دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

تأثیر کاربرد براسینواستروئید بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم تحت قطع آبیاری از مرحله گلدهی

مهرنوش رافعی[1]، محمدرضا عامریان[2]، بهزاد سرخی‌لله لو[3]، پرویز حیدری[4] و حمیدرضا اصغری[1]

1- گروه زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
2- گروه زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران (نویسنده مسوول: amerianuk@yahoo.co.uk)
3- گروه ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر، کرج، ایران
4- گروه بیوتکنولوژی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ ارسال: 98/08/9 تاریخ پذیرش: 98/10/17
صفحه: 162 تا 173

چکیده

خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی صفات عملکردی و اجزای عملکرد هفت ژنوتیپ گندم تحت شرایط تحت قطع آبیاری از مرحله گلدهی می‌باشد. پژوهش حاضر در موسسه تحقیقات نهال و بذر کرج در دو سال زراعی 1397-1396 و 1398-1397 به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی قطع آبیاری در دو سطح نرمال و تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، فاکتور فرعی شامل چهار غلظت براسینواستروئید (0، 0/25، 0/625 و 1 میلی‌گرم بر لیتر) و فاکتور فرعی هفت ژنوتیپ گندم (3737، 4228، 3506، 4056، 2853، مهرگان و پارسی) بودند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری موجب کاهش میانگین صفات موردبررسی شده است و براسینواستروئید توانست تا حدی اثرات مخرب قطع آبیاری را کاهش دهد که غلظت 0/625 میلی‌گرم بر لیتر مؤثرتر از سایر غلظت‌ها بود. ژنوتیپ 4228 تحت شرایط نرمال و غلظت 0/625، بیشترین (1/63 کیلوگرم بر متر مربع) و ژنوتیپ پارسی تحت شرایط قطع آبیاری و عدم کاربرد براسینواستروئید کمترین (0/33 کیلوگرم بر متر مربع) میزان عملکرد در واحد سطح را دارا بودند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که سه مولفه اصلی اول 92 درصد واریانس بین ژنوتیپ‌ها را توجیه کردند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق براسینواستروئید توانست عملکرد گیاه را تا حدی تحت شرایط تنش نسبت به نرمال بهبود ببخشد. همچنین از بین ژنوتیپ‌های ناشناخته ژنوتیپ 4228 می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ متحمل تر در برنامه‌های اصلاحی جهت تولید واریته‌هایی متحمل به کم‌آبی با عملکرد مناسب قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: محلول‌پاشی، گل‌دهی، عملکرد بیولوژیک، گندم

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی ایران و جهان از لحاظ عملکرد، کیفیت و خصوصیات ظاهری در طول دهه‌های اخیر پیشرفت‌های فراوانی را تجربه کرده است. این گیاه از مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران و جهان بوده و هر ساله حدود 60 تا 70 درصد اراضی زیر کشت محصولات زراعی کشور را به خود اختصاص می دهد (1).

خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. تغییر اقلیم به‌ویژه کاهش در میزان بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق ازجمله مشکلات پیشرو در آینده کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک خواهد بود (2 و 3). عوامل متعددی موجب شده اند تا تنها 30 تا 60 درصد عملکرد واقعی گندم در دنیا قابل حصول باشد که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین این عوامل می باشد (4).

مکانیسم واکنش گیاه به کمبود آب شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت‌های متابولیسمی گیاه و تأثیر بر فیزیولوژی، مورفولوژی و درنهایت عملکرد گیاه می‌باشد (5). کمبود آب فرایند تنفس، فتوسنتز و تعرق گیاه را از طریق تأثیر بر آماس سلولی و درنتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و با تأثیر بر فرایندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد (6). کاهش عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش شده است (7، 8).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان گزارش‌شده است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت می‌باشند کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد ازجمله براسینواستروئید آسان‌تر است (10،9).

براسینواستروئیدها هورمون‌های استروئیدی هستند که در تنظیم رشد و نمو گیاه نقش داشته و در مقادیر بسیار کم در گیاهان وجود دارند (11). براسینواستروئیدها توانایی حفاظت از گیاهان را در قبال تنش‌های مختلف محیطی ازجمله خشکی، شوری، درجه حرارت‌های کم‌وزیاد دارند (12). تیمار گندم با براسینواستروئید موجب بهبود و افزایش رشد گندم در شرایط تنش شوری و خشکی شده است (13).

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی صفات عملکرد و اجزای عملکرد هفت ژنوتیپ گندم تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی می‌باشد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر براسینواستروئید بر عملکرد و اجزای عملکرد هفت ژنوتیپ گندم (3737، 4228، 3506، 4056، 2853، مهرگان و پارسی) تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر واقع در کرج در دو سال زراعی 1397-1396 و 1398-1397 انجام شد. کلیه بذور موردنیاز از بخش بانک ژن و ذخایر توارثی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. تیمار براسینواستروئید با غلظت‌های صفر، 0/25، 0/625 و 1 میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت اسپری به همراه محلول توئین 20 (0/01 درصد) جهت افزایش سورفاکتانت دو هفته قبل از اعمال تنش مورداستفاده قرار گرفت. ژنوتیپ‌های گندم به صورت طرح اسپلیت اسپلیت پلات و بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه کشت شدند. تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی در دو سطح قطع آبیاری و آبیاری نرمال اعمال شد که کرت اصلی را تشکیل داد و فاکتورهای براسینواستروئید و ژنوتیپ به ترتیب در کرت‌های فرعی و فرعی فرعی قرار گرفتند.

خاک محل آزمایش دارای بافت رسی- شنی، هدایت الکتریکی 1/53 دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر 7/5 بود. براساس آزمون خاک،کود پتاس، اوره و فسفر به‌ترتیب 45، 100 و 20 کیلوگرم در هکتار به خاک داده شد. پس از تهیه بذور ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایشی گندم، کلیه بذور را به‌وسیله هیپوکلرید سدیم پنج درصد به مدت سه دقیقه غوطه‌ور نموده تا ضدعفونی سطحی شدند. آبیاری به‌طور منظم هر سه روز یک‌بار انجام‌گرفت. دو هفته قبل از تنش، تیمار غلظت‌های مختلف براسینواستروئید اعمال شد. اسپری براسینواستروئید بر روی بوته‌ها به‌صورت یک روز در میان، سه بار تکرار شد. همچنین تنش در آخر فصل در مرحله گلدهی که به‌صورت قطع آبیاری اعمال گردید. در پایان رشد گیاهان، ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، طول سنبله (سانتی‌متر)، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه (گرم)، تعداد بذر در سنبله، طول برگ پرچم (سانتیمتر)، عملکرد بیولوژیک (گرم بر متر مربع)، عملکرد دانه (گرم بر متر مربع) و شاخص برداشت (درصد) اندازه گیری شدند. تجزیه واریانس، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه رگرسیون خطی چند متغیره به روش روش گام به گام (Stepwise method) و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها توسط روش UPGMA و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

برای تعیین تعداد گروه از روش تقریبی استفاده شد (24) که برابر است با:

$$\text{گروه تعداد} = \sqrt{n/2}$$

در این رابطه، n تعداد نمونه (ژنوتیپ) می‌باشد.

