نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۹۹
۱۰۷-۱۱۸
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2021.17900.2317

ارزیابی هتروزیس و وراثت‌پذیری عملکرد و اجزای عملکرد در گندم نان، گندم دوروم و تریتیکاله

حامد علی‌پور کندری[۱] و احمد ارزانی[۲*]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
[۲]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش:۹۹/۰۷/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به نیاز روزافزون به مواد غذایی به لحاظ افزایش جمعیت و محدود بودن زمین‌های قابل کشت، نقش افزایش تولید از طریق اصلاح‌نباتات بدیهی است. گندم (*Triticum* spp.) به دلیل سازگاری به محیط‌های گوناگون به عنوان یک منبع مهم مواد غذایی در جهان شناخته می‌شود. تریتیکاله (*X. Triticosecale* Witmack) با سازگاری بالا به شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده قادر به تولید حتی در خاک‌های ضعیف و کم نهاده است. هتروزیس پدیده طبیعی است که وابسته به ماهیت گونه و تنوع ژنتیکی والدین بوده و به افزایش بنیه هیبرید نسبت به والدین اطلاق می‌شود، که می‌توان با بهره‌برداری از آن تولید محصول را افزایش داد. از آنجایی که استفاده از هتروزیس با ایجاد ارقام هیبرید یکی از راه‌کارهای امید بخش برای افزایش عملکرد گندم است، امکان بهره‌برداری از ظرفیت هیبرید گندم برای تامین پایدار غذایی بشر افزایش یافته است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف برآورد هتروزیس و همچنین، ارزیابی ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی و برآورد وراثت پذیری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: جمعا ۷۹ ژنوتیپ مشتمل بر ۱۹ ژنوتیپ گندم نان، ۳ ژنوتیپ گندم دوروم، ٤ ژنوتیپ تریتیکاله به همراه ۵۳ هیبرید F_1 حاصل از تلاقی آن‌ها در این مطالعه استفاده شد. صفات مورفولوژیک به همراه عملکرد و اجزای عملکرد شامل ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته اندازه‌گیری شد. برآورد هتروزیس در هیبریدهای مورد مطالعه بر اساس میانگین والدین و والد برتر محاسبه شد. پس از انجام تجزیه واریانس برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی، ضریب تغییرات ژنتیکی و وراثت پذیری عمومی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری را میان ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی نشان داد. میانگین مربعات والدها در برابر هیبریدها برای تمام صفات معنی‌دار بود، که نشان از بروز هتروزیس در صفات مورد مطالعه بوده است. هیبرید حاصل از تلاقی Long spike 2×Sirvan دارای کم‌ترین میزان هتروزیس برای ارتفاع بوته نسبت به میانگین والدین و والد برتر بود. بیش‌ترین میزان هتروزیس از نظر صفت عملکرد دانه در بوته، به هیبرید حاصل از تلاقی Long spike 5×Roshan تعلق داشت. برآورد هتروزیس نسبت به میانگین والدین برای عملکرد دانه دامنه‌ای بین ۲۵/۳٤ و ۲٤/۹٦- داشت که نشان‌دهنده تنوع بالای والدین در ایجاد ۵۳ هیبرید مورد مطالعه بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به تنوع مشاهده شده در این پژوهش که نشان‌دهنده وجود هتروزیس در صفات مورد مطالعه است و همچنین، وراثت‌پذیری بالا در صفات می‌توان به راه‌کارهای ایجاد هیبرید و یا روش‌های مبتنی بر انتخاب و بهره‌برداری از تنوع موجود برای پیشرفت نسل‌های در حال تفکیک در راستای ایجاد ارقام جدید اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: تریتیکاله، تنوع، گندم، هتروزیس، وراثت‌پذیری.

*مسئول مکاتبه: a_arzani@iut.ac.ir

مقدمه

جمعیت جهان در حال افزایش است به طوری که براساس برآوردها تا سال ۲۰۵۰ به دو برابر مواد غذایی کنونی در جهان نیاز است (۱، ۱۵، ۳۰). این در حالی است که زمین‌های قابل کشت محدود بوده و بنابراین، نقش افزایش تولید از طریق اصلاح نباتات به ویژه روش‌های نوین حائز اهمیت است (۲۹). از طرفی هتروزیس به‌عنوان راه‌کاری امید بخش برای افزایش عملکرد گندم است، امکان بهره‌برداری از ظرفیت هیبرید گندم برای تامین پایدار غذایی بشر افزایش یافته است (۳، ۸، ۲۵). اگرچه تاریخچه بسیار طولانی برای ایجاد هیبرید در غلات خودگشن وجود دارد، اما موفقیت اندکی در تجاری‌سازی ارقام هیبرید در آن‌ها صورت گرفته است (۲۵). با این وجود لونگین و همکاران (۲۰۱۲) تلاش‌های اصلاحی در ایجاد هیبرید در گندم، جو و تریتیکاله را مرور کرده و به این نتیجه دست یافته‌اند که ابزارهای اصلاحی در تجاری‌سازی غلات ذکر شده فراهم شده است (۲۵). در حالی‌که هیبرید برنج پیشگام در تجاری‌سازی بوده و به‌ویژه در چین در سطح وسیع کشت می‌شود. در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، گندم (*Triticum* spp.) دارای مزایای سازگاری، ویژگی‌های فیزیولوژیک متنوع واکنش به طول روز و نیاز بهاره‌سازی، پروتئین دانه به نام گلوتن که نان ورآمده تولید می‌کند (۵، ۳۳، ۳۵). کشت و کار گندم نان در عرض جغرافیایی مختلف در جهان به همراه ویژگی منحصر به‌فرد گلوتن آن را به عنوان یک منبع غذایی مهم در سراسر جهان تبدیل نموده است. علاوه بر این خواص منحصر به‌فرد خمیر آرد گندم، امکان تولید مختلف متنوع نظیر انواع نان، کیک، ماکارونی، کوکی و بیسکوییت را فراهم ساخته است (۳۳). گندم‌های زراعی از نظر سطح پلوئیدی شامل سه گروه پلوئیدی هگزاپلوئید مانند گندم معمولی و اسپلت، تتراپلوئید مانند گندم‌های دوروم و ایمر و دیپلوئید مانند اینکورن می‌باشند (۵). در این میان تریتیکاله (*X. Triticosecale* Witmack) به‌عنوان گیاهی با سازگاری بالا به شرایط آب و هوایی که قادر به تولید سطح بالایی از عملکرد حتی در شرایط با خاک ضعیف و مصرف نهاده‌های کمتر شناخته می‌شود (۲۱).

