"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7

تجزیه ژنتیکی صفات زراعی و ریخت شناسی گندم دوروم[*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل

Genetic analysis of agronomic and morphological traits of durum wheat [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] using generations mean analysis under non-stress and terminal drought stress conditions

راشین طاهری[۱]، زهرا خدارحم‌پور[۲]، منوچهر خدارحمی[۱و۳] و محمد مرادی[۴]

چکیده

طاهری، ر.، ز. خدارحم‌پور، م. خدارحمی و م. مرادی. ۱۴۰۱. تجزیه ژنتیکی صفات زراعی و ریخت شناسی گندم دوروم [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۴ (۲): ۱۶۴ -۱۵۰.**

به‌نژادگران اغلب از روش تجزیه میانگین نسل‌ها به منظور کسب اطلاعات در مورد نحوه توارث، نوع عمل ژن‌ها و تعیین روش مناسب به‌نژادی مناسب جهت بهبود صفات گیاهی، به ویژه در شرایط تنش خشکی، استفاده می‌کنند. به منظور بررسی فراسنجه‌های ژنتیکی صفات زراعی و ریخت‌شناسی در گندم دوروم، آزمایشی با استفاده از نسل‌های F1، F2، BC1 و BC2 حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی تا انتهای فصل رشد اعمال شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس وزنی نسل‌ها، از لحاظ کلیه صفات اندازه‌گیری شده، غیر از تعداد دانه در سنبله در شرایط بدون تنش و تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط تنش خشکی، بین نسل‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. با توجه به نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها برای طول سنبله در شرایط بدون تنش و ارتفاع بوته و طول سنبله در شرایط تنش، مدل سه پارامتری بهترین برازش را داشت، اما برای سایر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شدن کای‌اسکوئر نشان دهنده حضور برهمکنش غیرآللی در وراثت این صفات بود. اثر افزایشی و غالبیت در کنترل اکثر صفات مورد بررسی نقش داشتند، اما اثر جزء غالبیت نسبت به جزء افزایشی بیشتر بود. وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی صفات در شرایط بدون تنش به‌ترتیب از ۱۱ تا ۸۴ درصد و از ۱ تا ۷۵ درصد و در شرایط تنش به‌ترتیب از ۲۴ تا ۷۰ درصد و از ۱ تا ۴۰ درصد برآورد شد. با توجه به نقش بیشتر ژن‌های با اثر غیرافزایشی در کنترل اغلب صفات، به‌غیر از ارتفاع بوته، طول سنبله و وزن‌هزاردانه، گزینش در نسل‌های در حال تفکیک پیشرفته و پس از رسیدن به خلوص نسبی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عمل ژن، فراسنجه‌های ژنتیکی، گزینش، گندم دوروم و وراثت‌پذیری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می باشد

۱- گروه ژنتیک و به‌نژادی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
۳- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: khodarahmi_m@yahoo.com)
۴- استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

مقدمه

گندم دوروم [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)]، دومین گونه زراعی مهم گندم است که در دنیا در سطح ۱۷ میلیون هکتار کشت می‌شود (CIMMYT, 2019). این محصول در حال حاضر حدود هشت درصد از کل گندم تولیدی دنیا را شامل شده و مناطق اصلی کشت آن در حوضه مدیترانه، دشت‌های بزرگ آمریکای شمالی، روسیه و قزاقستان است (Tidiane Sall, *et al*., 2020). سطح زیر کشت این محصول در ایران در سال ۱۳۹۷، ۱۴۷ هزار هکتار گزارش شده است (Najafi Mirak *et al*., 2021). ارقام آریا، دنا، ساجی، آران، دهدشت و ثنا از جمله اقام اصلاح شده گندم دوروم در ایران می‌باشند.

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد و گسترده‌ترین عامل محدودکننده تولید غلات، به‌ویژه در مناطق خشک است (Wasaya, *et al*., 2018). میزان اثر تنش خشکی به شدت، زمان و طول دوره وقوع تنش بستگی دارد. به این ترتیب، برای تولید ارقام پرمحصول و متحمل به تنش خشکی، شناخت جامع و کافی از ساختار ژنتیکی، الگوی توارث صفات و نوع و میزان اثرهای ژنی ضروری است (Amiri, *et al*., 2020). این موضوع از طریق استفاده از روش‌های ژنتیک کمّی متعددی که برای به دست آوردن اطلاعات مربوط به کنترل ژنتیکی صفات مختلف معرفی شده‌اند، میسر می‌شود.

تجزیه میانگین نسل‌ها یکی از روش‌های مؤثر برای تعیین فراسنجه‌های (پارامترهای) ژنتیکی است (Mather and Jinks, 1982) که توسط محققان به‌نژادی برای کسب اطلاعات در مورد نحوه عمل ژن در کنترل صفات اقتصادی گیاهان زراعی از جمله گندم استفاده می‌شود. شایستگی این روش در توانایی برآورد اثرهای افزایشی-افزایشی، غالبیت-غالبیت و افزایشی-غالبیت نهفته است (Sing and Sing, 1992)، به کمک این روش می‌توان والدین مطلوب را جهت استفاده در تلاقی‌هایی که برای بهره‌گیری از هتروزیس انتخاب می‌شوند، شناسایی نمود (Sharma, *et al*., 2003). در پژوهشی، نتایج تجزیه میانگین نسل‌های حاصل از تلاقی دو رقم گندم دوروم Bousselam و Mrb5 نشان‌دهنده عدم کفایت مدل ساده افزایشی-غالبیت و وجود اثرات اپیستازی، علاوه‌بر اثرات افزایشی و غالبیت، در کنترل صفات مورد بررسی بود. با توجه به وجود غالبیت ناقص برای اکثر صفات، غالبیت کامل برای صفات عملکرد دانه و عملکرد زیستی و فوق غالبیت برای وزن هزاردانه و شاخص برداشت و وراثت‌پذیری پایین یا متوسط برای اغلب صفات، گزینش برای نسل‌های بعدی توصیه شد (Salmi, *et al*., 2019). امیری و همکاران (Amiri *et al*., 2021) در بررسی فراسنجه‌های ژنتیکی با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در تلاقی گندم مرودشت با لاین MW-17 در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل گزارش دادند که علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثرات اپیستازی نیز در وراثت کلیه صفات نقش داشتند. مدل کنترل ژنتیکی اغلب صفات در هر دو شرایط از نظر وجود یا عدم وجود اثرات متقابل غیرآللی، نسبتا مشابه بود.

