نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۷ تا ۳۱

وراثت‌پذیری عملکرد و اجزای عملکرد وگزینش برای تحمل به خشکی در لاین‌های دابل‌هاپلوییید گندم

نجمه گل آبادی[۱]، محمد مهدی مجیدی[۲*]، قدرت الله سعیدی[۲]و لویس لوکنز[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰)

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی است که شرایط رشد و توسعه‌ی گیاه را متأثر می‌کند. روش دابل هاپلوییدی یکی از روش‌های مرسوم به نژادی در گیاه گندم است. استفاده از ارقام قدیمی در برنامه تلاقی می‌تواند در بازگرداندن ژن‌های از دست رفته در طول تکامل مؤثر باشد. در این پژوهش ۱۵۱ لاین دابل‌هاپلوییید گندم حاصل از تلاقی رقم قدیمی (ردفایف) و رقم جدید (استلر) در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی) مورد بررسی قرار گرفتند. تنوع ژنتیکی بالایی بین لاین‌های دابل‌هاپلوییید برای اکثر صفات دیده شد که نشان می‌دهد گزینش برای این صفات جهت معرفی لاین‌هایی با عملکرد بیشتر و تحمل به خشکی بالاتر می‌تواند مؤثر باشد. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر روی اکثر صفات معنی دار بود، به‌طوری که عملکرد دانه حدود ۴۰ درصد کاهش یافت. مقایسه والد قدیمی و جدید نشان داد که والد جدید زودرس‌تر و پاکوتاهتر و از عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت بیشتری برخوردار بود. تفکیک متجاوز در تمامی صفات مورد مطالعه در لاین‌های دابل‌هاپلوییید مشاهده شد که حاکی از امکان انتخاب لاین‌های برتر از خود والدین را نشان می‌دهد. بیشترین وراثت پذیری خصوصی در هر دو شرایط رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی) مربوط به صفت ارتفاع بوته (۴۶ درصد) و کمترین آن مربوط به صفت محتوی نسبی آب برگ (۱۱درصد) بود. عملکرد دانه با روز تا سنبله‌دهی در هردو محیط رطوبتی همبستگی منفی نشان داد که نشان می‌دهد انتخاب برای زودرسی در شرایط تنش می‌تواند باعث بهبود تحمل به خشکی و افزایش عملکرد دانه شود. بر اساس نتایج شاخص‌های تحمل، بای پلات پراکنش و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، لاین‌های مورد نظر و نیز لاین‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه و تحمل به خشکی شناسایی شدند. به‌طور ویژه برای صفاتی مانند عملکرد دانه، ارتفاع بوته، زودرسی، شاخص برداشت، لاین‌هایی وجود داشتند که فراتر از والد با قابلیت تحمل خشکی خود بودند که می‌توانند جهت ایجاد ارقام متحمل به تنش با عملکرد بالا گزینش و در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: خشکی، گندم، وراثت پذیری خصوصی، تفکیک متجاوز

۱ و ۲: به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادان گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳: استاد، گروه علوم گیاهی، دانشگاه گوئلف، گوئلف، کانادا
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بر اساس مدل‌های اقلیمی متعدد، در قرن حاضر خطر تنش خشکی به‌طور فزاینده‌ایی در حال افزایش است (۵). خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی است که شرایط رشد و توسعه‌ی گیاه را نامساعد می‌کند (۲۷). ایران با عرض جغرافیایی ۴۰-۲۵ درجه شمالی و متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهان است (۹). به جزء سواحل دریای خزر و قسمت‌های کوچکی از شمال غربی کشور بقیه مناطق جزء نقاط خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند و مناطق خشک کشورمان نسبت به بقیه مناطق نیمه خشک آن، از وسعت بیشتری برخوردار هستند (۲۰). میزان و نحوه توزیع بارندگی این مناطق بسیار نامنظم و غیر قابل پیش‌بینی و یا به سختی قابل پیش بینی هستند (۲۰). از این رو یافتن راهکارهایی برای کاهش خطر تنش خشکی در مناطق خشک کشور ضروری است. یکی از بهترین راهکارها، غربالگری و گزینش ارقام متحمل به خشکی است.

گندم نان به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی دنیا، با تولیدی بیش از ۷۰۰ میلیون تن دانه با معضل تنش خشکی به‌ویژه در مرحله زایشی در سطح جهان مواجه است (۳). به‌طوری که بیش از ۵۰ درصد از کل سطح زیر کشت گندم در دنیا و در حدود ۵۵ درصد اراضی زیر کشت گندم در کشورهای در حال توسعه به نحوی تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارند (۱۹). بنابراین برای مقابله با این پدیده نیاز به شناسایی و انتخاب ارقامی است که متحمل به خشکی بوده و یا با سازوکارهای ژنتیکی اجتناب از خشکی اصلاح شده باشند (۱۹). متاسفانه بخش زیادی از تنوع ژنتیکی اولیه در گندم نان، در اثر پدیده تنگنای تکاملی (Evolutionary Bottleneck) به‌دلیل هزاران سال انتخاب طبیعی و مصنوعی از دست رفته است (۱۵). از این رو به نژادگران به دنبال بررسی ارقام بسیار قدیمی گندم و یا بهره‌گیری از خویشاوندان وحشی برای انتقال ژن‌های از دست رفته مربوط به صفات مطلوب نظیر مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی هستند. رقم ردفایف (RedFife) یک رقم بسیار قدیمی و اولین رقم گندم معرفی شده در کانادا است که اخیراً وارد تلاقی با ارقام جدید شده و مطالعات ژنتیکی روی آن آغاز شده است تا نسبت به انتقال صفات کیفیتی دانه، تحمل به تنش‌ها و تهیه جوامع نقشه یابی استفاده شود (۱۷).

یکی از روش‌های اصلاحی گیاهان زراعی خودگشن، روش دابل‌هاپلوئیدی است. نرزائی یکی از دو روش تولید هاپلوئید در گندم است. ضمن اینکه امروزه تلاقی گندم با ذرت متداول ترین روش هاپلوئیدی است، که در این روش گیاهان هاپلوئید از نر زائی با استفاده از بساک یا میکروسپور گیاه تولید شده و سپس کروموزوم‌های گیاهان هاپلوئید جهت تولید گیاهان دیپلوئید، دو برابر می‌شوند (۱۸). روش دابل‌هاپلوئیدی در جهت تسریع تولید لاین‌های خالص دربرنامه‌های به‌نژادی گندم و همچنین افزایش کارآیی انتخاب بسیار مفید و کاربردی است. برای تولید لاین‌های خالص در گندم با استفاده از روش‌های متداول خویش‌آمیزی به ۶-۵ نسل نیاز است، درحالی‌که در روش دابل‌هاپلوئیدی، هموزیگوسیتی یا خلوص ۱۰۰ درصد ژنتیکی یک نسل بعد از دو رگ‌گیری حاصل می‌شود. علاوه بر این هاپلوئیدهای مضاعف شده در تمام مکان‌های ژنی خالص می‌باشند درحالی‌که مقداری ناخالصی همواره در لاین‌های اصلاحی که پس از ۶-۵ نسل خویش‌آمیزی انتخاب شده‌اند، وجود دارد (۲۱). در روش‌های اصلاحی کلاسیک در نسل‌های اولیه نمی‌توان انتخاب انجام داد چون همه افراد در نسل‌های اول از نظر ژنتیکی ناخالص هستند، در نتیجه صفات با توارث غالبیت برتری خود را نشان داده و افراد بدون توان رقابت حذف می‌شوند (۲۱). روش دابل‌هاپلوئیدی علاوه بر کوتاه کردن مدت زمان اجرای برنامه اصلاحی، موجب افزایش کارایی گزینش و افزایش سرعت تثبیت ژنتیکی صفات مطلوب زراعی و کاهش هزینه‌ها می‌شود (۲). جوامع دابل‌هاپلوئید منابع خوبی برای مطالعات ژنتیکی نظیر نقشه‌یابی QTL نیز محسوب می‌شوند (۱۱ و ۱۲). واریانس ژنتیکی در دابل‌هاپلوییدها دو برابر واریانس افزایشی است، بنابراین در برآورد وراثت پذیری خصوصی بسیار مفید هستند (۱۳). برکات و همکاران (۴) تنوع