هتروزیس پدیده‌ای طبیعی است که وابسته به تنوع ژنتیکی بوده و به افزایش بنیه هیبرید نسبت به والدین آن‌ها اطلاق می‌شود (۲۵، ۳٤). هتروزیس در گیاهان بسیار متداول و به‌ویژه در گیاهان دگرگشن بسیار بالا است و بسته به نوع گیاه زراعی افزایش عملکرد در دامنه‌ای بین ۵۰-۱۰ درصد در گیاهان خودگشن را موجب می‌شود (۱، ۹). در حال حاضر تعدادی از گیاهان زراعی، سبزیجات و گل‌ها به‌منظور بهره‌برداری از بنیه هیبرید در افزایش تولید، ارقام تجاری هیبرید رایج‌ترین نوع ارقام مورد کشت است (۷). اولین بار هتروزیس برای عملکرد دانه در گندم در سال ۱۹۲۰ میلادی گزارش شد (۱۱) و از آن زمان در برخی از کشورها از آن در ارقام تجاری هیبرید گندم به طور محدود استفاده شده است (۱۱). هتروزیس در درجه اول تحت تأثیر تنوع ژنتیکی والدین قرار دارد (۱٦). به دلیل اهمیت اقتصادی هتروزیس، پژوهش‌گران با آشنایی با ژنتیک کمی، فیزیولوژیک و روش‌های مولکولی تلاش‌هایی برای درک مبانی هتروزیس انجام داده‌اند. در سال‌های اخیر با در دسترس قرار گرفتن ابزارهای ژنومی جزئیات بیشتری از ارتباط هتروزیس، اختلاف بین والدین و هیبریدها به‌دست آمده است (۷، ۳۱).

اخیرا تلاش‌های زیادی برای بررسی ظرفیت گندم نان (*T. aestivum* L.) در اصلاح هیبرید انجام گرفته است (۱، ۳، ۸). ضمن اینکه مطالعات زیادی در زمینه برآورد هتروزیس در گندم اجرا شده است. در این

مطالعه سعی بر این بوده است تا از استفاده از گزارش‌های قدیمی مرتبط با هتروزیس در گندم اجتناب کند. گودا و همکاران (۲۰۱۰) در گندم دوروم، برآورد هتروزیس بر اساس میانگین والدین معادل ۱۰ درصد را گزارش کرده اند (۱۷). آکل و همکاران (۲۰۱۹) در گندم نان، میزان هتروزیس را با استفاده از ۳۳ هیبرید حاصل از ۲٤ والد را برآورد کردند که برای میانگین کل عملکرد دانه محاسبه شده برای ۳۳ هیبرید براساس میانگین والدین ۵/۸ و نسبت به والد برتر ۲/۰۲ گزارش کردند (۳). همچنین، کوخار و همکاران (۲۰۱۹) برای تمامی F_1های مورد بررسی، هتروزیس مثبت نسبت به هر دو میانگین والدین و والد برتر گزارش کردند (۲۲). این در حالی است که اخیرا ادهیکاری و همکاران (۲۰۲۰) با اجرای برنامه تلاقی دای‌آلل ۲۵ در ۲۵، تعداد زیادی هیبرید F_1 را در یک آزمایش مقایسه عملکرد با طرح آگمنت (بدون تکرار) مورد ارزیابی قرار دادند (۱). آن‌ها برآورد هتروزیس نسبت به والد برتر را در دامنه‌ای بسیار گسترده از ۷۰-٥٤ درصد مشاهده کردند.

یکی از مهم‌ترین اقدامات پیش از شروع برنامه اصلاحی اطلاع از وراثت پذیری و تنوع ژنتیکی مورد بررسی می‌باشد (۱۰). تنوع ژنتیکی از اهمیت زیادی در پیشرفت اهداف به‌نژادی گیاهانی نظیر گندم برخوردار است (۲، ۹). ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی در روشن‌تر شدن درک درست از تنوع موجود در مواد ژنتیکی مورد بررسی کمک می‌کنند. وراثت‌پذیری بالا معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در نسل های اولیه فراهم می کند (۲۷، ۲۸). ابراهیم و همکاران (۲۰۲۰) در گندم دوروم ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی را به ترتیب برای عملکرد دانه در بوته ۱۵/۰٤ و ۱٤/۸۷ درصد گزارش کردند (۲۰). نیزامانی و همکارن (۲۰۲۰) در مطالعه خود بیان داشتند که صفات مورد مطالعه آن‌ها دارای وراثت پذیری و تنوع ژنتیکی بالایی بوده است (۲۸). بنابراین، انتخاب مستقیم نتاج نتیجه مطلوبی را در پی خواهد داشت (۲۸).

اگرچه مطالعات زیادی در زمینه هتروزیس در گندم اجرا شده است، ولی اغلب مطالعات با تعداد اندک والد (یا هیبرید) و یا در شرایط کنترل شده اجرا شده است. این پژوهش با هدف برآورد هتروزیس در ۵۳ هیبرید F_1 در شرایط مزرعه و همچنین، ارزیابی ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی، برآورد وراثت‌پذیری عملکرد و اجزای عملکرد اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ٤۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع در منطقه لورک شهرستان نجف‌آباد، در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه اجرا گردید. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱٦۳۰ متر می‌باشد و بر اساس تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم نیمه خشک و خشک، با تابستان‌های خشک، و بافت خاک مزرعه لومی‌رسی می‌باشد.

تعداد ۲٦ ژنوتیپ به منظور انجام تلاقی در سال زراعی ۹٥-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان کشت شد. ژنوتیپ‌ها با منشا آمریکایی به عنوان پایه گرده‌دهنده و سایر ارقام به‌ویژه ارقام تجاری کشور به عنوان پایه مادری انتخاب شدند. تلاقی‌ها بین آن‌ها انجام شد که حاصل آن ایجاد ۵۳ هیبرید F_1 بود **که به همراه ۲۶ والد در این مطالعه استفاده شده است.**

مواد ژنتیکی مورد بررسی شامل جمعا ۷۹ ژنوتیپ مشتمل بر ۱۹ ژنوتیپ گندم نان، ۳ ژنوتیپ گندم دوروم، ٤ ژنوتیپ تریتیکاله به همراه ۵۳ هیبرید F_1 بود (جدول ۱). ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از طرح

بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار انجام گرفت. هر کرت آزمایش شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر، با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که سه ردیف کاشت برای هر کرت مورد کشت هیبریدها در نظر گرفته شد. صفات مورفولوژیک به همراه عملکرد و اجزای عملکرد شامل ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته اندازه‌گیری شد. برآورد هتروزیس در هیبریدهای مورد مطالعه از طریق هتروزیس براساس میانگین والدین (MPH) و هتروزیس براساس والد برتر (BPH) مطابق رابطه‌های زیر محاسبه شد (۲۶).

$$BPH = \frac{F_1 - HP}{HP} \times 100$$

$$MPH = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$$

والد برتر در هر تلاقی، والدی در نظر گرفته شد که بیش‌ترین میانگین صفت را نشان داد و در مورد صفاتی که کاهش آن‌ها هدف اصلاح‌گران می‌باشد، والدی که میانگین کم‌تری از صفت را دارا بود به عنوان والد برتر در نظر گرفته شد. در این مطالعه برای محاسبه میزان هتروزیس برای صفت ارتفاع بوته از والد با ارتفاع کم‌تر به‌عنوان والد برتر استفاده گردید. پس از انجام تجزیه واریانس برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی، ضریب تغییرات ژنتیکی و وراثت پذیری عمومی با استفاده از رابطه‌های زیر برآورد شد (۱۳).

$$\sigma_g^2 = \frac{MS_g - MS_\varepsilon}{r}$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = MS_\varepsilon$$

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \times 100 \quad \sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{r}$$

$$PVC = \frac{\sqrt{\sigma_P^2}}{\bar{\chi}} \times 100$$

$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{\chi}} \times 100$$

در روابط بالا σ_ε^2 واریاس اشتباه آزمایشی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، σ_p^2 واریانس فنوتیپی، h^2 وراثت‌پذیری عمومی، MS_ε مجموع مربعات اشتباه آزمایشی، MS_g مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها، r تعداد تکرار در آزمایش، GCV ضریب تغییرات ژنتیکی و PCV ضریب تغییرات فنوتیپی می‌باشد که بر اساس امید ریاضی منابع تغییرات محاسبه شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری SAS و Excel انجام گرفت.

جدول ۱- ارقام گندم نان، گندم دوروم و تریتیکاله به همراه هیبریدهای F_1 حاصل از تلاقی‌های ارقام داخلی و خارجی.

Table 1- Bread wheat, durum wheat and triticale cultivars with F_1 hybrids obtained from crosses of native and exotic cultivars.

ردیف Row	نام ژنوتیپ Name of genotypes	مبدا Origin	والد/هیبرید Parent/Hybrid	ردیف Row	نام ژنوتیپ Names of genotypes	والد/هیبرید Parent/Hybrid
1	Sirvan	ایران Iran	والد Parent	41	$H_{Long\ Spike\ 2\times Sirvan}$	هیبرید Hybrid
2	Long spike 1	آمریکا America	والد Parent	42	$H_{Blue\ Aleurone\times Sirvan}$	هیبرید Hybrid
3	Long spike 2	آمریکا America	والد Parent	43	$H_{Taza\times Eleanor}$	هیبرید Hybrid
4	Long spike 4	آمریکا America	والد Parent	44	$H_{Triticale\ with\ Long\ Spike\times Eleanor}$	هیبرید Hybrid
5	Long spike 5	آمریکا America	والد Parent	45	$H_{Long\ Spike\ 6\times Roshan}$	هیبرید Hybrid

6	Long spike 6	آمریکا America	والد Parent	46	$H_{Wincerros\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
7	Yeccora JO	آمریکا America	والد Parent	47	$H_{Short\ Siete\ Serros\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
8	Siete Serros 66	آمریکا America	والد Parent	48	$H_{Wincora\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
9	Wincal 09196	آمریکا America	والد Parent	49	$H_{Anza\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
10	Anza	آمریکا America	والد Parent	50	$H_{Siete\ Serros\ 66\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
11	Roshan	ایران Iran	والد Parent	51	$H_{Yeccora\ Jo\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
12	Short Siete Serros	آمریکا America	والد Parent	52	$H_{Lancona\ (BYD)\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
13	Blue Aleurone	آمریکا America	والد Parent	53	$H_{Wical09196\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
14	Winanza	آمریکا America	والد Parent	54	$H_{Winanza\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
15	Wincora	آمریکا America	والد Parent	55	$H_{phoenix\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
16	Lancing BYD	آمریکا America	والد Parent	56	$H_{Long\ Spike\ 2\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
17	Wincerros	آمریکا America	والد Parent	57	$H_{Long\ Spike\ 4\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
18	Phoenix	آمریکا America	والد Parent	58	$H_{Long\ Spike\ 5\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
19	Triticale With Long Spike**	آمریکا America	والد Parent	59	$H_{Long\ Spike\ 1\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
20	Taza**	آمریکا America	والد Parent	60	$H_{Blue\ Aleurone\times Roshan}$	هیبرید Hybrid
21	Advance lines 1*	آمریکا America	والد Parent	61	$H_{Taza\times Morino}$	هیبرید Hybrid
22	Ofogh	ایران Iran	والد Parent	62	$H_{Triticale\ with\ Long\ Spike\times Morino}$	هیبرید Hybrid
23	Eleanor**	آمریکا America	والد Parent	63	$H_{Blue\ Aleurone\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
24	Morino**	آمریکا America	والد Parent	64	$H_{Long\ Spike\ 5\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
25	Langdon*	آمریکا America	والد Parent	65	$H_{Wincerros\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
26	PI40100*	آمریکا America	والد Parent	66	$H_{Yeccora\ Jo\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
27	$H_{Anza\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	67	$H_{Long\ Spike\ 6\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
28	$H_{SieteSerros\ 66\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	68	$H_{Siete\ Cerros\ 66\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
29	$H_{Wincora\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	69	$H_{Short\ Siete\ Cerros\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
30	$H_{Long\ Spike\ 4\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	70	$H_{Anza\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
31	$H_{Wincerros\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	71	$H_{Wincal\ 09196\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid

32	$H_{Long\ Spike\ 5\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	72	$H_{Long\ Spike\ 2\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
33	$H_{Yeccora\ Jo\times Sirva}$	-	هیبرید Hybrid	73	$H_{Phoenix\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
34	$H_{Long\ Spike1\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	74	$H_{Lancona\ (BYD\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
35	$H_{Phoenix\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	75	$H_{Wincora\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
36	$H_{Lancona\ (BYD)\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	76	$H_{Long\ Spike\ 4\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
37	$H_{Wincal09196\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	77	$H_{Winanza\times Ofogh}$	هیبرید Hybrid
38	$H_{Long\ Spike\ 6\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	78	$H_{AdvancedLines1\times Langdan}$	هیبرید Hybrid
39	$H_{Short\ Siete\ Cerros\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid	79	$H_{Advanced\ Lines1\ \times\ PI4010}$	هیبرید Hybrid
40	$H_{Winanza\times Sirvan}$	-	هیبرید Hybrid			

* و**به ترتیب گندم دوروم و تریتیکاله

* and ** are durum wheat and triticale, respectively

نتاج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی مورد ارزیابی نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها برای تمامی صفات وجود داشت. ضمن اینکه اختلاف معنی‌داری میان هیبریدهای F_1 مورد بررسی برای تمام صفات مشاهده شد (جدول ۲). میانگین مربعات والدها در برابر هیبریدها برای تمام صفات بسیار معنی‌دار بود، که نشان از بروز هتروزیس معنی‌دار در صفات مورد مطالعه داشت (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مربعات والدین و هیبریدهای مورد مطالعه در ۷۹ ژنوتیپ مورد بررسی (۲۶ والد و ۵۳ هیبرید) گندم نان، گندم دوروم و تریتیکاله.

Table 2. Mean squares of parents and hybrids in 79 genotypes (26 parents and 53 hybrids) of bread wheat, durum wheat and triticale.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant
تکرار Replication	1	8.89	1.67	438.14**	0.30*	16.70	127.92
ژنوتیپ‌ها Genotypes	78	85.52**	40.49**	172.24**	0.42**	57.39**	323.91**
والدها Parents	25	1031.45**	28.68**	243.19**	0.54**	45.37**	169.47**
هیبرید ها Hybrids	52	743.54**	46.26**	137.6**	0.36**	64.11**	389.76**
والدها در برابر هیبریدها Parents vs. hybrids	1	2433.8**	35.65**	227.63**	0.25**	8.72**	761.19**
اشتباه آزمایشی Residual	78	31.48	5.41	30.32	0.06	9/10	47.41
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.26	12.09	9.31	10.82	7/38	15.01

*** و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد.**

* and ** Significant at the 5% and 1% probability levels.

ارتفاع بوته: ارتفاع بوته برای هیبریدهای مختلف مقادیر متفاوت هتروزیس را نشان داد (جدول ۳). صفت ارتفاع بوته در هیبریدهای مورد مطالعه (۵۳ هیبرید) به میزان ۱٤/٤۳ درصد نسبت به مقدار این صفت در میانگین والدها افزایش داشت. میانگین کل این صفت به میزان ٤/٦۲ درصد نسبت به میانگین والدین برتر نیز افزایش نشان داد. هیبرید ۱۵ (حاصل از تلاقی Long spike 2×Sirvan) بیش‌ترین کاهش در ارتفاع بوته با ۱۳/۰٤ درصد کاهش نسبت به والد برتر و ۱۳/۷۰ درصد کاهش نسبت به میانگین والدین را دارا بود. قابل ذکر است که ژنوتیپ‌های گندم که با Long spike نشان داده شده‌اند، یک سری لاین پیشرفته دانشگاه کالیفرنیا – دیویس هستند که توسط دکتر کوالست اهدا شده‌اند. یکی از اهداف برنامه‌های به‌نژادی گندم کاهش ارتفاع بوته است. بنابراین، به جای استفاده از والد دارای میانگین بیشتر از والد با میانگین کمتر در مورد این صفات به‌عنوان هتروزیس در نظر گرفته شد. یوا و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود بر روی گندم نان متوسط میزان هتروزیس را برای ارتفاع بوته براساس والد برتر و میانگین والدین به‌ترتیب ۲/٦– و ۷/۵ درصد گزارش کردند (۳۷). گل و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود بر روی گندم، کمترین میزان هتروزیس برای ارتفاع بوته نسبت به والد برتر و میانگین والدین را به ترتیب ۳۰/٦۷– و ۱۸/۹۹– درصد گزارش کردند (۱۸).

تعداد سنبله در بوته: برای تعداد سنبله در بوته هتروزیس نسبت به میانگین والدین برای کل هیبریدها ٤/٦۲ درصد مشاهده شد (جدول ۳). هیبرید ۳ (حاصل از تلاقی Wincora×Sirvan) بیش‌ترین سنبله در بوته نسبت به والد برتر و میانگین والدین را به ترتیب با مقادیر ۳۲ و ۳۰/۷۸ درصد دارا بود. یودین و همکاران (۱۹۹۲) در مطالعه خود بر روی هیبریدهای F_1 گندم، بیش‌ترین درصد هتروزیس بر اساس میانگین والدین و والد برتر را به ترتیب ۲۳/۳ و ۲۰/٤ درصد گزارش کردند (۳٦). بر اساس فرضیه هتروزیس این نتیجه را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که احتمالا اختلاف ژنتیکی بالایی بین این دو رقم گندم که یکی ایرانی و دیگری با منشا آمریکاست، وجود داشته است، که منجر به ایجاد هتروزیس زیاد در نتاج هیبرید آن‌ها شده است.

تعداد دانه در سنبله: برای صفت تعداد دانه در سنبله مقادیر متفاوت هتروزیس در هیبریدها مشاهده شد (جدول ۳). متوسط هتروزیس برای این صفت نسبت به میانگین والد برتر و میانگین والدین به ترتیب ۲/۰۷– و ٦/۷٦ درصد بود که نشان‌دهنده کاهش ۲/۰۷ درصدی این صفت نسبت به تعداد دانه در سنبله والد برتر و افزایش ٦/۷٦ درصدی نسبت به تعداد دانه در سنبله میانگین والدین بوده است. فراهانی و ارزانی (۲۰۰۸) در مطالعه خود بر روی گندم دوروم گزارش کردند که تعداد دانه در سنبله به طور متوسط در هیبریدها نسبت به میانگین والدین ۳/۱ درصد افزایش، اما هتروزیس نسبت به والد برتر ۳/۷– درصد کاهش نشان داده است (۱۲)، که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی داشته است.

وزن دانه در سنبله: میزان هتروزیس برای وزن دانه در سنبله در هیبریدها تحت بررسی متغیر بود (جدول ۳). وزن دانه در سنبله به طور متوسط نسبت به والد برتر ۱/۳٤– کاهش و نسبت به میانگین والدین ٤/٦۲ درصد افزایش نشان داد. هیبرید ٤۷ (حاصل از تلاقی Phoenix×Ofogh) با ۲۳/۱۹ درصد دارای بیشترین هتروزیس نسبت به والد برتر بود. ضمن اینکه همین هیبرید (۲۷/٦۳ درصد) به همراه دو هیبرید دیگر ۵۰ (حاصل از تلاقی Long Spike 4×Ofogh) و ۱٦ (حاصل از تلاقی Blue Aleurone×Sirvan) به ترتیب با ۲۷/۲۷ و ۲۷/٤٤ درصد بیش‌ترین درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین را دارا بودند. کومار و

همکـاران (۲۰۱۷) در تحقیـق خـود بـر روی گنـدم، هتروزیس مثبت و منفی برای این صـفت بـر اسـاس میانگین والدین در هیبریدهای مورد بررسـی مشـاهده کردند (۲٤).

وزن هزار دانه: وزن هزار دانه برای هیبریدهای مختلف مقادیر متفـاوت هتـروزیس را نشـان داد (جـدول ۳). صفت وزن دانه در هیبریدهای مورد مطالعه بـه میـزان ٤/۳۲ درصد نسبت به مقدار آن در والد برتر افـزایش داشت. این صفت به میزان ۰/۸۹- درصـد نسـبت بـه مقدار آن در میانگین والدین کاهش داشـت. بیشـترین هتروزیس نسبت به والد برتـر و میـانگین والـدین بـه هیبرید ۳۱ (حاصل از تلاقی Long spike 4×Roshan) با مقادیر ۲٦/۰۹ و ۱۵/٤۹ تعلق داشت. آکینسی (۲۰۰۹) در پـژوهش خـود بـر روی گنـدم دوروم، متوسـط هتروزیس براساس والد برتر و میانگین والـدین را بـه ترتیب ۱/٦٤- و ۳/۷۸ درصد گزارش کرد (٤). هی و همکاران (۲۰۱٦) در پـژوهش خـود بـر روی گنـدم، بیش‌ترین میزان هتروزیس برای وزن هزار دانه را نسبت به والد برتر و میـانگین والـدین را بـه ترتیـب ۲۸/۸۵ و۱۹/٦٤درصد گزارش کردند (۱۹).

عملکرد دانه در بوته: عملکرد بوته به طور متوسط در هیبریدها نسبت به والـد برتـر ۳/۰۳- درصـد کـاهش داشت، اما هتروزیس نسبت به میانگین والـدین ۳/٦٦ درصـد افـزایش نشـان داد (جـدول ۳). هیبریـد ۵۸ (حاصـل از تلاقـی Long spike 5×Roshan) دارای بـیش‌تـرین مقـدار هتـروزیس نسـبت بـه والـد برتـر (۲۳/۱۷) و میانگین والدین (۲۵/۳٤) بود. هیبریـد ۲۷ حاصـل تلاقـی HAnza×Sirvan بـا میـزان ۲٤/۹٦- درصد بیش‌ترین کاهش را در میزان هتروزیس نسـبت به میانگین والدین را بـه خـود اختصـاص داد. نتـایج مطالعـه حاضـر بـا گـزارش آدهیکـاری و همکـاران (۲۰۲۰) کـه اخیـرا بـا بـرآورد هتـروزیس در تعـداد بی‌شماری هیبرید حاصل از تلاقی دای‌آلل ۲۵ در ۲۵، دامنه بسیار گسترده هتروزیس (۷۰- تا ٥٤ درصـد) را گزارش کردند، هم‌خـوانی دارد (۱). آکینسـی (۲۰۰۹) در مطالعه خـود بـر روی گنـدم دوروم گـزارش کـرد متوسط میزان هتروزیس نسبت بـه والـد برتـر ۲/۲٤- درصد کاهش داشته، اما نسـبت بـه میـانگین والـدین ٥/۲٤ درصد افزایش نشان داده است (٤).

جدول ۳- میزان هتروزیس (درصد) نسبت به والد برتر (BPH) و میانگین والدین (MPH) در ۵۳ هیبرید F_1 برای ٦ صفت مورد مطالعه.

Table 3- Percentage of heterosis (%) relative to superior parent (BPH) and average parent (MPH) in 53 F1 hybrids for the traits studied.

شماره هیبرید Hybrids Number	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)		تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant		تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike		وزن دانه در سنبله (گرم) Grain weight per spike (g)		وزن هزار دانه (گرم) 1000 grain weight (g)		عملکرد دانه در بوته (گرم) Grain yield per plant (g)	
	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH
1 (27)	-1.90	-4.35	-4.31	-3.22	-25.57	-29.37	-31.37	-30.29	-9.19	-5.34	-23.73	-24.96
2 (28)	15.77	9.39	-6.47	-24.44	-2.45	-16.54	-25.49	-33.91	-23.54	-20.70	-17.67	-21.20
3 (29)	11.77	3.22	32.00	30.78	-5.99	9.11	-1.96	9.89	-3.35	0.50	-13.24	-8.18
4 (30)	16.46	12.31	-9.37	-4.02	9.28	12.36	3.92	13.98	-3.75	1.29	-10.09	-7.69
5 (31)	10.31	3.51	-19.79	-13.79	3.21	6.07	13.73	-6.38	-11.79	-7.97	-11.60	-9.48
6 (32)	10.97	4.89	-13.67	-8.67	-8.77	-3.48	-12.86	-7.31	-6.06	-4.76	-8.32	-6.70
7 (33)	8.00	10.17	-0.39	-0.49	4.31	15.44	0.5	19.10	-1.77	-5.05	0.41	18.16
8 (34)	23.46	15.40	-9.65	14.84	-9.48	-2.21	-8.00	-0.54	1.42	1.50	-2.63	15.67
9 (35)	19.04	15.84	-15.93	-12.68	10.21	15.22	17.65	30.43	6.93	13.49	5.02	5.81
10 (36)	19.57	9.57	-23.92	-16.69	-1.25	2.56	1.96	6.38	-8.03	1.65	-20.74	-11.34
11(37)	14.60	11.27	-21.54	18.01	8.19	17.02	-7.84	8.05	-14.56	-6.88	-20.41	-11.81
12(38)	21.13	15.00	-20.73	-4.06	-3.83	0.08	0.76	2.32	2.68	5.22	-19.48	1.51

