

ارزیابی عملکرد دانه و روابط بین صفات لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان (*Triticum aestivum* L.)
حاصل از تلاقی SeriM82/Babax در شرایط تنش خشکی
Evaluation of grain yield of recombinant inbred lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.)
derived from SeriM82/Babax cross under drought stress conditions

سید محمد تقی طباطبایی^۱، محمود سلوکی^۲، براتعلی فاخری^۳، محسن اسماعیل زاده مقدم^۴ و
نفیسه مهدی نژاد^۵

چکیده

طباطبایی، س. م. ت.، م. سلوکی، ب. فاخری، م. اسماعیل زاده مقدم و ن. مهدی نژاد. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد و صفات لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان (*Triticum aestivum* L.) حاصل از تلاقی SeriM82/Babax در شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۴): ۲۸۳-۲۷۰.

به منظور مقایسه پتانسیل عملکرد دانه لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی (SeriM82/Babax) در شرایط تنش خشکی و بررسی روابط عملکرد دانه با سایر صفات مرتبط جهت گزینش غیرمستقیم ژنوتیپ‌های برتر برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی، ۱۶۷ لاین خالص نوترکیب گندم نان به همراه والدین آن‌ها در قالب طرح آلفا لایس در دو تکرار در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در سال‌های ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتیجه حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها نشان داد. تنوع بالای کلبه صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های گندم نشان دهنده توان و ارزش بالای اصلاحی در جمعیت مورد مطالعه بود. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که تعداد روز تا گلدهی در ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی، اثر تعیین کننده‌ای بر عملکرد دانه آن‌ها در شرایط تنش خشکی داشت و به نظر می‌رسد که انتخاب ارقام با طول دوره رشدی کوتاه‌تر، برای تحمل بیشتر به خشکی گزینش مناسب باشد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه ضرایب مسیر نشان داد که وزن هزار دانه و طول سنبله از صفات مهم مرتبط با عملکرد دانه هستند که می‌توان از آن‌ها برای گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه استفاده نمود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به دلیل وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه، این صفت برای انتخاب رقم برای شرایط تنش خشکی صفت مناسبی نیست و بهتر است از صفات دارای همبستگی بالا با عملکرد مانند تعداد دانه، میانگین وزن دانه و همچنین ویژگی‌های فنولوژیک گیاه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، تحمل به خشکی، صفات فنولوژیک و گندم نان

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: staba1349@gmail.com)

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل

۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل

۴- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۵- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل

مقدمه

تنش خشکی از مهم ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می شود. برای شناسایی ارقام و ژنوتیپ های متحمل به خشکی، گزینش به هر دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می شود. بنابر گزارش بویر (Boyer, 1982)، تنش خشکی بر اساس شدت تنش و گونه گیاهی ممکن است تا ۷۰ درصد از عملکرد محصول را کاهش دهد. خشک سالی یکی از عوامل محدود کننده اصلی عملکرد است که در سراسر دنیا بر تولید یا میزان محصول اثر می گذارد (Hussain *et al.*, 2011). ساده ترین تعریف برای خشک سالی در زمینه کشاورزی عبارتست از در دسترس نبودن آب کافی به مقدار مورد نیاز گیاه برای تداوم رشد و نمو آن در یک دوره زمانی (Deikman *et al.*, 2011). تحمل به خشکی، در واقع توانایی یک گیاه برای زنده ماندن در شرایط محدودیت آب است (Turner, 1989). با این حال انتقال تحمل به خشکی در گیاهان زراعی پیچیده است و به علت طبیعت پلی ژنیک آن دارای وراثت پذیری پایینی بوده و به علاوه تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می گیرد، به همین دلیل یکی از سخت ترین چالش های پیش روی به نژاد گران محسوب می شود (Fleury *et al.*, 2010).

نظر به اینکه بخش زیادی از اراضی زیر کشت گندم کشور در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته و در این مناطق به علت کمبود آب و تنش خشکی، عملکرد گندم کاهش شدید نشان می دهد، اصلاح ارقام متحمل به خشکی برای این مناطق از طریق انتخاب (صرفاً برای عملکرد دانه) چندان موفقیت آمیز نبوده است. بنابراین برای اصلاح ارقام سازگار و برتر، باید صفاتی را که در شرایط کم آبی در افزایش عملکرد دانه مؤثر هستند شناسایی نموده و علاوه بر عملکرد دانه از این صفات نیز به عنوان معیارهای انتخاب استفاده نمود. تعداد زیادی

از معیارهای گزینش (بدون در نظر گرفتن اثر تنش خشکی بر روابط داخلی، مولکولی و فیزیولوژی صفات) به صورت کلی و برای شرایط بدون تنش، تعریف شده اند و پژوهش هایی که در آنها به ارزیابی دقیق میزان تولید محصول، آسیب پذیری ژنوتیپ ها و روابط بین صفات در شرایط تنش خشکی پرداخته شده و شاخص های تحمل بر اساس صفات زراعی موجود در خود گیاه مورد بررسی قرار گرفته باشد، هنوز کمبود وجود دارد (Passioura, 1996).

به منظور شناخت ویژگی های مؤثر در تحمل خشکی و استفاده از آنها در اصلاح گیاهان، مطالعات زیادی صورت گرفته است. دهقانی و همکاران (Dehghani *et al.*, 2010) گزارش نمودند که همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک مثبت و معنی دار بود. همبستگی تعداد دانه در سنبله با وزن هزار دانه، طول میانگره دوم، طول پدانکل، طول بیرون زدگی پدانکل و ارتفاع بوته نیز منفی و معنی دار بود. همبستگی مثبت و بالایی بین روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با وزن هزار دانه، روز تا گرده افشانی و روز تا ظهور سنبله مشاهده شد. ضریب همبستگی منفی بین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نشان دهنده این بود که با افزایش تعداد دانه در سنبله از وزن هزار دانه کاسته می شود. اسلافر و آراوس (Slafer and Araus, 1998) گزارش نمودند که وزن دانه با میزان فتوسنتز جاری، وزن هزار دانه و سرعت و مدت پر شدن دانه در ارتباط است، به عبارت دیگر طول دوره پر شدن دانه و میزان و سرعت انتقال مواد ذخیره شده به دانه و کارایی فتوسنتز جاری بر این صفت اثر دارند. اختلال در فتوسنتز جاری و جریان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و کاهش طول دوره پر شدن دانه، باعث کاهش وزن دانه ها می شود. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2001) گزارش دادند که تنش های محیطی از جمله کاهش رطوبت خاک در

دوره پر شدن دانه، به علت ایجاد اختلال در فتوسنتز جاری، از طریق کاهش وزن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه در گندم می‌شوند.

