نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره اول، بهار ۹۳
۱۸۱-۱۹۹
http://ejcp.gau.ac.ir

# مطالعه توارث کارایی مصرف آب گندم نان در شرایط تنش خشکی

**عبدالرحیم صفریان[۱] و *روح‌اله عبدالشاهی[۲]**

[۱و۲] به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۰

## چکیده

کارایی مصرف آب رابطه مستقیمی با عملکرد گندم دارد و در برنامه‌های به‌نژادی در نواحی تحت تأثیر تنش خشکی برای افزایش عملکرد گندم از این صفت استفاده می‌شود. البته هنوز، اطلاعات کمی در مورد ژنتیک کارایی مصرف آب وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از یک تلاقی نیمه دی‌آلل ۸ والدی ژنتیک کارایی مصرف آب گندم مطالعه شد. والدین و نتاج $F_1$ در شرایط تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار کشت شدند. و صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. اثرات افزایشی و غالبیت به‌طور معنی‌داری در کنترل صفات نقش داشت. برای صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اثرات غیرافزایشی نقش بیشتری داشت. بنابراین، برای به‌نژادی این صفات روش‌هایی مانند بالک، بالک تک بذر و دابل‌هاپلوئیدی مناسب است. درحالی‌که در کنترل ژنتیکی طول ریشک و تعداد دانه در سنبله اثر افزایشی نقش پررنگ‌تری داشت و علاوه بر روش‌های ذکر شده می‌توان از روش‌های شجره‌ای و یا تلاقی‌برگشتی برای به‌نژادی آنها استفاده نمود. همبستگی بالا و معنی‌دار (r=۰/۸۸) بین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این صفت بر عملکرد در شرایط تنش خشکی است. با توجه به این نتایج، گزینش برای افزایش کارایی مصرف آب باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی خواهد شد.

***واژه‌های کلیدی***: آثار افزایشی و غیرافزایشی، تحمل به خشکی، وراثت‌پذیری،

*مسئول مکاتبه: abdoshahi@gmail.com

**مقدمه**

گندم نان (*Triticum aestivum*) در هر دو شرایط دیم و فاریاب به‌طور گسترده تنش خشکی را در برخی از مراحل رشدی خود تجربه می‌نماید، ولی فراوانی و شدت کمبود آب در شرایط دیم شدیدتر است (ریبتزک و همکاران، ۲۰۰٦). در حال حاضر ۸۰ درصد از آب قابل دسترس در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (احمدی و همکاران، ۲۰۰۳). تغییرات الگوی آب و هوا و کمبود ذخایر آب جهانی باعث خواهد شد گندم‌های فاریاب نیز آب کمتری دریافت کنند و احتمال تنش خشکی در این شرایط نیز افزایش یابد (کاندون و همکاران، ۲۰۰۷؛ فیدما، ۱۹۹۹). افزایش جمعیت جهان و نیاز بیشتر به استفاده از آب در این بخش این مشکل را بیشتر تشدید می‌نماید (کاندون و همکاران، ۲۰۰٤). صفاتی که منجر به افزایش تحمل به خشکی در گیاهان می‌شوند دارای اهمیت زیادی هستند زیرا تحمل به خشکی تأثیر مستقیم بر امنیت غذایی میلیون‌ها انسان دارد (تاردیو، ۲۰۱۲). به‌نژادی برای افزایش عملکرد در شرایط غیر تنش، در برخی موارد باعث افزایش عملکرد در شرایط دیم شده است. علی‌رغم همبستگی مثبت بین عملکرد دانه در شرایط تنش و غیر تنش (محمدی و همکاران، ۲۰۱۱) گزینش بر اساس عملکرد در شرایط نرمال ممکن است همیشه پیامد مطلوب نداشته باشد (عبدالشاهی و همکاران، ۲۰۱۳)، با این وجود این استراتژی برای شرایط تنش ملایم مطلوب و برای شرایط تنش شدید نامطلوب است. استراتژی جایگزین به‌نژادی برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی است. بهبود ژنتیکی عملکرد در شرایط تنش خشکی هدف کلیدی به‌نژادگران گندم است (ریچاردز و لوکاس، ۲۰۰۲). این استراتژی به‌دلیل اثر متقابل شدید ژنوتیپ×محیط و متغیر بودن بارندگی از سالی به سال دیگر با پیشرفت کندی همراه است (دهاندا و همکاران، ۲۰۰٤). گزینش مستقیم برای عملکرد ممکن است منجر به افزایش تحمل به خشکی و افزایش عملکرد قابل قبول در شرایط تنش خشکی نشود زیرا پایداری عملکرد در شرایط تنش خشکی به میزان تحمل وابسته است (عبدالشاهی و همکاران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، پیشرفت ژنتیکی عملکرد به‌دلیل اثر متقابل شدید ژنوتیپ×محیط که از تفاوت بارندگی‌های سالیانه و شدت خشکی متفاوت ناشی می‌شود کند است. این اثر متقابل باعث کاهش وراثت‌پذیری و در نتیجه کاهش پیشرفت ژنتیکی در گزینش می‌شود (کالهون و همکاران، ۱۹۹٤).

پیشرفت کم در گزینش برای عملکرد باعث شد توجه به‌نژادگران به گزینش صفات ثانویه جلب شود (لندجوا و همکاران، ۲۰۰۸). صفات ثانویه که وراثت‌پذیری بالا و همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند

دارای اهمیت زیادی هستند. صفات متعددی برای این امر پیشنهاد شده است و کارایی مصرف آب یکی از مؤثرترین صفات است. به‌نژادی برای بهبود کارایی مصرف آب یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش تحمل به خشکی است. برنامه به‌نژادی برای افزایش کارایی مصرف آب در استرالیا منجر به ایجاد دو رقم تجاری به نام‌های دریس‌دلی (Drysdale) و ریس (Rees) شده است (کاندون و همکاران، ۲۰۰٤). روش‌های ژنتیکی متعددی برای برآورد پارامترهای ژنتیکی وجود دارد. روش دی‌آلل که توسط هیمن (۱۹٥٤)، جینکز و گریفینگ (۱۹٥٦) معرفی شد یکی از بهترین روش‌ها است. به‌دلیل این‌که این روش برای شناسایی والدین در برنامه به‌نژادی گیاهان سریع و کارآمد است، در گندم نان نیز برای شناسایی والدین از آن استفاده شده است (رامشینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ دره و یلدیریم، ۲۰۰٦). رامشینی و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد دانه گندم در یک طرح دی‌آلل ۷×۷ نشان دادند که اثر افزایشی در کنترل همه صفات نقش دارد. این محقق‌ها ژنوتیپ‌های Ws-82-9، سرداری و کویر را به‌عنوان والدین مناسب برای به‌نژادی این صفات پیشنهاد دادند. احمدی و همکاران (۲۰۰٤) با مطالعه وزن ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی گندم دریافتند اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل وزن ریشه دارای اهمیت بالاتری است، و در تظاهر وزن خشک ریشه نوع عمل ژن غالبیت نسبی و برای نسبت ریشه به اندام هوایی غالبیت کامل است. ریبتزک و همکاران (۲۰۰٦) با بررسی تمایز ایزوتوپ کربن ($\Delta$) که با کارایی مصرف آب همبستگی منفی دارد، دریافتند قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای این صفت معنی‌دار است. علاوه بر این، این پژوهشگران اپیستازی افزایشی× افزایشی را در کنترل ژنتیکی این صفت مؤثر دانستند و وراثت‌پذیری خصوصی این صفت را از ۰/۲۹ تا ۰/٤۳ اعلام کردند. ریبتزک و همکاران (۲۰۰۸) ده مکان کنترل کننده صفت کمی (کیوتی‌ال) برای این صفت پیدا کردند و بعضی از این نواحی ژنومی دارای اثرات پلیوتروپی بر تاریخ گلدهی و ارتفاع بوته بودند.