ژنتیکی یک جمعیت دابل هاپلوئیدی گندم نان را با استفاده از مارکرهای مولکولی و صفات مورفولوژیک بررسی کردند. جمعیت مورد مطالعه آنها از طریق چهار گروه والدی ایجاد شده بودند و نتایج آنها تفاوت معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های چهار گروه والدی برای تمام صفات زراعی نشان دادند. همچنین عملکرد دانه یکی از لاین‌های دابل‌هاپلوئید نسبت به والدین به‌طور معنی‌داری افزایش یافته بود و برخی لاین‌های نتاج نیز از نظر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه از دو والدشان متفاوت بودند. حیدری و همکاران (۱۱) به منظور بررسی تنوع ژنتیکی صفات موفولوژیک ۱۵۷ لاین دابل‌هاپلوئیدی گندم نان حاصل از تلاقی دو رقم Fukuho-Kumogi و Oligo-Culm مطالعه‌ایی انجام دادند و براورد ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای صفات مختلف در مطالعه آنها نشان داد که لاین‌های مورد مطالعه از نظر طول آخرین میانگره، تعداد سنبله بارور در واحد سطح، ارتفاع بوته، تعداد دانه و عملکرد دانه در سنبله اصلی دارای تنوع ژنتیکی بیشتری در مقایسه با سایر صفات از جمله وزن حجمی تعداد روز تا رسیدگی، تعداد روز تا سنبله دهی و گرده‌افشانی بودند. همچنین امکان یافتن لاین‌های دارای تفکیک متجاوز جهت معرفی لاین‌های مطلوب برای مطالعات بعدی گزارش شد (۱۱). سالار پور و همکاران (۲۴) به‌منظور تجزیه و تحلیل صفات زراعی و صفات مرتبط با ریشه و نقشه یابی ژنی، تعداد ۲۲۰ لاین دابل‌هاپلویید حاصل از تلاقی دو رقم RAC875 و Kukri برای عملکرد دانه در دو محیط رطوبتی طی دو سال را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تنوع قابل ملاحظه‌ای در جمعیت مورد بررسی دیده شد. دشتی و همکاران (۶) صفات زراعی را بر روی ۹۶ لاین دابل‌هاپلویید و دو والد آنها بررسی کردند و تنوع معنی‌داری را درون جمعیت مورد مطالعه گزارش کردند.

طی سال‌های گذشته، جمعیت دابل‌هاپلوئیدی گندم نان از طریق تلاقی قدیمی‌ترین رقم گندم معرفی شده به کانادا با نام ردفایف (RedFife) (با منشأ خاورمیانه) و رقم جدید اصلاح شده امروزی به نام استلر (Stettler) ایجاد شده است و جمعیت دابل‌هاپلوییدی با RS نامگذاری شده است. و مطالعات به‌منظور درک ژنتیکی صفات و به‌نژادی گندم روی آن از طریق روش‌های جدید و کلاسیک در حال انجام است (۱۷). نتایج مطالعه قبلی روی این جمعیت از طریق RNA-seq نشان می‌دهد که انتخاب در گندم با فشار بالا بر عملکرد و یا ژن‌های مؤثر در بیان ژن‌های اصلی عملکرد صورت گرفته است (۱۷). مطالعه تنوع ژنتیکی جمعیت حاصل در ایران و بررسی و تحمل خشکی آن می‌تواند زمینه را برای توسعه مطالعات بعدی و شناسایی لاین‌های خاص و تفکیک یافته‌های متجاوز جهت معرفی فراهم آورد. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی لاین‌های دابل‌هاپلوئید جدید گندم نان حاصل از تلاقی رقم قدیمی و جدید برای صفات زراعی، مورفولوژیک و تحمل به خشکی و بررسی سازگاری آنها در شرایط ایران (اصفهان) و گزینش درون لاین‌های دابل‌هاپلوئید مذکور به‌منظور انتخاب لاین‌های برتر (تفکیک یافته متجاوز) از نظر تحمل به خشکی و سایر صفات و بررسی روابط صفات مختلف در ژرم پلاسم مذکور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸–۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک شهرستان نجف آباد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اصفهان انجام شد.

در مطالعه حاضر تعداد ۱۵۱ لاین دابل‌هاپلوئید به همراه دو والد آنها در دو محیط رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی) به صورت جداگانه و با استفاده از طرح لاتیس ساده با دو تکرار ارزیابی شدند. هرکرت آزمایشی شامل دو ردیف دو متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بوده و فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. عمق کاشت ۲ تا ۳ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در ردیف ۲ سانتی‌متر و کشت به صورت دستی انجام شد. تراکم مد نظر در این آزمایش ۳۰۰ بوته در مترمربع منظور شد.

به‌منظور اعمال تنش خشکی آخر فصل، در هر دو محیط نرمال رطوبتی و تنش، میزان آبیاری و تعداد دفعات آن تا زمان ۵۰ درصد گل‌دهی به‌صورت یکسان انجام شد ولی از مرحله ۵۰ درصد گلدهی به بعد در تیمار تنش رطوبتی، آبیاری تا پایان مرحله برداشت قطع شد. در شرایط رطوبتی عدم تنش یا شاهد، زمانی که رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از عمق توسعه ریشه که خاک توسط اوگر خارج شده و رطوبت وزنی آن از طریق وزن آب خاک به خاک خشک مشخص می‌شد) می‌رسید، آبیاری انجام می‌شد.

رطوبت وزنی آب $\theta fc = \frac{MW}{MS} \times 100$

در این رابطه θfc: رطوبت وزنی خاک، M_W: وزن آب خاک و M_S: وزن خاک خشک است.

و عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (Id) از رابطه زیر محاسبه شد (۸):

$$Id = (\theta fc - \theta pwp) \times D \times B \times MAD$$

در این رابطه Id: عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر(میلی‌متر)، θfc: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θpwp: رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)، D: عمق فعال توسعه ریشه (۴۰ سانتی‌متر)، B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و MAD: ضریب مدیریت مزرعه که برای حالت بدون تنش برابر با ۵۰ درصد بود.

صفات مورد بررسی در این مطالعه شامل روز تا سنبله‌دهی (تعداد روز از زمان کاشت تا زمانی که ۵۰ درصد خوشه‌های بوته‌های هر کرت ظاهر شوند)، ارتفاع بوته (در مرحله خمیری دانه حد فاصل بین سطح خاک تا نوک انتهایی سنبله بدون در نظر گرفتن طول ریشک در ۵ بوته در هر کرت به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد)، طول سنبله، عملکرد دانه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک بر حسب درصد) و محتوی نسبی آب برگ بود. با توجه به اینکه در این تحقیق ژنوتیپ‌ها در دو محیط رطوبتی عدم تنش و دارای تنش خشکی مورد مقایسه قرار گرفتند، برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی بر روی میانگین عملکرد دانه، استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از:

الف) شاخص تحمل به تنش (STI) فرناندز (۱۰): این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در دو محیط تنش و عدم تنش از سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشد و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$STI = (YP \times YS) / (Ymp)^2$$

ب) شاخص پایداری عملکرد (YSI)

$$YSI = YS / YP$$

در روابط فوق Y_P عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط عدم تنش، Y_S عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش و Ymp میانگین عملکرد درشرایط عدم تنش است.

ج) شاخص ترکیبی (CSI): به شکل یک تابع خطی از شاخص‌ها است که کارایی آن با ضریب همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه تعیین می‌شود (۲۳).

$$CSI = \frac{1}{2}[(r_{YP.MP} \times MP) + (r_{YP.GMP} \times GMP) + (r_{YP.HM} \times HM) + (r_{YP.STI} \times STI) + (r_{YS.MP} \times MP) + (r_{YS.MGP} \times GMP) + (r_{YS.HM} \times HM) + (r_{YS.STI} \times STI)$$

$$MP = \frac{YP + YS}{2}$$

$$GMP = \sqrt{YP \times YS}$$

$$HM = \frac{2(YS \times YP)}{YS + YP}$$

در رابطه بالا MP: شاخص متوسط عملکرد، GMP: متوسط هندسی عملکرد، HM: میانگین هارمونیک هستند.

با توجه به سودمندی نسبی بیشتر طرح بلوک کامل تصادفی نسبت به طرح لاتیس برای اکثر صفات مورد بررسی، تجزیه و

تحلیل آماری در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گرفت. ضریب تغییرات ژنتیکی وسپس وراثت‌پذیری آنها نیز از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد (۱۳).

ضریب تغییرات ژنتیکی $$cvg=\frac{\sigma g}{\mu}$$

وراثت پذیری خصوصی $$h^2=\frac{\sigma_g^2/2}{\sigma_p^2}$$

واریانس ژنوتیپی $$\sigma_g^2=\frac{MSg-MSgs}{rs}$$

واریانس فنوتیپی $$\sigma_p^2=\sigma_g^2+\frac{\sigma_{gs}^2}{s}+\frac{\sigma_\varepsilon^2}{rs}$$

در روابط بالا h^2 وراثت‌پذیری خصوصی، σ^2_g واریانس ژنوتیپی، σ^2_pواریانس فنوتیپی، CV_g ضریب تغییرات ژنتیکی، CV_p ضریب تغییرات فنوتیپی، MS_g مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها، MS_{gs} مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط رطوبتی، σ^2_{gs} واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط رطوبتی، σ^2_ε واریانس خطا، S تعداد محیط رطوبتی و r تعداد تکرار در آزمایش است.

در جامعه دابل‌هاپلویدی، واریانس ژنتیکی دو برابر واریانس افزایشی است و وراثت‌پذیری از نوع خصوصی است (۱۳). تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار های SAS، Statgraphics و SPSS و داده پردازی، ترسیم جدول ها و نمودارها به کمک نرم افزار Excel و Word انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمون تجانس واریانس (بارتلت) نشان داد که یکنواختی لازم بین واریانس‌های خطا برای انجام تجزیه مرکب وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب در دو محیط رطوبتی برای صفات در لاین‌های دابل هاپلوئید گندم در (جدول ۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ برای صفت محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۵ درصد و برای سایر صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین لاین‌های دابل‌هاپلوئید مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی بود. اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط رطوبتی برای صفات شاخص برداشت و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و برای وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تفاوت واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های رطوبتی متفاوت برای این صفت است و این اثر برای سایر صفات معنی‌داری نبود. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات ارزیابی شده در جمعیت دابل‌هاپلوئید نشان داد که صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تنش قرار گرفتند. لبنانی و ارزانی (۱۶) تفاوت معنی‌داری را برای همه صفات در بین ژنوتیپ‌ها گزارش کردند. همچنین در این مطالعه صفت محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش قرار گرفته و میزان آن در تیمار تنش کاهش یافته است که با نتایج این پژوهش برابری داشت. برکات و همکاران (۴) نیز نشان دادند که بین ۴۹ لاین دابل‌هاپلویید گندم به‌همراه دو والد آنها برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، عملکرد دانه، روز تا سنبله‌دهی و شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری وجود داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. نتایج مطالعه احمدی‌زاده و همکاران (۱) نیز نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در هر دو محیط رطوبتی مورد مطالعه بود. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط رطوبتی برای کلیه صفات معنی‌دار بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات در شرایط مختلف محیطی یکسان عمل نکردند.

بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی (جدول ۲) در محیط عدم تنش و تنش خشکی مربوط به صفت عملکرد دانه بود که تنوع ژنتیکی بالا برای این صفت را نشان می‌دهد. ضریب تنوع ژنتیکی برای صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه در محیط تنش نسبت به محیط عدم تنش نسبت به محیط معمول بیشتر بود. مقادیر بالای ضریب تنوع ژنتیکی برای یک صفت نشان‌دهنده امکان بهبود آن در برنامه‌های اصلاحی است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در ارزیابی لاین‌های دابل هاپلویید گندم در دو محیط عدم تنش و تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		روز تا سنبله دهی	ارتفاع	طول سنبله	عملکرد دانه	تعداد سنبله	تعداد دانه درسنبله	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	محتوای نسبی آب برگ
رژیم رطوبتی	۱	۴۷۰$^{n.s}$	۸۳۲$^{n.s}$	۲/۹۵$^{n.s}$	۶۶۹۴۸۱۰۸**	۲۸۰۷۸۵۳$^{n.s}$	۱۲۹۰*	۲۲۷۹۸**	۶۸۴۱**	۱۰۵۹۷۷**
تکرار (رژیم رطوبتی)	۲	۱۷۹**	۸۰۶**	۴/۲۶**	۱۰۱۱۱۷$^{n.s}$	۲۹۳۷۹۰$^{n.s}$	۴۱/۳$^{n.s}$	۸۳/۹**	۵۵/۹$^{n.s}$	۵۰/۶$^{n.s}$
ژنوتیپ	۱۵۲	۳۴/۶**	۴۳۳**	۴/۰۴**	۴۴۹۵۵۰**	۳۷۶۱۱۰**	۷۰/۶**	۳۴/۴**	۴۳/۳**	۱۰۳*
محیط*ژنوتیپ	۱۵۲	۴/۹۳$^{n.s}$	۳۲/۷$^{n.s}$	۰/۳۴$^{n.s}$	۲۲۴۲۰۷*	۱۲۶۷۶۹$^{n.s}$	۲۶/۵$^{n.s}$	۱۳/۶**	۲۵/۲*	۹۹/۸$^{n.s}$
خطا	۳۰۴	۴/۸۶	۳۱/۵	۰/۴۸	۱۶۹۹۲۴	۱۰۹۷۱۶	۲۲/۳	۹/۶	۱۹/۷	۷۹/۴
ضریب تغییرات ٪		۱/۲۲	۴/۰۹	۶/۴۱	۲۸/۷۲	۲۰/۱۹	۱۴/۲	۱۱/۸	۱۹/۱	۱۳/۴۰

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

جدول ۲. ضریب تغییرات ژنتیکی، وراثت پذیری خصوصی و میانگین صفات مختلف در لاین‌های دابل هاپلویید گندم در شرایط عدم تنش و تنش خشکی به همراه درصد تغییر صفات در اثر تنش خشکی

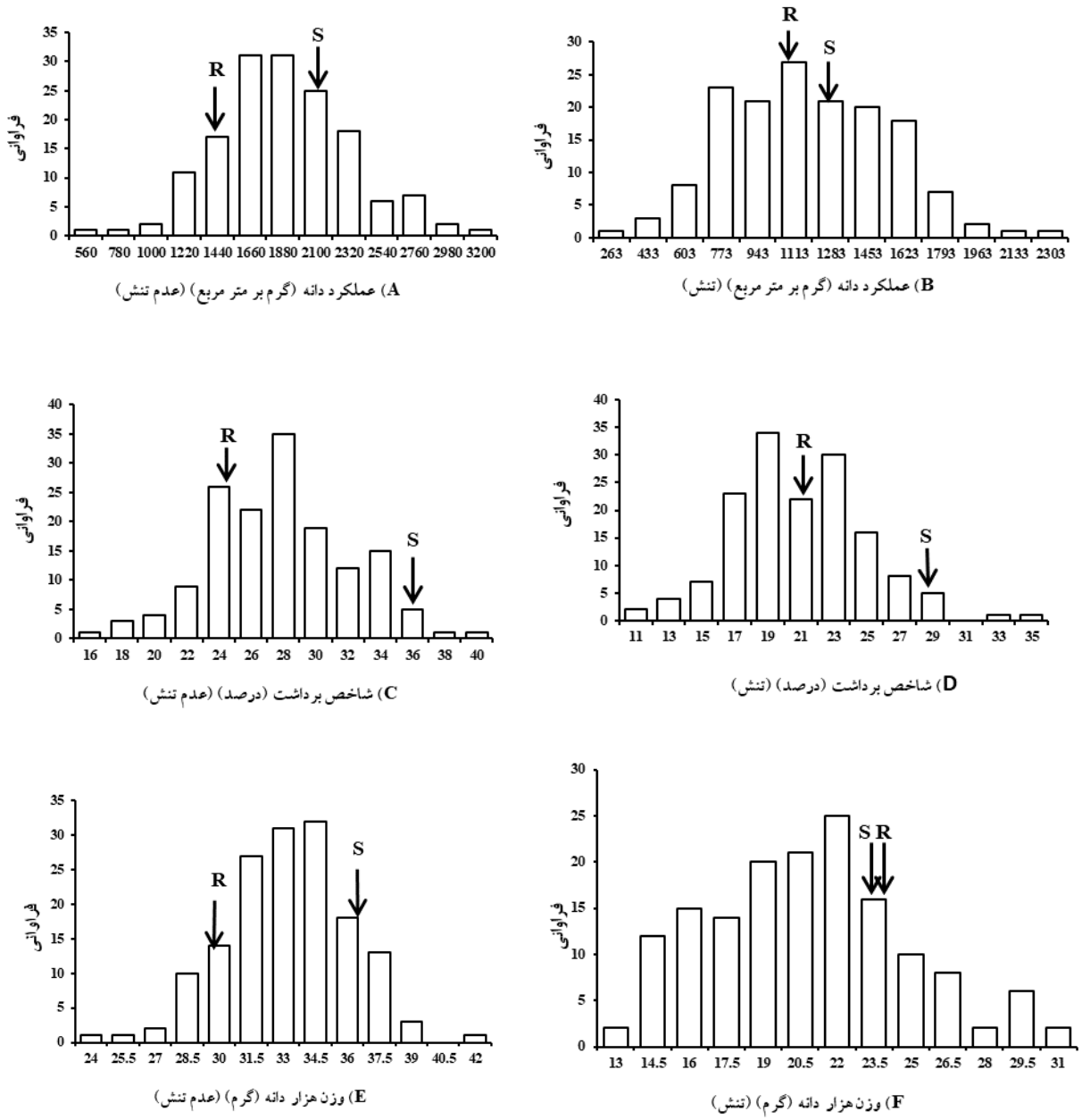
صفات	دامنه تغییرات		ضریب تغییرات ژنتیکی(٪)		وراثت پذیری خصوصی(٪)		میانگین		
	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	کل	عدم تنش	تنش	درصد تغییر
۱-روز تا سنبله دهی	۱۸۰-۱۹۷	۱۸۱-۱۹۶	۱/۵۷	۱/۴۶	۳۹/۷	۳۵/۷	۴۲/۹	۱۷۹	۱۸۱	-۱/۱$^{n.s}$
۲-ارتفاع گیاه (cm)	۸۵-۱۷۰	۸۵-۱۶۵	۷/۳۹	۷/۳۴	۴۳/۹	۴۲/۷	۴۶/۳	۱۳۸	۱۳۶/۱	۱/۵$^{n.s}$
۳-طول سنبله (cm)	۸/۵ -۱۵	۸-۱۵/۲	۸/۸۷	۷/۹۳	۴۱/۱	۳۶/۵	۴۴/۰	۱۰/۸	۱۱	-۱/۸۵$^{n.s}$
۴-عملکرد دانه (g/m^2)	۳۲۵۰ -۴۷۸	۱۰۶-۲۳۱۸	۱۸/۰	۲۳/۱	۲۵/۴	۲۳/۷	۳۱/۱	۱۷۷۲	۱۰۹۳/۸	۳۸/۲**
۵-تعداد سنبله (m^2)	۲۷۱۳-۴۸۸	۶۲۵-۳۱۱۳	۱۶/۱	۱۶/۳	۳۰/۱	۲۶/۷	۳۵/۴	۱۵۷۲	۱۷۰۹	-۸/۷$^{n.s}$
۶-تعداد دانه در سنبله	۵۲-۱۲	۴۶-۶	۱۱/۶	۱۰/۱	۳۰/۳	۲۳/۲	۳۴/۲	۳۵	۳۲	۸/۵*
۷-وزن هزار دانه (g)	۱۹/۶ -۴۲/۶	۱۰/۲ -۳۴/۳	۷/۲۰	۱۴/۷	۳۴/۴	۲۷/۴	۳۶/۰	۳۲/۵	۲۰	۳۸/۴**
۸-شاخص برداشت (٪)	۸/۸ -۴۹/۲	۴/۳ -۳۴/۶	۱۲/۱	۱۰/۴	۲۷/۱	۱۳/۹	۲۷/۲	۲۶/۷	۱۹/۸	۲۵/۸**
۹-محتوی نسبی آب برگ (٪)	۹۳-۶۲	۸۸-۳۱	۰/۷۵	۶/۷۵	۱۰/۶	۱۷/۰	۱۱/۶	۷۹/۵	۵۲	۳۵**

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

در محیط عدم تنش و تنش خشکی بیشترین وراثت پذیری مربوط به صفت ارتفاع بوته و همچنین کمترین مقدار وراثت پذیری مربوط به صفت محتوی نسبی آب برگ بود. با توجه به اینکه واریانس ژنتیکی بین لاین‌های دابل‌هاپلوئید دو برابر واریانس افزایشی بود بنابراین می‌توان گفت وراثت‌پذیری برای لاین‌های دابل‌هاپلوئید از نوع خصوصی است (۱۳ و ۲۶). سالارپور و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ایی بر روی ۲۲۰ لاین دابل‌هاپلوییید در دو شرایط محیطی عدم تنش و تنش خشکی تنوع ژنتیکی بالایی را در هر دو شرایط گزارش کردند و لاین‌های مطلوب جهت مطالعات بعدی را انتخاب کردند. دشتی و همکاران (۶) در بررسی صفات زراعی متحمل به خشکی ۹۶ لاین دابل‌هاپلوییید، بالاترین وراثت‌پذیری خصوصی در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی را مربوط به طول سنبله گزارش کردند که نشان می‌دهد صفت طول سنبله بیشتر توسط اثرات افزایشی ژن‌ها کنترل شده و در مقابل کمترین میزان وراثت‌پذیری مربوط به عملکرد دانه بوده و به‌طورکلی وراثت‌پذیری صفات در محیط تنش، بیشتر از محیط عدم تنش بوده است. بالا بودن وراثت‌پذیری خصوصی بیشتر، کارآیی انتخاب برای آن صفت را افزایش خواهد داد.

در برنامه های دورگ‌گیری برای بهبود صفات کمی اغلب به دلیل وقوع پدیده‌ی تفکیک متجاوز، فنوتیپ‌هایی مشاهده شدند که خارج از محدوده‌ی والدین خود قرار داشتند. تولید فنوتیپ‌های برتر نسبت به والدین در ایجاد سازگاری‌های جدید در هیبریدهای بین گونه‌ایی یا اکوتیپ‌ها یک مکانیسم اصلی است. وقوع پدیده تفکیک متجاوز برای صفات در تلاقی‌ها، ناشی از پلی‌ژنیک بودن صفات است، به نحوی که والدین آلل‌های متفاوتی را به‌منظور بیان یک صفت در برخی نتاج به اشتراک می‌گذارند. در نمودار فراوانی (شکل ۱) برای عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه تنوع پیوسته‌ایی در هر دو محیط تنش و عدم تنش مشاهده شد. تنوع پیوسته برای این صفات نشان‌دهنده‌ی کنترل پلی‌ژنیک این صفات است. وراثت پذیری صفات که در بخش قبل بررسی شد نیز تایید کننده توارث کمی برای صفات مورد بررسی است. برخی از لاین‌ها از نظر صفات مورد بررسی تفکیک متجاوز نشان دادند و ارزش فنوتیپی صفات آنها در هر دو جهت مثبت و منفی فراتر از والدین بود که نشان می‌دهد هر دو والد دارای آلل‌های مطلوب و نامطلوب برای صفات مختلف هستند. برای صفت عملکرد دانه ارزش فنوتیپی دو والد در محیط عدم تنش به‌ترتیب ۱۴۲۱ و ۲۰۰۴ گرم بر مترمربع بود، درحالی‌که تعداد زیادی از لاین‌های دابل‌هاپلوییید مقادیر کمتر و بیشتری از والدین خود و در دامنه‌ی عددی ۲۳۰۰-۳۰۰ گرم را نشان دادند. در محیط تنش نسبت به محیط عدم تنش تعداد بیشتری از لاین‌های دابل‌هاپلوییید عملکردی فراتر از والدین پست‌تر و برتر خود نشان دادند و مقدار عددی دو والد به یکدیگر نزدیکتر بود. از لاین‌های حاصل از پدیده تفکیک متجاوز می‌توان در ایجاد لاین‌های متحمل به تنش خشکی استفاده کرد. اسپنانی و همکاران (۷) نیز پژوهشی بر روی سه جمعیت گلرنگ حاصل از تلاقی بین گونه‌ای انجام دادند و تنوع پیوسته‌ای برای صفت عملکرد مشاهده کردند به‌طوری‌که تعداد زیادی از نتاج مقادیر بیشتر و کمتر از مقادیر والدین را نشان دادند.

نتایج مقایسه دو والد قدیمی و جدید نشان دادند که والد قدیمی، دیررس‌تر و پابلندتر از رقم جدید است (جدول ۳). پاکوتاهی رقم جدید به واسطه وجود ژن پاکوتاهی *RhtB1* (ژن پاکوتاهی انقلاب سبز نورمن بورلاگ) است که مکان یابی این ژن در این والد و ارتباط بیان آن با سایر ژن‌های کلیدی گندم به‌ویژه ژن‌های درگیر در فتوسنتز توسط مجیدی و همکاران گزارش شده است (۱۷). همچنین رقم قدیمی دارای عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت کمتری نسبت به رقم جدید بود، لیکن پایداری عملکرد این رقم در شرایط تنش خشکی بیشتر از رقم جدید بود که این موضوع از نمودارهای فراوانی بخش قبل نیز مشهود است (شکل ۱). اگرچه طول سنبله در والد قدیمی بیشتر بود ولی باروری سنبله در آن کمتر نبود که حاکی از اصلاح برای تراکم دانه (سنبلچه) بیشتر در رقم مدرن است.



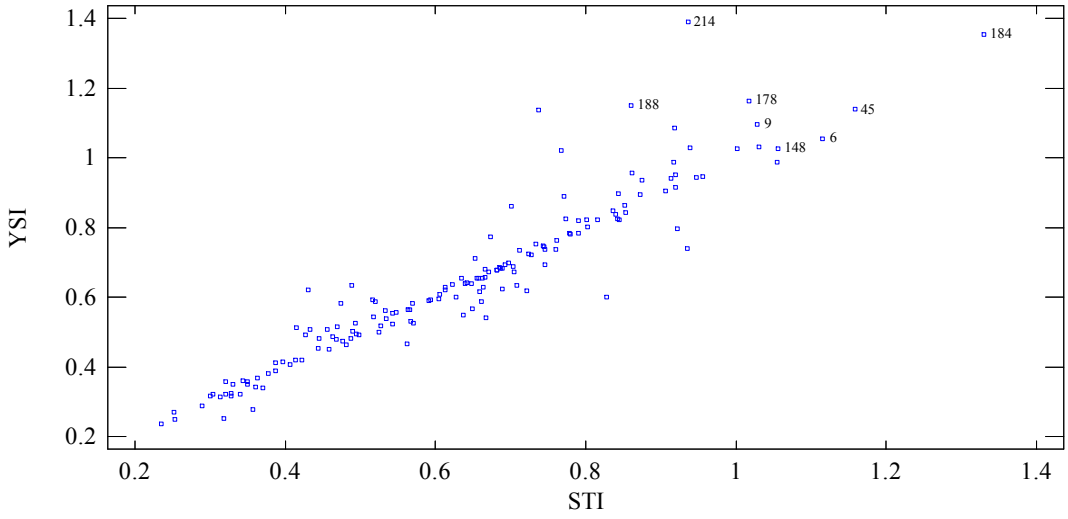
شکل ۱. هیستوگرام توزیع فراوانی صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه در ارزیابی لاین‌های دابل‌هاپلویید گندم حاصل از تلاقی دو والد ردفایف (رقم قدیمی) و استتلر (رقم مدرن) در دو محیط تنش و عدم تنش. موقعییت دو والد به ترتیب با R و S مشخص شده است.

نتایج میانگین و درصد تغییر صفات در اثر تنش خشکی برای صفات مورد بررسی در جمعیت دابل‌هاپلوئید نشان داد که صفات روز تا سنبله‌دهی و ارتفاع گیاه در جمعیت دابل‌هاپلوئید تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفتند زیرا تنش بعد از ظهور ااین صفات اعمال شده است (جدول ۲). مقایسه میانگین عملکرد دانه جمعیت دابل‌هاپلوئید تحت تأثیر تنش خشکی ۳۸/۲ درصد نسبت به محیط عدم تنش کاهش معنی‌دار نشان داد. برای صفت تعداد دانه در سنبله، مقایسه میانگین دو محیط

جدول ۳. مقایسه ویژگی دو رقم ردفایف (قدیمی) و استلر (جدید) گندم

صفات	شرایط عدم تنش		شرایط تنش	
	والد قدیمی	والد جدید	والد قدیمی	والد جدید
سال معرفی رقم (میلادی)	۱۸۶۰	۲۰۰۸	۱۸۶۰	۲۰۰۸
۱–روز تا سنبله دهی	۱۸۳	۱۷۷	۱۸۱	۱۷۸
۲–ارتفاع گیاه (cm)	۱۳۸	۱۳۰	۱۴۲	۱۲۶
۳–طول سنبله (cm)	۱۳/۱	۱۰/۱	۱۳/۲	۱۰/۱
۴–عملکرد دانه (g/m^2)	۱۴۲۱	۲۰۰۴	۱۰۲۸	۱۱۲۲
۵–تعداد سنبله) (m^2	۱۳۳۱	۱۴۳۴	۱۳۳۱	۱۰۹۱
۶–تعداد دانه در سنبله	۳۷	۳۹	۳۴	۳۹
۷–وزن هزار دانه (g)	۲۸/۷	۳۵/۹	۲۳/۳	۲۳
۸–شاخص برداشت (٪)	۲۳/۹	۳۵/۵	۲۰/۵	۲۷/۲
۹–محتوی نسبی آب برگ (٪)	۸۶	۸۱	۵۷	۵۳

رطوبتی تفاوت معنی‌داری نشان داد، به‌طوری که این صفت در محیط تنش ۸/۵ درصد کاهش داشت. سالم (۲۵) نیز در مطالعه خود دریافت که کمبود آب بر تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های گندم نان تأثیر دارد و از عوامل مؤثر در تعیین تحمل به تنش خشکی هستند. از این رو، کاهش مقدار این صفات در شرایط کمبود آب، تأثیر منفی بر عملکرد دانه خواهد داشت. مقایسه میانگین صفت وزن هزار دانه لاین‌های دابل‌هاپلوئید نشان داد که در محیط تنش ۳۸/۴ درصد نسبت به محیط عدم تنش کاهش معنی‌دار داشت (جدول ۲). اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه بسیار بارز بود زیرا عملکرد بالقوه بستگی به وزن هزار دانه داشت که مستلزم تجمع مواد فتوسنتزی در دانه بود. مواد جمع شده در دانه‌ها از دو منبع تأمین می‌شوند که عبارتند از فتوسنتز جاری و همچنین انتقال مواد از سایر قسمت‌های گیاه به دانه، یعنی قسمتی از مواد فتوسنتزی که قبل از گرده افشانی ساخته شده است و در ساقه و یا سایر اجزاء گیاه ذخیره می شوند و سپس به دانه‌های در حال تشکیل منتقل می‌شوند ولی قابل ذکر است که قسمت اعظم مواد ذخیره شده در دانه بعد از گرده افشانی ساخته می‌شوند که به شدت تحت تأثیر تنش خشکی است (۲۲). طبق گزارش ریچاردز و لوکاس (۲۲) ارقام گندم با دانه درشت‌تر موجب استقرار گیاهان قوی‌تر می‌شوند و صفت اندازه دانه دارای وراثت‌پذیری بالا، و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط کم بر روی این صفت است که تاثیر انتخاب را برای بهبود آن افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات جمعیت دابل–هاپلوئید در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی، صفت محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری داشته و در محیط تنش خشکی ۳۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). همچنین صفت شاخص برداشت در محیط تنش خشکی ۲۵/۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). از آنجایی که شاخص برداشت نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ برای تولید دانه است از این رو مقادیر بالای آن می‌تواند عملکرد بالا در شرایط دیم و دیگر محیط‌ها را موجب شود. همچنین استفاده از ژن‌های کوتاه کننده ارتفاع و ایجاد زودرسی موجب افزایش شاخص برداشت می‌شوند که خوشبختانه هر دو صفت از وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی برخوردار بودند. از آن جایی که شاخص برداشت از صفاتی است که می‌تواند در هر دو شرایط تنش و عدم تنش از اهمیت ویژه‌ایی برخوردار باشد، بنابراین ضروری است که در برنامه‌های به‌نژادی بیشتر به این صفت توجه شود (۱۴).



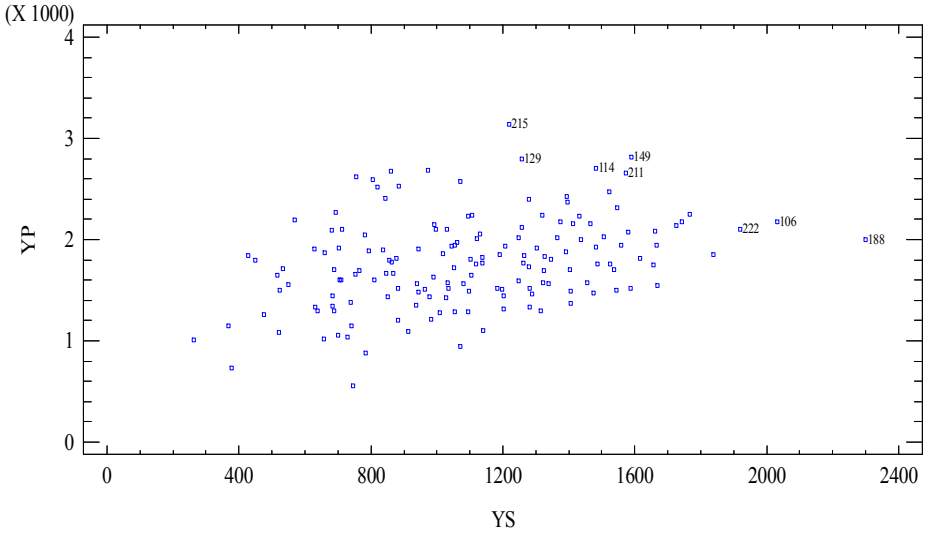
شکل ۲. بای پلات پراکنش دو شاخص تحمل به خشکی (STI) و پایداری عملکرد (YSI) لاین‌های دابل‌هاپلویید گندم

بای پلات پراکنش دو شاخص تحمل به خشکی (STI) و پایداری عملکرد (YSI) در ارزیابی لاین‌های دابل‌هاپلویید گندم در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج پراکنش بای پلات نشان داد که لاین‌ها برای هر دو شاخص دارای تنوع ژنتیکی هستند و در هر دو جهت منفی و مثبت، برخی از لاین ها در داده‌های بای پلات فراتر از والدین خود هستند. همچنین مشاهدات نشان داد که هر دوشاخص مذکور دارای همبستگی بالایی هستند. بر این اساس ژنوتیپی که دارای شاخص تحمل به خشکی بالاتری است پایداری عملکرد بیشتری نیز دارد. طبق داده‌های این شکل ژنوتیپ ۱۸۴ و ۴۵ به‌طور همزمان تحمل به تنش و پایداری عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند و می‌توانند برای مطالعات تکمیلی استفاده شوند..

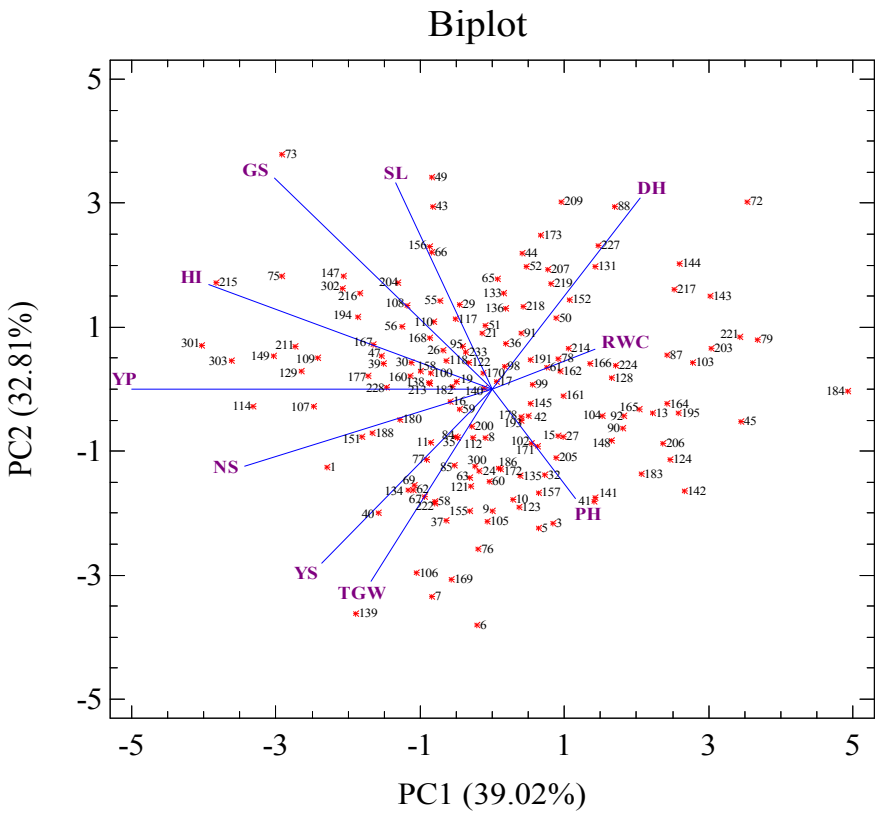
بای پلات پراکنش دو صفت عمکرد در شرایط تنش و عدم تنش در ارزیابی لاین‌های دابل‌هاپلویید گندم در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که از تلاقی دو والد، تنوع بسیار زیادی در نتاج دابل‌هاپلویید ایجاد شده است به‌طوری‌که امکان انتخاب لاین‌های برتر دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط محیطی وجود دارد. همچنین برخی از لاین‌ها ارزش فنوتیپی فراتر از والدین خود نشان دادند که با نمودار فراوانی هیستوگرام مطابقت دارد.

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که در محیط عدم تنش ، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۷۰ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (شکل ۴). مؤلفه اول ۳۹/۰۲ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و صفات عملکرد و اجزای عملکرد با این مولفه همبستگی منفی و صفت روز تا سنبله‌دهی همبستگی مثبت داشت. دومین مؤلفه ۳۲/۸۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات روز تا سنبله‌دهی، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت داشت. در مجموع انتخاب ژنوتیپ‌هایی که مقادیر پایینی از مؤلفه اول و مقادیر بالا از مؤلفه دوم را دارند، حداکثر کارآیی را خواهند داشت. به‌عنوان مثال ژنوتیپ ۷۳ و ۲۱۵ با مقادیر پائین مؤلفه اول و مقادیر بالا از مولفه دوم به‌عنوان ژنوتیپی زودرس، دارای پتانسیل عملکرد و شاخص برداشت بالا و ارتفاع کمتر انتخاب می‌شود. ژنوتیپ ۷۲ واقع در بالا و سمت راست شکل دارای حداقل عملکرد و ارتفاع است که می‌تواند در مطالعات ژنتیکی که به ژنوتیپ‌های متضاد نیاز است، استفاده شود. کدهای ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ارقام شاهد ایرانی هستند.