هدف از این تحقیق بررسی روابط بین صفات موثر در تحمل خشکی لاین‌های خالص نو ترکیب گندم نان حاصل از تلاقی SeriM82/Babax بود تا از تنوع ایجاد شده در مطالعات فیزیولوژیک، اصلاح مولکولی و ژنتیک تحمل تنش خشکی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش ۱۶۷ لاین خالص نو ترکیب به همراه والدین SeriM82 و Babax در قالب طرح آزمایشی آلفا لاتیس (۱۳×۱۳) در دو تکرار در شرایط تنش خشکی و بدون تنش طی سال‌های ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد (ایستگاه یزد) با ارتفاع ۱۲۳۶ متر از سطح دریا، مورد ارزیابی قرار گرفتند. جمعیت مورد مطالعه شامل نسل F10.11 لاین‌های خالص نو ترکیب حاصل از تلاقی دو رقم گندم هگزاپلوئید خالص بهاره و نیمه پاکوتاه به نام‌های SeriM82 (نسبتاً حساس به خشکی و تنش‌های محیطی با تاریخچه انتخاب 1-M31 1BWSNS-1 MX196-97) و Babax (متحمل به خشکی و تنش‌های محیطی با تاریخچه 0MEX-48BBB-OY) بود.

هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت با طول ۲/۵ متر با فاصله ۰/۲ متر بود. عملیات زراعی شامل آماده‌سازی زمین، تسطیح، پیاده کردن نقشه آزمایش و کشت بذر لاین‌های مورد بررسی در فصل پاییز انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۴۵ کیلوگرم پتاس (از منبع کود سولفات پتاسیم) و ۲۰ کیلوگرم نیتروژن (از منبع کود فسفات آمونیوم) در هکتار به خاک افزوده شد. در طول فصل زراعی نیز در دو نوبت نیتروژن (جمعاً ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) (از منبع کود اوره) به خاک داده شد. مصرف کود سرک و دفع

علف‌های هرز در اواسط اسفندماه انجام شد. برای تعیین زمان مناسب آبیاری در طول آزمایش از دستگاه (Time Domain Reflectometry; TDR) استفاده شد و بر حسب میزان رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاهان (در شرایط تنش در زمان ۲۵ درصد رطوبت نسبی خاک و در شرایط بدون تنش در زمان ۵۰ درصد رطوبت نسبی خاک) انجام شد. میزان آب آبیاری برای شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب ۷۵۴۰ و ۵۴۸۰ مترمکعب در هکتار بود. صفات گیاهی اندازگیری شده شامل تعداد روز تا ساقه رفتن، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع (با شمارش تعداد سنبله‌ها در کادر ۰/۲۵ × ۰/۲۵ مترمربع)، وزن هزار دانه، وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (پنج بوته در هر کرت) بودند.

تجزیه و تحلیل مرکب داده‌ها بر اساس طرح آلفا لاتیس با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه مدل خطی عمومی (GLM) و مقایسه میانگین‌های صفات کمی با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش REML و تخمین امیدهای ریاضی استفاده شد. آمار توصیفی هر یک از صفات و ضرایب همبستگی ساده بین صفات محاسبه گردید. برای برازش مدل توصیفی بین صفات مورد بررسی و عملکرد دانه از رگرسیون چندگانه خطی با روش گام‌به‌گام استفاده شد. به‌منظور تعیین اثرات مستقیم غیرمستقیم صفات مهم مؤثر بر عملکرد دانه، تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات گیاهی مورد بررسی نشان داد که اثر سال روی روز تا ساقه دهی، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت. اثر تنش خشکی به‌جز روز تا

رسیدگی فیزیولوژیک، روی سایر صفات اندازه گیری شده معنی دار بود. اثر متقابل سال در تنش نیز به جز دو صفت وزن هزار دانه و تعداد سنبله در مترمربع، بر سایر صفات معنی دار بود. منابع تغییر شامل سال، تنش و اثر متقابل سال در تنش به دلیل وجود اثرات تصادفی متفاوت در مدل امید ریاضی آن‌ها و در نتیجه برابر نبودن تعداد اثرها و ضرایب مدل، توسط خطاهای جداگانه آزمون شد، در نتیجه نمی توان مقدار میانگین مربعات آن‌ها را به صورت مستقیم باهم مقایسه کرد و معنی داری آن‌ها را سنجید. تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله تفاوت معنی داری را در ارتباط با ژنوتیپ‌های گندم نداشتند، درحالی که اثر این منبع بر سایر صفات معنی دار بود. صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، روز تا ساقه دهی، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی در ارتباط با اثر متقابل سال در ژنوتیپ و صفات وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در ارتباط با اثر متقابل سه گانه ژنوتیپ در سال در تنش معنی دار و برای سایر صفات معنی دار نبودند. همچنین اثر متقابل تنش در ژنوتیپ نیز برای صفات روز تا رسیدگی، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی دار بود. با توجه به اینکه اثر ژنوتیپ در تنش، اثر ژنوتیپ در سال و اثر ژنوتیپ در سال در تنش روی عملکرد دانه معنی دار بود، می توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های گندم برای هر شرایط باید به صورت جداگانه انتخاب شوند و احتمالاً تجزیه و تحلیل روابط بین صفات نیز برای شرایط بدون تنش نمی تواند دارای کارایی بالایی برای شرایط تنش باشد.