تعیین اثرات ژنی و برآورد اجزای ژنتیکی از عوامل اصلی موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی است. هدف از این تحقیق ارزیابی فراسنجه‌های ژنتیکی کنترل‌کننده، بررسی نحوه وراثت‌پذیری و تعیین روش مناسب به‌نژادی صفات مهم زراعی و ریخت‌شناسی در نتاج حاصل از تلاقی دو رقم گندم دوروم شتر دندان و دنا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل نسل‌های P1، P2، F1، F2، BC1 و BC2 حاصل از تلاقی ارقام گندم دوروم شتر دندان (به‌عنوان والد مادری) و دنا (به‌عنوان والد پدری) بودند. رقم شتردندان یک رقم

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

بومی تتراپلوییید ایران که در مناطقی از ایران (خراسان و سیستان و بلوچستان) کشت می‌شود و تحمل نسبتاً خوبی به خشکی داشته و دارای وزن هزاردانه بالا (یکی از صفات بسیار مهم در گندم دوروم) می‌باشد، ولی با توجه به این که تا کنون مطالعات زیادی در مورد این رقم در منطقه اهواز انجام نشده، در این آزمایش از این رقم برای تلاقی استفاده شد. رقم دنا یک رقم دوروم بهاره، با شجره Tarro3، مقاوم نسبت به ریزش و خوابیدگی بوته با ارتفاع بوته ۹۴ سانتی‌متر و مقاوم بیماری زنگ زرد است که در غالب خزانه‌های بین‌المللی از مرکز تحقیقات بین‌المللی گندم و ذرت (CYMMIT) دریافت و در ایران معرفی شده است. بر اساس تجربه نگارندگان و شناسنامه ارقام در سایت مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، والدین از نظر صفات وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، اجزای عملکرد، طول سنبله و .... با یکدیگر تفاوت داشتند.

بعد از انجام تلاقی و تولید نسل‌های مورد نظر در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز واقع در ویس (با مختصات جغرافیایی 31.3010 N, 48.6217 E)، ارزیابی نسل‌ها در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) و قطع آبیاری بعد از مرحله گرده‌افشانی اجرا شد. عملیات کاشت بعد از انجام شخم و دیسک‌زنی در هفته آخر آبان (فاصله زمانی ۲۵ آبان ماه تا ۳۰ آبان ماه) انجام شد. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی-لومی با محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب (به‌ترتیب ۵/۳، ۷ و ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بود. مقدار مواد آلی در لایه‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۵۲ درصد بود. محل انجام آزمایش دارای اقلیم گرم و خشک با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم است. متوسط دما در فصل رشد گیاه، میانگین حداکثر و حداقل آن به‌ترتیب ۲۱، ۲۶/۸ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. در هر واحد آزمایشی، بذرها روی ردیف‌هایی با طول دو متر، فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر کشت شدند. برای هر یک از والدین و F1 در هر تکرار، حداقل ۳۰ بذر، از BC1 و BC2، حداقل ۹۰ بذر و از F2، ۳۰۰ بذر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذر انجام شد، آبیاری با توجه به نیاز مزرعه در کلیه آزمایش‌ها (آزمایش در شرایط بدون تنش و آزمایش در شرایط تنش خشکی انتهای فصل) به‌صورت یکسان و همزمان انجام شد. در زمان گرده‌افشانی آبیاری در قسمت تیمارهای تنش خشکی انتهای فصل قطع شد. در قسمت بدون تنش، تا زمان رسیدگی محصول، آبیاری‌های لازم انجام شد. جهت تامین نیاز غذایی گیاهان از ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع کود اوره)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع کود فسفات آمونیوم) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع کود سولفات پتاسیم) در هنگام کاشت و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به عنوان کود سرک در ابتدای مرحله طویل شدن ساقه به خاک داده شد. آبیاری به روش نشتی شامل دو نوبت در پاییز (با توجه به میزان بارندگی‌های پاییزه) و پنج نوبت آبیاری در بهار (بسته به شرایط آب و هوایی) انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ با علف‌کش گرانستار به مقدار ۲۰ گرم در هکتار و مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ با علف‌کش پوماسوپر به مقدار ۱/۲ لیتر در هکتار در مرحله پنجه زنی تا شروع ساقه رفتن انجام شد.

برای کلیه صفات اندازه‌گیری‌ها به صورت تک‌بوته انجام شد. اندازه‌گیری برای هر صفت در پنج بوته از والد P_1، شش بوته از والد P_2، سه بوته از نسل F_1، ۱۴ بوته از نسل F_2، هفت بوته از نسل BC_1 و هفت بوته از نسل BC_2 در هر تکرار هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل انجام شد. در مراحل مختلف رشد صفات تعداد پنجه، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

دانه در سنبله، وزن هزاردانه و وزن دانه در تک‌بوته‌ها اندازه‌گیری شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری انجام شد. از تجزیه واریانس وزنی (Mather and Jinks, 1982) برای آزمون وجود اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین نسل‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD=0.05) انجام شد. برای صفاتی که بین نسل‌ها تفاوت معنی‌دار وجود داشت، تجزیه میانگین نسل‌ها، تجزیه واریانس نسل‌های مختلف و برآورد فراسنجه‌های ژنتیکی با استفاده از روش حداقل مربعات وزنی برای هر کدام از محیط‌های بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل انجام شد (Mather and Jinks, 1982). آزمون مقیاس مشترک برای میانگین فنوتیپ‌ها با روش توصیف شده توسط متر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) و تعیین مناسب‌ترین مدل ژنتیکی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی مورد استفاده قرار گرفت. معنی‌دار بودن هر یک از فراسنجه‌های برآورد شده با استفاده از آزمون t انجام شد. در هر دو شرایط، اجزای غیر معنی‌دار مدل شش پارامتری، حذف شدند تا مدل مناسب به دست آید. اجزای تنوع، وراثت‌پذیری‌های عمومی (h^2_{BS}) و خصوصی (h^2_{nS}) بر اساس روش متر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) محاسبه شدند. حداقل تعداد ژن یا عوامل مؤثر به روش کوکرهام (Cokerham, 1988) محاسبه شد. از نرم‌افزارهای SAS 9.1، Minitab و Excle جهت محاسبات و تجزیه داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده در والدین (P_1 و P_2) و نسل‌های تولید شده از تلاقی (F_1، F_2، BC_1 و BC_2) انجام شده در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل نشان داد که در شرایط بدون تنش، تفاوت بین نسل‌ها از لحاظ صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد پنجه، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن هزاردانه و وزن دانه در بوته و در شرایط تنش نیز تفاوت بین نسل‌ها برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