همچنین همبستگی بین صفات به‌صورت نقشه حرارتی نمایش داده شد.این تجزیه و تجزیه بای-پلات با استفاده از نرم‌افزار آنلاین METABOANALYST انجام شدند (14).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین

نتایج آزمون بارتلت نشان داد که داده‌های دو سال زراعی دارای واریانس همگن هستند؛ بنابراین تجزیه مرکب داده‌های طرح اسپلیت اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک کامل تصادفی انجام شد (جدول 1). تجزیه واریانس بر اساس امید ریاضی منابع تغییرات صورت گرفت. نتایج نشان داد که اثرات متقابل چندگانه برای همه صفت‌ها معنی‌دار شد. به دلیل معنی‌دار شدن اثرات متقابل، تمرکز تجزیه واریانس باید بر روی این اثرات متمرکز شود و از تمرکز بر روی اثرات ساده چشم‌پوشی شود (15). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه عامل قطع آبیاری، براسینواستروئید و ژنوتیپ برای صفات ارتفاع گیاه، طول سنبله و عملکرد در واحد سطح معنی‌دار بوده است. با برش‌دهی اثر ژنوتیپ در سطوح براسینواستروئید مشخص گردید که اثر ژنوتیپ در هر چهار سطح براسینواستروئید برای صفت عمکرد دانه معنی‌دار است در حالی که برای صفت طول سنبله اثر ژنوتیپ تنها در سطح صفر براسینواستروئید معنی دار شد (جدول 2). اثر متقابل سه گانه سال، تنش و ژنوتیپ نیز برای صفت‌های تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، تعداد بذر در سنبله، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار شد. با توجه به تصادفی بودن اثر سال اثر متقابل تنش و ژنوتیپ برای این صفات برش‌دهی داده شد. نتایج این آزمون نشان داد که اثر ژنوتیپ در هر دو سطح نرمال و تنش برای این صفات معنی دار شده است. همچنین اثر متقابل سه گانه سال، تنش و براسینواستروئید نیز برای صفت طول برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ژنوتیپ 3506 در شرایط نرمال و غلظت‌های 0/25 و 0/625 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید بالاترین ارتفاع بوته (117/67 سانتی‌متر) را دارا بود، حال‌آنکه ژنوتیپ مهرگان تحت قطع آبیاری و عدم کاربرد براسینواستروئید کمترین ارتفاع بوته (79/33 سانتی‌متر) را داشت (شکل 1). همان‌طور که از نتایج شکل 2 مشخص است غلظت 0/625 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید توانسته است ارتفاع ژنوتیپ‌ها را تحت تنش افزایش دهد البته این افزایش ارتفاع گیاهان در غلظت‌های مختلف براسینواستروئید برای ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. برای مثال در شرایط تنش بیشترین ارتفاع بوته توسط ژنوتیپ 3506 (108/33 سانتی‌متر) با به‌کارگیری غلظت 0/625 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید به دست آمد درصورتی‌که برای ژنوتیپ پارسی (97/33 سانتی‌متر) بیشترین ارتفاع بوته در کاربرد 1 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید مشاهده شد. ژنوتیپ 4228 با 14/1 سانتی‌متر بیشترین طول سنبله را تحت شرایط نرمال و عدم استفاده از براسینواستروئید داشت و کمترین مقدار این صفت تحت قطع آبیاری و غلظت صفر براسینواستروئید برای ژنوتیپ پارسی به دست آمد. تحت هر دو شرایط نرمال و قطع آبیاری پاسخ ژنوتیپ‌ها به محلول‌پاشی غلظت‌های براسینواستروئید بسیار متفاوت بود (شکل 2). همانند دو صفت ارتفاع بوته و طول سنبله، عملکرد در واحد سطح نیز تحت تأثیر اثر سه گانه فاکتورهای موردبررسی قرار گرفت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]

جدول 1- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های گندم

Table 1. ANOVA for measured characters of wheat genotypes

Mean square میانگین مربعات									df	منابع تغییر S.O.V
Y9	Y8	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1		
800	0/03	6/32	1944	42/88	850	0/42	9/6	1479	1	Y
31/25	0/004	0/14	17/31	14/17	45	0/23	2/98	162/26	4	R(Y)
4208	38/4^{ns}	217/7	2433/8	3548	13777	20	185	5448	1	A
247**	0/12	2/67**	119/4	84/04**	7976	28/6	56/35	334*	1	Y*A
50/68	0/007	0/09	20/15	10/017	10/99	0/06	0/65	31/24	4	A*R(Y)
116/9	0/3**	2/05	263/7	181/37	197/4	0/37	18/46	1325*	3	B
190/2	0/014	1/14*	397/97	152/28	59/13	0/83	3/27*	143/41	3	Y*B
159	0/02	0/19	142/6**	145/7**	58/67	2/05*	0/38	107/25	3	Y*A*B
285/9	0/03	2/3^{ns}	38/27	238/53	306/3	4/54	22/9**	107/88	3	A*B
16/92	0/01	0/15	9/7	16/27	12/54	0/42	2/75	159/17	24	A*B*R(Y)
311/48	0/94^{ns}	3/8	11/51	133/78	338/5	2/28	6/78	1706^{ns}	6	G
143/59	0/12**	1/04	24/68	69/63	128/5	3/21	3/14	422/24	6	Y*G
216*	0/02	1/15^{ns}	11/04	46/23**	182/3^{ns}	2/2**	5/78	108/73	6	Y*G*A
56/42	0/26**	1/93	7/62	111/51	137/65	1/27	8/01	504/03	6	G*A
51/95	0/015	0/25	23/61	31/11	55/88	0/43	2/83	144/9^{ns}	18	Y*G*B
65/85	0/01	0/27	27/32	46/93	65/15	0/65	9/86**	230/9	18	G*B
35/38	0/14**	0/16	34/23	19/19	68/69	0/67	11/62^{ns}	199^{ns}	18	G*A*B
78/5**	0/02**	0/33**	20/1**	18/3**	66/9**	0/42	3/87**	62/92	18	Y*G*A*B
14/8	0/005	0/06	8/5	10/48	13/94	0/32	1/8	71/91	192	Error
13/83	8/42	7/85	14/45	8/26	10/71	12/9	12/82	8;32	-	CV (%)

Y: سال، A: تنش، B: براسینواستروئید و G: ژنوتیپ. ** و * بترتیب معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد.