وجود تنوع ژنتیکی مؤثر در تحمل خشکی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا و درک بهتر سازوکارهای فیزیولوژیک مرتبط با تحمل خشکی در گندم می تواند بسیار مفید باشد. عملکرد دانه و اجزای آن نیز به عنوان عوامل مهم برای ارزیابی اولیه تحمل به خشکی مورد استفاده قرار می گیرند و عملکرد دانه

به عنوان یک شاخص گزینش مناسب در شرایط تنش خشکی در طی سالیان متمادی به طور متناقض مورد شک و تردید بوده است. تفاوت معنی دار بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا بین مواد گیاهی مورد ارزیابی و احتمالاً سازوکارهای متفاوت آن‌ها در واکنش به تنش خشکی است که می تواند در انتخاب ارقام مناسب و تولید جمعیت‌های در حال تفرق جهت مکان یابی ژنی، مورد استفاده قرار گیرد و معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، نشان دهنده اختصاصی عمل کردن ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است.

آماره‌های توصیفی شامل میانگین کل، خطای استاندارد، ضریب تغییرات کل، حداقل و حداکثر و همچنین دامنه داده در دو شرایط بدون تنش و تنش به صورت جداگانه محاسبه گردید (جدول ۱) (آماره‌های توصیفی ارائه شده در جدول ۱ صرفاً تغییرات داده‌ها در دو شرایط را نشان می دهند). با توجه به این که اغلب صفات دارای تنوع کافی بوده و میانگین بالاتری، خصوصاً در شرایط بدون تنش (در مقایسه با ارقام والدینی) داشتند، نتیجه گرفته شد که ژنوتیپ‌های تولید شده از تلاقی، دارای پتانسیل اصلاحی (ارزش اصلاحی) بالایی بوده و می توان برنامه‌های اصلاحی روی آن‌ها را جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر و یا متحمل، اجرا کرد. به عنوان مثال میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (۱۸۴۳/۹ کیلوگرم در هکتار؛ از لاین حساس کمتر) و در شرایط بدون تنش (۳۹۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار؛ از لاین متحمل بیشتر) بود. این موضوع نشان دهنده تنوع بین نتایج لاین‌های خالص نو ترکیب گندم می باشد. وجود تنوع بالا در بین لاین‌ها از نظر صفت خاص باعث سهولت انتخاب برای اصلاح توسط به نژادگران می شود. این تنوع می تواند در مطالعات تکمیلی از جمله مطالعات مولکولی و ارزیابی لاین‌ها در مکان‌های بیشتر، کمک فراوانی به شناخت پتانسیل بالقوه آنها بکند. وجود تنوع بالا در بین لاین‌ها می تواند باعث تحمل آنها به شرایط نامطلوب محیطی

جدول ۱- خلاصه آماره‌های توصیفی صفات گیاهی لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان و والدین آنها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 1. Summarized statistics describing plant characteristics of recombinant lines of bread wheat along with parents under normal and drought stress conditions

Plant characteristics	صفات گیاهی	Mean میانگین				S.E خطای استاندارد				CV (%) ضریب تغییرات			
		Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش	Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش	Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش
Grain Yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه	3538	2313	1843.9	3958.3	238	138	43.5	82.7	9.49	8.41	30.63	27.15
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	82	78.15	69.56	86.36	6	5.35	0.579	0.571	10.35	9.68	10.82	8.59
Spike length (cm)	طول سنبله	10.75	9.03	9.6	9.75	0.275	0.25	0.08	0.083	4.31	3.29	10.93	11.32
Spikelet.spike ⁻¹	تعداد سنبلیچه در سنبله	16.5	14.75	17.1	17.1	0.25	0.5	0.131	0.175	2.4	4.29	9.98	13.28
Grain.spike ⁻¹	تعداد دانه در سنبله	52.5	40.63	39.53	44.68	4.13	7.5	0.546	0.681	14.3	20.2	17.9	19.8
1000-Grain weight (g)	وزن هزار دانه	46.6	42.2	41.72	42.33	0.1	1.1	0.197	0.265	0.34	3.3	6.1	8.1
Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک	8950	8163	6082	11547	900	363	134	184	14.7	5.8	28.7	20.7
Spike.m ⁻²	تعداد سنبله در مترمربع	878	864	589.3	1070	70	32	9.7	13.2	11.2	5.2	21.4	16.1
Grain weight.spike ⁻¹ (g)	وزن دانه در سنبله	2.1	1.9	1.7	2.1	0.15	0.872	0.03	0.03	11.1	58.2	22.5	19.5
Days to stem elongation	تعداد روز تا ساقه دهی	58	56.5	63.1	58.1	1	0.5	0.181	0.131	2.4	1.2	3.7	2.9
Days to flowering	تعداد روز تا گلدهی	93.5	93.5	92.1	95.4	0.5	1.5	0.216	0.222	0.76	2.7	3.1	3.1
Days to maturity	تعداد روز تا رسیدگی	134.5	132	130.4	134.5	1.5	2	0.242	0.274	1.5	2.1	2.4	2.6
Plant characteristics	صفات گیاهی	Mean میانگین				S.E خطای استاندارد				CV (%) ضریب تغییرات			
		Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش	Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش	Babax	SeriM82	تنش	بدون تنش
Grain Yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه	3300	2175	550	1300	3775	2450	4175	6075	475	275	3625	4775
Plant Height (cm)	ارتفاع بوته	76	72.8	47.5	57.5	88	83.5	94.25	108.75	12	10.75	46.75	51.25
Spike Length (cm)	طول سنبله	8.7	10.5	6.8	7	9.3	11	13	12.5	0.55	0.5	6.1	5.5
Spikelet.spike ⁻¹	تعداد سنبلیچه در سنبله	14.5	16	13	10	15	17	22	23	0.5	1	9	13
Grain.pike ⁻¹	تعداد دانه در سنبله	36.5	45	25	22.5	44.7	60	66.5	67.7	8.2	15	41.5	45.2
1000 Grain weight (g)	وزن هزار دانه	42.1	45.5	32.4	33.1	42.3	47.7	50.4	52.9	0.2	2.2	18	19.8
Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک	7750	8400	2500	5500	9550	9125	12373	17525	1800	725	9873	12025
Spike.m ⁻²	تعداد سنبله در مترمربع	808	823	324	624	948	896	960	1480	140	64	638	856
Grain weight.spike ⁻¹	وزن دانه در سنبله	1.7	1.2	0.53	0.78	2.05	3	2.9	3.1	0.3	1.75	2.4	2.3
Days to stem elongation	تعداد روز تا ساقه دهی	57	56	56	55	59	57	69	64	2	1	13	9
Days to flowering	تعداد روز تا گلدهی	93	92	87	87	94	95	100	101	1	3	13	14
Days to maturity	تعداد روز تا رسیدگی	133	130	119	124	136	134	139	144	3	4	20	20