براساس نتایج مقایسه میانگین نسل‌ها در شرایط بدون تنش، رقم دنا از نظر صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزاردانه نسبت به رقم شتردندان میانگین کمتری داشت. نسل BC_1 از نظر صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن هزاردانه به رقم شتردندان نزدیک‌تر بود (جدول ۱). تمایل میانگین‌های نسل BC_1 به والد با ارزش بالاتر از نظر صفات یاد شده، نشان دهنده غالبیت ژن‌های برخوردار از ارزش بیشتر برای این صفات می‌باشد (Shayan *et al.*, 2019). نسل BC_1 تنها از نظر صفت طول پدانکل به رقم دنا نزدیک‌تر بود. همانطور که انتظار می‌رفت خصوصیات نسل BC_2 به رقم دنا نزدیک‌تر بود. نسل F_2 در مقایسه با نسل F_1، میانگین بیشتری برای صفات تعداد پنجه، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله داشت، اما میانگین این نسل برای صفات وزن هزاردانه و وزن دانه در بوته کمتر از میانگین نسل F_1 بود که نشان‌دهنده وجود پس‌روی ناشی از خویش‌آمیزی در این صفات است (Amiri *et al.*, 2020).

نتایج مقایسه میانگین نسل‌ها در شرایط تنش خشکی نیز نشان داد که از نظر صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزاردانه، والد P_1 به طور معنی‌داری برتر از والد P_2 بود (جدول ۱). همانند شرایط بدون تنش خصوصیات نسل BC_1 برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزاردانه به والد P_1 و برای صفت طول پدانکل به والد P_2 متمایل بود و خصوصیات نسل BC_2

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

برای صفات یاد شده به والد P_2 متمایل بود. افزایش مقدار میانگین برای صفات تعداد پنجه، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در نسل F_2 نسبت به نسل F_1 ممکن است به‌علت نقش افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات باشد. به‌علاوه کاهش مقدار میانگین در نسل F_2 نسبت به نسل F_1 ممکن است به‌علت پس‌روی ناشی از خویش‌آمیزی در این صفت باشد. تفاوت بین شرایط بدون تنش و تنش خشکی برای صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که در اثر تنش صفات تعداد پنجه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته کاهش یافتند (جدول ۲). کاهش در عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد در پاسخ به شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گندم در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Prasad *et al*., 2011, Liu *et al*., 2019; Saeidi and Abdoli, 2015). برای رفع این مشکل می‌توان از ارقامی که در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی دارند، استفاده کرد (Mohammadi *et al*., 2012). مرحله پر شدن دانه، مهم‌ترین مرحله تأثیرگذار بر کیفیت گندم دوروم است. بروز تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی با تأثیر بر مدت زمان پر شدن دانه، افزایش سطح اسید آبسزیک درونی، محدودیت کربوهیدرات‌ها و کاهش توانایی اجزای تولید مثل در استفاده از نشاسته و ساکارز، عملکرد دانه و کیفیت آن را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Altenbach, 2012).

با توجه به معنی‌دار بودن تفاوت بین نسل‌ها برای اکثر صفات مورد ارزیابی، اجرای تجزیه میانگین نسل‌ها برای این صفات قابل توجیه بود. بر اساس نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط بدون تنش (جدول ۳)، مدل سه پارامتری (شامل m-d-h) تنها برای صفت طول سنبله برازش داده شد. اختر و چودری (Akhtar and Chowdhry. 2006) نیز مدل سه پارامتری را بهترین مدل برای کنترل این صفت معرفی کردند. در شرایط تنش خشکی نیز مدل سه پارامتری تنها برای صفات ارتفاع بوته و طول سنبله برازش داده شد. برای سایر صفات معنی‌دار شدن مقدار کای‌اسکوئر برای مدل سه پارامتری نشان دهنده عدم کفایت مدل افزایشی و غالبیت و وجود برهمکنش غیرآللی بود، بنابراین از مدل شش پارامتری برای برازش بهترین مدل استفاده شد. برای حفظ درجه آزادی بعد از حذف اجزای غیرمعنی‌دار از مدل شش پارامتری، بهترین مدل برای هر صفت تعیین شد.

فراسنجه میانگین (m) برای کلیه صفات در هر دو تیمار بدون تنش و تنش خشکی معنی‌دار بود. این عامل نشان دهنده سهم ناشی از میانگین کل به اضافه اثرات مکان و برهمکنش مکان‌های ثابت است. معنی‌دار شدن این فراسنجه نشان دهنده وراثت کمّی صفات و اهمیت برهمکنش‌های غیرآللی است. در همین رابطه نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Abd El-Hady *et al*., 2018; Salmi *et al*., 2019). اثر افزایشی ژن (d) برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه در هر دو تیمار معنی‌دار بود که نشان دهنده پتانسیل بهبود این صفات با استفاده از روش‌های گزینش شجره‌ای در نسل‌های اولیه در حال تفرق است (Soliman, 2018; Koubisy, 2019; Al-Naggar *et al*., 2021). در تحقیق حاضر علامت فراسنجه d برای کلیه صفات مورد بررسی که این عامل برای آن‌ها معنی‌دار بود، مثبت بود که به معنی برتری والد غالب در کنترل این صفات است. اثر غالبیت (h) برای کلیه صفات در شرایط بدون تنش و برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط تنش، منفی و معنی‌دار بود. علامت منفی فراسنجه h نشان دهنده غالبیت نسبی در جهت کاهش صفت مربوطه است. برای صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش، اثر غالبیت (h) مثبت و معنی‌دار بود. با توجه به مقدار مثبت فراسنجه h برای صفات تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه در شرایط

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

جدول ۱- میانگین صفات گیاهی در نسل‌های حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در گندم دوروم در تیمارهای بدون و تنش خشکی انتهای فصل

Table 1. Mean of plant traits of durum wheat generations obtained from Shotordandan and Dena cross under normal and terminal drought stress treatments

