استفاده

References

Ahmadi Mousavi, E., Kh. M. Kalantari, R. Jafari, N. Hasibi and K. Mahdavian. 2011. Study of the effects of 24-epibrassinolide and water stress on some physiological parameters in canola (*Brassica napus* L.) seedling. Iran. J. Biol. 23 (2): 275-286. (In Persian with English abstract).

Ahmadi, J., M. Khatibi, H. Amir Shekari and M. Amini Dehaghi. 2011. Evaluation of the effective morpho-physiological indices on the yield of spring wheat (TRITICUM AESTIVUM L.) using multivariate statistical methods. *J. AGRON. SCI*. 2 (4): 55-66. (In Persian with English abstract).

Ananthi, M., G. Sasthri and P. Srimathi. 2013. Integrated seed and crop management techniques for increasing productivity of greengram *cv.* CO6. Int. J. Sci. Res. 2 (11): 37-38.

Behdad, M., F. Paknejad, S. Vazan, M. Ardekani and M. Sadeghi shoa. 2013. The effects of drought stress

on effective traits at accumulative cumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. Crop Plant Breed. J. 8 (3): 79-86. (In Persian with English abstract).

Dastfal, M., V. Barati, F. Navabi, and H. Haghighatnia. 2010. Terminal drought stress on grain yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in dry and warm conditions in south of Fars province. Seed Plant Prod. J. 25 (3): 329-344. (In Persian with English abstract).

Dhayal, S. D. L., B. L. Bbagdi and S. Saharawat. 2012. Brassinolide induced modulation of physiology, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress condition. J. Crop Res. 44: 14-19.

Elyasi, A., D. Eradatmand and A. Roohi. 2011. Effect of drought stress at pre and post-anthesis on dry matter remobilization in irrigated winter wheat. Crop Breed. J. 6 (1): 17-28. (In Persian with English abstract).

Farooq, M., A. Wahid, S. M. A. Basra and I. Din. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassino steroids in rice under drought stress. J. Agron. Crop Sci. 195(4): 262-269.

Fujii, S., K. Hirai and H. Saka. 1991. Growth-regulating action of brassinolide in rice plant. In: Cutler HG, Yokota T, Adam G (eds) Brassinosteroids, chemistry, bioactivity, and application. ACS symposium series, vol 474. American Chemical Society, Washington DC, pp 306–311

Gibson, L. R. and G. M. Paulsen. 1999. Yield components wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. Crop Sci. 39: 1841- 1846.

Giunta, F., R. Motzo and M. Deidda. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in Mediterranean environment. Field Crops Res. 33: 339 -499.

Jacobs, B.C. and C.J. Pearson. 1991. Potential yield of maize determined by rate of growth and development of ears, Field Crops Res. 27: 281-298.

Jafarnejad, A., H. Aghaee and G. Najafian. 2013. Effective traits on grain yield of wheat genotypes under optimal irrigation and drought stress during reproductive phase. J. Appl. Crop Breed. 1 (1): 11-22. (In Persian with English abstract).

Jun Hu, O., L. Xuan Shi and W. Sun. 2013. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables and some physiological traits of wheat cultivars. Bot. Studies. 42-54.

Kaur, V. and R. K. Behl. 2010. Grain yield in wheat as affected by short periods of high temperature, drought and their interaction during pre- and post-anthesis stages. Cereal Res. Commun. 38(4): 514–520.

Kisman, A. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Sci Phil. Term paper. *Borgor Agricultural. University*. (Institute Pertanian Borgor).

Li, K. and C. H. Feng. 2011. Effects of brassinolide on drought resistance of *Xanthoceras sorbifolia* seedlings under water stress. Acta Physiol. Plantarum. 33(4): 1293-1300.

Najafian, G., M. Khodarahmi, A. Amini, F. Afshari, A. Malihipoor, G. Ahmadi, R. Nikooseresht, A. Keivan Kafashi, H. Amin, A. Zakari, A. Nikzad, A. Jafarnezhad, D. Afuni, J. Hassanpour, A. Mohammadi, S.M. Atahossaini, A. Nazeri, A. Mirzaie, A. Asgar Shourabi, A. Shad Mehri, A. Badri, A.

Momen and N. Sadeghi. 2012. Sirvan, New Bread Wheat Cultivar, Tolerant to Terminal Drought with Good Bread Making Quality Adapted to Irrigate Conditions of Temperate Regions of Iran. Res. Achiev. Field and Hort. Crops. 1(1): 1-10. (In Persian).

Oweis, T., H. Zhang and M. Pala. 2000. Water use efficiency of rain fed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. Agron. J. 92: 231-238.