شود. در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی، عملکرد دانه و ثبات عملکرد در شرایط مختلف محیطی به‌عنوان معیارهای اصلی انتخاب برای تحمل تنش در نظر گرفته می‌شوند. بالا بودن عملکرد دانه در شرایط تنش می‌تواند ناشی از تحمل زیاد به تنش و یا ظرفیت بالای تولید و یا هر دو باشد (Fischer and Maurer, 1979). سکارلی و گراندو (Ceccarelli and Grando, 1991) گزارش نمودند ارقامی که در شرایط تنش خشکی انتخاب شدند، گاهی در شرایط بدون تنش از لحاظ صفات زراعی تظاهر خوبی نداشتند. بنابراین توصیه می‌شود که محققان در مطالعات خشکی بیشتر روی نتایج حاصل از آزمایشات در شرایط تنش تمرکز داشته باشد.

ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش (جدول ۲) نشان داد که عملکرد دانه با کلیه صفات مورد بررسی، به‌جز روز تا ساقه دهی و روز تا گل‌دهی، همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همبستگی روز تا ساقه دهی و گلدهی با عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد دانه با وزن هزار دانه در بالاترین مقدار بود و با صفات روز تا گلدهی و روز تا ساقه رفتن نیز همبستگی بالایی داشت. روز تا ساقه دهی و روز تا گلدهی که دارای همبستگی بالایی باهم بوده ($r=0.99^{**}$) و با عملکرد دانه همبستگی منفی داشتند. این موضوع نشان‌دهنده اثر مهم زودرسی و فرار از تنش در شرایط تنش خشکی است، به‌عبارت‌دیگر هر چه تعداد روز تا گلدهی کوتاه‌تر باشد و گیاه از شرایط خشک‌تر انتهای فصل فرار کند، کاهش عملکرد کمتری خواهد داشت. این موضوع می‌تواند راهکار مناسبی جهت اصلاح برای شرایط تنش در گندم باشد.

سایر صفات اندازه‌گیری شده نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند، بنابراین افزایش هر کدام از آنها می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود. در شرایط تنش در اثر کمبود مواد فتوسنتزی، تعادل بین

منبع و مخزن از طریق تعداد سنبله در مترمربع کمتر حفظ می‌شود و تعداد سنبله‌های باقیمانده نسبت به تعداد دانه و وزن هزار دانه بیشتر، در عملکرد دانه تاثیر مثبت دارد. همبستگی بالا بین عملکرد بیولوژیک با تعداد سنبله در مترمربع نشان‌دهنده این است که عملکرد بالای بیولوژیک به میزان سطح فتوسنتز کننده و میزان کلروفیل گیاه بستگی دارد. نتایج نشان داد که بالا بودن وزن هزار دانه در شرایط تنش با عملکرد دانه همبستگی بالایی داشت (جدول ۲). نتایج آزمایش روی ۲۵ لاین گندم دوروم نشان داد که در شرایط محدود آبی، صفات وزن هزار دانه، تعداد سنبله‌چه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه داشتند و همبستگی منفی طول سنبله با عملکرد دانه نشان‌دهنده این است که سنبله‌های طویل فرصت کافی برای پر شدن نداشته و این موضوع باعث تولید دانه‌های کوچک‌تر می‌شود (Hoseinzadeh *et al.*, 2010). در آزمایش ارزیابی تنوع ژنتیکی ژرم پلاسما گندم دوروم در شرایط بدون تنش توسط نقوی و همکاران (Naghavi *et al.*, 2002) گزارش شد که همبستگی عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبله‌چه در سنبله مثبت است. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) نشان دادند که وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد تک سنبله، به‌ویژه عملکرد دانه، در شرایط تنش خشکی حساسیت بیشتری نسبت به ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با سایر صفات مورد مطالعه، به جز ارتفاع بوته (همبستگی منفی و معنی‌دار)، در شرایط بدون تنش و تنش خشکی گزارش شده است. حمیدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) نیز گزارش دادند که همبستگی معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله دیده نشد، ولی با وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. در این آزمایش عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و

جدول ۲- ضرایب همبستگی صفات گیاهی مورد ارزیابی لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان در شرایط تنش خشکی

Table 2. Correlation coefficient between plant characteristics in recombinant lines of bread wheat under drought stress condition