	نسل Generation	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد پنجه در بوته Tiller.plant^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله Spiklet.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	تعداد دانه در سنبله Grain.spike^{-1}	وزن دانه در بوته Grain weight.plant^{-1} (g)
بدون تنش Normal	P_1	107.0	10.8	44.5	5.0	22.0	43.7	42.0	9.32
	P_2	78.2	7.7	33.0	5.7	18.3	40.5	41.0	9.56
	F_1	86.5	8.1	32.7	3.5	18.7	44.3	41.2	6.51
	F_2	98.2	8.6	40.4	5.7	19.9	48.9	39.4	11.26
	BC_1	99.5	9.7	36.4	5.0	21.7	45.0	42.5	9.59
	BC_2	82.7	7.7	36.1	4.8	17.7	42.5	41.9	8.56
	LSD (5%)	8.1	0.99	3.8	1.2	1.9	2.2	2.6	2.65
تنش خشکی Drought stress	P_1	104.3	10.9	42.0	4.0	21.0	34.6	38.2	5.39
	P_2	76.5	7.2	30.8	4.7	17.2	29.9	39.3	5.62
	F_1	85.6	8.1	32.3	3.3	17.7	37.1	40.0	4.97
	F_2	88.6	8.8	33.7	4.9	19.2	36.5	32.5	5.96
	BC_1	97.0	9.6	35.3	4.4	19.9	37.6	40.9	6.83
	BC_2	81.1	7.5	35.5	4.4	17.6	35.0	39.3	6.16
	LSD (5%)	5.3	0.35	4.6	1.1	1.1	2.0	2.0	1.51

جدول ۲- میانگین تیمارهای بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل برای صفات گیاهی در نسل‌های حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در گندم دوروم بر اساس آزمون t

Table 2. Mean of normal and terminal drought stress treatments for plant traits of durum wheat generations obtained from Shotordandan and Dena cross (t Test)

	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد پنجه در بوته Tiller.plant^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله Spiklet.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	تعداد دانه در سنبله Grain.spike^{-1}	وزن دانه در بوته Grain weight.plant^{-1} (g)
بدون تنش Normal	92.0a	8.8a	37.2a	4.4a	19.7a	44.1a	41.3a	9.13a
تنش خشکی Drought stress	88.9a	8.7a	35.0a	4.3b	18.8a	35.1b	38.4b	5.82b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون t در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level, using t test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

تنش، در این صفات غالبیت ناقص به سمت والد دارای میانگین بالاتر بوده است. با توجه به معنی‌دار شدن اثر غالبیت (h) برای کارآمدتر شدن انتخاب در این صفات، ترجیح این است که انتخاب به نسل‌های آخر موکول شود تا هموزیگوسیتی افزایش یابد (Al-Naggar *et al*., 2021). بیشتر بودن مقدار فراسنجه (d) نسبت به فراسنجه (h) برای طول سنبله در هر دو تیمار و برای ارتفاع بوته و طول پدانکل در شرایط تنش، به این معناست که نقش اثر افزایشی در کنترل این صفات بیشتر از اثر غالبیت است. غیرمعنی‌دار شدن فراسنجه (d) و معنی‌دار شدن فراسنجه‌های (m-h) برای صفات تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش و بیشتر شدن مقدار فراسنجه (h) نسبت به فراسنجه (d) برای صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن دانه در گیاه در شرایط بدون تنش و تعداد سنبلچه در سنبله وزن هزاردانه در هر دو تیمار نشان دهنده اهمیت اثرات غالبیت در کنترل این صفات است.

برهمکنش افزایشی × افزایشی (i) برای صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش منفی و معنی‌دار بود. علامت مخالف d و i در این صفات نشان دهنده ماهیت متضاد برهمکنش بود. برهمکنش افزایشی × غالبیت برای صفات تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط بدون تنش مثبت و معنی‌دار و برای طول پدانکل در شرایط تنش منفی و معنی‌دار بود. برای صفت طول پدانکل در شرایط بدون تنش هر دو نوع برهمکنش افزایشی × افزایشی (i) و افزایشی × غالبیت (j) منفی و معنی‌دار بودند. هر دو اثر افزایشی × افزایشی (i) و غالبیت × غالبیت (l) برای وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش معنی‌دار بودند. زمانی که دو اثر غالبیت (h) و برهمکنش غالبیت × غالبیت در مدل وجود داشته باشند، می‌توان نوع اپیستازی را مشخص کرد. بر اساس نظر کیرسی و پونی (Kearsey and Pooni, 1996) هنگامی‌که این دو فراسنجه علامت مشابه داشته باشند، اپیستازی از نوع تکمیلی است و هنگامی که علامت این دو مخالف هم باشد، اپیستازی از نوع مضاعف است (Al-Naggar *et al*., 2021). به این ترتیب علامت مخالف فراسنجه‌های h و l برای صفات وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش وجود اپیستازی از نوع مضاعف را برای این صفات نشان می‌دهد که باعث کاهش واریانس نسل‌های در حال تفرق می‌شود. این شکل از اپیستازی با کاهش تنوع در نسل F و نسل‌های بعد از آن باعث اختلال در فرایند گزینش می‌شود و عمل گزینش تا دسترسی به سطح بالایی از تثبیت ژنی باید به تأخیر انداخته شود. اپیستازی مضاعف ارزش اصلاحی نداشته و می‌تواند باعث بروز نتایج غیرقابل پیش‌بینی شود. تنها اپیستازی تکمیلی است که از نظر اصلاحی حائز اهمیت است. در این نوع اپیستازی، برهمکنش‌ها ماهیت تکمیلی دارند، به عبارت دیگر برهمکنش افزایشی × افزایشی اثر تکمیل‌کنندگی نسبت به اثر افزایشی دارد (Yadava and Narsinghani,1999).

براساس نتایج برآورد اجزای واریانس (جدول ۴)، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت (جدول ۵) برای صفات اندازه‌گیری شده، برای صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن هزاردانه (در هر دو تیمار) که تحت کنترل نوع افزایشی اثر ژن (D) هستند، استفاده از روش گزینش شجره‌ای باعث بهبود این صفات خواهد شد، در مقابل صفاتی مانند طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در هر دو تیمار، تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش که بیشتر تحت کنترل نوع غالبیت اثر ژن (H) هستند، تلاقی‌های دو والدینی شرایط بهتری برای افزایش نوترکیبی و افزایش سرعت بهبود ژنتیکی این صفات فراهم می‌کند، زیرا احتمال بروز هتروزیس در این صفات وجود دارد (Sharma and Singh, 1976, Srivastava *et al*., 1992, Farshadfar *et al*., 2008, Tammam, 2005, Amin, 2013).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

جدول ۳- فراسنجه‌های ژنتیکی برای صفات گیاهی در نسل‌های حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در گندم دوروم در تیمارهای بدون و تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها

Table 3. Genetic parameters for plant traits of durum wheat generations obtained from Shotordandan and Dena cross under normal and terminal drought stress treatments using generation mean analysis

			m	d	h	i	j	l	X^2
بدون تنش Normal	Plant height	ارتفاع بوته	124.30±11.70**	14.43±0.84**	-65.11±25.58**	-31.45±10.59**	-	27.36±15.74^{ns}	0.56^{ns}
	Spike length	طول سنبله	9.28±0.13**	1.60±0.14**	-1.17±0.22**	-	-	-	1.70^{ns}
	Peduncle length	طول پدانکل	46.02±2.28**	5.24±1.07**	-13.64±2.87**	-7.74±2.65**	-10.20±3.60**	-	3.51^{ns}
	Tiller.plant^{-1}	تعداد پنجه در بوته	7.99±0.49**	-0.29±0.19^{ns}	-4.47±0.63**	-2.65±0.53**	0.85±1.07^{ns}	-	0.57^{ns}
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	21.22±0.80**	1.78±0.23**	-2.44±1.27**	-1±0.83^{ns}	4.33±1.60**	-	0.0005^{ns}
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	62.54±3.51**	1.99±0.36**	-36.07±7.59**	-20.34±3.47**	-	17.86±4.74**	1.64^{ns}
	Grain weight.plant^{-1}	وزن دانه در بوته	15.79±1.09**	-0.07±0.38^{ns}	-9.37±1.38**	-6.44±1.18**	2.49±4.02^{ns}	-	1.05^{ns}
تنش خشکی Drought stress	Plant height	ارتفاع بوته	90.76±0.77**	14.02±0.76**	-4.09±2.07**	-	-	-	0.92^{ns}
	Spike length	طول سنبله	9.11±0.11**	1.87±0.11**	-0.96±0.20**	-	-	-	1.46^{ns}
	Peduncle length	طول پدانکل	36.48±0.81**	5.58±0.81**	-0.95±4.00^{ns}	-	-11.76±3.59**	-3.19±4.21^{ns}	0.59^{ns}
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	20.72±0.82**	1.82±0.21**	-2.97±1.08**	-1.56±0.86^{ns}	1.01±1.14^{ns}	-	0.13^{ns}
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	33.32±2.74**	2.41±0.30**	9.47±6.11**	-1.03±2.72^{ns}	-	-5.68±3.91^{ns}	0.13^{ns}
	Grain.spike^{-1}	تعداد دانه در سنبله	10.81±2.72**	-0.42±0.25^{ns}	58.09±6.81**	27.96±2.70**	-	-28.91±4.49**	3.86**

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

-: فراسنجه‌های مربوطه وارد مدل نشده است

m: میانگین، d: اثر افزایشی، h: اثر غالبیت، i: برهمکنش افزایشی × افزایشی، j: برهمکنش افزایشی × غالبیت، l: برهمکنش غالبیت × غالبیت

m: Mean, d: Additive effects, h: Dominance effects, i: Interaction of additive ×additive, j: additive ×dominance, l: dominance ×dominance

^{ns}, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

-: The parameter was not included in the model

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

بیشتر بودن مقدار واریانس جزء غالبیت (V_H) نسبت به واریانس جزء افزایشی (V_D) برای صفات تعداد پنجه، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش، نشان دهنده نقش اثر غالبیت در کنترل این صفات است، به این ترتیب تأخیر در گزینش برای این صفات در نسل‌های بعدی مؤثرتر خواهد بود. علامت مثبت F در شرایط بدون تنش برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن دانه در بوته و در شرایط تنش برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله نشان دهنده برتری ژن‌های مسئول در جهت افزایش این صفات است، زیرا ژن‌های غالب در والد دارای میانگین بزرگتر برای این صفات وجود داشته و مقدار منفی F برای صفات طول پدانکل، تعداد پنجه و وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش نشان دهنده برتری ژن‌های مسئول در جهت کاهش این صفات بود، زیرا ژن‌های غالب در والد دارای میانگین کمتر برای این صفات قرار داشتند. مقدار $\sqrt{H/D}$ در شرایط بدون تنش برای صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل از یک کمتر بود که نشان دهنده اهمیت بیشتر واریانس افزایشی در این صفات است. بیشتر بودن مقدار $\sqrt{H/D}$ برای صفت وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و برای صفت تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط تنش، نشان دهنده اهمیت بیشتر واریانس غالبیت برای این صفات است. مقادیر پایین F/ $\sqrt{HD}$ برای صفات طول پدانکل و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و صفت تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط تنش به این مفهوم است که انحرافات غالبیت h/d در مکان‌های ژنی متفاوت، خصوصا از لحاظ بزرگی و علامت یکسان نیستند و برآورد $\sqrt{H/D}$ متوسط غالبیت را نشان می‌دهد که تفاوت چشمگیر این برآورد با درجه غالبیت h/d دلیل بر این موضوع می‌باشد.

مقدار بیشتر واریانس غالبیت برای صفت عملکرد دانه (Ninghot *et al.*, 2016)، تعداد پنجه (Mohamed, 2014) و تعداد دانه در سنبله (Ahmad *et al.*, 2016) و مقدار بیشتر واریانس افزایشی برای صفت ارتفاع بوته (Sultan *et al.*, 2011)، طول پدانکل (Abd EL-Rahman, 2013) و وزن هزار دانه (Mohamed, 2014)، در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است.