13(39)	-6.39	-11.86	-9.39	-7.13	-10.31	-6.47	-12.35	-7.84	-15.45	-2.26	-20.76	-11.26
14(40)	5.59	4.00	-5.12	-1.58	6.18	12.54	3.92	12.77	-2.70	-0.46	5.73	10.81
15(41)	-13.04	-13.70	-20.07	-11.07	-12.41	-6.25	-17.73	-9.38	-11.41	-7.12	-21.60	-17.46
16(42)	22.68	11.79	-23.11	-18.19	-5.06	9.33	7.45	27.44	10.19	13.00	-17.37	3.04
17(43)	20.91	7.94	-15.86	-5.57	-9.34	2.11	-17.54	00	-8.19	-0.06	-10.39	-0.15
18(44)	16.14	2.11	-22.67	-10.23	-6.79	-4.15	-1.72	-0.87	1.23	1.67	-21.23	-12.63
19(45)	22.99	5.30	-7.46	16.78	-17.64	1.27	-22.05	-11.15	-24.98	-15.72	-14.20	7.17
20(46)	32.61	6.41	8.44	22.63	1.78	18.63	15.91	17.24	-11.66	3.91	17.04	23.75
21(47)	4.34	1.23	5.98	21.87	-20.97	-7.51	17.27	15.58	-20.78	-4.73	-13.66	-0.26
22(48)	7.23	2.84	-7.25	-0.27	16.50	20.59	-15.91	-11.90	-16.49	-11.37	-22.58	-11.84
23(49)	13.56	5.83	5.81	10.56	2.21	18.05	4.55	5.75	-24.48	-12.05	10.68	17.12
24(50)	20.81	8.71	8.42	21.69	-15.61	-7.86	-12.50	-1.93	-13.95	-2.61	-1.62	2.61
25(51)	23.44	6.40	-2.50	5.36	12.42	19.47	-15.91	-9.76	-21.45	-12.39	-18.18	-5.41
26(52)	20.74	5.23	-7.80	6.18	-12.89	7.08	-18.18	-17.24	-20.84	-12.67	-21.22	-15.12
27(53)	17.73	-1.97	-21.76	-9.61	-7.06	3.39	-15.09	-7.50	-23.36	-11.59	20.25	-12.17
28(54)	25.99	16.73	16.57	18.92	7.04	21.39	2.27	1.15	20.06	10.08	13.57	17.67
29(55)	26.25	15.58	0.66	4.89	-13.40	-0.56	22.73	20.00	12.15	7.78	19.83	20.40
30(56)	22.59	4.60	-24.29	-7.00	-20.17	1.69	-27.27	-12.73	-14.82	-8.12	-22.30	-14.39
31(57)	27.96	12.83	8.10	21.15	-13.66	0.59	17.73	20.47	26.09	15.49	15.78	23.16
32(58)	17.79	5.22	4.41	21.75	-26.72	-6.68	-22.86	-5.26	-14.11	-4.96	23.17	25.34
33(59)	21.08	-12.72	-7.67	-17.19	-11.14	-12.73	00	-10.38	11.55	0.99	14.78	-6.67
34(60)	22.23	1.30	-20.06	-7.60	23.14	25.31	19.21	12.37	-0.49	14.75	-7.62	14.13
35(61)	10.50	-1.13	-19.20	-15.84	14.35	20.04	15.17	14.38	-2.92	-3.03	-16.47	-9.73
36(62)	5.44	2.87	20.32	5.31	-13.48	-14.03	11.72	-1.63	-1.58	8.37	-23.70	-16.37
37(63)	10.63	10.15	17.65	21.73	-1.64	17.11	14.47	21.22	6.22	10.84	15.57	24.72
38(64)	10.03	6.45	7.56	22.59	-9.21	0.31	-5.71	12.82	4.19	13.65	14.64	23.87
39(65)	6.00	3.57	-21.84	-18.34	14.10	21.83	17.45	22.67	1.93	0.01	-7.44	0.61
40(66)	12.84	-1.68	12.11	12.78	8.80	15.31	10.64	22.35	-11.25	-5.48	17.74	23.17
41(67)	8.58	4.89	-24.36	-5.66	10.93	10.80	10.27	16.47	0.10	5.34	-1.38	17.58
42(68)	0.44	-2.52	21.21	15.38	-15.97	-7.15	-23.75	-12.07	-8.29	-4.63	-6.46	3.12
43(69)	26.92	12.32	-2.27	17.31	6.89	9.01	8.51	14.61	-2.85	4.91	6.21	22.90
44(70)	15.00	1.75	4.96	9.35	6.39	14.74	8.09	12.89	-6.04	-3.05	22.67	22.85
45(71)	6.00	-9.51	-4.37	-5.86	-0.39	11.70	-20.00	-9.40	18.16	-17.10	-23.53	-12.43
46(72)	15.49	6.60	16.37	25.66	3.34	8.10	-4.24	11.86	-7.21	3.79	16.17	24.24
47(73)	6.32	0.19	-7.76	4.07	21.11	24.45	23.19	27.27	2.42	4.03	15.98	24.75
48(74)	-7.78	-7.85	-12.51	-6.75	11.53	11.70	0.43	4.89	-13.33	-10.87	-14.41	-5.21
49(75)	16.25	-2.33	-2.92	-4.04	0.47	20.50	18.00	8.51	-18.96	-9.52	1.08	9.13
50(76)	9.88	4.51	14.73	23.76	10.36	17.89	21.36	27.63	14.03	12.91	16.25	22.60
51(77)	11.75	3.99	-16.29	-22.72	-2.02	7.75	16.60	21.78	5.11	10.81	-27.02	-21.41
52(78)	28.33	17.88	-9.07	-6.58	-10.71	-9.10	-28.21	-16.42	-21.47	-12.22	-4.31	-14.55
53(79)	29.38	0.86	22.87	27.02	-8.85	6.24	-15.00	6.97	-8.48	0.08	13.60	26.01
میانگین Mean	14.43	4.62	-4.40	2.87	-2.07	6.76	-1.34	4.62	4.32	-0.89	-3.03	3.66