Plant characteristics	صفات گیاهی	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد سنبله در سنبله	روز تا ساقه‌دهی	روز تا گلدهی
		Plant height	Spike length	Grain.spike ⁻¹	Grain weight.spike ⁻¹	1000 Grain weight	Grain yield	Biological yield	Spike.m ²	Spikelet. Spike ⁻¹	Days to stem elongation	Days to flowering
Spike length	طول سنبله	0.518**										
Grain.spike-1	تعداد دانه در سنبله	0.31**	0.463 **									
Grain weight.spike-1	وزن دانه در سنبله	0.522**	0.555 **	0.686 **								
1000 Grain weight	وزن هزار دانه	0.537**	0.525 **	0.176 **	0.586 **							
Grain yield	عملکرد دانه	0.298**	0.210 **	0.143 **	0.321 **	0.485**						
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	0.241**	0.175 **	0.054 ns	0.158 **	0.328**	0.745 **					
Spike.m-2	تعداد سنبله در مترمربع	0.148**	0.067 ns	0.035 ns	0.038 ns	0.063 ns	0.311 **	0.334 **				
Spikelet.spike-1	تعداد سنبله در سنبله	0.451**	0.572**	0.525**	0.580**	0.471**	0.238**	0.139**	0.039 ns			
Days to stem elongation	روز تا ساقه‌دهی	-0.526**	-0.548 **	-0.185 **	-0.596 **	-0.918**	-0.415 **	-0.286 **	-0.045 ns	-0.495**		
Days to flowering	روز تا گلدهی	-0.512**	-0.534 **	-0.177 **	-0.592 **	-0.915**	-0.400 **	-0.259 **	-0.031 ns	-0.485**	0.992 **	
Days to maturity	روز تا رسیدگی	-0.512**	-0.539 **	-0.180 **	-0.592 **	-0.913 **	-0.405 **	-0.268 **	-0.031 ns	-0.493**	0.990 **	0.993 **

ns, * and **: Not significant and significant at 5 and % probability levels, respectively

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

معنی‌دار داشت (جدول ۲). رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 2009) گزارش دادند که افزایش عملکرد بیولوژیک زمانی مؤثر خواهد بود که کربن تولید شده در طی فتوسنتز به طرف اندام‌های اقتصادی یا دانه تخصیص داده شود. خضری عفرای و همکاران (Khezri Afravi *et al.*, 2010). در نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین صفات در توده‌های بومی گندم دوروم نشان دادند که صفات عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، وزن سنبله، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه با عملکرد تک بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. همبستگی بین صفات تعداد پنجه، روز تا رسیدگی و محتوای آب نسبی با عملکرد بیولوژیک مثبت ولی غیرمعنی‌دار بود. حسین زاده و همکاران (Hoseinzadeh *et al.*, 2010) در آزمایشی نشان دادند که در شرایط تنش خشکی در گندم دوروم عملکرد دانه با صفات وزن هزار دانه و تعداد سنبلچه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند، ولی آسنگ و وان هرواردن (Asseng and Van Herwarden, 2003) بیان داشتند که روابط عملکرد دانه و اجزای عملکرد در گندم به اثرات عوامل محیطی بر رشد گیاه وابسته است. درک نادرست از نقش همبستگی صفات گیاهی ممکن است کار آیی انتخاب را در برنامه‌های به نژادی را کاهش دهد. در نتیجه با توجه به کارایی پایین انتخاب بر اساس عملکرد دانه در گندم که در اکثر آزمایشات به آن اشاره شده است، می‌توان از صفاتی که همبستگی بالایی با عملکرد دارند و به عبارت دیگر تاثیر فراوانی بر آن دارند را در انتخاب بهتر ارقام و لاین‌ها مورد بهره‌برداری قرارداد (Poustini and Siosemardeh, 2004).

در اصلاح نباتات به منظور دستیابی به عملکرد دانه بالا و افزایش کارایی انتخاب، تعداد کمی از شاخص‌های مؤثر در دستیابی به اهداف اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رگرسیون خطی برای گزینش صفات مؤثر کاربرد گسترده‌ای دارد. تجزیه همبستگی

نیز تا حد زیادی تابع تعداد نمونه‌ها بوده و تغییرات کوچک در تعداد نمونه‌ها باعث تغییر در همبستگی نهایی می‌شود. بعلاوه همبستگی دوطرفه بوده و نمی‌تواند اثر مستقیم و یک‌طرفه یک متغیر را به عنوان متغیر مستقل روی متغیر وابسته به روشنی نشان دهد. به همین علت تجزیه رگرسیون جهت مشخص کردن نحوه پاسخ عملکرد به متغیرهای مؤثر بر آن کارایی بالاتری دارد. بعلاوه رگرسیون خطی دارای محدودیت‌هایی مانند تاثیر زیاد هم خطی داخلی بر محور ارتباط صفات با متغیر وابسته و تغییر در مدل رگرسیونی است. بر این اساس روش‌هایی زیادی برای جداسازی اثر هم خطی و انتخاب بهترین مؤثرترین متغیرها، به گونه‌ای که صفات دارای هم خطی بالا به متغیرهای مهم‌تر شکسته شده و در مدل ظاهر شوند، توسعه یافته است. در روش انتخاب متغیر به روش رگرسیون گام‌به‌گام (Stepwise) برای انتخاب زیرمجموعه‌هایی از متغیرهای مستقل به‌طور مجزا وارد مدل شده و در صورت همبستگی معنی‌دار با متغیر وابسته، در مدل باقی مانده و در غیر این صورت از مدل خارج می‌شوند. جهت استفاده از این روش در برنامه‌های اصلاحی معمولاً صفت عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج انتخاب متغیر به روش گام‌به‌گام در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به اینکه در اغلب پژوهش‌های قبلی اثبات شده است که عملکرد بیولوژیک دارای اثر فراوانی بر عملکرد دانه در گندم بوده و خود این متغیر نتیجه نهایی سایر صفات است و خود می‌تواند به صورت جداگانه به عنوان یک متغیر وابسته در مدل لحاظ شود، در این پژوهش از عملکرد بیولوژیک برای بررسی روابط عملکرد دانه با روش گام‌به‌گام استفاده نشد و سایر صفات اندازه‌گیری شده، به جز عملکرد بیولوژیک، در مدل رگرسیونی عملکرد دانه لاین‌های گندم در شرایط تنش خشکی مورد

ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج نشان داد که صفت وزن هزار دانه با ضریب تبیین ($R^2=0.4822$) به تنهایی بیشترین تغییرات مدل رگرسیونی را توجیه کرد. بعد از آن به ترتیب تعداد سنبله در مترمربع، طول سنبله، تعداد دانه در مترمربع و وزن دانه در سنبله (جمعاً با ضریب تبیین $R^2=0.4$ ، وارد مدل شدند. مدل رگرسیونی ارائه شده با ضریب تبیین نهایی ($R^2=0.8135$) بهترین مدل برای صفات فوق می باشد. بر اساس این نتایج، همبستگی بین متغیرها و عملکرد دانه مورد تأیید قرار گرفت. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) با آزمایش روی ۸۱ ژنوتیپ گندم ایرانی نشان دادند که در تجزیه رگرسیون به ترتیب صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و ارتفاع بوته وارد مدل شدند. نقوی و همکاران (Naghavi *et al.*, 2002) هم با استفاده از رگرسیون چند متغیره خطی نشان دادند که صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در سنبله در حدود ۹۴ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را در گندم دوروم توجیه کردند. در یک تحقیق روی گندم پنج صفت

وزن دانه در سنبله، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در مترمربع و طول سنبله وارد مدل رگرسیون گام به گام شدند و حدود ۹۸/۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند (Leilah and Al-khateeb, 2005). در آزمایش دیگری که در شرایط تنش خشکی توسط خضری عفرای و همکاران (Khezri Afravi *et al.*, 2010) انجام شد، نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون نشان داد که صفات وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک به ترتیب وارد مدل شده و ۹۸ درصد از تغییرات عملکرد را در گندم دوروم توجیه نمودند. نتایج تجزیه رگرسیون توسط حسین زاده و همکاران (Hoseinzadeh *et al.*, 2010) نشان داد که در شرایط محدودیت آبی، صفات طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه وارد مدل شده و جمعاً ۷۸/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را در گندم دوروم توجیه نمودند، در نتیجه علت اصلی اختلاف در عملکرد دانه ژنوتیپ ها در شرایط تنش را می توان به تفاوت در این صفات نسبت داد.

جدول ۳- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه لاین های خالص نو ترکیب گندم نان در شرایط تنش خشکی

Table 3. Result of stepwise regression for grain yield of recombinant lines of bread wheat under drought

stress condition		Partial R^2	Model R^2	F Value	Pr > F
Variable entered to model	متغیر وارد شده به مدل				
1000 Grain weight	وزن هزار دانه	0.4822	0.4822	264.92	<.0001
Spike.m ⁻²	تعداد سنبله در مترمربع	0.1456	0.5647	79.21	<.0001
Spike length	طول سنبله	0.0538	0.8006	11.98	0.0447
Grain.spike ⁻¹	تعداد دانه در سنبله	0.0093	0.8099	5.99	0.0184
Grain weight.spike ⁻¹	وزن دانه در سنبله	0.0086	0.8135	5.87	0.0495

اطلاع از چگونگی ارتباط بین صفات مختلف گیاهی در پیشرفت برنامه های به نژادی برای افزایش عملکرد دانه اهمیت زیادی دارد، زیرا انتخاب یک طرفه برای صفات زراعی بدون در نظر گرفتن صفات دیگر، نتایج نامطلوبی خواهد داشت، بنابراین در برنامه های

به نژادی باید به روابط بین صفات توجه شود و در صورت درک نادرست از نقش و روابط صفات، کارایی انتخاب در برنامه های به نژادی کاهش خواهد یافت. در این تحقیق آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات انتخاب شده توسط مدل رگرسیونی گام به گام روی

جدول ۴- نتایج تجزیه ضرایب مسیر صفات گیاهی لاین‌های خالص نوترکیب گندم نان در شرایط تنش خشکی

Table 4. Result of path analysis of plant characteristics of recombinant lines of bread wheat under drought stress condition

Variable	متغیر	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Grain.spike ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	وزن دانه در سنبله Grain weight.spike ⁻¹	تعداد سنبله در متر مربع Spike.m ⁻²	اثر مستقیم Direct effect	همبستگی با عملکرد Correlation with grain yield
Spike length	طول سنبله	0.74143	0.072304	-0.52265	-0.01638	-0.0313	0.74143	0.24341
Grain.spike ⁻¹	تعداد دانه در سنبله	0.03902	0.112783	0.108292	-0.03011	-0.01061	0.112783	0.22132
1000 Grain weight	وزن هزار دانه	-0.04422	0.019891	0.614028	-0.00607	-0.05245	0.614028	0.53118
Grain weight.spike ⁻¹	وزن دانه در سنبله	-0.01819	0.044842	0.049218	-0.07574	-0.00276	-0.07574	-0.00263
No of spike	تعداد سنبله در متر مربع	0.046131	-0.02097	-0.56422	0.003662	0.057083	0.057083	-0.47831