وراثت‌پذیری عامل ارزشمندی برای پیش‌بینی میزان پیشرفت ژنتیکی و پاسخ به گزینش محسوب می‌شود. وراثت‌پذیری عمومی در این تحقیق ۱۱ تا ۸۴ درصد در شرایط بدون تنش و ۲۴ تا ۷۰ درصد در شرایط تنش و وراثت‌پذیری خصوصی یک تا ۷۵ درصد در شرایط بدون تنش و یک تا ۴۰ درصد در شرایط تنش برای صفات مورد مطالعه، متغیر بودند (جدول ۵). بیشترین میزان وراثت‌پذیری عمومی در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب مربوط به ارتفاع بوته و طول پدانکل بود. کمترین میزان وراثت‌پذیری عمومی در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب مربوط به طول سنبله و وزن هزار دانه بود. بیشترین میزان وراثت‌پذیری خصوصی در هر دو تیمار مربوط به صفت ارتفاع بوته بود. تفاوت کم وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در هر دو تیمار نشان دهنده این است که واریانس افزایشی بخش بزرگی از واریانس ژنتیکی را تشکیل می‌دهد (Amiri *et al.*, 2020)، بنابراین گزینش در نسل‌های اولیه بهترین روش بهبود آن‌ها است. تفاوت بین برآوردهای وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی در صفات طول سنبله، طول پدانکل و تعداد سنبلچه در سنبله در هر دو تیمار و تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش نشان دهنده سهم بیشتر اثر غالبیت است، بنابراین به نظر می‌رسد که در اصلاح این صفات، گزینش ابتدایی مؤثر نباشد و بهتر است که از گزینش در نسل‌های انتهایی استفاده شود. درجه غالبیت

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

جدول ۴- اجزای تنوع برای صفات مورد بررسی در نسل‌های حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در گندم دوروم در تیمارهای بدون و تنش خشکی انتهای فصل

Table 4. Diversity components for plant traits in durum wheat generations obtained from Shotordandan and Dena cross under normal and terminal drought stress treatments

	Plant traits	صفات گیاهی	E_W	D	H	V_D	V_H	F	$\sqrt{H/D}$	$F/\sqrt{H/D}$
بدون تنش Normal	Plant height	ارتفاع بوته	30.65	280.89	63.10	140.44	15.77	81.27	0.47	0.61
	Spike length	طول سنبله	0.54	-5.26	10.60	-2.63	2.65	1.59	-	-
	Peduncle length	طول پدانکل	22.61	154.74	24.02	77.37	6	-1.59	0.39	-4.03
	Tillers.plant^{-1}	تعداد پنجه در بوته	0.94	-1.96	9.88	-0.98	2.47	-0.12	-	-
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	2.59	-12.46	28.85	-6.23	7.21	2.11	-	-
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	10.91	99.51	-26.74	49.75	-6.68	-2.48	-	-
	Grain weight.plant^{-1}	وزن دانه در بوته	3.80	9.17	37.23	4.58	9.30	3.31	2.01	1.64
تنش خشکی Drought stress	Plant height	ارتفاع بوته	46.52	119.54	-84.76	59.77	-21.19	5.94	-	-
	Spike length	طول سنبله	0.37	-1.46	6.61	-0.73	1.65	1.38	-	-
	Peduncle length	طول پدانکل	18.28	139.03	-103.42	69.51	-25.85	11.22	-	-
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	1.42	2.21	4.91	1.10	1.22	2.13	1.48	1.43
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	7.47	23.26	-41.70	11.63	-10.42	0.23	-	-
	Grain.spike^{-1}	تعداد دانه در سنبله	4.89	-20.96	45.46	-10.48	11.36	11.65	-	-

E_W: واریانس محیطی، D: جزء افزایشی تنوع، H: جزء غالبیت تنوع، V_D: واریانس افزایشی، V_H: واریانس غالبیت، F: همبستگی d و h روی تمام مکان‌های ژنی $\sqrt{H/D}$: نسبت غالبیت، ($F/\sqrt{H/D}$): انحرافات غالبیت در مکان‌های ژنی متفاوت

EW: Environmental variance, D: Additive component of diversity, H: Dominance component of diversity, V_A: Additive variance, V_D: Dominance variance, F: Correlation d and h on all gene loci, (√H / D): Dominance ratio, (F /√ (HD): Dominance deviations in different loci genes

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

جدول ۵- درجه غالبیت، وراثت‌پذیری عمومی و وراثت‌پذیری خصوصی صفات گیاهی در نسل‌های حاصل از تلاقی ارقام شتردندان و دنا در گندم دوروم در شرایط بدون تنش وتنش خشکی انتهای فصل

Table 5. Degrees of dominance, broad sense and narrow sense heritability for plant traits of durum wheat generations obtained from Shotordandan and Dena cross under normal and terminal drought stress treatments

	Plant traits	صفات گیاهی	h/d	h^2_{BS} 1	2	3	4	5	6	mean	h^2_{NS}	GN	$H_{\overline{MP}}$	$H_{\overline{P}_1}$
بدون تنش Normal	Plant height	ارتفاع بوته	2.28	0.85	0.86	0.81	0.84	0.84	0.83	0.84	0.75	0.65	-6.23**	-20.51**
	Spike length	طول سنبله	1.37	0	0	0.58	0.07	0	0	0.11	0.01	0.81	-1.13**	-2.7**
	Peduncle length	طول پدانکل	0.93	0.38	0.58	0.87	0.71	0.54	0.62	0.62	0.27	0.42	-6.06	-11.75**
	Tiller.plant^{-1}	تعداد پنجه در بوته	-0.16	0.33	0.41	0.78	0.58	0.48	0.55	0.52	0.01	0.03	-0.55 ns	-0.97ns
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	1.24	0.33	0.37	0.03	0.28	0.23	0.18	0.23	0.01	2.75	-1.43*	-3.22**
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	-0.72	0.70	0.70	0.51	0.65	0.64	0.61	0.63	0.57	0.07	2.18 ns	0.60ns
	Grain weight.plant^{-1}	وزن دانه در بوته	-0.03	0.57	0.57	0.83	0.69	0.62	0.68	0.65	0.38	0.0005	-2.90**	-2.80**
تنش خشکی Drought stress	Plant height	ارتفاع گیاه	2.80	0.74	0.76	0.16	0.63	0.55	0.45	0.55	0.40	2.45	-13.76**	-18.66**
	Spike length	طول سنبله	1.89	0.62	0.63	0.79	0.69	0.68	0.71	0.69	0.01	1.85	-0.97**	-2.82**
	Peduncle length	طول پدانکل	1.34	0.65	0.69	0.75	0.71	0.68	0.70	0.70	0.12	0.35	-4.15**	-9.73**
	Spiklet.spike^{-1}	تعداد سنبلچه در سنبله	1.32	0.58	0.59	0.65	0.61	0.60	0.62	0.61	0.29	0.71	-1.38**	-3.22**
	1000 grain weight	وزن هزار دانه	-0.48	0.33	0.48	0	0.34	0.20	0.13	0.24	0.13	2.24	4.78**	2.45*
	Grain.spike^{-1}	تعداد دانه در سنبله	0.47	0.53	0.59	0	0.41	0.28	0.15	0.32	0.01	0.17	1.17 ns	1.73ns