شناخت نحوه توارث کارایی مصرف آب در طراحی روش به‌نژادی برای افزایش این صفت بسیار اهمیت دارد. از این‌رو، در این پژوهش نحوه توارث و سهم اثرات ژنتیکی افزایشی و غیرافزایشی در کنترل کارایی مصرف آب بررسی شد. هدف دیگر این مطالعه شناسایی والدین دارای حداکثر آلل‌های مطلوب برای برنامه‌های به‌نژادی بود.

## مواد و روش‌ها

برای بررسی توارث کارایی مصرف آب، مجموعه‌ای از ارقام ایرانی و بین‌المللی که از لحاظ تحمل به خشکی متنوع بودند انتخاب شدند. در این پژوهش از ۸ رقم گندم به نام‌های چمران، قدس، اینیا، کویر، مرودشت، نیک نژاد، روشن و سرداری در یک تلاقی نیمه‌دی‌آلل استفاده شد. رقم‌های روشن و سرداری از طریق گزینش لاین خالص از توده‌های بومی کشور و رقم‌های قدس، کویر و مرودشت از طریق دورگ‌گیری در داخل کشور حاصل شده‌اند. رقم چمران در مرکز بین‌المللی سیمیت و رقم‌های نیک‌نژاد و مهدوی در مرکز بین المللی ایکاردا به‌نژادی شده‌اند. این رقم‌ها در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان در پاییز ۱۳۸۸ در ۳ تاریخ مختلف کشت و در بهار ۱۳۸۹ تلاقی‌های نیمه دی‌آلل انجام شد. چون ارقام از لحاظ تاریخ گلدهی با هم تفاوت داشتند کشت در ۳ تاریخ انجام شد تا امکان انجام تمام تلاقی‌های دی‌آلل ممکن میسر گردد. در پاییز ۱۳۸۹ والدهای تلاقی همراه با ۲۸ نتاج F۱ آنها در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار در یک آزمایش گلدانی مورد بررسی قرار گرفتند. از آنجا که مطالعه دقیق کارایی مصرف آب در شرایط مزرعه مشکل و با دقت پایین همراه است آزمایش گلدانی طراحی شد و گلدان‌ها در فضای آزاد قرار گرفتند. گلدان‌ها به این دلیل در فضای آزاد قرار گرفتند که حداکثر شباهت ممکن با مزرعه حاصل شود. در این پژوهش از گلدان‌های PVC با ارتفاع ۱۰۰ و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. درون هر گلدان ٦/٥ کیلوگرم خاک شامل خاک مزرعه، ماسه و کود دامی پوسیده به نسبت ۱:۲:۱ ریخته شد. در هر گلدان یک عدد بذر جوانه‌دار شده کشت گردید. هر واحد آزمایشی دارای یک گلدان بود. بعد از کاشت به هر گلدان ۵۰۰ میلی لیتر آب اضافه شد تا به حد ظرفیت زراعی برسد. پس از آبیاری گلدان‌ها وزن شدند. برای کاهش تبخیر از سطح خاک، گلدان‌ها با پلاستیک پوشانیده شدند. ۳٦ ژنوتیپ مورد مطالعه در این آزمایش تحت تأثیر تنش خشکی دوره‌ای قرار گرفتند. پس از اینکه ۸۰ درصد آب درون گلدان مصرف شد و گیاه تحت تاثیر تنش قرار گرفت به گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی آب اضافه شد و این عمل تا پایان آزمایش تکرار گردید. قبل از هر آبیاری گلدان‌ها وزن و از طریق تفاضل با وزن اولیه میزان آب مصرفی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. گلدان‌ها به‌طور منظم وزن می‌شدند و وقتی که به‌طور میانگین ۸۰ درصد آب گلدان‌ها مصرف شده بود آبیاری مجدد انجام می‌گرفت. در این پژوهش صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری آب مصرفی در هر گلدان در طول دوره رشد، در هنگام کشت ۵۰۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان اضافه گردید و پس از آبیاری گلدان توزین شد ($W_1$)، در آبیاری دوم نیز قبل از آبیاری گلدان وزن شد ($W_2$) و میزان آب مصرفی (WU) در این دوره از طریق تفاضل این دو وزن ($WU=W_1 - W_2$) محاسبه گردید. این کار تا آخرین آبیاری تکرار شد و مجموع آب مصرفی محاسبه گردید. کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد دانه به میزان آب مصرفی محاسبه گردید. همچنین شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک حاصل شد.

برای بررسی سهم اثرات افزایشی و غیرافزایشی از نسبت بیکر (بیکر، ۱۹۷۸) استفاده شد. این نسبت از رابطه $2\sigma^2_{GCA}/(2\sigma^2_{GCA}+\sigma^2_{SCA})$ حاصل می‌شود. چنانچه این نسبت مساوی ۱ باشد فقط اثر افزایشی در کنترل صفت مؤثر است. اگر این نسبت مساوی ۰/۵ باشد سهم اثرات افزایشی و غیرافزایشی مساوی است. بزرگتر بودن این نسبت از ۰/۵ نشان‌دهنده سهم بیشتر ژن‌های افزایشی و کوچکتر بودن این نسبت از ۰/۵ نشان‌دهنده نقش بیشتر ژن‌های غیرافزایشی است.

پس از اندازه‌گیری صفات، آزمون نرمال بودن خطاها با استفاده از نرم‌افزار MINITAB ( Minitab 16 Statistical Software 2010) انجام شد. برای تمام صفات، خطاها دارای توزیع نرمال بود. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc. 2004) و تجزیه دی‌آلل و رسم نمودار Wr بر روی Vr با استفاده از نرم‌افزار دی‌آلل ۹۸ (یاسو، ۱۹۹۸) انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ‌ها برای تمام صفات مورد ارزیابی وجود داشت. والدین تلاقی‌ها از لحاظ تمام صفات تفاوت معنی‌داری داشتند. تنوع ژنتیکی والدین در نتاج $F_1$ نیز بازتاب یافته بود. مقایسه گروهی والدها در مقابل نتاج $F_1$ نشان داد که میانگین نتاج برای صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری متفاوت از میانگین والدین بود که نشان دهنده هتروزیس در این صفات است (جدول ۱). معنی‌دار نبودن مقایسه گروهی والدها در مقابل نتاج $F_1$ در صفات طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه را نمی‌توان به وجود اثرات افزایشی ژن‌ها نسبت داد زیرا ممکن است در برخی از مکان‌های ژنی آلل غالب باعث افزایش و در مکان‌های ژنی دیگر باعث کاهش صفت شود (مدر و جینکز، ۱۹۸۲).