Paknejad, F., M. Jamialahmadi, S. Vazan and M. R. Ardekani. 2010. Effects of water stress at different growth stages on yield and water use efficiency of some wheat cultivars. Electronic J. Crop Produc. 2 (3): 17-36. (In Persian with English abstract).

Parizvand, A., F. Ghoshchi, M. Momayesi and H. Tohidimoghadam. 2012. Effect of zinc and nitrogen fertilizer foliar application on yield and some wheat grain quality index in drought stress condition. J. Crop Prod. Res. 3: 55-69. (In Persian with English abstract).

Rahimian, M. and M. Ghodsi. 2015. Effect of elimination of irrigation in terminal stages of growth on yield and water use efficiency of five wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Mashhad. J. Water Res. Agric. 1 (28): 25-38. (In Persian with English abstract).

Saeidi, M. and M. Abdoli. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. J. Agric. Sci. Technol. 17: 885-898.

Sairam, R. K. 1994. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. Plant Growth Regul. 14: 181-173.

Sengupta, K., N. C. Banik, S. Bhui and S. Mitra. 2011. Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. J. Crop Weed. 7 (2): 152-154.

Vafa, P., R. Naseri, M. Moradi. 2014. The Effect of drought stress on grain yield, yield components and protein content of durum wheat cultivars in Ilam province, Iran. Int. J. Biol. Biomol. Agric. Food Biotechnol. Engin. 8 (6): 631-636.

Vriet, C., E. Russinova and C. Reuzeau. 2012. Boosting crop yields with plant steroids. Am. Soc. Plant Biol. 24 (3): 842-857.

Wu, C. Y., A. Trieu, P. Radhakrishnan, S. Kwok, S. Harris, K. Zhang, J. Wang, J. Wan, H. Zhai, and S. Takatsuto. 2008. Brassinosteroids regulate grain filling in rice. Plant Cell. 20: 2130–2145.

Zullo, M. and A. T. Adam. 2002. Brassino-steroid phytohormones, structure, bioactivity and applications. J. Plant Physiol. 14: 83-121.

Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *cv.* Sirvan under terminal drought stress conditions

Dehghan, M.,[1] H. R. Balouchi[2], A. R. Yadavi[3] and F. Safikhani[4]

ABSTRACT

Dehghan, M., H. R. Balouchi, A. R. Yadavi and F. Safikhani. 2017. Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *cv.* Sirvan under terminal drought stress conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences. 19(1): 40-56. (In Persian).**

To evaluate the effect foliar application of different concentrations of brassinolide on water productivity, grain yield and yield components of bread wheat (*cv.* Sirvan) under drought stress conditions, an experiment was carried out as spilt factorial arrangements using randomized complete block design with three replications at Zarghan filed station, Fars Province, Iran, dutring 2014-15 and 2015-16 growing seasons. Three levels of irrigation; optimum, withholding irrigation from flowering to grain filling stage and withholding irrigation during grain filling stage were assigned to main plots, and foliar application of brassinolide concentrations in three levels 0, 0.05 and 0.1 $mg.l^{-1}$ and two timing of foliar application, before flowering and before grain filling, as factorial were randomized in sub-plots. Results showed that increasing foliar application of brassinolide concentration increased grain yield and water productivity under drough stress conditions. The lowest grain number per spike, thousand grain weight, grain yield, biological yield and harvest indexbelonged to drought stress from flowering to grainfilling stagewhich were reduced by 18.3, 13.1, 21.25, 11.33 and 11.78 percent, respectively, when compared to optimum irrigation conditions. The application of 0.1 $mg.l^{-1}$ brassinolide increased grain number per spike by 9.17 percent, thousand grain weight by 6.62 percent and grain yield by 7.3 percent compared with contol. The highets water productivity ($1.01kg.m^{-3}$) was observed in 0.1 $mg.l^{-1}$ brassinolide application and also the longest duration to physiological maturity (193.5 day) was recorded in 0.1 $mg.l^{-1}$ brassinolide application and optimum irrigation. The results of this study showed that drought stress from flowering to grainfilling stage had the most negative effect on bread wheat *cv.* Sirvan grain yield and foliar application of 0.1 $mg.l^{-1}$ brassinolide improved this negative effect to some extent.

Key words: Brasinosteroid, Drought stress, Thousands grain weight, Water productivity and Wheat.

Received: February, 2017 **Accepted: May, 2017**

1. Ph.D. Student, Yasouj University, Yasouj, Iran
2. Associate Prof., Yasouj University, Yasouj, Iran (Corresponding author) (Email: balouchi@yu.ac.ir)
3. Associate Prof., Yasouj University, Yasouj, Iran
4. Assistant Prof., Seed and Plant Registration and Certification Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran