مجله علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ششم، شماره ۱(۲۱)، ۱۳۹۱، صفحه ۵۶-۳۷

ارزیابی لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره تحت تنش خشکی

مینا مقدس‌زاده اهرابی[۱]، محمد مقدم واحد[۲]، سعید اهری‌زاد[۳] و سیدابوالقاسم محمدی[۲]

چکیده

ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌گردد و گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در اکثر نقاط کشور با مشکل کمبود آب مواجه است. بنابراین، شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی یکی از اهداف اصلی در زراعت می‌باشد. به منظور بررسی اثر تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی، ۷۲ لاین اینبرد نوترکیب گندم بهاره حاصل از تلاقی رقم آمریکایی Yecora Rojo (پرمحصول، پاکوتاه و زودرس) به‌عنوان والد پدری و لاین ایرانی No. ۴۹ (پابلند و دیررس) به‌عنوان والد مادری، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در سال زراعی ۱۳۸۸ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به اجرا درآمد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین لاین‌ها از نظر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. اختلاف بین شرایط عادی و تنش خشکی نیز برای کلیه صفات به‌جز شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و تعداد روز تا ظهور سنبله معنی‌دار شد. اثر متقابل لاین × شرایط برای هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد. بنابراین، امکان مقایسه لاین‌ها در متوسط شرایط محیطی فراهم شد. از نظر عملکرد دانه، لاین‌های ۹۶، ۱۲۲، ۱۲۳ و ۱۵۵ به‌عنوان برترین لاین‌ها شناخته شدند. شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی لاین‌های برتر و ضعیف شناخته شدند. با توجه به شاخص‌های مذکور لاین‌های ۹۶، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۳۸، ۱۴۹ و ۱۵۵ به‌عنوان لاین‌های برتر شناسایی شدند. براساس تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه با سایر صفات، به ترتیب تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه وارد مدل نهایی شدند. با حضور این متغیرها ضریب تبیین مدل به ۸۱/۹ درصد رسید. نتایج حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه و صفات وابسته، نشان‌گر اثرات مستقیم مثبت و معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه بر عملکرد دانه بود. در تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن، دو گروه ایجاد شد که لاین‌های برتر از نظر صفات مورد ارزیابی در یک گروه قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: تجزیه رگرسیون گام به گام، شاخص‌های تحمل به تنش، صفات زراعی، عملکرد دانه.

۱- فرهیخته‌ی کارشناسی ارشد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (نگارنده‌ی مسئول)
moghaddaszadehm@yahoo.com
۲- استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۴
۳- دانشیار گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۰

مقدمه

گندم اولین گیاه زراعی اهلی شده و جوان‌ترین گونه پلی‌پلویید در میان گونه‌های زراعی و جزو چهار غله اصلی تأمین کننده نیاز غذایی بشر می‌باشد. گندم، گرچه دارای گونه‌های متعددی است ولی، بیشترین سطح زیر کشت (حدود ۹۰درصد) و بالاترین میزان تولید (حدود ۹۴ درصد تولید جهانی) مربوط به گونه *Triticum aestivum* (گندم نان) است (Emam, 2007). در حال حاضر تنش خشکی مشکل اصلی تولید گندم در بسیاری از نقاط جهان محسوب می‌شود (Anonymous, 2005). تنش کمبود آب تقریباً تولید را در ۲۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان محدود می‌کند و به تنهایی عامل اصلی کاهش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی شناخته شده است (Bohnert and Bressan, 2001). اقبال و همکاران (Iqbal *et al*., 1999) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دوروم اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش تعداد دانه در سنبله به میزان ۵۹/۶۲ درصد و کاهش وزن هزاردانه به میزان ۳۱/۹۸ درصد گزارش گردید. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2006) نیز کاهش ۵۰/۳۷ درصد در عملکرد دانه را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. نوری قنبلانی و همکاران (Nouri-Ganbalani *et al*., 2009) با بررسی ۱۳ ژنوتیپ گندم پاییزه در شرایط تنش خشکی بعد از سنبله‌دهی به روش قطع آبیاری اظهار داشتند که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در این شرایط به‌طور میانگین ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. با وجود این، کاهش عملکرد دانه در کلیه ارقام یکسان نبود و برخی از آنها کمتر از سایرین تحت تأثیر منفی تنش خشکی قرار گرفتند. سنگ‌تراش (Sangtarash, 2010) با اعمال تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی گندم دریافت که حداقل عملکرد دانه زمانی حاصل می‌شود که تنش خشکی در مرحله گلدهی اعمال می‌گردد. جانستون و فولر (Johnston and Fowler, 1992) حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی را مرحله گلدهی (گرده‌افشانی) ذکر کردند که در نتیجه آن طول دوره گلدهی کاهش می‌یابد.

در غلات اجزای عملکرد دانه شامل سه جزء تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه می‌باشد (Attarbashi *et al*, 2002). اگرچه ظاهراً چنین به نظر می‌رسد که با افزایش هرکدام از این خصوصیات در یک رقم می‌توان عملکرد بالاتری تولید نمود، ولی در عمل، افزایش هریک از این اجزا، موجب کاهش در یک یا دو جزء دیگر می‌گردد. بنابراین، سعی براین است که بهترین ترکیب آنها در یک رقم تلفیق شود. برقراری تعادل بین سه جزء اصلی عملکرد در گندم ضروری بوده و تمام اجزاء باید در حد مطلوب باشند. به همین دلیل به منظور تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها از نظر عملکرد دانه باید به اجزای عملکرد و اثرات متقابل آنها با یکدیگر نیز توجه شود (Donaldson *et al*., 2001). دوکویوکو و آکایا (Dokuyucu and Akkaya, 1999) و اکرم و همکاران (Akram *et al*., 2008) با بررسی ژنوتیپ‌های گندم نان همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله مشاهده کردند. لیلا و الخطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) در شرایط تنش خشکی همبستگی عملکرد دانه را با ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، وزن صد دانه، وزن دانه در سنبله، بیوماس و شاخص برداشت مثبت عنوان کردند.

دوگان (Dogan, 2009) در بررسی ژنوتیپ‌های گندم نشان داد که تعداد دانه در سنبله در شرایط عادی بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه دارد.

خان و همکاران (Khan *et al*., 2003) به اثر مستقیم مثبت وزن هزار دانه بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی اشاره کرده‌اند. دوکویوکو و آکایا (Dokuyucu and Akkaya, 1999)، برگال و همکاران (Bergale *et al*., 2002) و گوبراک و همکاران (Guberac *et al*., 2008) با ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دریافتند که تعداد سنبله در مترمربع اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار روی عملکرد دانه دارد.

از آنجایی‌که عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش ممکن است مستقل از عملکرد آن در شرایط عادی باشد، از این‌رو فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد آنها در شرایط عادی و واجد تنش به ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد: گروه A: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد نسبی بالا در هر دو شرایط عادی و واجد تنش. گروه B: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط عادی ولی با عملکرد پایین در شرایط واجد تنش. گروه C: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در شرایط عادی و عملکرد نسبتاً خوب و پایدار در شرایط واجد تنش. گروه D: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط عادی و واجد تنش.