Y1 – Y9 به ترتیب صفت‌های ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، تعداد بذر در سنبله، طول برگ پرچم، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص برداشت.

نتایج نشان داد که غلظت 0/625 براسینواستروئید توانسته است تحت هر دو شرایط نرمال و تنش قطع آبیاری عملکرد برخی ژنوتیپ‌ها را افزایش دهد (شکل 3). ژنوتیپ 4228 تحت شرایط نرمال و غلظت 0/625، بیشترین (1/63 کیلوگرم در متر مربع) و ژنوتیپ پارسی تحت شرایط قطع آبیاری و عدم کاربرد براسینواستروئید کمترین (0/33 کیلوگرم در متر مربع) میزان عملکرد در واحد سطح را دارا بودند. محمدی فرد و همکاران (16) گزارش دادند که با تنش خشکی عملکرد دانه کاهش، اما سرعت پر شدن دانه افزایش یافتند، همچنین همانند نتایج این تحقیق نویسندگان بیان داشتند که با افزایش غلظت براسینواستروئید وزن دانه و عملکرد دانه افزایش، اما سرعت پر شدن دانه کاهش یافتند (16).

جدول 2- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ژنوتیپ در سطوح براسینواستروئید (A) و تنش قطع آبیاری (B) و برش‌دهی اثر براسینواستروئید در سطوح تنش قطع آبیاری (C)

Table 2. Mean squares of slicing interactions between genotype in brassinosteroid levels (A) and water deficit levels (B) and brassinosteroid in water deficit levels (C)

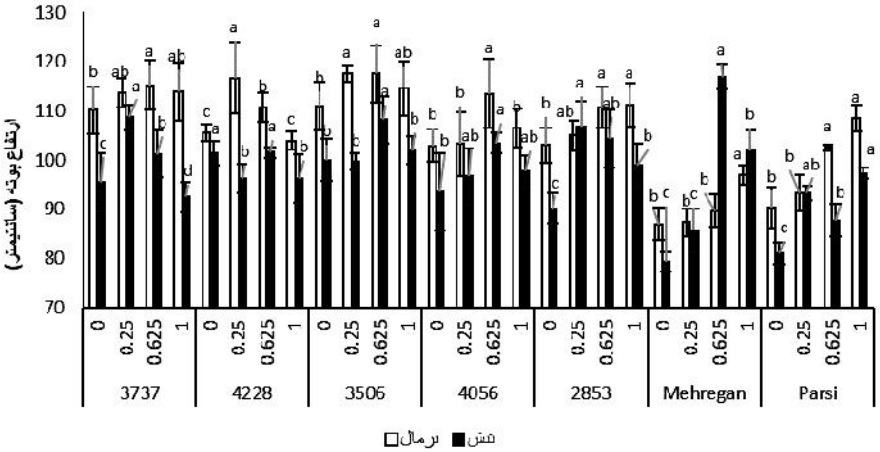
Y9	Y8	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	df	S.O.V	سطح	تجزیه
-	0/07*	-	-	-	-	-	2/77*	235/4*	6	ژنوتیپ	0	A
-	0/068*	-	-	-	-	-	7/06	243/4*	6	ژنوتیپ	0/25	
-	0/05*	-	-	-	-	-	16/15	94/07	6	ژنوتیپ	0/625	
-	0/04*	-	-	-	-	-	2/07	27	6	ژنوتیپ	1	
18/6*	-	0/6*	-	13/88*	17/7*	0/3*	-	-	6	ژنوتیپ	آبیاری نرمال	B
27/36*	-	0/1*	-	61/78*	41/8*	0/13*	-	-	6	ژنوتیپ	قطع آبیاری	
-	-	0/3	14*	-	-	-	0/86	-	3	براسینواستروئید	نرمال	C
-	-	0/006	7/57*	-	-	-	7/6	-	3	براسینواستروئید	قطع آبیاری	

*: معنی داری در سطح احتمال یک درصد.

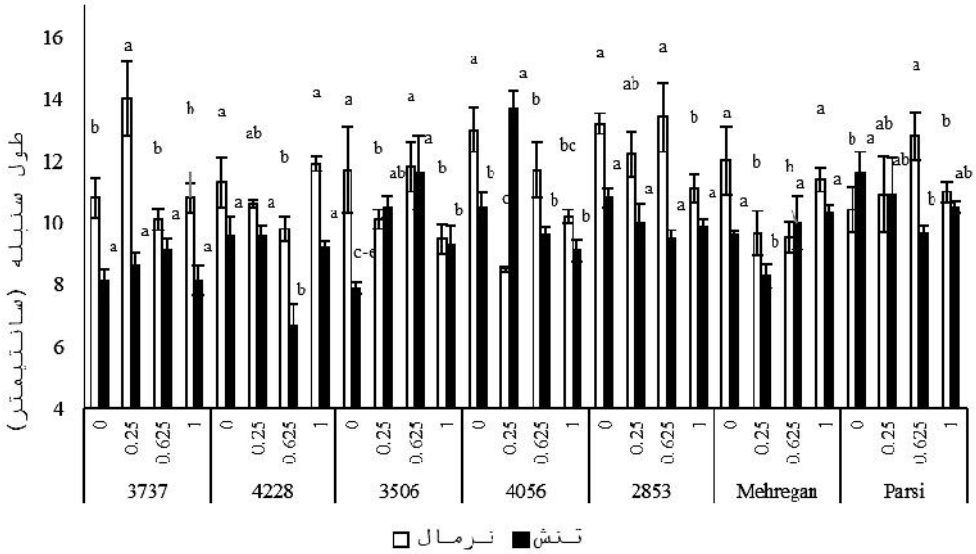
Y1 – Y9 به ترتیب صفت‌های ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، تعداد بذر در سنبله، طول برگ پرچم، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص برداشت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