**جدول ۱- تجزیه واریانس صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت.**

| منابع تغییر | درجه آزادی | آب مصرفی | وزن دانه | کارایی مصرف آب | طول ریشک | تعداد پنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک | ۳ | ۸/۹٦** | ۰/۸٥** | ۰/۰۹** | ۰/٦٦$^{ns}$ | ٤/٦٧** | ۱۱۳۳/٦۹** | ۳٤۸۷۰٤** | ۰/۰۳** |
| ژنوتیپ | ۳٥ | ۲/٥۳** | ۰/٤۰** | ۰/۰٤** | ۱٤/٥۲** | ۰/٦٦** | ۱٦۰/۰۸** | ۷۱/٦٤** | ۰/۰۱** |
| والدها | ۷ | ۱/٤٤** | ۰/۱۳* | ۰/۰۳** | ۱۸/۷۷** | ۱/٦٤** | ۱۹۹/۱۷** | ۲۸/۹۲* | ۰/۰۱** |
| نتاج F1 | ۲۷ | ۲/۷۳** | ۰/٤۷** | ۰/۰٤** | ۱۳/۹۲** | ۰/۸۰* | ۱٥۳/٥٦** | ۸٥/۳۲** | ۰/۰۱** |
| والدها در مقابل F1 | ۱ | ٤/۸٤** | ۰/۸۷** | ۰/۱۰** | ۰/۸۷$^{ns}$ | ۰/٦۹$^{ns}$ | ٦۲/٥۱$^{ns}$ | ۱/۲۹$^{ns}$ | ۰/۰۷** |
| خطا | ۱۰٥ | ۰/٤۸ | ۰/۰٥ | ۰/۰۰۳ | ۰/۳۰ | ۰/۲۹ | ٥٥/۲۲ | ۱٥/۰۳ | ۰/۰۰۱ |
| ضریب تغییرات | | ۱٦/۳۰ | ۲۰/۸۰ | ۲۱/٤۱ | ۹/۱۹ | ۲۱/۲٤ | ۲۱/۸۹ | ۲۰/۳۳ | ۲۰/۰۱ |

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ٥٪ و ۱٪.

**جدول ۲- تجزیه واریانس گریفینگ برای صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت.**

| منابع تغییر | درجه آزادی | آب مصرفی | وزن دانه | کارایی مصرف آب | طول ریشک | تعداد پنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ترکیب پذیری عمومی | ۷ | ۳/٥٦** | ۰/٤۷** | ۰/۰٤۱** | ٤۷/۸٦** | ۰/۳٥$^{ns}$ | ۳۲۱/۳۳** | ۷۰/۱٦** | ۰/۰۱٦** |
| ترکیب پذیری خصوصی | ۲۰ | ۲/۳۷** | ۰/٤۷** | ۰/۰۳۹** | ۲/۰٥** | ۰/٤٥* | ۹٤/۸۳** | ۹۰/٦۳** | ۰/۰۱۳** |
| خطا | ۸۱ | ۰/٤۹ | ۰/۰٥ | ۰/۰۰۳ | ۰/۲۷ | ۰/۲٦ | ٤۲/٦٥ | ۱٥/۰۰ | ۰/۰۰۲ |
| نسبت بیکر | | ۰/۳۳ | ۰/۲٤ | ۰/۲۹ | ۰/۸۹ | ۰/۱۸ | ۰/٥۳ | ۰/۲۱ | ۰/٤۰ |

ns ، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ٥٪ و ۱٪.

ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برای تمام صفات به جز تعداد پنجه بارور و ترکیب پذیری خصوصی (SCA) برای تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های ریبتزک و همکاران (۲۰۰٦) در مورد کارایی مصرف آب، وندا و هوشمند (۲۰۱۲) در مورد تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه مطابقت دارد. ترکیب پذیری عمومی نشان دهنده نقش ژن‌های افزایشی و یا ارزش اصلاحی و ترکیب پذیری خصوصی نشان دهنده نقش ژن‌های غیرافزایشی (غالبیت و اپیستازی) است (فالکونر و مک‌کی، ۱۹۹٦). از این رو در کنترل ژنتیکی تعداد پنجه بارور اثرات غیرافزایشی و در مورد سایر صفات هم اثرات افزایشی و هم غیرافزایشی نقش دارند.

بررسی نسبت بیکر سهم اثرات افزایشی و غیرافزایشی را مشخص می‌نماید (بیکر، ۱۹۷۸). نسبت بیکر در جدول (۲) آورده شده است. نسبت بالای بیکر برای صفات تعداد دانه در سنبله (۰/۵۳) و طول ریشک (۰/۸۹) نشان دهنده ارزش اصلاحی بالای این صفات است. وراثت‌پذیری خصوصی بالای این دو صفت (۰/۳۱ برای تعداد دانه در سنبله و ۰/۸۷ برای طول ریشک) نیز تأیید کننده سهم قابل توجه اثر افزایشی در کنترل این صفات است. با توجه به این نتایج گزینش در خلال نسل‌های تفکیک به خوبی باعث بهبود این صفات می‌شود. همچنین نسبت پایین بیکر برای تعداد پنجه بارور (۰/۲۳) و وزن هزار دانه (۰/۲٤) نشان‌دهنده نقش پررنگ ژن‌های با اثرات غیرافزایشی در کنترل این صفات است. با توجه به این نتایج، دو صفت تعداد پنجه بارور و وزن هزاردانه از اجزای عملکرد به‌شدت تحت تأثیر ژن‌های با اثرات غیرافزایشی، ولی صفت سوم (تعداد دانه در سنبله) عمدتاً تحت تأثیر ژن‌های با اثرات افزایشی است. از این‌رو در برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش عملکرد بایستی در نسل‌های تفرق بیشتر به تعداد دانه در سنبله توجه شود.

برای بررسی فرضیات دی آلل در روش هیمن، برابری شیب خط رگرسیون Wr بر روی Vr با صفر و یک آزمون شد (جدول ۳). در این آزمون‌ها عدم وجود اختلاف معنی‌دار شیب خط رگرسیون با یک نشان‌دهنده عدم وجود اپیستازی و توزیع مستقل ژن‌ها در والدین و همچنین معنی‌دار بودن این شیب خط با صفر نشان دهنده نقش غالبیت در کنترل صفت مورد بررسی است (مدر و جینکز، ۱۹۸۲). با توجه به نتایج حاصل شده این فرضیات در مورد صفات طول ریشک، تعداد پنجه بارور وتعداد دانه در سنبله صادق بود. ولی برای صفات آب مصرفی وزن دانه، کارایی مصرف آب، وزن هزار دانه و شاخص برداشت صادق نبود. بنابراین، در کنترل ژنتیکی این صفات اپیستازی نقش مهمی را ایفا می‌نماید و باعث می‌شود در برنامه‌های اصلاحی پیشرفت کند باشد. با در نظر گرفتن نقش اپیستازی و پایین بودن وراثت پذیری خصوصی وزن دانه (۰/۱۵)، گزینش غیرمستقیم صفات ثانویه (مثل طول ریشک و تعداد دانه در سنبله) می‌تواند روش مؤثری برای افزایش وزن دانه در شرایط تنش خشکی باشد.

**جدول ۳- نتایج آزمون اعتبار مدل هیمن**

| آزمون | آب مصرفی | وزن دانه | کارایی مصرف آب | طول ریشک | تعداد پنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب رگرسیون | -۰/۰۲ | -۰/۱۰ | -۰/۲۰ | ۰/۷۰ | ۰/۸۳ | ۰/۷۱ | ۰/۱۲ | ۰/۱٤ |
| آزمون $t^{\dagger}$ برای b=0 | ۰/۲٦$^{ns}$ | ۰/۷۹$^{ns}$ | ۰/٦۹$^{ns}$ | ٥/۱٤$^{**}$ | ۲/۳٦$^{*}$ | ۲/٥٦$^{*}$ | ۱/۰۷$^{ns}$ | ۰/٤٤$^{ns}$ |
| آزمون t برای b=1 | ۱۱/۲٥$^{**}$ | ۸/٦٤$^{**}$ | ۳/۳۳$^{*}$ | ۲/۲۰$^{ns}$ | ۰/٤۸$^{ns}$ | ۱/۰۳$^{ns}$ | ۷/۷۸$^{**}$ | ۲/٦۹$^{*}$ |

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥٪ و ۱٪.

† قدرمطلق t در جدول آورده شده است.