در شرایط تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۸۰/۶۰ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (شکل ۵). مؤلفه اول ۵۶/۹۳ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه در شرایط تنش و YSI، STI و CSI همبستگی منفی و با روز

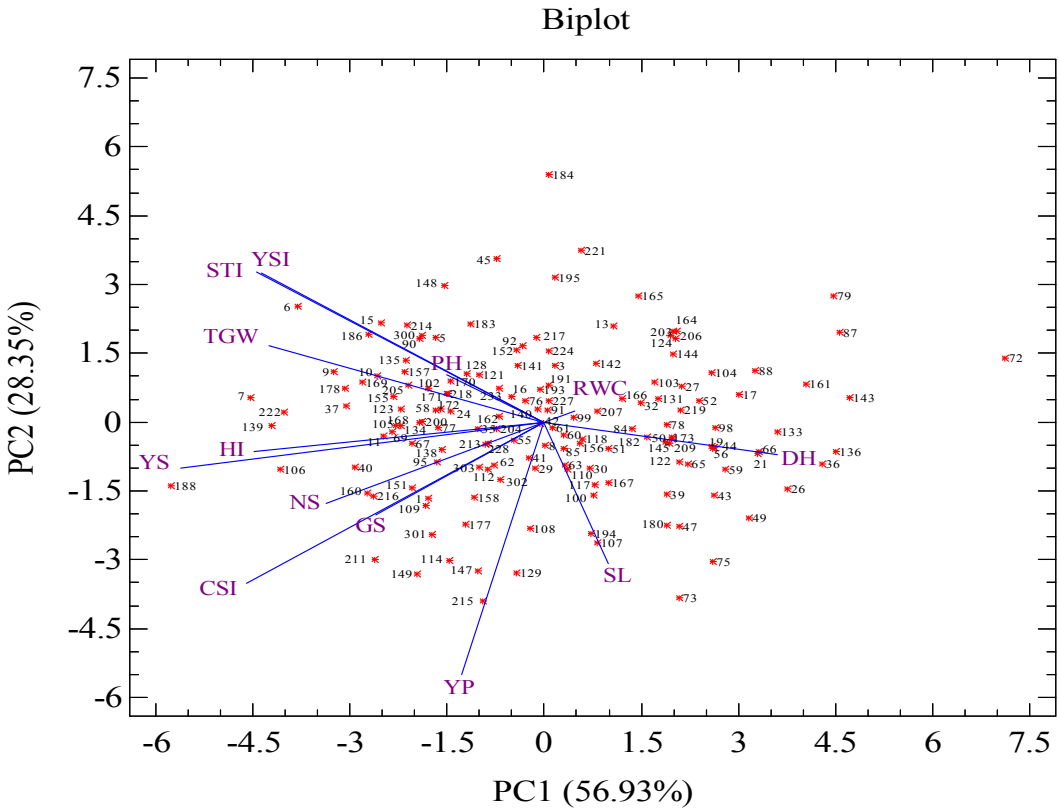


شکل ۳. بای پلات پراکنش عملکرد در شرایط تنش (YS) در برابر عملکرد در شرایط عدم تنش (YP) در لاین‌های دابل‌هاپلویید گندم



شکل ۴. نمودار حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس صفات زراعی، مورفولوژیک تحت محیط رطوبتی عدم تنش در جمعیت دابل هاپلوئید گندم.

DH: روز تا سنبله‌دهی، **PH:** ارتفاع، **SL:** طول سنبله، **YP:** عملکرد دانه در محیط عدم تنش، **YS:** عملکرد دانه در محیط تنش، **TGW:** وزن هزار دانه، **HI:** شاخص برداشت، **GS:** تعداد دانه در سنبله، **NS:** تعداد سنبله، **RWC:** محتوی نسبی آب برگ



شکل ۵. نمودار حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس صفات زراعی، مورفولوژیک تحت محیط رطوبتی تنش در جمعیت دابل هاپلوئید

DH:روز تا سنبله‌دهی، PH: ارتفاع، SL: طول سنبله، YP: عملکرد دانه در محیط عدم تنش، YS: عملکرد دانه در محیط تنش TGW: وزن هزار دانه، HI: شاخص برداشت، GS: تعداد دانه در سنبله، NS: تعداد سنبله، RWC: محتوی نسبی آب برگ، STI: شاخص تحمل به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد CSI شاخص ترکیبی

تا سنبله‌دهی همبستگی مثبت و بالا داشت. بنابراین، این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه تولید و تحمل به تنش خشکی نامگذاری شد. مؤلفه دوم ۲۸/۳۵ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفت تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و عملکرد در شرایط عدم تنش و CSI همبستگی منفی و با YSI، STI و وزن هزاردانه همبستگی مثبت داشت. بنابراین این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد دانه نامیده شد. انتخاب بر مبنای مقادیر پائین مؤلفه اول و بالای مؤلفه دوم حداکثر کارایی را خواهد داشت و منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که زودرس هستند و اجزای عملکرد بالایی دارند و همچنین از تحمل به تنش خشکی و پایداری عملکرد بالایی برخوردار هستند. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۷، ۶ و ۲۲۲ به عنوان ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد بالا و متحمل به خشکی انتخاب می‌شوند. ژنوتیپ ۷۲ دیررس و دارای عملکرد پائینی است. ژنوتیپ‌های والدینی (شماره های ۲۲۷ و ۲۲۸) در دو طرف مرکز پای پلات قرار گرفته‌اند درحالی‌که نتاج حاصل از آنها تفرق بسیار زیادی از نظر همه صفات پیدا کرده‌اند که این امر باعث سهولت لاین‌های خاص درون این جمعیت می شود. در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی صفات روز تا سنبله‌دهی با عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی منفی داشتند، که نشان‌دهنده‌ی آن است که احتمالا هرچه ژنوتیپ زودرس‌تر باشد عملکرد دانه بیشتری خواهد داشت. در شرایط تنش خشکی روز تا سنبله‌دهی با شاخص تحمل به خشکی همبستگی منفی دارد که نشان دهنده‌ی این است که ژنوتیپ زودرس تحمل به خشکی بیشتری نیز دارد (۲۶)