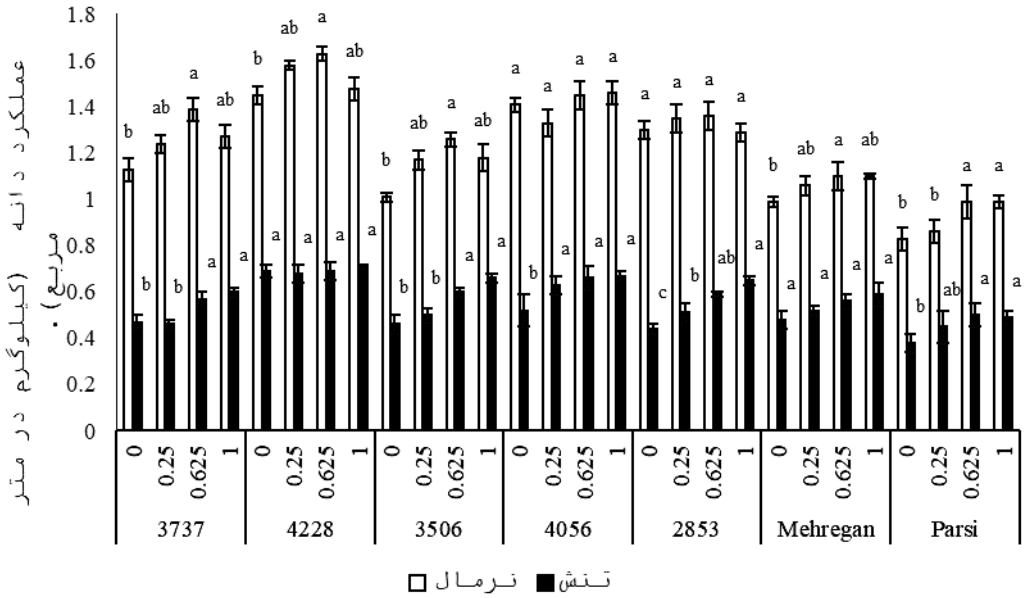
شکل ۱- تأثیر اثر متقابل براسینواستروئید و ژنوتیپ تحت شرایط نرمال و تنش بر روی ارتفاع بوته
Figure 1. Interaction effects of brassinosteroid and genotype on plant height under normal and stress conditions



شکل ۲- تأثیر اثر متقابل براسینواستروئید و ژنوتیپ تحت شرایط نرمال و تنش بر روی طول سنبله
Figure 2. Interaction effects of brassinosteroid and genotype on spike length under normal and stress conditions

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 3- تأثیر اثر متقابل براسینواستروئید و ژنوتیپ تحت شرایط نرمال و تنش بر روی عملکرد دانه

Figure 3. Interaction effects of brassinosteroid and genotype on grain yield under normal and stress conditions

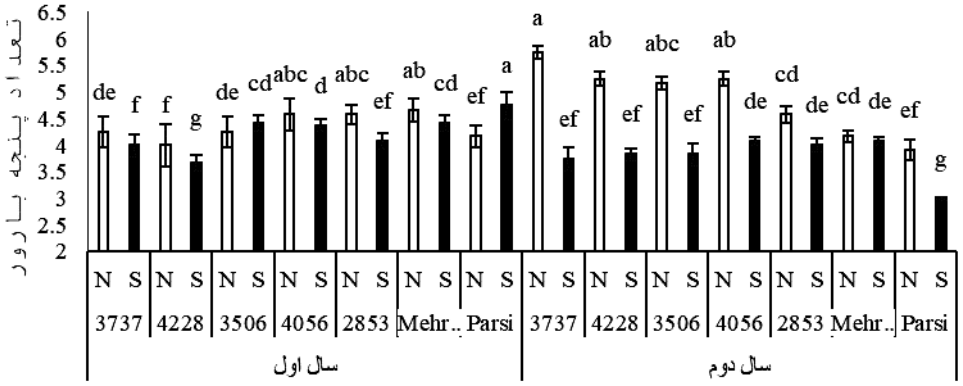
گیاهان درمجموع در سال دوم عملکرد و رویش بهتری نسبت به سال اول داشتند. اثر سه گانه سال، قطع آبیاری و ژنوتیپ برای تعداد پنجه بارور و وزن هزار دانه معنی‌دار شده بود. برای دو صفت نام‌برده ژنوتیپ‌ها در سال دوم و شرایط نرمال مقادیر بیشتری داشتند (شکل 4 و 5). بیشترین وزن هزار دانه (53/41 گرم) مربوط به ژنوتیپ 4228 بود که تحت شرایط نرمال و در سال دوم به دست آمد.

هرچند در این تحقیق براسینواستروئید اثری بر وزن هزار دانه نداشت اما محمدی فرد و همکاران (16) مشاهده کردند که عملکرد گیاهان از طریق تأثیر براسینواستروئید بر وزن هزار دانه افزایش می یابد به‌طوری‌که 40 و 60 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید توانست مقدار عملکرد را به ترتیب به 6879 و 6021 کیلوگرم در هکتار برساند، حال‌آنکه مقدار عملکرد در تیمار بدون براسینواستروئید 5132 کیلوگرم در هکتار بود. ژنوتیپ 4228 در سال اول و تحت شرایط نرمال و تنش به ترتیب بیشترین (34/42) و کمترین (19/67) میانگین تعداد بذر در سنبله را دارا بود (شکل 6). مشابه نتایج تحقیق حاضر، دهقان و همکاران (17) نشان دادند که عملکرد، وزن هزار دانه و تعداد بذر در سنبله با تنش کم‌آبی کاهش‌یافته‌اند هرچند برخلاف نتایج تحقیق حاضر، نویسندگان گزارش نمودند که غلظت 0/1 میلی‌گرم بر لیتر براسینواستروئید نسبت به عدم مصرف آن موجب افزایش 9/17 درصد تعداد دانه در سنبله و 0/62 درصد وزن هزار دانه گردید (17). در سال اول و تحت شرایط نرمال بیشترین مقادیر صفات عملکرد بیولوژیک (4/76 کیلوگرم بر مترمربع) و شاخص برداشت (36/26 درصد) به ترتیب در ژنوتیپ‌های 4228 و 4056 مشاهده گردید (شکل 7 و 8). نتایج این تحقیق نشان داد که قطع آبیاری موجب کاهش اکثر صفت‌های موردبررسی شد و این کاهش در عملکرد در سال اول بیشتر از سال دوم بوده است. براسینواستروئید توانست تا حدی اثرات مخرب قطع آبیاری را کاهش دهد و موجب افزایش عملکرد و رویش گیاه شود. قطع آبیاری به طور معنی داری عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و بیوماس گندم رقم سیروان کاهش دادهاست، هرچند محلول‌پاشی براسینواستروئید تأثیر مثبت معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشت (18). تیمار بوته‌های گندم با براسینواستروئید موجب بهبود و افزایش رشد در شرایط تنش شوری و خشکی می‌شود (13). همچنین اثر مثبت و مؤثر براسینواستروئید در برنج و ذرت به‌صورت افزایش شکل فعال براسینواستروئید از طریق اصلاح، تغییر در اجزای سازنده، متابولیسم و یا مصرف خارجی آن گزارش‌شده است (19). براسینواستروئید در تحریک رشد سلول‌های رویشی بسیار مؤثر است (9).