در تجزیه واریانس ژنتیکی به روش هیمن جزء افزایشی (a) برای تمام صفات به جز وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ٤). پایین بودن نسبت بیکر (۰/۲۱) و وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۱٤) وزن هزار دانه نیز نشان دهنده نقش کم‌رنگ اثر افزایشی در کنترل این صفت است. جزء غالبیت (b) برای تمام صفات معنی‌دار است که نشان‌دهنده اهمیت بالای آن در کنترل ژنتیکی صفات مورد بررسی است. اگرچه جزء غالبیت برای تمام صفات معنی‌دار شد ولی $b_1$ فقط برای آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت معنی‌دار شد. معنی‌دار شدن $b_1$ نشان دهنده این است که غالبیت در یک جهت عمل می‌نماید. معنی‌دار نشدن $b_1$ در صفات طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نشان می‌دهد که در این صفت‌ها برخی از مکان‌های ژنی افزاینده و برخی دیگر کاهنده هستند (مدر و جینکز، ۱۹۸۲). این امر بر پیچیدگی‌های ژنتیک این صفات می‌افزاید و برنامه به‌نژادی را مشکل‌تر می‌نماید.

**جدول ٤- تجزیه واریانس ژنتیکی به اجزای افزایشی (a) و غالبیت (b) در روش هیمن**

| منابع تغییر | درجه آزادی | آب مصرفی | وزن دانه | کارایی مصرف آب | طول ریشک | تعداد پنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | ۷ | ۱/٤٤$^{**}$ | ۰/۱٤$^{*}$ | ۰/۰۳۰$^{**}$ | ۱۸/٥۸$^{**}$ | ۱/٦٤$^{**}$ | ۱۹۹/۱۷$^{**}$ | ۲۸/۹۲$^{ns}$ | ۰/۰۱٤$^{**}$ |
| b | ۲۸ | ۲/۷٥$^{**}$ | ۰/٤۷$^{**}$ | ۰/۰٤۲$^{**}$ | ۱۳/٤٦$^{**}$ | ۰/۷۱$^{*}$ | ۱٥۰/۳۱$^{**}$ | ۸۲/۳۲$^{**}$ | ۰/۰۱٥$^{**}$ |
| $b_1$ | ۱ | ٤/۷۲$^{**}$ | ۰/٦۰$^{**}$ | ۰/۱۰٤$^{**}$ | ۰/۹۹$^{ns}$ | ۰/٦۹$^{ns}$ | ٦۲/٥۱$^{ns}$ | ۱/۲۹$^{ns}$ | ۰/۰٦٦$^{**}$ |
| $b_2$ | ۷ | ۱/٤۸$^{**}$ | ۰/۳٤$^{**}$ | ۰/۰۳٦$^{**}$ | ۲/۹٥$^{**}$ | ۱/٤۸$^{**}$ | ۲٥۲/۰۸$^{**}$ | ٤۲/٦۰$^{**}$ | ۰/۰۱۲$^{**}$ |
| $b_3$ | ۲۰ | ۳/۱۰$^{**}$ | ۰/٥۱$^{**}$ | ۰/۰٤۰$^{**}$ | ۱۷/۷۷$^{**}$ | ۰/۰۳$^{ns}$ | ۱۱۹/۰۸$^{**}$ | ۱۰۰/۲۸$^{**}$ | ۰/۰۱٤$^{**}$ |
| خطا | ۱۰٥ | ۰/٤۷ | ۰/۰٥ | ۰/۰۰۳ | ۰/۳۱ | ۰/۲۹ | ٥٥/۲۲ | ۱٥/۰۳ | ۰/۰۰۲ |

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥٪ و ۱٪

درجه غالبیت ($\sqrt{H1/D}$) برای صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بزرگتر از ۱ است (جدول ۵). از این رو، نوع عمل ژن‌ها برای این صفات از نوع فوق غالبیت است. اطمینان و همکاران (۲۰۰۷) نیز عمل ژن‌ها برای صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت را از نوع فوق غالبیت اعلام کردند. درجه غالبیت را از طریق خط رگرسیون Wr بر روی Vr نیز می‌توان بررسی کرد. اگر عرض از مبداء صفر باشد (خط رگرسیون در مبداء مختصات محور Wr را قطع نماید) نشان دهنده غالبیت کامل، اگر مثبت باشد (خط رگرسیون بالاتر از مبداء مختصات محور Wr را قطع نماید) غالبیت نسبی و اگر منفی باشد (خط رگرسیون پایین‌تر از مبداء مختصات محور Wr را قطع نماید) فوق غالبیت است (مدر و جینکز، ۱۹۸۲). شکل‌های (۲، ۳ و ٤) نیز نتایج جدول (۵) را تأیید می‌نمایند. با توجه به این نتایج، هتروزیس مشاهده شده در نسل $F_1$ این صفات قابل انتقال به نسل‌های بعد نخواهد بود. درجه غالبیت برای طول ریشک کمتر از یک است. بنابراین، نوع عمل ژن‌ها برای این صفت غالبیت نسبی است. شکل (۲) نیز غالبیت نسبی برای این صفت را تأیید می‌نماید.

حاصل‌ضرب آلل‌های غالب و مغلوب (uv) برای تمام صفات با ۰/۲۵ اختلاف داشت (جدول ۵). بنابراین در صفات مورد بررسی فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب مساوی نیست. مثبت بودن علامت F برای تمام صفات به جز طول ریشک (جدول ۵) نشان دهنده فراوانی بیشتر آلل‌های غالب است. در حالی که منفی بودن علامت F برای طول ریشک نشان دهنده فراوانی بیشتر آلل‌های مغلوب است.

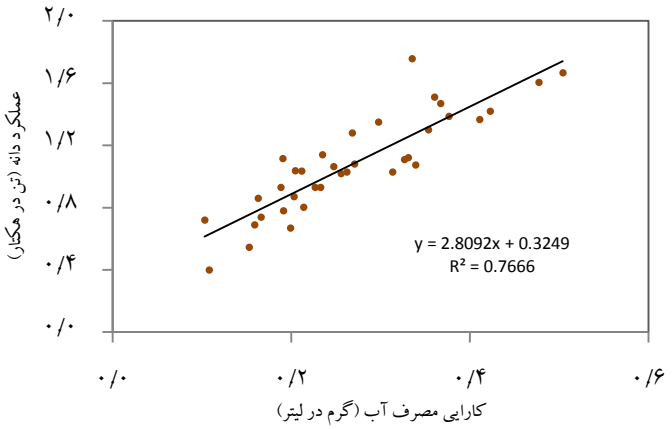
**جدول ۵- پارامترهای برآورد شده از تلاقی‌های دی‌آلل برای صفات آب مصرفی، وزن دانه، کارایی مصرف آب، طول ریشک، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت.**