h/d: درجه غالبیت، h^2_{BS}: وراثت‌پذیری عمومی، h^2_{NS}: وراثت‌پذیری خصوصی، GN: تعداد ژن، $H_{\overline{MP}}$: هتروزیس نسبت به میانگین والدین، $H_{\overline{P}_1}$: هتروزیس نسبت به والد برتر

h/d: Degree of dominance, h^2_{BS}: Broad sense heritability, h^2_{NS}: Narrow sense heritability, GN: Gene number, $H_{\overline{MP}}$: Heterosis with regard to mid-Parent, egard to high Parent: Heterosis with r$H_{\overline{MP}}$

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده غیر از تعداد پنجه، وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش و وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش، بزرگتر از یک بود که نشان دهنده وجود پدیده فوق غالبیت در کنترل این صفات بود و مقدار پایین وراثت‌پذیری خصوصی را توجیه می‌کند. این موضوع با یافته‌های سایر محققان مانند چلویی و همکاران (Cheloei *et al.*, 2012)، شایان و همکاران (Shayan *et al.*, 2019) و محمد (Mohamed, 2014) مطابقت داشت.

تعداد ژن‌های کنترل‌کننده از حداقل ۰/۰۰۰۵ برای وزن دانه در بوته تا ۲/۷۵ برای تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط بدون تنش و از حداقل ۰/۱۷ برای تعداد دانه در سنبله تا ۲/۴۵ برای ارتفاع بوته در شرایط تنش برآورد شد. میزان هتروزیس در شرایط بدون تنش و تنش نسبت به میانگین والدین و والد برتر برای صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل و تعداد سنبلچه در سنبله و برای تعداد پنجه و وزن دانه در بوته در شرایط بدون تنش منفی و معنی‌دار ($P<0.01$) بود. میزان هتروزیس نسبت به میانگین والدین و والد برتر برای وزن هزار دانه در شرایط بدون تنش مثبت اما غیر معنی‌دار ($P>0.05$) و در شرایط تنش مثبت و معنی‌دار ($P<0.01$) نسبت به میانگین والدین و ($P<0.05$) نسبت به والد برتر بود. در صفت تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش نیز میزان هتروزیس نسبت به میانگین والدین و والد برتر، اما غیر معنی‌دار ($P>0.05$) بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که برای اکثر صفات گیاهی مورد ارزیابی، مدل افزایشی-غالبیت مدل مناسبی نبوده و اثرات اپیستاتیک ممکن است در کنترل آن‌ها نقش داشته باشند. به‌علاوه اثرات ژنی غیرافزایشی در کنترل بیشتر صفات نقش بارزتری داشتند، بنابراین بهتر است گزینش در نسل‌های در حال تفکیک پیشرفته و پس از رسیدن به خلوص نسبی انجام شود. با این وجود با توجه به نقش بیشتر ژن‌های با اثر افزایشی در کنترل صفات ارتفاع بوته، طول سنبله و وزن‌هزار دانه، استفاده از روش گزینش دوره‌ای برای جمع شدن ژن‌های مطلوب و در ادامه انتخاب ژنوتیپ‌های خالص برای این صفات پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Abd EL-Hady, M. A., M. A. Fergani, M. E. EL-Temsah and M. A. Abd EL-Kader. 2018. Physiological response of some wheat cultivars to antitranspirant under different irrigation treatments. Middle East J. Agric. Res. 7(1): 100-109.

Abd EL-Rahman, M. E. 2013. Estimation of some genetic parameters through generation mean analysis in three bread wheat crosses. Alexandria J. Agric. Res. 58(3): 183-195.

Ahmad, I., N. Mahmood, I. Khaliq and N. Khan. 2016. Genetic analysis for five important morphological attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.). JAPS. 26(3): 725-730.

Akhtar, N. and M. A. Chowdhry. 2006. Genetic analysis of yield and some other quantitative traits in bread wheat. Int. J. Agric. Biol. 4: 523-552.

Al-Naggar, A. M. M., K. F., Al-Azab, A. S. M. Younis, I. O. Hassan, M. A. E. Basyouny and M. Ayaad. 2021. Genetic parameters controlling the inheritance of glaucousness and yield traits in bread wheat. Braz. J. Biol. 82: e253864.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

Altenbach, S. B. 2012. New insights into the effects of high temperature, drought and post-anthesis fertilizer on wheat grain development. J. Cereal Sci. 56: 39–50.

Amin, I. A. 2013. Genetic behaviour of some agronomic traits in two durum wheat crosses under heat stress. Alex. J. Agric. Res. 58(1): 53-66.

Amiri, R., S. Bahraminejad and K. Cheghamirza. 2021. Estimation of genetic control model for agronomic traits in the progeny of Marvdasht and MV-17 wheat cross under normal and terminal drought stress conditions. Plant Genet. Res. 8(1): 61-80. (In Persian with English abstract)

Amiri, R., S. Bahraminejad and K. Cheghamirza. 2020. Genetic analysis of iron and zinc concentrations in bread wheat grains. J. Cereal Sci. 95: 103077.

Cheloei, Gh., A. Mohammadi, M. R. Bihamta, H. A. Ramshini and G. Najafian. 2012. Inheritance of drought tolerance in bread wheat using generation mean analysis. J. Plant Prod. 19(1): 43-66. (In Persian with English abstract)

CIMMYT. 2019. Wheat in Developing World. International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT, Mexico.

Cokerham, C. C. 1988. Modification in estimating the number of genes for a quantitative character. Genetics, 144: 659-664.

Farshadfar, E., S. Mahjouri and M. Aghaee. 2008. Detection of epistasis and estimation of additive and dominant components of genetic variation for drought tolerance in Durum wheat. J. Biol. Sci. 8: 598-603.

Kearsey, M. J. and H. S. Pooni. 1996. The Genetical Analysis of Quantitative Traits. Chapman and Hall.