شاخص‌های تحمل به تنش متعددی به منظور گزینش ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد آنها در شرایط فاقد و واجد تنش پیشنهاد شده است که فرناندز (Fernandez, 1992) هدف اصلی استفاده از این شاخص‌ها را تشخیص و گزینش ژنوتیپ‌های گروه A بیان کرده است. شاخص MP توسط روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambilin, 1981) معرفی گردید که عبارت است از میانگین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط مطلوب و تنش. فرناندز (Fernandez, 1992) بیان داشت که این شاخص قابلیت شناسایی ژنوتیپ‌های گروه B را دارد ولی در تفکیک گروه A از گروه B کارآیی ندارد. شاخص TOL که توسط روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambilin, 1981) پیشنهاد شد و عبارت است از اختلاف عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و واجد تنش. مقادیر بالای TOL بیانگر حساسیت به تنش است. بنابراین، مقادیر پایین آن مطلوب می‌باشد. گزینش بر اساس این شاخص عمدتاً منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌گردد (Fernandez, 1992). شاخص SSI اولین بار توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) ابداع شد. مقادیر پایین‌تر SSI نشان‌دهنده تحمل بالاتر آن ژنوتیپ به خشکی است. به‌عبارت دیگر، هرچه مقدار Y_s به Y_p نزدیک‌تر باشد مقاومت آن ژنوتیپ به تنش خشکی بیشتر است و در نتیجه SSI آن کوچک‌تر خواهد بود. شاخص حساسیت به تنش کوچک‌تر از (یک) واحد نشان‌دهنده‌ی مقاومت بیشتر آن ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی است. هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و تنش باشد شاخص MP دارای اریبی به سمت عملکرد در شرایط عادی می‌شود. بنابراین، برای رفع این مشکل شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) پیشنهاد شد. شاخص STI نیز توسط فرناندز (Fernandez, 1992) ارایه شد. این شاخص براساس GMP بنا نهاده شده است و با آن همبستگی بسیار نزدیک و مثبتی دارد. فرناندز (Fernandez, 1992) همبستگی بین GMP و STI را برابر با یک گزارش کرد. مقادیر بالای STI بیانگر تحمل یک ژنوتیپ به تنش خشکی است. بنا به اظهار فرناندز (Fernandez, 1992) قابلیت شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A توسط این شاخص بیشتر از سایر شاخص‌ها است.

صبا و همکاران (Saba *et al*., 2001) شاخص‌های MP، GMP و STI را شاخص‌های مؤثرتری نسبت به TOL و SSI به منظور گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کردند. احمدی و باجلان (Ahmadi and Bajelan, 2008) و محمدی و

همکاران (Mohammadi *et al*., 2010) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط عادی و تنش خشکی دریافتند که شاخص‌های MP، GMP و STI مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌باشند.

هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش کمبود آب در مرحله سنبله‌دهی و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به تنش جهت ارزیابی میزان حساسیت و تحمل به خشکی لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم و همچنین شناخت همبستگی‌های موجود بین عملکرد دانه و سایر صفات مورفولوژیکی و نیز مطالعه اثرات مستقیم و غیرمستقیم این اجزا با عملکرد دانه و کسب روابط علت و معلولی بین آنها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در اراضی کرکج، واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز اجرا گردید. ارتفاع این محل از سطح دریا ۱۳۶۰ متر و در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی واقع است. آب و هوای منطقه از نوع نیمه خشک سرد کوهستانی است. میانگین دما در این سال ۱۴ درجه سلسیوس و میانگین بارش ۲۳۲/۶ میلی‌متر گزارش شده است. در این پژوهش تعداد ۷۲ لاین اینبرد نوترکیب گندم نان نسل F_{12} حاصل از تلاقی رقم آمریکاییYecora Rojo (پرمحصول، پاکوتاه و زودرس) به‌عنوان والد پدری و لاین ایرانی ۴۹ .No (پابلند و دیررس) به‌عنوان والد مادری مورد بررسی قرار گرفتند. طرح آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار بود که برای هر یک از شرایط فاقد تنش و واجد تنش با اعمال توزیع تصادفی جداگانه اجرا گردید. عملیات کاشت پس از انجام شخم و دیسک زنی در زمینی به مساحت ۶۵۰ مترمربع انجام شد. در این طرح هر لاین در ۳ ردیف ۲ متری با فاصله ۱۵ سانتی‌متری از هم و به تعداد ۶۷ عدد بذر با فاصله ۳ سانتی‌متر نسبت به هم با تراکم ۲۲۲/۲۲ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۸ اردیبهشت ۱۳۸۸ کاشته شدند. دو تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به ترتیب برای شرایط فاقد تنش و واجد تنش در مرحله سنبله‌دهی اجرا گردید. عملیات داشت مانند وجین و کوددهی در شرایط یکسان انجام گرفت. برای محافظت محصول از خسارت گنجشک کل سطح مزرعه قبل از گلدهی توسط تور پلاستیکی پوشانده شد. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه روی تک بوته‌ها، ۱۰ عدد بوته از هر لاین موجود در هر واحد آزمایش با در نظر گرفتن شرایط رقابتی و به‌صورت تصادفی انتخاب و نشانه‌گذاری شد. صفات مورد اندازه‌گیری در این طرح عبارت بودند از عملکرد دانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و تعداد روز تا ظهور سنبله. برای تعیین ارتباط عملکرد دانه با سایر صفات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. علاوه بر این تجزیه رگرسیون گام به گام به منظور تعیین مؤثرترین صفات روی عملکرد دانه انجام گرفت. در این تجزیه عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و عملکرد کاه، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و تعداد روز تا ظهور سنبله به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. برای تشخیص ماهیت همبستگی‌ها و به منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقلی که درصد بیشتری از تغییرات متغیر وابسته (عملکرد دانه) را تبیین کنند، تجزیه علیت انجام شد. به منظور گروه‌بندی لاین‌ها براساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در رگرسیون گام به گام تجزیه خوشه‌ای با استفاده از

داده‌های استاندارد شده به روش Ward و مقیاس فاصله اقلیدوسی انجام شد. برای تعیین بهترین محل برش از تجزیه تابع تشخیص کانونیک استفاده شد. برخی از شاخص‌های تحمل به تنش زیر برای بررسی تحمل لاین‌ها به تنش خشکی محاسبه گردید.

۱- میانگین حسابی عملکرد (MP):

$$MP = \frac{(Y_P + Y_S)}{۲}$$

۲- شاخص تحمل (TOL) روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambilin, 1981):

$$TOL = Y_P - Y_S$$

۳- شاخص حساسیت به تنش (SSI) فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (\frac{Y_S}{Y_p})}{SI}$$

۴- میانگین هندسی عملکرد (GMP) فرناندز (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$$

۵- شاخص تحمل به تنش (STI) فرناندز (Fernandez, 1992):

$$STI = \left(\frac{Y_P}{\overline{Y}_S}\right)\left(\frac{Y_S}{\overline{Y}_P}\right)\left(\frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P}\right) = \frac{Y_P \times Y_S}{(\overline{Y}_P)^۲}$$

اجزای تشکیل دهنده این شاخص‌ها عبارتند از: Y_S: عملکرد ژنوتیپ موردنظر در شرایط تنش

Y_P: عملکرد ژنوتیپ موردنظر در شرایط عادی

$\overline{Y}_S$: متوسط عملکرد کلیهٔ ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش

$\overline{Y}_P$: متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط عادی

SI: عبارت است از شدت تنش که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SI = ۱ - \frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P}$$

برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم جداول از نرم افزارهای MSTATC، SPSS و EXCEL استفاده گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار برای ۷۲ لاین اینبرد نوترکیب گندم بهاره در دو شرایط عادی و تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی در جدول شماره ۱ ذکر شده است. بین لاین‌ها از نظر کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت که این امر نشان‌گر وجود تنوع ژنتیکی بالا در میان لاین‌ها از لحاظ این صفات است. اختلاف بین شرایط عادی و تنش خشکی برای کلیه صفات به‌جز شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و تعداد روز تا ظهور سنبله معنی‌دار به‌دست آمد. اثر متقابل لاین× شرایط در مورد کلیه صفات مورد ارزیابی غیرمعنی‌دار شد که نشان‌دهنده یکسان بودن اختلاف لاین‌ها در دو شرایط عادی و تنش خشکی است. بنابراین، امکان مقایسه لاین‌ها در مورد کلیه صفات بدون در نظر گرفتن سطوح آبیاری فراهم گردید. در میان صفات مورد مطالعه عملکرد دانه بیشترین میزان ضریب تغییرات را به خود اختصاص داد.

میانگین لاین‌های اینبرد نوترکیب از نظر صفات مورد مطالعه در جدول شماره ۲ آورده شده است. نظر به این‌که در مورد همه صفات اثر متقابل ژنوتیپ در شرایط غیرمعنی‌دار شد، مقایسه لاین‌ها در متوسط شرایط انجام شد. لاین‌های ۱۲۳، ۹۶، ۱۵۵، ۱۲۲ و ۱۴۹ به ترتیب با عملکرد دانه ۲۲۹/۳۶۴، ۲۲۸/۷۷۴، ۲۲۷/۵۳۸، ۲۲۶/۷۸۰ و ۲۲۱/۳۴۸ گرم در مترمربع

بیشترین میزان عملکرد دانه را در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی به خود اختصاص دادند. در عین حال ۲۶ لاین دیگر با لاین‌های مذکور اختلاف معنی‌دار نشان ندادند. در مقابل، لاین‌های ۱۴۰، ۱۴۱، ۹۵، ۱۶۴ و ۱۴۳ به ترتیب با عملکرد دانه ۴۳/۱۷۸، ۶۰/۰۳۱، ۶۰/۹۴۸، ۷۱/۰۵۲ و ۸۸/۴۶۷ گرم در متر مربع جزو نامطلوب‌ترین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه محسوب شدند. بیشترین میزان عملکرد کاه در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی به لاین‌های ۱۱۳، ۴۹ .No ، ۱۱۴، ۱۵۵، ۹۶ و ۱۴۲ به ترتیب به میزان ۵۰۰/۹۸۱، ۴۹۲/۰۳۴، ۴۷۸/۰۱۴، ۴۴۵/۴۹۹، ۴۰۶/۵۴۰ و ۳۹۷/۶۰۸ گرم در مترمربع تعلق داشت. اختلاف ۴ لاین دیگر با لاین‌های مذکور معنی‌دار نشد. ولی لاین‌های ۱۶۴، ۱۳۴، ۹۰، ۱۲۵، ۱۳۶ و ۱۴۱ به ترتیب با مقادیر ۱۴۰/۶۸۵، ۱۴۳/۹۵۶، ۱۷۸/۱۸۶، ۱۹۷/۰۸۹، ۲۱۵/۵۱۹ و ۲۱۸/۵۸۵ گرم در مترمربع کمترین میزان را به خود اختصاص دادند. لاین ۱۳۴ با شاخص برداشت ۵۳/۳۸۵ درصد بیشترین میزان را در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی به خود اختصاص داد. لاین‌های ۱۵۷، ۱۰۵، ۹۴، ۱۶۳ و ۱۱۷ به ترتیب با ۴۹۸/۴۱۸، ۴۹۷/۳۴۵، ۴۹۶/۲۲۱، ۴۶۵/۸۷۹ و ۴۵۸/۷۶۶ عدد بیشترین میزان تعداد سنبله در مترمربع را در متوسط شرایط دارا بودند. در عین حال، ۳۰ لاین دیگر با لاین‌های مذکور اختلاف معنی‌دار نداشتند. بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به لاین‌های ۱۲۸، ۱۶۳، ۹۹، ۱۲۳ و ۱۵۵ به ترتیب با میانگین ۳۳/۷۵۰، ۳۱/۷۵۰، ۳۱/۶۰۰، ۳۰/۵۲۵ و ۳۰/۲۶۴ عدد در متوسط شرایط بود. با وجود این، ۱۵ لاین دیگر با لاین‌های مذکور اختلاف معنی‌دار نداشتند. لاین‌های ۱۰۳ و ۱۲۲ به ترتیب با میانگین وزن هزاردانه ۳۴/۵۲۰ و ۳۲/۰۹۳ گرم در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی دارای میانگین بالا بودند و بنابراین در زمره لاین‌های برتر در رابطه با این صفت قرار گرفتند. این دو لاین با سایر لاین‌ها اختلاف معنی‌دار نشان دادند. بیشترین میزان طول سنبله در شرایط عادی و تنش خشکی به لاین‌های ۱۲۸، ۱۳۸، ۱۲۴، ۱۵۳، ۱۵۵ و ۱۰۳ به میزان ۸/۱۳۵، ۷/۸۷۰، ۷/۵۷۸، ۷/۵۵۷، ۷/۳۰۷ و ۷/۲۷۳ سانتی‌متر تعلق داشت. لاین‌های No.۴۹، ۱۰۳، ۱۵۰، ۹۶ و ۹۲ به ترتیب با ۵۸/۹۴۳، ۵۶/۴۴۵، ۵۳/۷۳۵ و ۵۱/۸۳۳ و ۵۱/۵۶۰ سانتی‌متر به‌عنوان پابلندترین لاین‌ها در شرایط عادی و تنش خشکی شناخته شدند. در مقابل، لاین‌های ۱۲۰، ۹۵، ۱۱۷، ۱۶۲ و ۱۴۱ به ترتیب با ارتفاع بوته ۳۰/۵۳۳، ۳۰/۸۹۵، ۳۱/۸۷۵، ۳۳/۰۶۳ و ۳۳/۶۵۳ سانتی‌متر پاکوتاه‌ترین لاین‌ها بودند. افزون بر این، لاین‌های No.۴۹، ۱۱۴، ۱۴۲، ۱۰۷ و ۱۵۳ به ترتیب با ۶۵/۷۵۰، ۶۴/۲۵۰، ۶۴، ۶۳/۷۵۰ و ۶۳/۵۰۰ روز تا ظهور سنبله به‌عنوان دیررس ترین لاین‌ها در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی و لاین‌های ۱۴۳، ۱۳۷، ۱۳۴، ۱۴۱ و ۱۵۴ به ترتیب با ۴۹/۲۵۰، ۵۰/۷۵۰، ۵۱/۲۵۰، ۵۱/۲۵۰ و ۵۱/۵۰۰ روز تا ظهور سنبله به‌عنوان زودرس‌ترین لاین‌ها شناخته شدند. در مجموع لاین‌های۱۲۳، ۹۶، ۱۵۵ و ۱۲۲ از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع بوته در زمره لاین‌های برتر بودند در حالی‌که لاین‌های ۱۴۰، ۱۴۱، ۹۵ و ۱۶۴ از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله و عملکرد کاه در زمره لاین‌های حساس قرار گرفتند.

میانگین صفات مورد مطالعه در دو شرایط عادی و تنش خشکی در جدول شماره ۳ آمده است. تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه، عملکرد کاه، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه شد. سایر محققان نیز کاهش عملکرد دانه و سایر صفات زراعی را در اثر تنش

خشکی گزارش کردند (Benmoussa and Achouch, 2005; Sanjari Pireivatlou and Yazdansepas, 2008; Hamam, 2008).

ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی در جدول شماره ۴ درج گردیده است. همبستگی عملکرد دانه با عملکرد کاه، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود همه اجزای عملکرد دانه گندم (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه) با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند. مالکی و همکاران (Maleki *et al.*, 2008)، شهریاری و همکاران (Shahryari *et al.*, 2008)، عالیو و فتاهو (Aliu and Fetahu, 2010) و عاید و همکاران (Ayed *et al.*, 2010) همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و وزن هزاردانه دوکویوکو و آکایا (Dokuyucu and Akkaya, 1999)، لیلا و الخطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) و کهریزی و همکاران (Kahrizi *et al.*, 2010) همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع و بن‌عمار (Ben Amar, 1999)، برگال و همکاران (Bergale *et al.*, 2002)، داگوستیو (Dagustu, 2008) و محسن و همکاران (Mohsin *et al.*, 2009) همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله را گزارش کردند. بنابراین، در این پژوهش نیز مانند نتایج محققان فوق تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه نقش تعیین کننده در تبیین عملکرد دانه داشتند.

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه با سایر صفات نشان داد اولین متغیر وارد شده به مدل تعداد دانه در سنبله بود که به تنهایی ۴۶/۳ درصد تغییرات موجود در عملکرد دانه را توجیه کرد. دومین متغیر تعداد سنبله در مترمربع بود که ضریب تبیین مدل را به ۶۳/۸ درصد رساند. وزن هزاردانه سومین متغیری بود که وارد مدل شد. این سه صفت جمعاً ۸۱/۹ درصد تغییرات موجود در عملکرد دانه را تبیین کردند. ضریب تبیین تصحیح شده بالا (۸۱/۹ درصد) کارآیی مدل را نشان داد.

نتایج حاصل از تجزیه علیت عملکرد دانه و صفات وابسته بر اساس تجزیه رگرسیون گام به گام در جدول شماره ۵ آمده است. تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم مثبت (**۰/۶۴۴) را روی عملکرد دانه داشت. اثر مستقیم تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه بر عملکرد دانه تقریباً مشابه بود. بیشترین اثر غیرمستقیم را وزن هزاردانه بر عملکرد دانه از طریق تعداد دانه در سنبله (۰/۱۱۲) داشت. سایر اثرات غیر مستقیم ناچیز بود. دوگان (Dogan, 2009) و خان و همکاران (Khan *et al.*, 2010) اثر مستقیم و مثبت تعداد دانه در سنبله، خان و همکاران (Khan *et al.*, 2003) اثر مستقیم و مثبت وزن هزاردانه و دوکویوکو و آکایا (Dokuyucu and Akkaya, 1999)، برگال و همکاران (Bergale *et al.*, 2002) و گوبراک و همکاران (Guberac *et al.*, 2008) اثر مستقیم و مثبت تعداد سنبله در مترمربع را بر عملکرد دانه گزارش کرده‌اند.

گروه‌بندی لاین‌های اینبرد نوترکیب بر اساس عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه با استفاده از داده‌های استاندارد شده به روش Ward انجام شد (شکل ۱). نتایج تجزیه تابع تشخیص کانونیک برای تعیین بهترین نقطه برش نشان‌دهنده تمایز بیشتر با دو گروه بود. گروه اول شامل ۴۳ لاین بود که والد مادری (No.۴۹) نیز در این گروه قرار گرفت. لاین‌های این گروه از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه دارای درصد

انحراف مثبت از میانگین کل بودند. گروه دوم شامل ۲۹ لاین بود که والد پدری (Yecora Rojo) نیز در این گروه قرار داشت. لاین‌های این گروه از نظر کلیه صفاتی که وارد مدل شدند ارزش پایین‌تر از میانگین کل داشتند.

شاخص‌های تحمل به تنش

مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی لاین‌های اینبرد نوترکیب در جدول شماره ۶ ذکر شده است. لاین‌های ۱۲۳، ۹۶، ۱۵۵، ۱۲۲، ۱۴۹ و ۱۳۸ بالاترین مقادیر MP، GMP و STI را دارا بودند. در مقابل لاین‌های ۱۴۰، ۱۴۱، ۹۵، ۱۶۴، ۱۴۳ و ۱۲۶ از کمترین مقادیر این شاخص‌ها برخوردار شدند. این امر نشان می‌دهد که این سه شاخص در واقع یک جنبه مشترک از تحمل به تنش خشکی را تبیین می‌کنند. همبستگی مثبت و بالا در بین این شاخص‌ها نیز مؤید این نکته است (جدول ۷). سایر محققان نیز ارتباط مثبتی بین این سه شاخص گزارش کرده‌اند (Sio-Se Mardeh *et al*., 2006 ; Maleki *et al*., 2008).

لاین‌های ۱۳۹، ۱۲۱، ۱۴۵، ۱۳۰، ۱۶۵ و ۱۳۲ به ترتیب بالاترین میزان TOL را داشتند. در حالی‌که لاین‌های ۱۴۰، ۱۲۵، ۹۰، ۹۲، ۹۳ و ۱۱۰ به ترتیب کمترین میزان شاخص مذکور را به خود اختصاص دادند. لاین‌های ۱۲۱، ۱۳۰، ۱۰۷، ۱۳۲، ۱۳۹ و ۱۴۵ به ترتیب بیشترین میزان شاخص مذکور را دارا بودند. در مقابل لاین‌های ۱۵۶، ۱۳۸، ۱۱۵، ۱۲۵، ۱۲۳ و ۱۵۵ به ترتیب کمترین میزان شاخص SSI را به خود اختصاص دادند. نتایج متفاوت حاصل از شاخص‌های TOL و SSI با شاخص‌های MP، GMP و STI بیانگر این واقعیت است که این دو گروه از شاخص‌ها جنبه متفاوتی از تحمل به تنش خشکی را به نمایش می‌گذارند. در جدول شماره ۷ همبستگی SSI با GMP، MP و STI غیرمعنی‌دار به‌دست آمد. همبستگی شاخص TOL نیز با این سه شاخص مثبت و معنی‌دار بود. این موضوع نشان می‌دهد که ارقام متحمل‌تر از نظر شاخص‌هایMP، GMP و STI از لحاظ شاخص TOL حساس‌تر محسوب می‌شوند. در عین حال این همبستگی‌ها از ضریب تبیین پایینی برخوردار بودند. با توجه به شاخص‌های MP، GMP و STI لاین‌های ۹۶، ۱۲۲، ۱۲۳، ، ۱۵۵، ۱۳۸ و ۱۴۹ متحمل‌ترین و لاین‌های ۹۵، ۱۲۶، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۳ و ۱۶۴ حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی بودند. همچنین، با توجه به این‌که مقادیر پایین SSI و TOL نشانگر تحمل آن لاین‌ها به تنش خشکی است، از نظر شاخص SSI لاین‌های ۱۱۵، ۱۲۳، ۱۲۵، ۱۳۸، ۱۵۵ و ۱۵۶ به‌عنوان متحمل ترین لاین‌ها محسوب شدند و از نظر شاخص TOL لاین‌های ۹۰، ۹۲، ۹۳، ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۴۰ به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها محسوب گشتند.

همبستگی عملکرد دانه در شرایط عادی (Yp) با کلیه شاخص‌های مورد مطالعه یعنی MP، GMP، STI، TOL و SSI مثبت و معنی‌دار به‌دست آمد. همچنین، همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (Ys) با MP، GMP و STI در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود ولی با SSI منفی و معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۷). عملکرد دانه در شرایط عادی بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با MP (۰/۹۴۱**) و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با GMP (۰/۹۳۵**) نشان داد. همبستگی عملکرد دانه در شرایط عادی (Yp) با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (Ys)، (۰/۶۴۲**) مثبت و معنی‌دار بود. بنا به نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخصی که همبستگی معنی‌دار و بالا با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش داشته باشد به‌عنوان بهترین شاخص انتخاب می‌شود. وجود همبستگی‌های بالای معنی‌دار

و مثبت Yp و Ys با شاخص‌های MP، GMP و STI حاکی از آن است که شاخص‌های مذکور می‌توانند به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در نظر گرفته شوند. سایر محققان نیز کارآیی این شاخص‌ها را در پژوهش‌های خود نشان داده‌اند (Saba *et al*., 2001; Ahmadi and Bajelan, 2008; Maleki *et al*, 2008; Mohammadi *et al*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

لاین‌های ۹۶، ۱۲۲، ۱۲۳ و ۱۵۵ در مقایسه میانگین‌ها از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع بوته در زمره لاین‌های برتر قرار داشتند. افزون براین، لاین‌های مذکور از نظر شاخص‌های MP، GMP و STI از ارزش بالایی برخوردار بوده و در زمره لاین‌های متحمل به تنش خشکی واقع شدند. بنابراین، به طور کلی می‌توان لاین‌های مورد نظر را به‌عنوان لاین‌های برتر از نظر عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی در نظر گرفت. لاین‌های ۹۵، ۱۴۰، ۱۴۱ و ۱۶۴ در مقایسه میانگین‌ها از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله و عملکرد کاه جزو لاین‌های نامطلوب محسوب و همچنین از نظر شاخص‌های MP، GMP و STI جزو لاین‌های حساس به تنش خشکی منظور شدند. در تجزیه رگرسیون گام به گام، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه وارد مدل نهایی شدند. این صفات در مجموع ۸۱/۹ درصد تغییرات موجود در عملکرد دانه را تبیین کردند. همبستگی عملکرد دانه با صفات مذکور مثبت و معنی‌دار بود. این صفات در تجزیه علیت نیز دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار بر عملکرد دانه بودند. با توجه به این‌که سایر محققین نیز در پژوهش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافته‌اند، بنابراین به نظر می‌رسد این صفات می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی به منظور گزینش ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره در شرایط عادی و تنش خشکی

Table 1- Combined analysis of variance of various traits in recombinant inbred lines of spring wheat under normal and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات mean square								
		عملکرد دانه grain yield	عملکرد کاه straw yield	شاخص برداشت harvest index	ارتفاع بوته plant height	طول سنبله spike length	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزاردانه 1000 kernel weight	تعداد روز تا ظهور سنبله days to flowering
شرایط condition	1	473913.585**	869936.548**	1087.878^{ns}	5533.871*	18.600*	560288.747*	1479.861^{ns}	506.336**	483.087^{ns}
تکرار درون شرایط replication within condition	2	1431.450	1986.350	73.663	228.128	0.629	6725.553	88.411	1.799	112.212
لاین line	71	7723.506**	19405.036**	178.140**	158.000**	2.653**	13106.607**	101.066**	43.384**	60.151**
لاین × شرایط line×condition	71	1959.392^{ns}	5916.503^{ns}	17.013^{ns}	59.772^{ns}	0.465^{ns}	6072.839^{ns}	31.447^{ns}	5.867^{ns}	2.411^{ns}
خطا error	142	1547.291	4749.889	35.859	52.664	0.414	4927.192	23.525	4.447	2.592
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		26.02	22.32	18.45	16.86	10.47	19.04	21.98	8.03	2.86

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- میانگین صفات مورد ارزیابی در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی

Table 2- Mean of evaluated traits in recombinant inbred lines of spring wheat under the average normal and drought stress conditions

شماره لاین no. line	عملکرد دانه grain yield (g/m^2)	عملکرد کاه straw yield (g/m^2)	شاخص برداشت harvest index (%)	ارتفاع بوته plant height (cm)	طول سنبله spike length (cm)	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزار دانه 1000 kernel weight (g)	تعداد روز تا ظهور سنبله days to flowering
89	112.778	275.084	28.922	39.600	4.908	415.016	17.675	24.193	53.250
90	98.457	178.186	35.492	35.838	4.953	337.275	15.275	24.283	53.750
91	150.814	289.020	33.751	45.690	6.575	305.251	24.450	28.555	54.250
92	100.586	376.872	21.005	51.560	5.520	346.051	17.352	20.345	61.000
93	114.989	337.842	25.048	41.043	5.603	449.050	17.295	23.310	60.500
94	200.813	356.946	35.843	46.793	5.013	496.221	22.250	24.683	53.250
95	60.948	245.974	18.808	30.895	5.973	322.068	10.550	23.320	59.000
96	228.774	406.540	35.633	51.833	7.198	400.316	27.100	29.920	59.250
97	142.038	302.811	31.006	49.315	5.753	282.914	26.975	26.248	58.750
98	122.764	318.683	27.502	40.853	6.613	318.195	21.275	25.080	61.000
99	176.449	329.246	33.542	37.405	7.088	315.610	31.600	26.965	59.250
101	182.415	312.954	36.911	49.880	7.110	393.792	24.625	25.560	53.250
102	150.384	294.770	33.587	42.930	5.900	381.231	21.450	25.193	56.750
103	209.053	335.185	37.952	56.445	7.273	324.369	25.275	34.520	57.500
104	136.186	267.283	32.822	45.033	5.588	348.570	20.898	28.140	52.750
105	205.223	336.375	37.700	47.878	5.250	497.345	19.636	27.528	52.250
106	166.079	252.226	39.069	47.758	6.143	353.012	20.234	29.078	54.000
107	125.931	331.060	25.993	44.348	6.863	286.074	20.875	27.540	63.750
108	169.415	351.759	32.043	50.203	6.568	354.890	22.300	28.135	59.500
109	196.490	331.371	36.484	37.220	6.693	361.341	28.575	25.448	60.250
110	106.087	248.184	29.523	40.930	4.785	442.448	14.625	27.030	53.000
111	155.695	326.524	32.246	48.650	7.080	343.532	25.175	24.613	58.750
112	135.968	281.352	32.403	39.560	6.410	289.202	24.775	29.490	56.500
113	107.134	500.981	17.151	47.628	6.755	380.745	18.500	18.423	58.250
114	135.328	478.014	22.196	49.688	6.500	384.324	20.400	27.358	64.250
115	150.767	379.975	28.350	43.310	6.495	443.245	19.025	28.635	58.250
116	173.910	341.830	34.375	48.548	6.090	414.824	23.550	28.635	51.500
117	171.327	268.048	38.455	31.875	5.463	458.766	19.425	25.078	53.750
119	133.176	241.838	34.833	34.503	5.395	401.304	17.325	25.690	54.500
120	106.770	229.967	35.011	30.533	5.488	362.300	22.675	20.625	56.250
121	149.476	323.959	27.940	42.423	6.880	249.248	21.325	30.603	62.500
122	226.780	349.799	39.044	46.770	6.688	393.832	26.750	32.093	58.250
123	229.364	320.608	42.203	49.123	6.860	387.143	30.525	28.848	58.000
124	174.044	396.758	30.403	49.663	7.578	366.838	29.400	26.568	58.250
125	105.594	197.089	35.039	36.265	5.175	321.329	18.425	25.525	54.250
126	93.884	242.673	26.812	34.753	5.120	303.872	15.300	27.803	52.000
LSD	72.62	127.2	11.06	13.40	1.188	129.6	8.954	3.893	2.972

ادامه‌ی جدول ۲

Table 2- Cont.

شماره لاین no. line	عملکرد دانه grain yield (g/m^2)	عملکرد کاه straw yield (g/m^2)	شاخص برداشت harvest index (%)	ارتفاع بوته plant height (cm)	طول سنبله spike length (cm)	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزار دانه 1000 kernel weight (g)	تعداد روز تا ظهور سنبله days to flowering
127	104.129	333.638	22.804	41.168	6.483	275.636	17.975	30.470	62.500
128	188.530	328.261	36.211	49.693	8.135	325.501	33.750	27.595	60.750
129	121.863	257.412	31.832	42.305	6.115	376.372	23.341	20.690	57.250
130	139.156	230.305	35.398	35.090	5.190	314.285	16.125	25.858	52.000
131	195.876	310.397	38.525	43.555	6.180	405.931	22.825	28.420	52.750
132	146.230	329.559	28.546	43.305	6.665	325.356	27.525	26.090	55.250
133	160.294	286.298	35.512	46.153	5.548	331.021	24.377	25.003	57.000
134	117.309	143.956	53.385	41.033	5.643	292.449	20.172	25.023	51.250
136	149.051	215.519	40.358	41.238	5.290	394.226	23.000	23.608	52.000
137	155.470	255.433	37.407	41.050	4.825	385.758	21.700	21.928	50.750
138	219.363	327.935	40.110	49.913	7.871	312.052	28.077	28.815	52.500
139	211.052	340.422	37.890	39.038	6.380	418.770	22.375	27.373	56.000
140	43.178	234.590	15.570	34.283	5.398	354.292	15.300	16.243	55.000
141	60.031	218.585	21.097	33.653	4.745	372.434	9.950	29.303	51.250
142	121.760	397.608	23.372	45.633	6.433	400.542	21.975	23.783	64.000
143	88.467	272.672	24.061	50.265	5.763	328.766	10.900	30.200	49.250
145	202.647	335.914	36.760	35.560	5.285	452.847	22.175	25.615	51.750
146	188.980	344.268	34.733	42.720	5.663	384.496	19.000	29.118	57.000
147	101.617	298.778	24.784	36.665	6.845	415.146	17.800	22.300	53.500
149	221.348	305.949	41.628	43.615	6.528	428.996	26.425	28.410	58.500
150	124.973	354.943	26.167	53.735	6.808	358.213	21.425	24.393	55.000
152	194.900	309.776	39.066	39.838	6.173	386.027	26.125	25.640	59.000
153	144.107	376.554	27.962	37.653	7.558	338.743	28.450	27.258	63.500
154	125.702	241.986	32.884	41.410	5.243	306.857	19.875	27.773	51.500
155	227.538	445.499	33.412	49.670	7.308	424.180	30.264	29.823	58.000
156	199.384	318.918	38.624	42.393	5.958	420.866	22.150	29.193	53.750
157	194.568	279.721	40.618	38.973	5.413	498.418	15.900	29.750	51.750
158	145.804	344.554	28.682	48.653	6.755	382.795	21.981	29.083	58.500
159	163.372	280.801	36.717	42.768	6.328	313.255	26.800	26.435	54.500
160	167.159	300.789	34.654	48.185	6.445	291.771	27.175	26.605	61.250
162	165.304	276.516	37.009	33.063	5.439	438.384	21.275	27.693	52.500
163	185.227	356.805	33.707	47.263	6.320	465.879	31.750	19.423	54.500
164	71.052	140.685	35.367	34.968	4.775	335.646	17.075	18.458	51.750
165	165.369	339.577	31.000	42.625	6.043	426.825	20.575	25.593	56.250
Yecora Rojo	129.444	243.575	33.858	36.383	6.538	305.648	23.525	25.138	55.000
No. 49	140.436	492.034	21.893	58.943	7.140	328.716	27.173	27.558	65.750
LSD	72.62	127.2	11.06	13.40	1.188	129.6	8.954	3.893	2.972

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای آن در شرایط عادی و تنش خشکی

Table 3- Mean comparison of grain yield and its components under normal and drought stress conditions

شرایط condition	عملکرد دانه grain yield (g/m^2)	عملکرد کاه straw yield (g/m^2)	شاخص برداشت harvest index (%)	ارتفاع بوته plant height (cm)	طول سنبله spike length (cm)	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزاردانه 1000 kernel weight (g)	تعداد روز تا ظهور سنبله days to flowering
عادی normal	191.768 a	363.683 a	34.398 a	47.428 a	6.401 a	412.838 a	24.338 a	27.586 a	57.604 a
تنش خشکی drought stress	110.637 b	253.762 b	30.511 a	38.661 b	5.893 b	324.624 b	19.805 a	24.934 b	55.014 a

حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون F می‌باشد.

Means followed by different letters in each column indicate significant difference, using F test.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی

Table 4- Correlation coefficient between grain yield and study traits in recombinant inbred lines of spring wheat under the average normal and drought stress conditions

صفت trait	عملکرد دانه grain yield (g/m^2)	عملکرد کاه straw yield (g/m^2)	شاخص برداشت harvest index (%)	ارتفاع بوته plant height (cm)	طول سنبله spike length (cm)	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزاردانه 1000 kernel weight (g)
عملکرد کاه straw yield	0.407^{**}							
شاخص برداشت harvest index	0.648^{**}	-0.347^{**}						
ارتفاع بوته plant height	0.404^{**}	0.625^{**}	-0.020^{ns}					
طول سنبله spike length	0.421^{**}	0.609^{**}	-0.046^{ns}	0.532^{**}				
تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	0.373^{**}	0.221^{ns}	0.177^{ns}	-0.039^{ns}	-0.250^{*}			
تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	0.686^{**}	0.417^{**}	0.393^{**}	0.441^{**}	0.681^{**}	-0.070^{ns}		
وزن هزاردانه 1000 kernel weight	0.497^{**}	0.190^{ns}	0.276^{*}	0.317^{**}	0.319^{**}	-0.099^{ns}	0.174^{ns}	
تعداد روز تا ظهور سنبله days to flowering	0.058^{ns}	0.612^{**}	-0.393^{**}	0.317^{**}	0.581^{**}	-0.267^{*}	0.360^{**}	0.077^{ns}

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and ** : Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

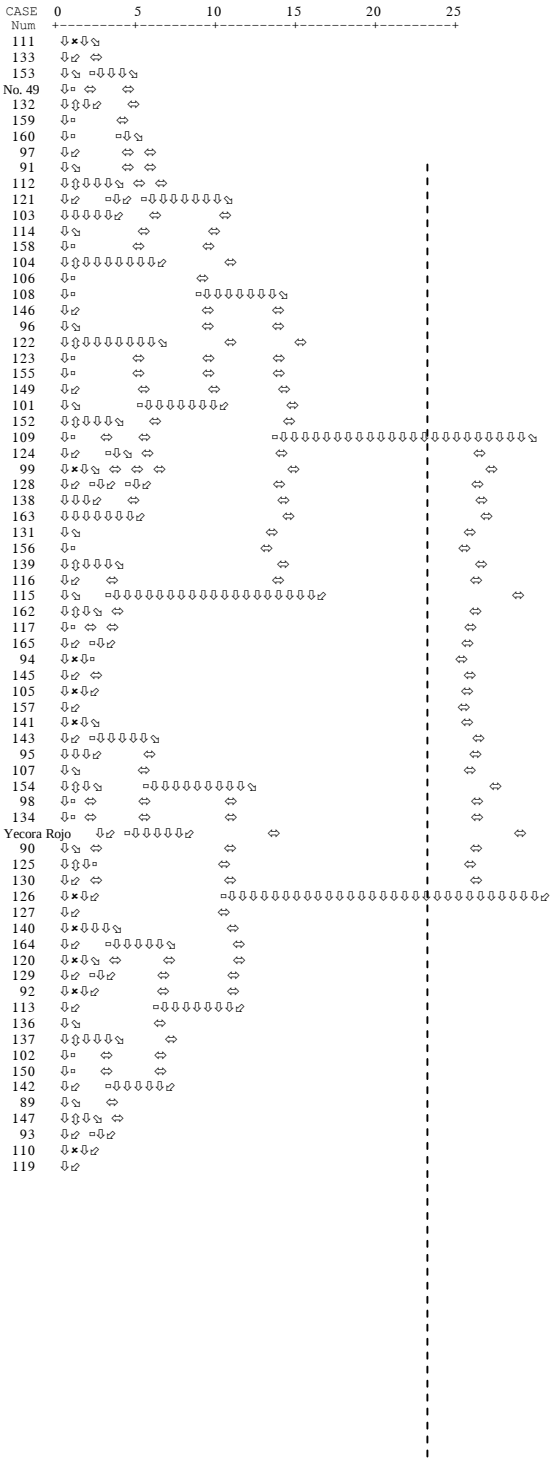
جدول ۵- تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره در متوسط شرایط عادی و تنش خشکی