| پارامتر | آب مصرفی (لیتر) | وزن دانه (گرم) | کارایی مصرف آب(گرم درلیتر) | طول ریشک (سانتی‌متر) | تعداد پنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه (گرم) | شاخص برداشت(درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | ۰/۲٤±۰/۱٦ | ۰/۰۲۱±۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۷±۰/۰۰۱ | ٤/٥۷±۰/٤۲ | ۰/۳٤±۰/۱۳ | ۳۷/٥٤±۱۹/۲۷ | ۳/٥۲±٤/۳۷ | ۰/۰۰۳±۰/۰۰۱ |
| H1 | ۲/۰٤±۰/۳۳ | ۰/٤٤٦±۰/۰٥۱ | ۰/۰٤۱±۰/۰۰٤ | ۲/٤۳±۰/۳۱ | ۰/٦۸±۰/۱۹ | ۱۳۳/۷۸±۳٤/۲۷ | ۷۱/۱۹±۱۱/۰۹ | ۰/۰۱٤±۰/۰۰۲ |
| H2 | ۱/۷۹±۰/۲٦ | ۰/۳۷٥±۰/۰۳۹ | ۰/۰۳٤±۰/۰۰۳ | ۱/۸۰±۰/۲۰ | ۰/۳۹±۰/۱۱ | ۸٤/۲٦±۲۰/۱۳ | ٦٤/۱۱±۸/۹۹ | ۰/۰۱۱±۰/۰۰۱ |
| F | ۰/۱۱±۰/۲٥ | ۰/۰٥٦±۰/۰۳٦ | ۰/۰۱۰±۰/۰۰۳ | -۱/٦۹±۰/۳٦ | ۰/٦۱±۰/۲۲ | ٥۷/٥۸±۳۳/۹۲ | ٤/٤۰±۷/۷۰ | ۰/۰۰٤±۰/۰۰۱ |
| E | ۰/۱۲±۰/۰۱ | ۰/۰۱۲±۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱±۰/۰۰۰ | ۰/۰۷±۰/۰۱ | ۰/۰۷±۰/۰۱ | ۱۲/۲٥±۱/۲٤ | ۳/۷۱±۰/۳۸ | ۰/۰۰۰±۰/۰۰۰ |
| $\sqrt{H1/D}$ | ۲/۹۰±۲/۲۷ | ۲/٥٤۰±۰/۸۷۸ | ۲/٥۰۱±۰/۳۰۱ | ۰/۷۳±۰/۰٦ | ۱/٤۱±۰/۱۸ | ۱/۸۹±۰/٤۳ | ۳/٥۰±٦/۸٦ | ۲/۱٥۱±۰/۳۰۳ |
| uv | ۰/۲۲±۰/۰۱ | ۰/۲۱۰±۰/۰۰۸ | ۰/۲۰۳±۰/۰۰۷ | ۰/۱۸±۰/۰۱ | ۰/۱٤±۰/۰۱ | ۰/۱٦±۰/۰۱ | ۰/۲۳±۰/۰۱ | ۰/۲۰٤±۰/۰۰۹ |
| $h_b^2$ | ۰/۸٤±۰/۰۲ | ۰/۹۰۲±۰/۰۱۲ | ۰/۹۳۰±۰/۰۰۸ | ۰/۹۸±۰/۰۰ | ۰/٦۲±۰/۰٥ | ۰/۷٥±۰/۰۳ | ۰/۸٤±۰/۰۲ | ۰/۸۹۱±۰/۰۱۳ |
| $h_n^2$ | ۰/۲٥±۰/۰٤ | ۰/۱٤٦±۰/۰۲۹ | ۰/۱۷۸±۰/۰۲٦ | ۰/۸۷±۰/۰۱ | ۰/۰۷±۰/۰٥ | ۰/۳۱±۰/۰٦ | ۰/۱٤±۰/۰٤ | ۰/۲۱۱±۰/۰۳٥ |

برای کاهش مصرف آب، همزمان با تولید محصول بالا، بهبود کارایی مصرف آب نیازی ضروری است. اهمیت این امر وقتی بیشتر می‌شود که روش‌های به‌زراعی نظیر روش‌های مدرن آبیاری به حداکثر پیشرفت ممکن دست یافته‌اند (مل و همکاران، ۲۰۱۳). کارایی مصرف آب در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت و در بین والدین تلاقی‌ها، اینیا بیشترین (۰/٤۲) و روشن کمترین (۰/۲۰) کارایی مصرف آب را داشتند (جدول ٦). معنی‌دار شدن قابلیت ترکیب پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) نشان می‌دهد اثرهای افزایشی و غیر افزایشی به‌طور هم‌زمان در کنترل این صفت نقش دارند، اگرچه پایین بودن نسبت بیکر (۰/۲۹) نشان می‌دهد نقش اثر غیرافزایشی بسیار پررنگ‌تر است (جدول ۲). آزمون اعتبار مدل هیمن (جدول ۳) نیز نشان داد اثر اپیستازی به‌طور معنی‌داری در کنترل این صفت نقش دارد. این نتایج با یافته‌های راتاجکاک و گورنی (۲۰۱۲) و ریبتزک و همکاران (۲۰۰٦) مطابقت دارد. اختلاف زیاد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی (به‌ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۱۸) نیز تأیید کننده نقش بالای واریانس غیرافزایشی (غالبیت و اپیستازی) در کنترل ژنتیکی این صفت است. ریبتزک و همکاران (۲۰۰٦) در آزمایش‌های متعدد وراثت‌پذیری خصوصی این صفت را از ۰/۲۹ تا ۰/٤۳ اعلام کردند. با توجه به پایین بودن واریانس افزایشی، گزینش در طی نسل‌های تفکیک با مشکلاتی همراه خواهد بود. از این رو در اصلاح این صفت روش‌هایی نظیر بالک، بالک تک‌بذر و دابل هاپلوئیدی پیشنهاد می‌شود که پس از رسیدن به خلوص ارزیابی و مقایسه کارایی مصرف آب نتاج با هم صورت می‌گیرد. هانسون (۱۹۵۹) نیز اعلام کرد تاخیر در گزینش تا رسیدن لاین‌ها به خلوص در همه مکان‌های ژنی باعث تثبیت اثرات ژنتیکی می‌شود و نیاز به داشتن اندازه جمعیت بزرگتر را برطرف می‌نماید. از بین ۸ والد مورد استفاده در این آزمایش رقم اینیا بیشترین (۰/۰٥٤) و رقم مرودشت کمترین (۰/۰٥۳-) مقدار GCA را به خود اختصاص دادند.

در این پژوهش همبستگی بالا و معنی‌داری (r=۰/۸۸) بین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب وجود داشت (شکل ۱). این ارتباط قوی نشان‌دهنده اهمیت این صفت در شرایط تنش خشکی است. از این رو به‌نژادی برای افزایش کارایی مصرف آب گام مفیدی برای افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی خواهد بود. کارایی مصرف آب به‌دلیل همبستگی مثبت با عملکرد و داشتن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط کم، صفت ثانویه مناسبی در به‌نژادی برای افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی است (ریچادز، ۱۹۹۲؛ ریبتزک، ۲۰۰۲). بین والدین تلاقی‌ها رقم اینیا که بیشترین کارایی مصرف آب را داشت بیشترین عملکرد دانه را نیز به خود اختصاص داد. این رقم با دارا بودن بیشترین کارایی مصرف آب،

عملکرد و قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی، به‌عنوان یکی از والدین تلاقی در برنامه های به‌نژادی توصیه می‌گردد.




**شکل ۱- ارتباط کارایی مصرف آب و عملکرد دانه گندم**

ریشک نقش مهمی را در اعطای تحمل به خشکی در گندم از طریق بازتاب نور و کاهش تعرق بازی می‌نماید (بیبی و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعه این صفت نشان داد که رقم قدس بلندترین (۷/٤۸ سانتی متر) و روشن کوتاه‌ترین (۰/٦۳ سانتی متر) طول ریشک را داشتند (جدول ٦). برقرار بودن شرایط آزمون هیمن (جدول ۳) نشان دهنده عدم دخالت معنی‌دار اپیستازی در کنترل این صفت است. رشید و همکاران (۲۰۱۲) نیز اعلام کردند اپیستازی در کنترل این صفت نقشی ندارد. معنی‌دار بودن قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در روش گریفینگ (جدول ۲) و اجزای افزایشی و غالبیت در روش هیمن (جدول ٤) نشان‌دهنده حضور هر دو اثرات افزایشی و غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفت است.