وراثت‌پذیری: در بین صفات مورد مطالعه صفت عملکرد دانه در بوته با مقدار ۲۵/٦۵ و ۲۷/۷٦ و صفت تعداد سنبله در بوته ۲۱/۷٤ و ۲۳/۳۵ به ترتیب دارای بیش‌ترین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی در مقایسه با سایر صفات مورد مطالعه بودند (جدول ٤). کومار و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه بر روی گندم نان ضریب تنوع ژنتیکی را برای صفات عملکرد دانه در بوته و تعداد سنبله در بوته به ترتیب ۱۸/۲۸ و ۲۰/٦٤ گزارش کردند (۲۳). فرشادفر و استحقاری (۲۰۱٤) در ارزیابی صفات در گندم ضریب تنوع

فنوتیپی را برای صفات عملکردانه ۲۳/۷٤ گزارش نمودند (١٤). در تمام صفات مورد بررسی ضریب تغییرات فنوتیپی از ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر بود که نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر بیان صفات بوده است (جدول ٤). در گزارش کومار و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی ارائه شده است (۲۳). وراثت‌پذیری عمومی برای صفات ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عمکرد دانه در بوته به ترتیب ٦۳/۱۸، ۸٦/٦٦، ۸۲/۳۹، ۸۵/۷۱، ۸٤/۱٤ و ۸۵/۳٦ درصد مشاهده شد. بهوتا و مشرا (۱۹۹۵) وراثت‌پذیری عمومی ۹۱-۵۰ درصد را برای صفات مورفولوژیک و زراعی گزارش کردند (٦). شاران و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی خود وراثت پذیری بالایی را برای صفات زراعی مشاهده کردند (۳۲). وراثت‌پذیری بالا در صفات مورد بررسی مبین این موضوع است که تأثیر واریانس ژنتیکی بیشتر از واریانس محیطی می‌باشد و انتخاب در نسل‌های اولیه می‌تواند موفقیت آمیز باشد.

جدول ٤- برآورد پارامترهای ژنتیکی برای صفات کمی.

Table 4- Estimate of genetic parameters for quantitative traits.

صفات Trait	میانگین Mean	واریانس خطا Error variance	واریانس ژنتیکی Genotype variance	واریانس فنوتیپی Phenotype variance	ضریب تغییرات ژنتیکی Genotypic coefficient of variation	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic coefficient of variance	وراثت پذیری عمومی Heritability, broad-Sense
ارتفاع بوته Plant height	106.56	31.48	27.02	42.76	4.87	6.13	63.18
تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	19.26	5.41	17.54	20.24	21.74	23.35	86.66
تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	59.08	30.32	70.96	86.12	14.25	15.70	82.39
وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	2.40	0.06	0.18	0.21	17.66	19.09	85.71
وزن هزار دانه 1000 grain weight	40.84	9.10	24.14	28.69	12.03	13.11	84.14
عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant	45.84	47.41	138.25	161.95	25.65	27.76	85.36

نتیجه‌گیری کلی

تفاوت‌های معنی‌دار بین والدین و هیبریدهای F_1 برای صفات مورد مطالعه بیانگر تنوع مناسب برای انتخاب و یا بهره‌برداری در ایجاد هیبرید موجود در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بوده است. علاوه بر این، میانگین مربعات والدین در برابر هیبریدها برای تمام صفات بسیار معنی‌دار بود که مبین بروز هتروزیس در این صفات بوده است. اختلاف اجزای عملکرد از لحاظ میزان هتروزیس و وجود بالاترین میزان هتروزیس برای صفت پنجه‌زنی نشان‌دهنده این موضوع است که می‌توان از ویژگی اجزای عملکرد ارقام والدی برای ایجاد هیبرید برنامه‌ریزی کرد، که

حداکثر هتروزیس در هیبرید ایجاد گردد. برآورد ارزش هتروزیس براساس والد برتر و میانگین والدین برای صفت عمکرد دانه نشان داد که هیبرید ۵۸ (حاصل از تلاقی Long Spike 5×Roshan) بیش‌ترین میزان هتروزیس مثبت را به خود اختصاص داده است، که نشان از ظرفیت ژنتیکی این والدین برای تولید هیبرید بوده است. با توجه به تنوع بالای مشاهده شده در ژنوتیپ‌های مورد بررسی همچنین، وراثت‌پذیری بالا در صفات می‌توان از هیبریدها مطالعه حاضر برای برنامه اصلاحی مبتنی بر انتخاب در طی نسل‌های در حال تفکیک و در نهایت گزینش لاین‌های پیشرفته دارای عملکرد و تنوع مورد نظر بر اساس اهداف اصلاحی و ایجاد ارقام جدید بهره برد.