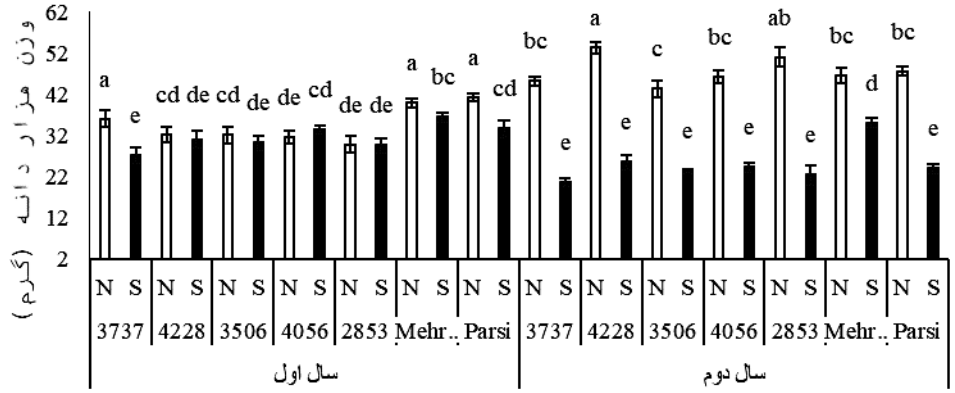
این ماده کاملاً مستقل از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سایتوکینین بر اندام‌های رویشی اثر می‌گذارند. در مطالعه حاضر بهترین سطح پاسخ‌دهنده براسینواستروئید غلظت 0/625 میلی‌گرم بر لیتر بود و دلیل اینکه در بالاترین سطح مصرف براسینواستروئید میانگین برخی از صفات کاهش یافت احتمالاً به تحریک بیش‌ازحد رشد رویشی مربوط می شود که بخاطر مواجه شدن با محدودیت رطوبت، اثر مثبت آن کاهش‌یافته است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

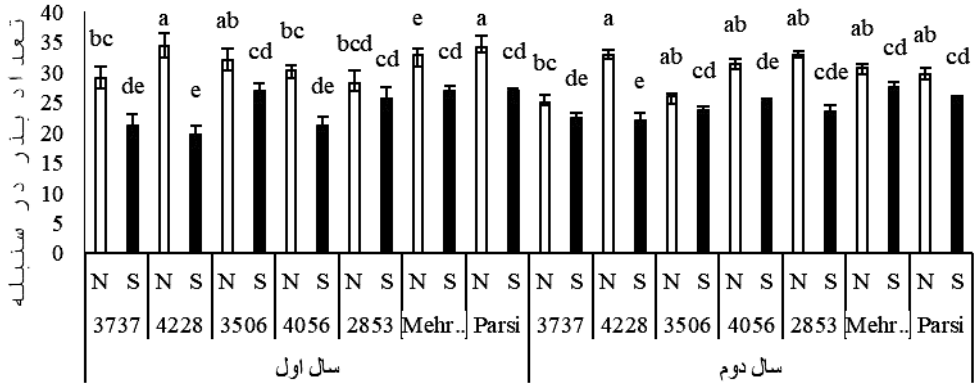
[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 4- تأثیر اثر متقابل تنش قطع آبیاری (N: نرمال و S: تنش) و ژنوتیپ طی دو سال بر روی تعداد پنجه بارور
Figure 4. Interaction effects of water deficit and genotype on fertilized tiller number during the two years



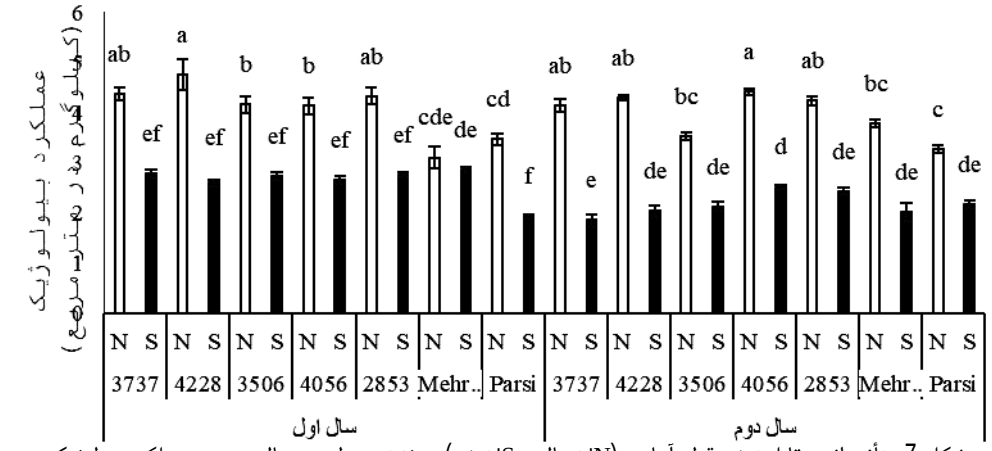
شکل 5- تأثیر اثر متقابل تنش قطع آبیاری (N: نرمال و S: تنش) و ژنوتیپ طی دو سال بر روی وزن هزار دانه
Figure 5. Interaction effects of water deficit and genotype on 1000-seeds weight during the two years



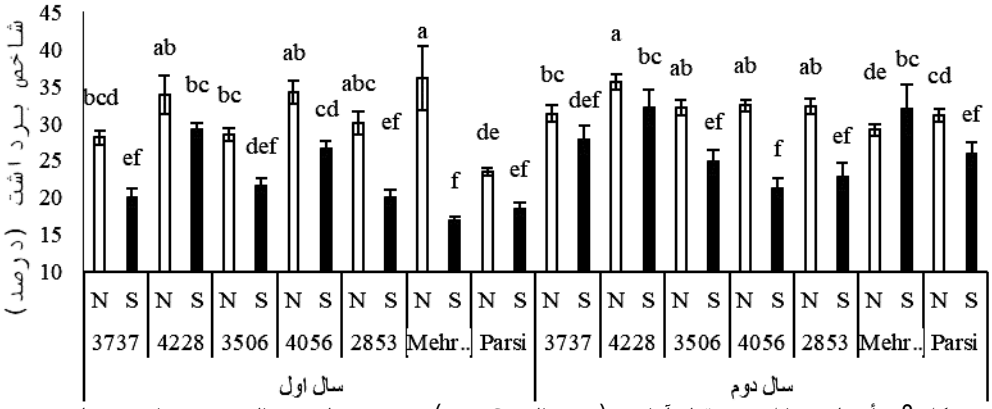
شکل 6- تأثیر اثر متقابل تنش قطع آبیاری (N: نرمال و S: تنش) و ژنوتیپ طی دو سال بر روی تعداد بذر در سنبله
Figure 6. Interaction effects of water deficit and genotype on grain number per spike during the two years