بالا بودن نسبت بیکر (۰/۸۹) و وراثت پذیری خصوصی (۰/۸۷) نشان دهنده سهم بالای اثر افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت است. احمدی و همکاران (۲۰۰۳) نیز اعلام کردند واریانس افزایشی سهم قابل توجهی در واریانس ژنتیکی این صفت دارد. این نتایج، نشان دهنده پیشرفت مناسب گزینش درون جمعیت‌های در حال تفرق برای این صفت است. از این رو روش شجره‌ای برای به‌نژادی این صفت مناسب است. در صورتی که فقط اصلاح این صفت مد نظر باشد (مثل ریشک‌دار

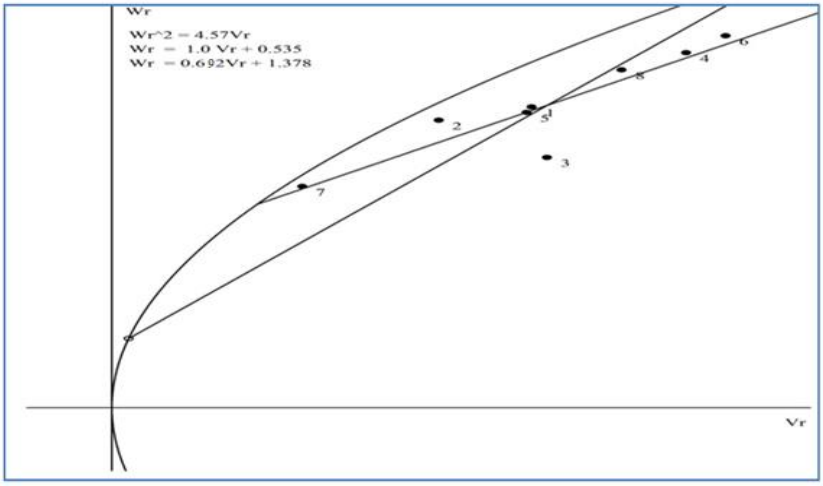
کردن رقم روشن) روش تلاقی‌برگشتی می‌تواند مناسب‌تر باشد. رقم قدس بیشترین (۷/٤۸) و روشن کمترین (۰/٦۳-) مقدار GCA را به خود اختصاص دادند.

**جدول ٦- مقایسه میانگین والدین تلاقی‌ها به روش LSD در سطح احتمال ٥ درصد.**

| والد | آب مصرفی (لیتر) | وزن دانه (گرم) | کارایی مصرف آب (گرم در لیتر) | طول ریشک (سانتی متر) | تعدادپنجه بارور | تعداد دانه در سنبله | وزن هزار دانه (گرم) | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چمران | ۳/۳۳ | ۱/۳٦ | ۰/٤۱ | ٦/٤۰ | ۳/٥۰ | ۲۱/۰٦ | ۱۸/۲٦ | ۰/۲٥ |
| قدس | ٤/۰٥ | ۱/۰۲ | ۰/۲٦ | ۷/٤۸ | ۲/۲٥ | ۲۲/٤۸ | ۲۰/۳۷ | ۰/۲٦ |
| اینیا | ۳/٦٤ | ۱/٤۲ | ۰/٤۲ | ٥/۷۳ | ۲/۰۰ | ۲۲/۲۸ | ۲۰/۲٦ | ۰/۳٦ |
| کویر | ۳/۳۱ | ۱/۰۳ | ۰/۳۱ | ٦/۹۰ | ۲/۲٥ | ۳۳/٦٤ | ۱٦/۰۸ | ۰/۲۲ |
| مرودشت | ۳/۷۷ | ۱/۳۰ | ۰/۳٥ | ٦/۹۹ | ۲/۷٥ | ۲۸/۹۷ | ۱٥/۹٥ | ۰/۲٤ |
| نیک نژاد | ۳/۸۷ | ۱/۳۹ | ۰/۳۸ | ٥/۸۰ | ۲/٥۰ | ۲۳/۳۷ | ۲۱/٦٥ | ۰/۳۲ |
| روشن | ٥/۱۸ | ۱/۰٤ | ۰/۲۰ | ۰/٦۳ | ۲/۲٥ | ۳۲/۰٦ | ۱۸/۰٦ | ۰/۱۸ |
| سرداری | ٤/۲۳ | ۱/۰۳ | ۰/۲۱ | ٦/۳۰ | ۳/۷٥ | ۱۱/۷۹ | ۲۳/٦۸ | ۰/۲۱ |
| $LSD_{5\%}$ | ۰/۹٦ | ۰/۳۱ | ۰/۰۷ | ۰/۷٥ | ۰/۷٥ | ۱۰/۳۰ | ٥/۳۷ | ۰/۰٤ |

با توجه به منحنی Wr/Vr (شکل ۲) رقم روشن که دارای کوتاه‌ترین طول ریشک است (جدول ٦) کمترین فاصله را از مبدا مختصات دارد. بنابراین آلل‌های غالب برای این صفت کاهنده هستند. منفی بودن مقدار F برای طول ریشک (جدول ٥) نشان دهنده بیشتر بودن آلل‌های مغلوب (عامل تولید ریشک) است. بیشتر بودن گندم‌های ریشک‌دار نسبت به بدون ریشک این یافته را به خوبی تأیید می‌نماید. نکته بسیار مهم معنی‌دار نشدن $b_1$ است (جدول ٤) که نشان می‌دهد در این صفت برخی از مکان‌های ژنی افزاینده و برخی دیگر کاهنده هستند. این امر باعث شده رقم‌های دارای بیشترین طول ریشک حداکثر فاصله را از مبداء مختصات در شکل ۲ نداشته باشند.

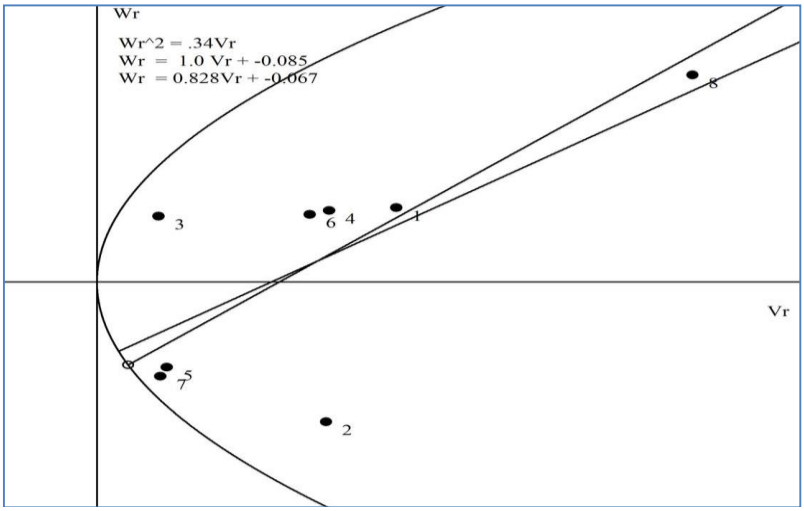
تعداد پنجه بارور یکی از اجزای اصلی عملکرد است. در این آزمایش فرضیات مدل هیمن برای این صفت صادق بود (جدول ۳) که نشان دهنده عدم وجود اپیستازی معنی‌دار در کنترل ژنتیکی این صفت است. رقم سرداری بیشترین (۳/۷٥) و رقم اینیا کمترین (۲/۰۰) تعداد پنجه بارور را تولید کردند (جدول ٦). اگر چه هم اثر افزایشی و هم غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت نقش ایفا می‌نمایند (جدول ٤) ولی نسبت بیکر (جدول ۲) نشان می‌دهد که نقش غالبیت پررنگ‌تر است.