Table 5- Path analysis of grain yield with related traits in recombinant inbred lines of spring wheat under the average normal and drought stress conditions

صفات وارد شده به مدل variables added to the model	اثر مستقیم direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via			ضریب همبستگی با عملکرد دانه correlation coefficient with grain yield
		تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	وزن هزاردانه 1000 kernel weight	
تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	0.644**	-	-0.032	0.075	0.686**
تعداد سنبله در مترمربع number of spikes/m^2	0.460**	-0.045	-	-0.043	0.373**
وزن هزاردانه 1000 kernel weight	0.431**	0.112	-0.046	-	0.497**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : Significant at 1% probability level.



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در رگرسیون گام به گام به روش Ward

Figure 1- Cluster dendrogram of grain yield and related traits based on stepwise regression with using Ward method

جدول ۶- برآورد شاخص‌های تحمل به تنش لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم بهاره در شرایط عادی و تنش خشکی

Table 6- Estimation of drought tolerance indices in spring wheat recombinant inbred lines in normal and drought stress conditions

شماره لاین No. line	Yp	Ys	MP	GMP	STI	TOL	SSI
89	131.273	94.284	112.778	111.251	0.337	36.989	0.535
90	113.222	83.693	98.457	97.344	0.258	29.529	0.481
91	186.560	115.068	150.814	146.517	0.584	71.492	0.847
92	116.648	84.525	100.586	99.295	0.268	32.123	0.518
93	131.858	98.121	114.989	113.745	0.352	33.737	0.469
94	232.204	169.422	200.813	198.344	1.070	62.783	0.505
95	86.941	34.954	60.948	55.127	0.083	51.987	2.028
96	300.738	156.810	228.774	217.161	1.282	143.928	1.252
97	187.307	96.768	142.038	134.630	0.493	90.540	1.276
98	145.838	99.690	122.764	120.576	0.395	46.147	0.631
99	246.853	106.046	176.449	161.795	0.712	140.807	1.811
101	208.678	156.152	182.415	180.515	0.886	52.526	0.459
102	182.234	118.533	150.384	146.972	0.587	63.701	0.733
103	279.067	139.039	209.053	196.980	1.055	140.028	1.373
104	180.792	91.579	136.186	128.673	0.450	89.213	1.328
105	277.392	133.054	205.223	192.115	1.004	144.337	1.479
106	205.236	126.922	166.079	161.397	0.708	78.315	0.841
107	192.035	59.827	125.931	107.187	0.312	132.208	3.014
108	234.485	104.346	169.415	156.421	0.665	130.140	1.701
109	237.746	155.235	196.490	192.110	1.004	82.511	0.725
110	123.319	88.855	106.087	104.678	0.298	34.464	0.529
111	183.589	127.801	155.695	153.176	0.638	55.788	0.595
112	162.953	108.983	135.968	133.263	0.483	53.970	0.675
113	136.767	77.500	107.134	102.954	0.288	59.267	1.043
114	167.059	103.596	135.328	131.555	0.471	63.462	0.835
115	170.449	131.086	150.767	149.477	0.608	39.363	0.409
116	211.141	136.679	173.910	169.878	0.785	74.462	0.743
117	206.629	136.025	171.327	167.651	0.764	70.603	0.708
119	168.151	98.202	133.176	128.502	0.449	69.950	0.971
120	139.158	74.382	106.770	101.739	0.281	64.776	1.188
121	251.046	47.905	149.476	109.665	0.327	203.141	5.783
122	284.440	169.121	226.780	219.328	1.308	115.318	0.930
123	261.528	197.200	229.364	227.097	1.402	64.328	0.445
124	206.797	141.291	174.044	170.935	0.795	65.506	0.632
125	120.179	91.009	105.594	104.582	0.297	29.170	0.437
126	132.340	55.428	93.884	85.647	0.199	76.912	1.892

ادامه‌ی جدول ۶

Table 6- Cont.

شماره لاین no. line	Yp	Ys	MP	GMP	STI	TOL	SSI
127	139.035	69.223	104.129	98.104	0.262	69.813	1.375
128	216.446	160.615	188.530	186.452	0.945	55.832	0.474
129	143.935	99.790	121.863	119.847	0.391	44.145	0.603
130	226.460	51.852	139.156	108.362	0.319	174.608	4.592
131	227.347	164.404	195.876	193.331	1.016	62.944	0.522
132	221.702	70.758	146.230	125.248	0.427	150.944	2.909
133	200.245	120.343	160.294	155.236	0.655	79.901	0.905
134	157.841	76.778	117.309	110.085	0.330	81.063	1.440
136	186.804	111.298	149.051	144.191	0.565	75.506	0.925
137	198.275	112.666	155.470	149.462	0.607	85.609	1.036
138	243.611	195.114	219.363	218.018	1.293	48.497	0.339
139	318.741	103.363	211.052	181.511	0.896	215.377	2.842
140	52.840	33.516	43.178	42.083	0.048	19.324	0.786
141	77.739	42.323	60.031	57.360	0.089	35.416	1.141
142	141.477	102.044	121.760	120.153	0.393	39.434	0.527
143	112.394	64.541	88.467	85.171	0.197	47.853	1.011
145	303.075	102.219	202.647	176.011	0.842	200.856	2.680
146	257.630	120.329	188.980	176.069	0.843	137.301	1.556
147	132.526	70.708	101.617	96.802	0.255	61.817	1.192
149	261.583	181.113	221.348	217.661	1.288	80.469	0.606
150	147.137	102.808	124.973	122.991	0.411	44.328	0.588
152	244.687	145.112	194.900	188.433	0.966	99.574	0.936
153	181.795	106.420	144.107	139.092	0.526	75.375	0.966
154	159.002	92.403	125.702	121.211	0.400	66.599	0.983
155	259.909	195.167	227.538	225.223	1.379	64.742	0.452
156	220.652	178.115	199.384	198.246	1.069	42.537	0.326
157	260.377	128.759	194.568	183.101	0.912	131.618	1.394
158	202.142	89.467	145.804	134.481	0.492	112.674	1.717
159	197.387	129.357	163.372	159.792	0.694	68.030	0.717
160	227.186	107.131	167.159	156.009	0.662	120.055	1.528
162	201.705	128.904	165.304	161.247	0.707	72.801	0.770
163	218.103	152.351	185.227	182.286	0.904	65.752	0.589
164	88.778	53.325	71.052	68.805	0.129	35.452	0.907
165	244.595	86.144	165.369	145.156	0.573	158.451	2.508
Yecora Rojo	154.698	104.190	129.444	126.956	0.438	50.508	0.661
No. 49	176.766	104.105	140.436	135.655	0.500	72.662	0.952

جدول ۷- همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به تنش و عملکرد دانه در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی

Table 7- Correlation between different drought tolerance indices and grain yield under normal and drought stress conditions