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 7- تأثیر اثر متقابل تنش قطع آبیاری (N: نرمال و S: تنش) و ژنوتیپ طی دو سال بر روی عملکرد بیولوژیک
Figure 7. Interaction effects of water deficit and genotype on biological yield (kg m^{-2}) during the two years



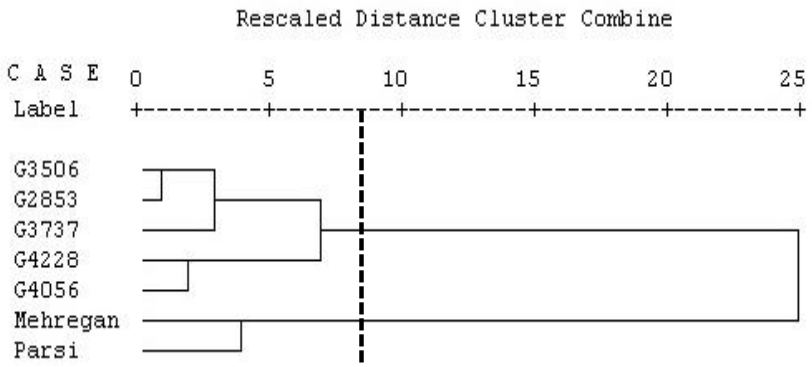
شکل 8- تأثیر اثر متقابل تنش قطع آبیاری (N: نرمال و S: تنش) و ژنوتیپ طی دو سال بر روی شاخص برداشت
Figure 8. Interaction effects of water deficit and genotype on harvest index during the two years

تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به عامل‌ها

تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مطالعه شده، ژنوتیپ‌ها را در دو گروه قرار داد (شکل 9). برای تعیین خط برش دندروگرام از روش تقریبی گروه‌بندی استفاده شد که مقدار آن حدود دو به دست آمد. در گروه اول پنج ژنوتیپ ناشناخته قرار گرفت درحالی‌که بدلیل هر دو در گروه دوم قرار گرفتند. نتایج آزمون اف بیل نشان داد که دو شاهد حساس (پارسی) و متحمل (مهرگان) به دلیل آنکه از نظر ارتفاع و عملکرد بیولوژیک ضعیف ولی وزن هزار دانه بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها داشتند در گروه دوم قرار گرفتند (جدول 3). به نظر می‌رسد اصلاحگران در این گیاهان به دنبال کاهش ارتفاع بوداند تا میزان کود پذیری این واریته‌ها را بهبود بخشند. پژوهشگران متعدد صفت وزن هزار دانه را از مهم‌ترین صفات در قرار گرفتن لاین‌ها در خوشه‌ها نام بردند (21،20). در بین پنج ژنوتیپ ناشناخته گروه اول، ژنوتیپ 4228 بالاترین عملکرد را درمجموع دو سال و تحت دو شرایط نرمال و استرس دارا بود. با توجه به این نتایج این ژنوتیپ می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی جهت عملکرد بالا در شرایط کم‌آبی مورداستفاده قرار گیرد. ژنوتیپ 3506 در بین هفت ژنوتیپ موردبررسی کمترین وزن هزار دانه را دارا بود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 9- دندروگرام صفات موردمطالعه با استفاده از روش UPGMA
Figure 9. The results of cluster analysis based on measured traits using UPGMA method

از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی برای درک روابط داخلی صفات و تعیین گروهی متغیرها با بیش‌ترین همبستگی استفاده شد. در این تجزیه، سه مولفه اصلی اول 90 درصد از واریانس بین ژنوتیپ‌ها را توجیه کردند (جدول 4). مولفه اصلی اول به‌تنهایی 55/39 درصد از واریانس کل را توجیه کرد که بالاترین همبستگی را با صفات ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، تعداد بذر در سنبله عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک داشت. صفت شاخص طول برگ پرچم صفت مهم در ایجاد واریانس مربوط به مولفه دوم بود که این مولفه 26/42 درصد از واریانس کل را کنترل کرد. همچنین مولفه اصلی سوم بیش از 10 درصد از تغییرات کل را توجیه کرد این مولفه نیز همبستگی بالایی با صفت طول سنبله داشت. در مطالعه‌ای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که چهار عامل بیش از 67 درصد از واریانس کل بین لاین‌های گندم را توجیه کرده است (22). نتایج گروه‌بندی با دو مولفه اصلی اول نشان داد که دو رقم شاهد مورد استفاده در این تحقیق دریک گروه قرار گرفتند و سایر ژنوتیپ‌ها گروه دیگر را تشکیل دادند، که با نتایج تجزیه خوشه‌ای هم‌خوانی داشت (شکل 10).

جدول 3- نتایج آزمون اف بیل برای مقایسه دو گروه بدست‌آمده از تجزیه کلاستر
Table 3. The results of F-Beale test for the two groups derived from cluster analysis

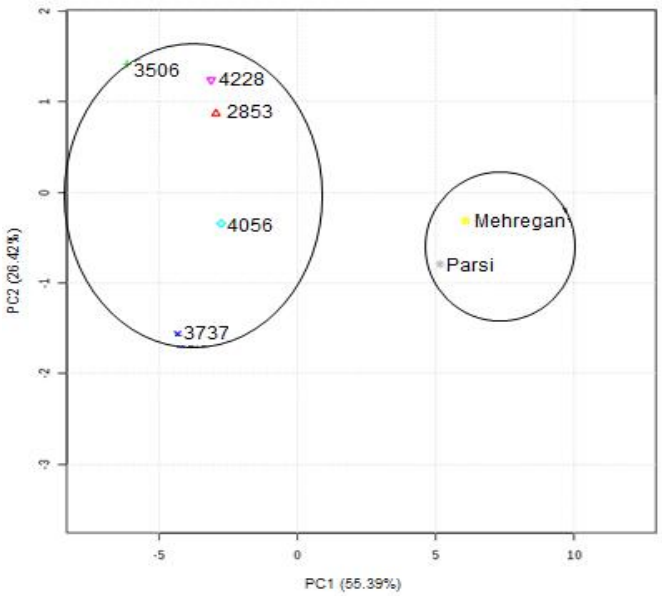
منابع تغییر	df	میانگین مربعات Mean square								
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
گروه	1	186/05**	0/03	0/14	30/54*	10/17	0/24	0/38*	0/06	3/74
خطا	5	5/45	0/16	0/03	2/34	3/3	0/23	0/02	0/01	7/04

** و *: بترتیب معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد.
Y1 – Y9 به ترتیب صفت‌های ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، تعداد بذر در سنبله، طول برگ پرچم، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص برداشت.