نتیجه‌گیری کلی

انتخاب در گندم با فشار بالا بر عملکرد و یا ژن‌های مؤثر در بیان ژن‌های اصلی عملکرد صورت گرفته است. بنابراین ضرورت دارد نسبت به بازیابی ژن های از دست رفته در ارقام مدرن اقدام شود. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین لاین‌های دابل‌هاپلویید حاصل از تلاقی دو والد قدیمی و جدید از نظر تمامی صفات مورد بررسی وجود داشت. وجود تنوع بالا در جمعیت مورد بررسی، کارایی بیشتر روش‌های گزینش برای بهبود این صفات را ژرم‌پلاسم مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از نمودار فراوانی، اکثر لاین‌ها نسبت به والدین خود در دو جهت مثبت و منفی فراتر از والدین بودند و پدیده تفکیک متجاوز در اکثر صفات دیده شد. به‌طور ویژه برای صفاتی مانند عملکرد دانه، ارتفاع بوته، زودرسی، شاخص برداشت، لاین‌هایی وجود داشتند که فراتر از والدین خود بودند که می‌توانند جهت ایجاد ارقام متحمل به تنش با عملکرد بالا گزینش و در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گیرند. وراثت‌پذیری خصوصی برای اغلب صفات مورد مطالعه در لاین‌های دابل‌هاپلویید نسبتاً بالا بود که نشان می‌دهد عمده تنوع مشاهده شده برای صفات مزبور منشأ ژنتیکی و از نوع افزایشی داشته و بنابراین می‌توان گفت انتخاب برای بهبود لاین‌ها می‌تواند مؤثر واقع شود. عملکرد دانه با روز تا سنبله‌دهی همبستگی منفی نشان داد که نشان می‌دهد انتخاب برای زودرسی در شرایط تنش می‌تواند باعث بهبود تحمل به خشکی شود. این نتایج با مکانیسم فرار از خشکی برای بهبود تحمل به خشکی در ارقام مقاوم منطبق است. بر اساس نتایج شاخص‌های تحمل، بای پلات پراکنش و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، لاین‌های خاص و نیز لاین‌های برتر از نظر عملکرد و تحمل به خشکی شناسایی شدند. به‌عنوان مثال لاین ۶ به‌عنوان لاین زودرس با عملکرد بالا در محیط تنش و همچنین دارای تحمل به تنش و پایداری عملکرد بالا معرفی می‌شود. همچنین ژنوتیپ ۷۲ هم به‌عنوان یک ژنوتیپ دیررس با عملکرد پایین در بین لاین‌های دابل‌هاپلویید در هر دو محیط جهت طراحی برنامه‌های ژنتیکی معرفی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadizadeh, M., A. Nori, A. Shahbazi and M. Habibpour. 2011. Effects of drought stress on some agronomic and morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces under greenhouse condition. *African Journal of Biotechnology* 10: 14097-14107.
2. Arzani, A. 2008. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. In Vitro Cell Dev. *In Vitro Cellular and Developmental Biology- Plant* 4: 373-383.
3. Arzani, A. and M. Ashraf 2017. Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health-beneficial food products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16: 477-488.
4. Barakat, M. N., A. A. Al-Doss, A. A. Elshafei, A. I. Ghazy and K. A. Moustafa. 2013. Assessment of genetic diversity among wheat doubled haploid plants using TRAP markers and morpho-agronomic traits. *Australian Journal of Crop Science* 7: 104-111.
5. Bristiel, P., C. Roumet, C. Violle and F. Volaire. 2019. Coping with drought: root trait variability within the perennial grass *Dactylis glomerata* captures a trade-off between dehydration avoidance and dehydration tolerance. *Plant and Soil* 434: 327-342.
6. Dashti, H., B. Yazdi-Samadi, M. Ghannadha, M. R. Naghavi and S. Quarri. 2007. QTL analysis for drought resistance in wheat using doubled haploid lines. *International Journal of Agriculture and Biology* 9: 98-102.
7. Espanani, S., M. M. Majidi, G. Saeidi, H. Alaei and V. Rezaei. 2019. Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. *Plant Breeding* 138: 846-861.
8. Espanani, S., M. M. Majidi, G. Saeidi and H. Alaei. 2019. Physiological aspects of inter-specific gene introgression to improve drought tolerance in safflower. *Euphytica* 215: 1-18.
9. Farmahini Farahani, M., M. Mirzakhani and N. A. Sajedi. 2012. Response of physiological traits of wheat to water shortage stress and application of desiccants. *Journal of Agricultural Research* 4: 147-159. (In Farsi).
10. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance. pp. 257-270, In: C. Kuo

(ed.), Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua, Taiwan.
11. Heidari, B., B. E. Sayed-Tabatabaei, G. Saeidi, M. Kearsey and K. Suenaga. 2011. Mapping QTL for grain yield, yield components, and spike features in a doubled haploid population of bread wheat. *Genome* 54: 517-527.
12. Hussain, B., M. A. Khan, Q. Ali and S. Shaukat. 2012. Double haploid production is the best method for genetic improvement and genetic studies of wheat. *International Journal of Agr*onomy 6: 216-228.
13. Kearsey, M. J and H. S. Pooni. 2004. The Genetical Analysis of Quantitative Traits. Chapman and Hall, Boca Raton.
14. Kochaki, A. R., A. Yazdan Sepas and H. R. Nikkhah. 2006. The effect of late season drought stress on grain yield and some morphological traits of wheat genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 8: 29-14. (In Farsi).
15. Li, J., H. S. Wan and W. Y. Yang. 2014. Synthetic hexaploid wheat enhances variation and adaptive evolution of bread wheat in breeding processes. *Journal of Systematics and Evolution* 52: 735-742.
16. Lonbani, M. and A. Arzani. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research* 9: 315-329.
17. Majidi, M. M., E. Raherison, R. Goessen, N. Hughes, R. Cuthbert, R. Knox and L. Lukens. 2020. Evidence for the accumulation of nonsynonymous mutations and favorable pleiotropic. *Genes Genomes Genetics* 10: 401-411.
18. Mirlohi, A. F., M. M. Majidi and M. Ismailzadeh Moghaddam. 2013. Principles of Plant Breeding. Arkan Danesh Publications, Isfahan. (In Farsi).
19. Mir Mohammadi Meybodi, A. M., P. Golkar and M. Golabadi. 2015. Plant Responses to Drought Stress Effects and Resistance Mechanisms. Jihad Daneshgahi Publications, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Farsi).
20. Mir Mohammadi Meybodi, A. M and S. Tarkash Esfahani. 2019. Drought in the Context of Climate Change. Jihad Daneshgahi Publications, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Farsi).
21. Patial, M., D. Pal, A. Thakur, R. S. Bana and S. Patial. 2019. Doubled haploidy techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.): an overview. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 89: 27-41.
22. Richards, R. A. and Z. Lukacs. 2002. Seedling vigor in wheat- sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 41-50.
23. Sabouri, A., A. R. Dadras, M. Azari, A. Saberi Kouchesfahani, M. Taslimi and R. Jalalifar. 2022. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. *Scientific reports* 12: 1-14.
24. Salarpour, M., B. Heidari, H. Pakniyat, H. Razi, R. Abdolshahi and R. Afzali. 2020. Mapping QTL for agronomic and root traits in the Kukri/RAC875 wheat (*Triticum aestivum* L.) population under drought stress conditions. *Euphytica* 216: 1-19.
25. Saleem, M. 2003. Response of durum and bread wheat genotypes to drought stress: biomass and yield components. *Asian Journal of Plant Sciences 2*: 290-293.
26. Sobhaninan, N., B. Heidari, S. Tahmasebi, A. Dadkhodaie and C. L. McIntyre. 2019. Response of quantitative and physiological traits to drought stress in the SeriM82/Babax wheat population. *Euphytica* 32: 1-15.
27. Staniak, M. and A. Kocon. 2015. Forage grasses under drought stress in conditions of Poland. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 1-10.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 3, Fall 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Heritability of Grain Yield and Its Components and Selection for Drought Tolerance in Wheat Double Haploid Lines

N. Golabadi[1], M. M. Majidi[2*], Gh. Saeidi[2] and L. Lukens[3]

(Received: June 28-2021; Accepted: April 09-2022)

Abstract

Drought is one of the most important environmental factors affecting plant growth. The double haploid method is one of the most common breeding methods in wheat. Using old cultivars in cross-breeding programs can be effective for restoring genes lost during evolution. In this study, in order to evaluate the genetic diversity and to select the drought-tolerant introgression wheat lines, 151 double haploid (DH) lines (derived from cross of old and modern cultivars) were evaluated under two moisture conditions (non-stress and drought-stress) in field. Considerable genetic variation was observed among DH lines for most of the traits indicating that selection for these traits can be effective to develop lines with higher performance or for specific purposes. The effect of drought stress was significant for most of the traits. For example, drought stress reduced grain yield by 40%. Comparison of old and new parent genotypes showed that the new parent was earlier in maturity, dwarf and had higher grain yield, yield components and harvest index. Transgressive segregation was observed for most of the traits indicating the possibility of selection for superior lines. In both moisture condition, plant height had the highest narrow sense heritability (46%) and leaf relative water content had the lowest one (12%). Grain yield had negative correlation with day to flowering indicating that selection for earliness can improve drought tolerance. According to the results of tolerance indices and biplot of principle component analysis, superior lines were identified. For example superior lines for grain yield, early flowering and higher harvest index were recognized for future studies.

Keywords: Drought, Wheat, Narrow sense heritability, Transgressive segregation

1 and 2. MSc student and Professors, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Professor, Department of Crop Science, University of Guelph, Guelph, Canada.
*: Corresponding Author, Email: majidi@cc.iut.ac.ir