منابع

1. Adhikari, A., Ibrahim, A.M.H., Rudd, J.C., Baenziger, P.S., and Sarazin, J.B. 2020. Estimation of heterosis and combining abilities of U.S. winter wheat germplasm for hybrid development in Texas. Crop Sci. 60: 1. 788-803.
2. Akar, T., and Ozgen, M. 2007. Genetic diversity in Turkish durum wheat landraces. In: H.T. Buck et al. (eds.), Wheat production in stressed environments. Springer, Vol. 12. Pp: 753-760.
3. Akel, W., Rapp, M., Thorwarth, P. ,Würschum, T., and Longin, C.F.H. 2019. Hybrid durum wheat: heterosis of grain yield and quality traits and genetic architecture of anther extrusion. Theor. Appl. Genet. 132: 4. 921-932.
4. Akinci, C. 2009. Heterosis and combining ability estimates in 6 x 6 half diallel crosses of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Bulgarian J. Agric. Sci. 159: 3. 214-221.
5. Arzani, A., and Ashraf, M. 2017. Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health beneficial food products. Comp. Rev. Food Sci. Food Saf. 16: 3. 477-488.
6. Bhutta, M.A., and Mishra, Y. 1995. Studies on yield and yield components in spring wheat under drought conditions. J. Agric. Res. 35: 1. 75-79.
7. Birchler, J.A., Auger, D.L., and Riddle, N.C. 2003. In search of the molecular basis of heterosis. Plant Cell. 15: 10. 2236-2239.
8. Boeven, P.H.G., Longin, C.F.H., Leiser, W.L., Kollers, S., Ebmeyer, E., Würschum, T. 2016. Genetic architecture of male floral traits required for hybrid wheat breeding. Theor. Appl. Genet. 129: 2343-2357.
9. Briggle, L. 1963. Heterosis in wheat a review. Crop Sci. 3: 5. 407-412.
10. Conti, L. 1985. Conclusive results of a selection programme for obtaining a dwarf bean (*P. vulgaris*) resistant to some viruses and characterized by agronomical qualities. Genet. Agric. 39: 51-63.
11. Edwards, I.B. 2001. Hybrid wheat. In: A.P. Bonjean and W.J. Angus (eds.), The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding, Lavoiser, Paris. Pp: 1019-1043.
12. Farahani, E., and Arzani, A. 2008. Assessment of heterosis in durum wheat F_1 hybrids under field conditions. J. Sci. Technol. Agric. Res. 11: 42. 159-170. (In Persian)
13. Farshadfar, E. 2010. New discussions in biometrical genetics, vol 1. Islamic Azad University of Kermanshah Press. (In Persian)
14. Farshadfar, E., and Estehghari, M.R. 2014. Estimation of genetic architecture for agro morphological characters in common wheat. Int. J. Biosci. 5: 6. 140-147.
15. Foley, J.A., Ramankutty, N.K., Brauman, A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., and West, P.C. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature. 478: 3370-342.
16. Gautam, P., and Jain, K. 1985. Heterosis for various characters in durum wheat. Indian J. Genet. Plant Breed. 45: 1. 159-165.
17. Gowda, M., Kling, C.K., Würschum, T., Liu, W., Maurer, H.P., Hahn, V., and Reif, J.C. 2010. Hybrid breeding in

durum wheat: heterosis and combining ability. Crop Sci. 50: 6. 2224-223 .
18. Gul, S., Aziz, M.K., Ahmad, R.I., Liaqat, S., Rafi, M., Hussain, F., and Manzoor, S.A. 2015. Estimation of heterosis and heterobeltiosis in wheat (*Triticum aestivum* L.) crosses. Basic Res. J. Agric. Sci. 4: 5. 151-157.
19. Hei, N., Hussein, S., and Laing, M. 2016. Heterosis and combining ability analysis of slow rusting stem rust resistance and yield and related traits in bread wheat. Euphytica. 207: 501-514.
20. Ibrahim, A.U., Yadav, B., Anusha, R., and Magashi, A.I. 2020. Heterosis studies in durum wheat (*Triticum durum* L.). J. Genet. Genom. Plant Breed. 4: 1. 2-8.
21. Ionuț, R., Kadar, R., Ceclan, A.O., Varadi, A., Varga, A., and Cheţan, F. 2017. The influence of climatic conditions changes on grain yield in winter triticale (X. *Triticosecale* Wittm.). Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agric. 74: 1. 40-46.
22. Khokhar, A.A., Jatoi, W.A., Nizamani, F.G., Rind, R.A., Nizamani, M.M.,Wang, H.F., Mehmood, A., and Khokhar, M.U. 2019. Study of heterosis analysis in F_1 population of bread wheat. Pure Appl. Boil. 8: 2. 1757-1770.
23. Kumar, B., Singh, C.M., and Jaiswal, K.K. 2013. Genetic variability, association and diversity studies in bread wheat. Bioscan. 8: 1. 143-147.
24. Kumar, J., Kumar, A., Kumar, M., Singh, S., Singh, L., and Singh, G. 2017. Heterosis and inbreeding depression in relation to hterotic parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under late sown condition. J. Wheat Res. 9: 1. 32-41.
25. Longin C.F.H., Mühleisen J., Maurer H.P., Zhang H., Gowda M., and Reif J.C. 2012. Hybrid breeding in autogamous cereals. Theor. Appl. Genet. 125: 6. 1087-1096.
26. Malik, A.J., Sheedi, S.M., and Rajpur, M.M. 1981. Heterosis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat Inf. Ser. 53: 25-29.
27. Memon, S.M., Ansari, B.A., and Balouch, M.Z. 2005. Estimation of genetic variation for agroeconomic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian J. Plant Sci. 4: 171-175.
28. Nizamani, M.M., Nizamani, F.G., Rind, R.A., Khokhar, A.A., Mehmood, A., and Nizamani, M. 2020. Heritability and genetic variability estimates in F_3 populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Pure Appl. Boil. 9: 1. 352-368.
29. Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., and Foley, J.A. 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PloS One. 8: e66428.
30. Ray, D.K., Ramankutty, N., Mueller, N.D., West, P.C., and Foley, J.A. 2012. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. Nat. Commun. 3: 1293-1299.
31. Schnable, P.S., and Springer, N.M. 2013. Progress toward understanding heterosis in crop plants. Annu. Rev. Plant Biol. 64: 71-88.
32. Sharaan, A.N., Gallab, K.H., and Eid, M.A.S.M. 2017. Estimation of genetic parameters for yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under pedigree selection. Int. J. Agron. Agric. Res. 10: 2. 22-30.
33. Shewry, P.R. 2009. Wheat. J. Exp. Bot. 60: 6. 1537-1553.
34. Shull, G.H. 1948. What is" heterosis"? Genet. 33: 5. 439-446.
35. Slaferm, G., and Whitechurch, E.M. 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation. In: M.P. Reynolds, J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab (eds), Application of physiology in wheat breeding. Mexico: CIMMYT. Pp: 160-170.
36. Uddin, M., Ellison, F., O'brien, L., and Latter, B. 1992. Heterosis in F_1 hybrids derived from crosses of adapted Australian wheats. Aust. J. Agric. Res. 43: 5. 907-919.
37. Yao, J., Ma, H., Ren, L., Zhang, P., Yang, X., Yao, G., Zhang, P., and Zhou, M. 2011. Genetic analysis of plant height and its components in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Aust. J. Crop Sci. 5: 11. 1408-1418.