عملکرد دانه، بر اساس ضرایب همبستگی و رگرسیون استاندارد، مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد دانه به عنوان برآیند و صفات وزن هزار دانه، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، وزن دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله به عنوان متغیرهای علی و متغیر عملکرد دانه به عنوان متغیر معلول در نظر گرفته شدند (جدول ۴). در بین صفات مورد بررسی ابتدا طول سنبله (۰/۷۴) و سپس وزن هزار دانه (۰/۶۱) بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه را داشتند. اثر غیرمستقیم طول سنبله از طریق وزن هزار دانه و وزن دانه در سنبله، منفی بود. اثر غیرمستقیم طول سنبله از طریق تعداد دانه در سنبله مثبت برآورد شد. با توجه به اینکه اثر غیرمستقیم وزن هزار دانه از طریق طول سنبله نیز منفی برآورد گردید، به نظرمی رسد که این دو متغیر در شرایط تنش خشکی دارای اثر معکوس از طریق همدیگر بر عملکرد دانه می باشند. با توجه به اینکه وزن هزار دانه تا حدودی در گندم ثابت در نظر گرفته می شود، بهتر است ژنوتیپ هایی با وزن هزار دانه بالا در شرایط تنش انتخاب شده و سپس با توجه به اندازه طول سنبله برای رسیدن به عملکرد بالاتر، در نسل های بعدی گزینش را تکمیل کرد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه ضرایب مسیر، با توجه به اینکه تعداد سنبله در مترمربع نیز از جمله صفات تاثیرگذار بر عملکرد است، می توان علاوه بر طول سنبله، از تعداد سنبله (تعداد پنجه باور) نیز در اصلاح از طریق گزینش (به صورت غیرمستقیم، برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی استفاده کرد. بر این اساس باید به گونه ای عمل کرد که ژنوتیپ های با طول سنبله و تعداد سنبله بیشتر انتخاب شوند. از طرف دیگر با توجه به محدودیت آب، به کشاورزان توصیه شود تا تعداد بذر در واحد سطح کمتری استفاده کنند تا آب ذخیره شده در خاک جهت افزایش تعداد سنبله برسد. وزن دانه در سنبله دارای اثر مستقیم منفی بود، ولی این اثر به دلیل پایین بودن مقدار آن قابل چشم پوشی است. وزن دانه در سنبله دارای ضرایب

پایین غیرمستقیم نیز بود و بنابراین می توان در برنامه های اصلاحی به این صفت کمتر از سایر صفات تاثیرگذار مانند طول سنبله و وزن هزار دانه، پرداخت. تعداد دانه در سنبله نیز دارای اثر مثبت از طریق طول سنبله بود. به طور کلی با افزایش طول سنبله تعداد دانه در سنبله افزایش می یابد و برعکس و با توجه به مدل علی و معلولی، این همبستگی به افزایش عملکرد دانه کمک می کند، لیکن باید توجه داشت که افزایش تعداد دانه ممکن است به کاهش وزن دانه بیانجامد. در آزمایش حسین زاده و همکاران (Hoseinzadeh *et al*, 2009) در شرایط تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک و روز تا ساقه دهی، بیشترین اثر مستقیم مثبت و منفی بر عملکرد دانه را داشتند. همبستگی نسبتاً بالای عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه عمدتاً مربوط به اثر مستقیم عملکرد بیولوژیک بوده و اثر غیرمستقیم این صفت از طریق سایر صفات چشمگیر نبود. تعداد روز تا گلدهی دارای بیشترین اثر مستقیم منفی (۰/۷۷۵-) و اثر غیرمستقیم آن از طریق تعداد روز تا رسیدگی (۰/۷۳۸) بود. بعد از عملکرد بیولوژیک، صفت وزن هزار دانه بیشترین اثر مستقیم (۰/۲۸۲) و اثر غیرمستقیم آن از طریق عملکرد بیولوژیک (۰/۲۱۵) و تعداد روز تا گلدهی (۰/۸۰۷) بود. نتایج نشان داد که در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشت. با توجه به اهمیت وزن هزار دانه، می توان در شرایط تنش خشکی از این صفت به عنوان یک شاخص مناسب در گزینش لاین های برتر استفاده کرد. نتایج تجزیه علیت در آزمایش نقوی و همکاران (Naghavi *et al*, 2002) در ژرم پلاسسم گندم دوروم نشان داد که اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله با وزن هزار دانه و میانگین عملکرد دانه مثبت و بالا بود و تعداد سنبله در سنبله فقط اثر غیرمستقیم بالایی از طریق تعداد دانه در سنبله بر میانگین عملکرد سنبله داشت. نتایج تجزیه علیت در شرایط محدودیت آبی در آزمایش عزیزی نیا (Azizinia, 2005) در گندم نشان داد که بیشترین

اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه مربوط به طول پدانکل (۳/۰۸۱) و بیشترین اثر منفی مربوط به ارتفاع بوته (۳/۱۳۶-) بود. مک اینتیر و همکاران (McIntyre *et al.*, 2010) در آزمایش خود روی جمعیت Babax * SeriM82 گزارش نمودند که اندازه دانه و تعداد دانه می توانند به طور مستقل در افزایش عملکرد دانه تاثیر بگذارند.

نتیجه گیری

عملکرد دانه هدف عمده در انتخاب گیاهان زراعی برای تحمل خشکی به شمار می رود و با توجه به وجود لاین هایی با میانگین بالا در شرایط تنش خشکی، می توان با شناسایی آن ها، نسبت به بهبود لاین های متحمل به خشکی اقدام کرد. انتخاب بر اساس عملکرد دانه به دلیل وراثت پذیری پایین، خصوصاً در شرایط تنش خشکی، کافی نیست، بنابراین می توان صفاتی را

که دارای همبستگی بالا و معنی دار با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی هستند در برنامه های به نژادی در اولویت قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد که تنوع بالایی در ارتباط با کلیه صفات مورد ارزیابی در لاین های مورد بررسی وجود داشت که نشان دهنده توان بالای اصلاحی و ارزش اصلاحی بالای این جمعیت و گزینش برای نسل های بعدی است. نتایج همبستگی نشان داد که تعداد روز تا گلدهی در این لاین ها اثر بالایی بر عملکرد دانه آن ها در شرایط تنش خشکی داشت و بنابراین می توان گزینش را بر مبنای کوتاه تر بودن طول دوره رشد، به منظور تحمل (اجتناب) خشکی، انجام داد. نتایج رگرسیون گام به گام و ضرایب مسیر نیز نشان داد که وزن هزار دانه و طول سنبله از جمله صفات مهم مرتبط با عملکرد دانه هستند که می توان از آن ها برای گزینش غیرمستقیم عملکرد (به عنوان شاخص گزینش) استفاده نمود.