جدول 4- تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس صفات مطالعه شده در این تحقیق
Table 4. Principal components analysis (PCA) based on studied traits in this study

صفات	مولفه اصلی اول	مولفه اصلی دوم	مولفه اصلی سوم
ارتفاع گیاه	0/92	-0/12	0/17
وزن هزار دانه	-0/86	0/34	-0/28
تعداد بذر در سنبله	-0/89	0/24	0/14
عملکرد بیولوژیک	0/70	0/58	-0/31
تعداد پنجه بارور	0/67	0/66	0/13
عملکرد دانه	0/70	0/58	-0/31
طول سنبله	-0/30	0/62	0/72
طول برگ پرچم	0/47	-0/77	0/29
واریانس نسبی توجیه شده (%)	55/39	26/42	10/80
واریانس تجمعی توجیه شده (%)	55/39	81/81	92/61

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]
[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 10- بای‌پلات بدست آمده از تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس تمامی صفات
Figure 10. Biplot derived by PCA procedure based on all measured traits

تجزیه رگرسیون و همبستگی بین صفات

به‌منظور شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد دانه از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد (جدول 5). صفت وزن هزار دانه اولین و صفت تعداد پنجه بارور دومین صفاتی بودند که وارد مدل رگرسیون شده و مدل نهایی را تشکیل دادند. این دو صفت 88 درصد از تغییرات عملکرد دانه در هکتار را توجیه کرند. مدل نهایی رگرسیون در جدول 5 آمده است. در مطالعه دیگری بر روی عملکرد دانه 122 توده گندم بومی گزارش شد که صفات تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه با اثر مثبت در مدل رگرسیون باقی ماندند (23). برای عملکرد گندم دوروم نیز تنها صفت وزن هزار دانه وارد مدل نهایی شده که 67 درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کرده است. همبستگی بین صفات به‌صورت نقشه حرارتی نمایش داده شد (شکل 11). تجزیه علیت خسروی و همکاران (25) نشان دادند که صفت وزن صد دانه در حالت نرمال بیشترین اهمیت را در عملکرد دانه دارد. این صفت وراثت‌پذیری خصوصی متوسطی دارد که نشان می‌دهد توسط ژن‌های افزایشی کنترل می‌شود (26). وزن هزار دانه همانند عملکرد در واحد سطح همبستگی منفی معنی‌داری با ارتفاع گیاه داشت، با وجود این ارتفاع گیاه همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک نشان داد.

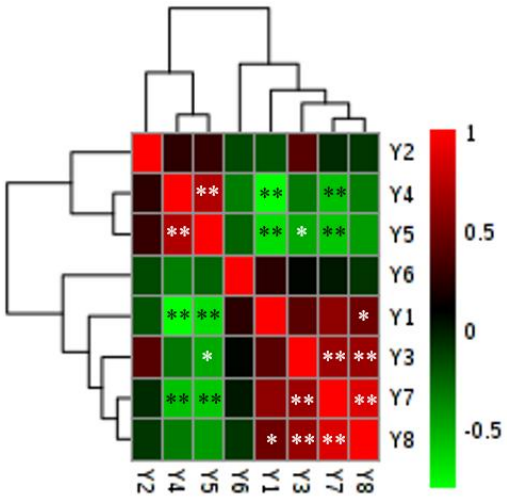
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق براسینواستروئید توانست عملکرد گیاه را تحت شرایط تنش نسبت به تیمار شاهد تا حدودی بهبود ببخشد. همچنین از بین ژنوتیپ‌های ناشناخته ژنوتیپ 4228 می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ برتر در برنامه‌های اصلاحی جهت تولید واریته‌هایی متحمل به کم‌آبی با عملکرد مناسب قرار گیرد.

جدول 5- نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم
Table 5. The results of step by stepwise regression for yield of wheat genotypes

مرحله	صفت	عرض از مبدأ	ضریب رگرسیون	ضریب تبیین
اول	وزن هزار دانه (X1)	-1/27	0/24 (مرحله اول) 0/25 (مرحله دوم)	0/77
دوم	تعداد پنجه بارور (X2)	-8/27	0/29	0/88
عملکرد = -8/27 + 1/25X1 + 0/29X2				

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]



شکل 11- نقشه حرارتی همبستگی بین صفات موردمطالعه (* و ** : بترتیب معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد)
Figure 11. Demo-gram of correlation analysis among the studied traits (* and ** indicate significance at 5 and 1% levels, respectively)