**شکل ۲- خط رگرسیون Wr بر روی Vr برای طول ریشک. شماره‌های ۱ تا ۸ به‌ترتیب رقم‌های گندم چمران، قدس، اینیا، کویر، مرودشت، نیک نژاد، روشن و سرداری را نشان می‌دهد.**

اختلاف زیاد وراثت پذیری عمومی و خصوصی (به‌ترتیب ۰/٦۲ و ۰/۰۷) نیز نشان‌دهنده نقش بیشتر واریانس غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت است. فرشادفر و همکاران (۲۰۱۳) وراثت پذیری عمومی و خصوصی این صفت را به‌ترتیب ۰/٦۱ و ۰/۰۲ گزارش کرند. با توجه به شکل ۳، رقم سرداری که دارای بیشترین تعداد پنجه بارور است حداکثر فاصله و رقم اینیا که دارای کمترین تعداد پنجه بارور است حداقل فاصله را از مبدا مختصات دارند. بنابراین آلل‌های غالب برای این صفت کاهنده هستند. نکته بسیار مهم معنی‌دار نشدن $b_1$ است (جدول ٤) که نشان می‌دهد در این صفت برخی از مکان‌های ژنی افزاینده و برخی دیگر کاهنده هستند. این امر باعث شده رقم‌های دارای بیشترین تعداد پنجه حداکثر فاصله را از مبداء مختصات در شکل (۲)نداشته باشند. رقم روشن بالاترین (۰/۱۷) و رقم نیک‌نژاد پایین‌ترین (۰/۱۷-) قابلیت ترکیب پذیری عمومی را داشتند.

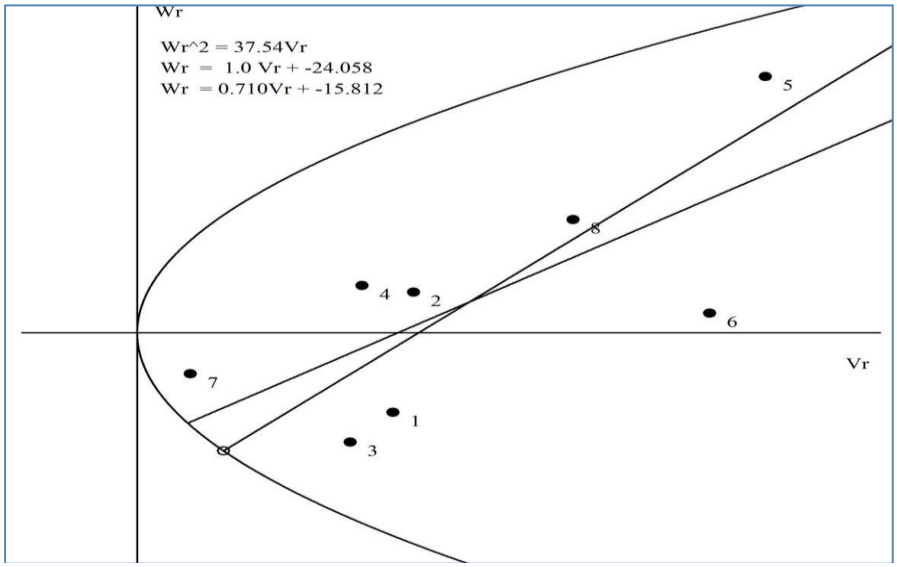
تعداد دانه در سنبله یکی از اجزای عملکرد است که وراثت‌پذیری بالایی دارد و بهره ژنتیکی ناشی از گزینش این صفت بالا است (حیدری ۲۰۱۰). بیشترین تعداد دانه در سنبله متعلق به رقم کویر (۳۳/٦٤) و کمترین آن متعلق به رقم سرداری (۱۰/۳۰) بود (جدول ٦).




**شکل ۳- خط رگرسیون Wr بر روی Vr برای تعداد پنجه بارور. شماره‌های ۱ تا ۸ به ترتیب رقم‌های گندم چمران، قدس، اینیا، کویر، مرودشت، نیک نژاد، روشن و سرداری را نشان می‌دهد.**

تجزیه واریانس ژنتیکی هیمن (جدول ٤) نشان دهنده نقش معنی‌دار هر دو اثر افزایشی و غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفت است. بالا بودن نسبت بیکر (جدول ۲) نشان دهنده اهمیت بیشتر اثر افزایشی است. این نتایج با یافته‌های وندا و هوشمند (۲۰۱۲) مطابقت دارد. با در نظر گرفتن این نتایج، روش‌هایی که در طی نسل‌های تفرق، در آنها گزینش انجام می‌شود (نظیر روش شجره‌ای) برای به-نژادی این صفت مناسب است اگرچه از روش‌هایی نظیر بالک تک بذر و یا دابل‌هاپلوئیدی نیز می‌توان استفاده کرد. با توجه به منحنی Wr/Vr (شکل ٤) رقم‌های کویر و روشن که دارای بیشترین تعداد دانه در سنبله هستند (جدول ٦) کم‌ترین فاصله را از مبدا مختصات دارند. بنابراین آلل‌های غالب برای این صفت افزاینده هستند. رقم روشن بیشترین (۳/٤٤) و رقم مرودشت کم‌ترین (۸/۳۱-) مقدار GCA را بین ۸ رقم مورد بررسی داشتند.

کارایی مصرف آب با داشتن همبستگی بالا با عملکرد صفت مناسبی است و به‌نژادی برای افزایش این صفت منجر به بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی خواهد شد (کاندون و همکاران، ۲۰۰٤). نتایج این پژوهش نشان داد اثرات غیرافزایشی شامل غالبیت و اپیستازی نقش قابل توجهی در کنترل ژنتیکی این صفت دارند.




**شکل ٤- خط رگرسیون Wr بر روی Vr برای تعداد دانه در سنبله. شماره‌های ۱ تا ۸ به‌ترتیب رقم‌های گندم چمران، قدس، اینیا، کویر، مرودشت، نیک نژاد، روشن و سرداری را نشان می‌دهد.**

بنابراین، برای افزایش کارایی مصرف آب روش‌هایی نظیر بالک، بالک تک‌بذر و دابل هاپلوئیدی پیشنهاد می‌شود که پس از رسیدن به خلوص گزینش صورت می‌گیرد. نکته قابل توجه در مورد به-نژادی برای افزایش کارایی مصرف آب در نظر گرفتن محیط هدف است. این صفت در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد می‌شود. با این وجود در شرایطی که آب به مقدار زیاد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد نه تنها صفت مناسبی نیست بلکه باعث کاهش عملکرد نیز می‌شود. کاندون و همکاران (۲۰۰۷) و فیشر و همکاران (۱۹۹۸) همبستگی منفی معنی‌داری بین عملکرد گندم‌های اصلاح شده در سیمیت و کارایی مصرف آب در شرایط فاریاب گزارش نمودند. در حالی که گزارش‌های متعددی در مورد ارتباط مثبت عملکرد و کارایی مصرف آب در شرای تنش خشکی وجود دارد (راتاجکاک و گورنی، ۲۰۱۲؛ ریبتزک و همکاران، ۲۰۰۸؛ ریبتزک و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج یافته‌های این پژوهش نیز این ارتباط را تأیید می‌نماید. این یافته‌ها اهمیت محیط هدف در برنامه‌های به‌نژادی را روشن می-نمایند.

## تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله از قطب علمی تنش‌های محیطی در غلات به خاطر حمایت مالی این پروژه سپاسگزاری می‌نمایند.