References

- Asseng, S. and A. F. Van Herwarden. 2003.** Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant Sci.* 256: 217-229.
- Azizinia, S. 2005.** Evaluation of quantitative characters related to resistance to drought in synthetic wheat under normal and rain-fed conditions. *Iran. J. Agric. Sci.* 36: 281-295. (In Persian with English abstract).
- Boyer, J. S. 1982.** Advances in drought tolerance in plants. *Plant Prod. Environ. Sci.* 218: 443-448.
- Ceccarelli, S. and S. Grando. 1991.** Selection environment and environment sensitivity in barley. *Euphytica*, 57: 157-167.
- Dehghani, A. S., M. Khodarahmi, E. Majidi-Heravan and F. Paknejad. 2010.** Genetic diversity of morphological and physiological traits in durum wheat lines. *J. Seed Plant.* 26: 120.1-103. (In Persian with English abstract).
- Deikman, J., M. Petracek, and J. E. Heard. 2011.** Drought tolerance through biotechnology: improving translation from the laboratory to farmers' fields. *Current Opinion Biotech.* 23:1-8.
- Fischer, R. A. and R. Maurer. 1979.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Fleury, D., J. S. Stephen, H. Kuchel and P. Langridge. 2010.** Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *J. Exp. Bot.* 61:12. 3199-3210.

- Hoseinzadeh, A. H., M. Khezri Afrawi., T. Miri and A. Peyghambari. 2010.** An evaluation of different durum wheat (*Triticum turgidum* L.) lines under stress and non-stress conditions. Iran. J. Field Crop Sci. 40(3):169-161. (In Persian with English abstract).
- Hussain, S. S., M. A. Kyani and M. Amjad. 2011.** Transcription factors as tools to engineer enhanced drought stress tolerance in plants. Biotech. Prog. 27: 297-306.
- Khezri Afravi, M., A. Hossein-zadeh., V. Mohammadi and A. Ahmadi. 2010.** Evaluation of drought resistance in durum wheat landraces in Iran under natural water stress and irrigation. Iran. J. Field Crop Sci. 41(4): 753-741. (In Persian with English abstract).
- Leilah, A. A. and S. A. Al-khateeb. 2005.** Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. J. Arid Environ. 61. 483-496.
- McIntyre, C. L., K. L. Mathews, A. Rattey, C. Scott, Chapman., J. Drenth, M. Ghaderi, M. Reynolds, R. Shorter. 2010.** Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. Theor. Appl. Genet. 120: 527-541.
- Mohammadi, B., S. Lutts and J. J. Kinet. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum turgidum* L.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Sci. 160: 969-981.
- Mohammadi, H., A. Ahmadi, F. Moradi, A. Abbasi, K. Poustini, M. Joudi and F. Fatehi. 2011.** Evaluation of Critical Traits for Improving Wheat Yield under Drought Stress. Iran. J. Field Crop Sci. 42: 373-385. (In Persian with English abstract).
- Naghavi, M., F. Shahbaz and A. Taleai. 2002.** Evaluation of variation in durum wheat germplasm for some agronomic characters. Iran. J. Agric. Sci. 2:81-88. (In Persian with English abstract).
- Passioura, J. B. 1996.** Drought and Drought Tolerance. In: Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, physiological and Molecular Biological Analysis. Springer, Netherlands.
- Poustini, K. and A. Siosemardeh. 2004.** Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crop Res. 85:125-133.
- Reynolds, M., M. J. Foulkes, G. A. Slafer, P. Berry, M. A. J. Parry, G. W. Snape and W. J. Angus. 2009.** Raising yield potential in wheat. J. Agric. Res. 29: 897-912.
- Slafer, G. A. and G. L. Araus. 1998.** Improving wheat responses to abiotic stresses. In: Proceeding of the 9th International Wheat Genetics Symposium. 2-7 August Saskatchewan, Canada.
- Turner, N. C. 1989.** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. Mussell H., Staples C. R. (Eds.). Stress Physiology in Crop Plants. New York. USA. P: 343-372.

Evaluation of grain yield of recombinant inbred lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) derived from SeriM82/Babax cross under drought stress conditions

Tabatabai, S. M. T.¹, M. Solouki², B. Fakhery³, M. Esmailzadeh-Moghaddam⁴ and N. Mehdinezhad⁵

ABSTRACT

Tabatabai, S. M. T., M. Solouki, B. Fakhery, M. Esmailzadeh-Moghaddam and N. Mehdinezhad. 2018. Evaluation of grain yield of recombinant inbred lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) derived from SeriM82/Babax cross under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(4): 270-283. (In Persian).

To compare the grain yield potential of recombinant inbred lines of bread wheat derived from SeriM82/Babax cross under drought stress conditions and also to study the relationship between grain yield and other related traits for the indirect selection of superior genotypes, 167 recombinant inbred lines of bread wheat along with their parental lines were evaluated using alpha-lattice design with two replication in two separate normal and drought stress conditions in Yazd Research Station in 2013-14 and 2014-2015 growing seasons. The results of combined analysis of variance showed significant differences among genotypes. High genetic variation was observed in all traits, indicating a high breeding value potential in this population which facilitate selection of superior lines with drought tolerance. Days to flowering had significant relationship with grain yield under drought stress conditions, and therefore, lines with shorter days to flowering could be selected for drought-prone environments. The results of stepwise regression analysis as well as path coefficients analysis showed that 1000-grain weight and spike length were the most effective attributes in determining grain yield, which can be used as selection criteria for indirect selection for grain yield in wheat breeding programs for drought prone environments. Consequently due to the low heritability of grain yield, it could not be considered as a proper trait to select under drought stress condition and it's better to use traits with high correlation with grain yield, e.g. number of grains, mean of grain weight and phenological attributes of plant.

Keywords: Bread wheat, Drought tolerance, Path analysis, Phenologic traits and Regression analysis

Received: March, 2017

Accepted: December, 2017

1. PhD Student, University of Zabol, Zabol, Iran and Faculty member, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran (Corresponding author) (Email: staba1349@gmail.com)

2. Associate Prof., University of Zabol, Zabol, Iran

3. Professor, University of Zabol, Zabol, Iran

4. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

5. Assistant Prof., University of Zabol, Zabol, Iran