	Yp	Ys	MP	GMP	STI	TOL
Ys	0.642**					
MP	0.941**	0.864**				
GMP	0.870**	0.935**	0.985**			
STI	0.839**	0.933**	0.964**	0.984**		
TOL	0.740**	-0.040	0.468**	0.312**	0.275*	
SSI	0.286*	-0.484**	-0.026 ns	-0.196 ns	-0.210 ns	0.797**

ns ، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and ** : Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H. and B. Bajelan. 2008. Heritability of drought tolerance in wheat. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sci.* 3: 632-635.
- Akram, Z., S.U. Ajmal and M. Munir. 2008. Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 40: 1777-1781.
- Aliu, S. and S. Fetahu. 2010. Determination on genetic variation for morphological traits and yield components of new winter wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Notulae Scientia Biologicae*. 2: 121-124.
- Anonymous. 2005. Wheat outlook. Int. Grain Conucil., Washington D.C. http://www.wheatoutlook.com.
- Attarbashi, M.R., S. Galeshi, A. Soltani, and E. Zinali. 2002. Relationship of phenology and physiological traits with grain yield in wheat under rainfed conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 33(1): 21-28. (in Persian).
- Ayed, S., C. Karmous, Y. Trifa, O. Slama-Ayed, and H. Slim-Amara. 2010. Phenotypic diversity of Tunisian durum wheat landraces. *African Crop Science Journal*. 18: 35-42.
- Ben Amar, F. 1999. Genetic advances in grain yield of durum wheat under low rainfall conditions. *Plant Genetics and Breeding*. 18: 31-33.

- Benmoussa, M. and A. Achouch. 2005. Effect of water stress on yield and its composants of some cereals in Algeria. *Journal of Central European Agriculture*. 6: 427-434.
- Bergale, S., M. Billore, A. S. Holkar, K.N. Ruwali, and S.V. Prasad. 2002. Pattern of variability, character association and path analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Science Digest*. 22: 258-260.
- Bohnert, H.J. and R.A. Bressan. 2001. Abiotic stresses, plant reactions, and new approaches towards understanding stress tolerance. *Crop Science*. 6: 81-100.
- Dagustu, N. 2008. Genetic analysis of grain yield per spike and some agronomic traits in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32: 249-258.
- Dogan, R. 2009. The correlation and path coefficient analysis for yield and some yield components of durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum* L.) in west Anatolia conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 41: 1081-1089.
- Dokuyucu, T. and A. Akkaya. 1999. Path coefficient analysis and correlation of grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *RACHIS Newsletter*. 18: 17-20.
- Donaldson, E., W.F. Schillinger, and S.M. Dofing. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat. *Crop Science*. 41: 100-106.
- Emam, Y. 2007. Cereal production. *Shiraz University Press*. (in Persian).
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of Symposium. Aug 13-18, Taiwan, 257-270.
- Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought response in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29: 897-912.
- Guberac, V., S. Maric, G. Drezner, S. Petrovic, K. Dvojkovic, and V. Brandic. 2008. Interrelationships of important agronomic traits and kernel yield in winter wheat. 11th International Wheat Genetic Symposium. 24 - 29 August. Brisbane. Australia.
- Hamam, K.A. 2008. Increasing yield potential of promising bread wheat lines under drought stress. *Journal of Agricultural and Biological Science.* 4: 842-860.
- Iqbal, M., K. Ahmed, I. Ahmed, M. Sadiq, and M.Y. Ashraf. 1999. Yield and yield components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) as influenced by water stress at various growth stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 2: 1438-1440.
- Johnston, A.M., and D.E. Fowler. 1992. Response of no-till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. *Canadian Journal of Plant Science.* 72: 1075-1089.
- Kahrizi, D., M. Maniee, R. Mohammadi and K. Cheghamirza. 2010. Estimation of genetic parameters related to morpho-agronomic traits of durum wheat (*Triticum turgidum* var. durum.). *Biharean Biologist*. 4: 93-97.
- Khan, A.J., F. Azam, and A. Ali. 2010. Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 42: 259-267.

- Khan, M.U., M.A. Chowdhry, I. Khaliq, and R. Ahmad. 2003. Morphologcal response of various genotypes to drought conditions. *Asian Journal of Plant Science*. 2: 392-394.
- Leilah, A.A. and S.A. Al-Khateeb. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments*. 61: 483-496.
- Maleki, A., F. Babaei, H. Cheharsooghi, J. Ahmadi, and A. Asadi Dizaji. 2008. The study of seed yield stability and drought tolerance indices of bread wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. *Research Journal of Biological Sciences*. 3: 841-844.
- Mohammadi, A., E. Majidi, M.R. Bihamta, and H. Heidari Sharifabad. 2006. Evaluation of drought stress on agro - morphological characteristics in some wheat cultivars. *Pajouhesh and Sazandegi*. 73: 184-192. (in Persian).
- Mohammadi, R., M. Armion, D. Kahrizi, and A. Amri. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production.* 4: 1735-8043.
- Mohsin, T.M., N. Khan, and F.N. Naqvi. 2009. Heritability, phenotypic correlation and path coefficient studies for some agronomic characters in synthetic elite lines of wheat. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7: 278-282.
- Nouri-Ganbalani, A., G. Nouri-Ganbalani, and D. Hassanpanah. 2009. Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 7: 228-234.
- Rosielle, A.A. and J. Hambilin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 21: 943-946.
- Saba, J., M. Moghaddam, K. Ghassemi, and M.R. Nishabouri. 2001. Genetic properties of drought resistance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 3: 43-49.
- Sangtarash, M.H. 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 13: 114-119.
- Sanjari Pireivatlou, A. and A. Yazdansepas. 2008. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under pre- and post-anthesis drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology.* 10: 109-121.
- Shahryari, R., E. Gurbanov, A. Gadimov and D. Hassanpanah. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. *Pakistan Journal of Biological Science*. 11: 1330-1335.
- Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research.* 98: 222-229.

Evaluation of Spring Wheat Recombinant Inbred Lines under Drought Stress

Moghaddaszadeh-Ahrabi, M.[1]*, M. Moghaddam Vahed[2], S. Aharizad[3], and S.A. Mohammadi[2]

Abstract

Iran is one of arid and semi-arid regions of the world. Wheat as a strategic agricultural products faces water deficiency in most areas of the country. Therefore, identification of the resistant varieties to drought stress is one of main aims for breeders. To assess effect of drought stress at heading on 72 spring wheat recombinant inbred lines derived from American Yecora Rojo (high yielder, dwarf and early maturity) as paternal parent and Iranian No. 49 line (tall and late maturiting) as maternal parent cross were studied. The experiment was conducted at the Research Station of the University of Tabriz using a randomized complete block design with two replications during 2009 growing season. Based on the results from combined analysis of variance significant difference was observed among lines for all of traits studied, except for harvest index, grain number per spike and days to heading. There was significant difference between normal and drought stress conditions. Since the interaction between line and conditions was insignificant for all traits, it does therefore, provide the possibility of comparing the lines without regard to irrigation levels. Based on the means of, the traits it was found that the lines 96, 122, 123 and 155 were superior. MP, GMP and STI indices were recognized to be suitable indices to identify superior lines. With respect to these indices, lines 96, 122, 123, 138, 149 and 155 were found superior as compared with remaining lines. Based on stepwise regression analysis of grain yield with other traits, respectively grain number per spike, number of spikes/m^2 and 1000 kernel weight were inserted into final model as effective variables on grain yield, which made 81/9 percent of the grain yield variation. Path analysis of grain yield and related traits, based on stepwise regression, demonstrated the significant positive direct effect for grain number per spike, number of spikes/m^2 and 1000 kernel weight on grain yield. Cluster analysis, also showed that, lines under study were grouped into two clusters; superior lines for studied traits assigned to group one.

Keyword: Agronomic traits, Drought stress, Drought tolerance indices, Grain yield, Spring wheat recombinant inbred lines, Stepwise regression.

1- Former MSc. Student of Plant Breeding, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof. Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3– Associate Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
***Corresponding Author**: moghaddaszadehm@yahoo.com*