منابع

1. Shahbazian, N., A. Dadi and H. Iran Nejad. 2007. Reaction of winter wheat response to previous culture (fallow, wheat, soybeans and alfalfa) and manure application in Qazvin region. Agricultural Sciences, 13(1): 125-135 (In Persian).
2. Sheikh-Mohamadi, M.H., N. Etemadi, A. Nikbakht, M. Faraipour, M. Arab and M.M. Majidi. 2017. Screening and selection of twenty Iranian wheatgrass genotypes for tolerance to salinity stress during seed germination and seedling growth stage. HortScience, 52(8): 1125-1134.
3. Sheikh-Mohamadi, M.H., N. Etemadi, A. Nikbakht, M. Faraipour, M. Arab and M.M. Majidi. 2018. Wheatgrass germination and seedling growth under osmotic stress. Agronomy Journal, 110(2): 572-585.
4. Deng, X.P., L. Shan, S.Z. Kang and I. Shinobu. 2003. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. Agriculture Science China, 2: 35-44.
5. Wang, L., Z. Guo, Y. Zhang, Y. Wang, G. Yang, L. Yang, R. Wang and Z. Xie. 2017. Characterization of LhSorP5CS, a gene catalyzing proline synthesis in oriental hybrid lily sorbonne: molecular modelling and expression analysis. Botanical Studies, 58: 1-10.
6. Shekoofa, A. and T. Sinclair. 2018. Aquaporin activity to improve crop drought tolerance. Cells, 7(9): 123.
7. Senapati, N., P. Stratonovitch, M.J. Paul and M.A. Semenov. 2018. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. Journal of Experimental Botany, 70(9): 2549-2560.
8. Mega, R., F. Abe, J.S. Kim, Y. Tsuboi, K. Tanaka, H. Kobayashi and S.R. Cutler. 2019. Tuning water-use efficiency and drought tolerance in wheat using abscisic acid receptors. Nature plants, 5(2): 153.
9. Peres, A.L.G., J.S. Soares, R.G. Tavares, G. Righetto, M.A. Zullo, N.B. Mandava and M. Menossi. 2019. Brassinosteroids, the sixth class of phytohormones: a molecular view from the discovery to hormonal interactions in plant development and stress adaptation. International Journal of Molecular Sciences, 20(2): 331.
10. Xi, Z., Z. Zhang, S. Huo, L. Luan, X. Gao, L. Ma and Y. Fang. 2013. Regulating the secondary metabolism in grape berry using exogenous 24-epibrassinolide for enhanced phenolics content and antioxidant capacity. Food Chemistry, 141: 3056-3065.
11. Shahid, M., M. Pervez, R. Balal, N. Mattson, A. Rashid, R. Ahmad, C. Ayyub and T. Abbas. 2011. Brassinosteroid (24-Epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). Australian Journal of Crop Science, 5: 500-510.
12. Hussain, M., T.A. Khan, M. Yusuf and Q. Fariduddin. 2019. Silicon-mediated role of 24-epibrassinolide in wheat under high-temperature stress. Environmental Science and Pollution Research, 1-10.
13. Ashraf, M., N. Akram, R. Arteca and M. Foolad. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Critical Reviews in Plant Sciences, 29: 162-190.
14. Xia, J. and D.S. Wishart. 2016. Using MetaboAnalyst 3.0 for comprehensive metabolomics data analysis current protocols in bioinformatics. Current Protocol Bioinformatics, 55: 14.10.1–14.10.91.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]

15. Wickens, T.D. and G. Keppel. 2004. Design and analysis: A researcher's handbook. Pearson Prentice-Hall, New Jersey.
16. Mohamadifard, F., B. Jafari Haghighi and H.R. Miri. 2010. Effect of Brassinosteroid application in yield and its components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under post flowering drought stress. National Conference on Water Crisis, Arsanjan branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. 1-15.
17. 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).
18. Naghizadeh, M. and R. Kabiri. 2018. Effect of Brassinosteroid Foliar on yield and Yield Components of Wheat (*Sirvan* cultivar) under drought stress. The first international conference and the third national conference on sustainable resource management Soil and Environment 13 and 14 September, Kerman (In Persian).
19. Vriet, C., E. Russinova and C. Reuzeau. 2012. Boosting crop yields with plant steroids. The Plant Cell, 24(3): 842-857.
20. Aghaei, S., E. Tohidi-Nejad and M. Nasr-Esfahani. 2015. Assessment of yield and other agronomic traits of in durum wheat genotypes at Isfahan. Journal of Applied Crop Breeding, 3(1): 69-77.
21. Devesh, P., P.K. Moitra, R.S. Shukla and S. Pandey. 2019. Genetic diversity and principal component analyses for yield, yield components and quality traits of advanced lines of wheat. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3): 4834-4839.
22. Naghdeipour, A., M. Khoda Rahmi, A. Pourshahbazi and M. Esmailzadeh. 2011. Principal components analysis for yield and other characters of wheat. Agronomy and Plant Breeding Journal, 7(1): 84-96.
23. Aghaee Sarbaze, M. and A. Amini. 2011. Genetic variability for agronomy traits in bread wheat genotype collection of Iran. Seed and Plant, 27: 581-599.
24. Mardia, K.V., J.T. Kent and J.M. Bibby. 1979. Multivariate analysis. Academic press. London, UK.
25. Khosravi, S., R. Azizinezhad, A. Baghizadeh and M. Maleki. 2019. Evaluation of tolerance for drought among a number of wild diploid populations, tetraploid and hexaploid cultivars of wheat using morphological and agronomic traits. Journal of Crop Breeding, 11(31): 11-27 (In Persian).
26. Asadi A.A., M. Valiadeh, S.A. Mohammadi and M. Khodarahmi. 2019. Genetic analysis of some physiological and yield traits in wheat by F3 families analysis under normal and late season water deficit conditions. Journal of Crop Breeding, 11(31): 55-64 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]

Effect of Brassinosteroid Application on Yield and Its Components of Wheat Genotypes Under Water Deficit Conditions

Mehrnoush Rafei[1], Mohammad Reza Amerian[2], Behzad Sorkhi Lelah Lou[3], Parviz Heydari[4] and Hamid-Reza Asghari[1]

1- Department of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2- Department of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, (Corresponding author: amerianuk@yahoo.co.uk)
3- Seed and Plant Improvement Institute, Cereals Research Department, AREEO, Karaj, Iran
4- Department of Biotechnology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
Received: October 31, 2019 Accepted: January 7, 2020

Abstract

Drought is the major abiotic factor limiting crop production over the world. The present study aimed to evaluate the effects of brassinosteroid on yield and its components of seven wheat genotypes under water deficit conditions. A split-split plot design based on a randomized complete block design with three replications in the research filed of Seed and Plant Improvement Institute in Karaj at 2017-2018 and 2018-2019 cropping seasons. The main plots were two levels of water deficit (normal irrigation and irrigation cut off from flowering stage), subplots were four concentrations of brassinosteroid (0, 0.25, 0.625 and 1 $mg.l^{-1}$) and sub-sub plots were allocated to six wheat genotypes (3737, 4228, 3506, 4056, 2853, Mehrgan and Parsi). The result revealed that irrigation cut off in flowering stage caused reduction in the mean values of the characters. Also, results demonstrated that the brassinosteroid partially offset the adverse impacts of water deficit, which, application of 0.625 $mg.l^{-1}$ was more effective than the other levels. The highest grain yield (1.63 kg m^{-2}) was obtained in 4228 genotype under normal conditions and application of 0.625 $mg.l^{-1}$ of brassinosteroid, whereas the lowest (0.33 kg m^{-2}) was observed in Parsi under water deficit and whiteout brassinosteroid. Based on principal components analysis the three first components explained 92 of total variance among the genotypes. According to the results of present study brassinosteroid partially offset the adverse impacts of water deficit and caused increasing in wheat yield. Also, the results suggested that 4228 genotype can be a candidate for future wheat breeding programs to produce water deficit tolerant varieties with proper yield.

Keywords: Foliar application, Flowering, Biological yield, Wheat

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.162]