Koubisy, Y.S.I. 2019. Generation mean analysis in two bread wheat crosses under heat stress conditions. Egypt. J. Agric. Res. 97(2): 589-607.

Liu, H., A. J. Able and J. A. Able. 2019. Genotypic performance of Australian durum under single and combined water deficit and heat stress during reproduction. Sci. Rep. 9: 1–17.

Mather, K. and J. L. Jinks. 1982. Biometrical genetics - The Study of Continuous Variation, 3rd Ed. Chapman and Hall, London, UK.

Mohamed, N. 2014. Genetic control for some traits using generation mean analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Plant Soil Sci. 3(9): 1055-1068.

Mohammadi, P., M. Mohammadi and R. Karimizadeh. 2012. Selection for drought tolerance in durum wheat genotypes. Ann. Biol. Res. 3(8): 3898-3904.

Najafi Mirak, T., M. Agaee Sarbarzeh, A. A. Moayedi, A. K. Kaffashi and M. Sayahfar. 2021. Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. Int. J. Agric. Sustain. 31(2): 17-28. (In Persian with English abstract).

Ninghot, C. J., M. V. Boratkar, S. B. Thawari and N. R. Potdukhe. 2016. Generation mean analysis for yield and yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Genet. 8(4): 204-206.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

Prasad, P. V. V., S. R. Pisipati, I. Momcilovic and Z. Ristic. 2011. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast protein synthesis elongation factor (EF-Tu) expression in spring wheat. J. Agron. Crop Sci. 197: 430–441.

Saeidi, M. and M. Abdoli. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. J. Agric. Sci. Technol. 17 (4): 885-898.

Salmi, M., A. Benmahammed, L. Benderradji, Z. Fellahi, H. Bouzerzour, A. Oulmi and A. Benbelkacem. 2019. Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. Rev. Fac. Nac. Agron. Med. 72(3): 8971-8981.

Sharma, G. and R. B. Singh. 1976. Inheritance of plant height and spike length in spring wheat. Indian J. Genet. Pl. Breed. 36: 173-183.

Sharma, S. N., R. S. Sain and R. K. Sharma. 2003. The genetic control of flag leaf length in normal and late sown durum wheat. J. Agric. Sci. 141: 323-331.

Shayan, S., M. Moghaddam Vahed, M. Norouzi, S. A. Mohammadi and M. Toorchi. 2019. Genetic analysis of agronomic and physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using generation mean analysis under drought stress conditions and spring planting in the cold climate. Iran. J. Crop Sci. 21(3): 210-224. (In Persian with English abstract).

Singh, R. P. and S. Sing. 1992. Estimation of genetic parameters through generation mean analysis in bread wheat. Indian J. Genet. Plant Breed. 52: 369-375.

Soliman, G. M. M. 2018. Genetical analysis for yield and yield component in durum wheat under different sowing dates. Proceedings of the 7th Field Crops Conference, 18-19 December 2018, Giza, Egypt.

Sultan, M. S., A. H. Abd El-Latif, Abd M. A. El-Moneam and M. N. A. El-Hawary. 2011. Genetic parameters for some yield and yield components characters in four cross of bread wheat under two water regime treatments. J. Plant Prod. 2(2): 351-366.

Tammam, A.M. 2005. Generation mean analysis in bread wheat under different environmental conditions. Minufiy J. Agric. Res. 30 (3): 937-956.

Tidiane Sall, A., T. Chiari, W. Legesse, K. Seid-Ahmed, R. Ortiz, M. Van Ginkel and F. M. Bassi. 2020. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): Origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. Agronomy. 9: 263.

Wasaya, A., X. Zhang, Q. Fang and Z. Yan. 2018. Root phenotyping for drought tolerance: A review. Agronomy. 8: 241-260.

Yadava, R. K. and V. G. Narsinghani. 1999. Gene effects for yield and its components in wheat. Rachis Newsl. 18(2): 79-8.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]

Genetic analysis of agronomic and morphological traits of durum wheat [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] using generations mean analysis under non-stress and terminal drought stress conditions

Taheri, R.[1], Z. Khodarahmpour[2], M. Khodarahmi[3] and M. Moradi[4]

ABSTRACT

Taheri, R., Z. Khodarahmpour, M. Khodarahmi and M. Moradi. 2022. Genetic analysis of agronomic and morphological traits of durum wheat [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] using generations mean analysis under non-stress and terminal drought stress conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences. 24(2): 150-164. (In Persian).**

Breeders often use generation means analysis to obtain information about inheritance, gene action, and to determine effective breeding methods to improve important agronomic traits, especially under drought stress conditions. To investigate the genetic parameters of agronomic and morphological traits in durum wheat, a field experiment was carried out using F1, F2, BC1 and BC2 generations obtained from crossing of Shotordandan variety and Dena cultivar under non-stress and terminal drought stress conditions. The experiment was carried out using randomized complete block design with three replications in research field of Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran in 2016-17 cropping season. To apply terminal drought stress, from anthesis stage, the irrigation of the plots was ceased until physiological maturity. The results of weighted analysis of variance of generations revealed that there was significant differences between the generations for all measured traits except number of grain.spike^{-1} under non-stress conditions and number of tillers and grain weight.plant^{-1} in drought stress conditions. The results of generations mean analysis for spike length under non-stress conditions and plant height and spike length under stress conditions showed that the three-parameters model had the best fit. However, for other measured traits, significant chi square test (χ^2) indicated the presence of non-allelic interactions in the inheritance. Additive and dominance effect played roles in controlling most of the studied traits, but the effect of dominance component was greater than the additive component. Broad and narrow sense heritability of traits under non-stress conditions varied from 11-84% and from 1-75%, respectively, and under stress conditions from 24-70% and from 1-40%, respectively. Considering the greater role of genes with non-additive effect in controlling most of traits, except plant height, spike length and 1000-grain weight, selection in durum wheat advanced breeding generations, when breeding lines are fixed and relative purity achived, is suggested.

Key words: Durum wheat, Gene action, Genetic parameters, Heritability and Selection.

Received: December, 2021 Accepted: February, 2022

1. Department of Genetics and Plant Breeding, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2. Associated Prof., Department of Production and Plant Genetics, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran
3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran(Corresponding author) (Email: khodarahmi_m@yahoo.com)
4. Assistant Prof., Department of Production and Plant Genetics, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.4.7]