## منابع

1. Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, and Mohamadi-Nejad, G. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) using different multivariate methods. Arc. Agron. Soil Sci., 59:685-704.
2. Ahmadi, J., Zali, A.A., Yazdi-Samadi, B., Talaie, A.R., Ghanadha, M.R., and Saeidi, A. 2003. A study of combining ability and gene effect in bread wheat under drought stress condition by diallel method. Iran. J. Agri. Sci., 34:1-8.
3. Ahmadi, J., Zali, A.A., Yazdi-Samadi, B., Taleei, A.R., and Ghanadha, M.R. 2004. Genetic study of wheat (*Triticum Aestivum* L.) root characteristics under drought stress condition. Iran. J. Crop Sci., 6: 426-437.
4. Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. Crop Science 18: 533–537.
5. Bibi, R., Hussani, S.B., Khan, A.S., and Raza, I. 2013. Assessment of combining ability in bread wheat by using line × tester analysis under moisture stress conditions. Pakistan. J. Agri. Sci., 50:111-115.
6. Calhoun, D.S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Rajaram S., and Van-Ginkel, M. 1994. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought conditions. Crop Sci., 34:673-678.
7. Condon, A.G., Reynolds, M.P., Rebetzke, G.J., Van-Ginkel, M., Richards, R.A., and Farquhar, G.D. 2007. Using stomatal aperture traits to select for high yield potential in bread wheat. Proceeding of the 7th international wheat conference, Mar del Plata, Argentina. Springer, Netherlands, pp: 617-624.
8. Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J., and Farquhar. G.D. 2004. Breeding for high water use efficiency. J. Exp. Bot., 55: 2447-2460.
9. Dere, S., and Yildirim, M.B. 2006. Inheritance of plant height, tiller number per plant, spike height and 1000-kernel weight in a 8x8 diallel cross population of bread wheat. Cereal Res. Commun., 34: 965-972.
10. Dhanda, S.S., Sethi, G.S., and Behl, R.K. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stage of plant growth. J. Agron. Crop Sci., 190: 6-12.
11. Etminan, A.R., Bihamta, M.R., Shahnejat-Boushehri, A.A., Zali, A.A., and Payghambari, S.A. 2007. Study the inheritance of protein and some other traits of bread wheat under drought stress and normal conditions. Iran. J. Agri., Sci., 38:407-419.
12. Falconer, D.S., and Mackay, T.F.C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman, London.

13. Farshadefar, E., Rafiee, F., and Hasheminasab, H. 2013. Evaluation of genetic parameters of agronomic and morpho-physiological indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using diallel mating design. Aus. J. Crop Sci., 7: 268-275.
14. Feddema, J.J. 1999. Future African water resource: Interactions between soil degradation and global warming. Clim. Chan., 42: 561-596.
15. Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z., Condon, A.G., and Saavendra. A.L. 1998. Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance, higher photosynthe4tic rate and cooler canopies. Crop Sci., 38:1467-1475.
16. Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aus. J. Biol. Sci., 9: 463-493.
17. Hayman, B.I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses. III. Genetics., 45:155-172.
18. Heidari, B. 2010. Genetic variation and genetic gain from selection in bread wheat. EJCP. 3: 239-246.
19. Jinks, J.L. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. Genetics, 39:767-788.
20. Landjeva, S., Neumann, K., Lohwasser, U., and Börner, A. 2008. Molecular mapping of genomic regions associated with wheat seedling growth under osmotic stress. Biologia Plantarum, 52: 259-266.
21. Mather, K., and Jinks, J.L. 1982. Biometrical Genetics. London, Chapman & Hall.
22. Mel, X., Zhong, X., Vincent, V., and Liu, X. 2013. Improving water use efficiency of wheat crop varieties in the north China plain: Review and Analysis. J. Integ. Agri., 12:1243-1250.
23. Minitab 16 Statistical Software. 2010. State College (PA): Minitab Inc.
24. Mohammadi, M., Karimzade, R., and Abdipour, M. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland an supplemental irrigation conditions. Aus. J. Crop Sci., 5: 487-493.
25. Ramshini, H., Fazel-Najafabadi M., and Bihamte, M.R. 2012. Inheritance of some traits in bread wheat using diallel method at normal and drought stress conditions. Cereal Res., 2: 1-15.
26. Rashid, M.A.R., Khan, A.S., and Iftikhar, R. 2012. Genetic Studies for Yield and Yield Related Parameters in Bread Wheat. Am. Eur. J. Agri. Environ., 12: 1579-1583.
27. Ratajczak, D., and Gorny, A.G. 2012. Water and nitrogen dependent alterations in the inheritance mode of transpiration efficiency in winter wheat at the leaf and whole-plant level. J. Appl. Genet., 53: 377-388.
28. Rebetzke, G.J., Condon A.G., Farquhar, G.D., Appels, R., and Richards, R.A. 2008. Quantitative trait loci for carbon isotope discrimination are repeatable

across environments and wheat mapping populations. Theo. Appl. Genet., 118: 123-137.
29. Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Richards, R.A., and Farquhar, G.D. 2002. Se4lection for reduce carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. Crop Sci., 42: 739-745.
30. Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Condon, A.G., and Farquhar, G.D. 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica. 150:97-106.
31. Richards, R.A. 1992. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. II. Growth water use and water use efficiency. Aus. J. Agri. Res., 43:529-539.
32. Richards, R.A., and Lukacs, Z. 2002. Seedling vigour in wheat-sources of variation for genetic and agronomic improvement. Aus. J. Agri. Res., 53: 41-50.
33. Tardieu, F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. J. Exp. Bot., 63:25–31.
34. Vanda, M., and Houshmand S. 2012. Estimation of genetic parameters of some important agronomic traits in durum (*Triticum turgidum* Var. durum wheat). Agron. J., 95: 70-76.
35. Yasuo, U. 1998. Diall 98 software for diallel analysis. Laboratory of biometrics, graduate school of agriculture life science, University of Tokyo, Japan.

*EJCP., Vol. 7 (1): 181-199*
***http://ejcp.gau.ac.ir***

# Study the inheritance of water use efficiency in bread wheat under drought stress condition

**A. Safarian[1] and *R. Abdolshahi[2]**
[1]M.Sc. Student of Plant Breeding, Shaid Bahonar University of Kerman, Kerman,
[2]Associate Prof., Faculty of Agriculture, Shaid Bahonar University of Kerman, Kerman
Accepted: 2013/8/24; Received:2014/3/1

**Abstract**

Water use efficiency is positively correlated with grain yield, and being used for indirect selection of high wheat yield in drought prone environments. However, there is not enough knowledge about genetic control of water use efficiency. In this research, a half diallel mating design was generated from crosses among 8 bread wheat genotypes to study the genetic of water use efficiency. Parents and F1 progenies were planted in drought stress condition in a randomized complete block design with four replications. Water uptake, grain yield, water use efficiency, awn length, fertile tiller number, grains per spike, 1000-grain weight and harvest index were evaluated. Additive and dominant controlled all traits, significantly. Non-additive variation was more important for controlling water uptake, grain yield, water use efficiency, fertile tiller number, 1000-grain weight and harvest index. Accordingly, bulk, single seed descent and double-haploid methods are suggested in breeding program for these characters. Whereas, additive variation had imperative effect on genotypic variation of awn length and grains number per spike. Thus, in spite of mentioned breeding methods, pedigree and backcross are recommended for these traits. Significant and high correlation ($r=0.88^{**}$) between grain yield and water use efficiency demonstrated the importance of water use efficiency in drought stress condition. Therefore, selection for higher water use efficiency would improve grain yield in drought stress condition.

***Keywords*:** Inheritance, Additive and non-additive effects, Drought tolerance

*Corresponding author; abdoshahi@gmail.com