

ارزیابی صفات مهم برای بهبود عملکرد گندم تحت تنش خشکی

حمید محمدی^{۱*}، علی احمدی^۲، فواد مرادی^۳، علیرضا عباسی^۴، کاظم بوستینی^۵،

مهدی جودی^۶ و فواد فاتحی^۷

۱، ۲، ۴، ۵، ۷، دانشجوی سابق دکتری، دانشیار، استادیار، استاد و دانشجوی سابق دکتری پردیس

کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳، استادیار پژوهشگر بیوتکنولوژی کشاورزی کرج

۶، استادیار دانشگاه محقق اردبیلی - دانشکده کشاورزی مغان

(تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۷ - تاریخ تصویب: ۸۹/۱۱/۲۷)

چکیده

خشکی یکی از تنش‌های غیرزنده بسیار مهم است که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این طریق عملکرد گیاه زراعی را محدود می‌کند. هدف از این مطالعه، شناسایی صفات زراعی مرتبط با تغییرات در عملکرد دانه گندم تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی بود. جهت رسیدن به این هدف، عملکرد و اجزاء عملکرد ۸۱ ژنوتیپ گندم ایرانی در قالب طرح لاتیس ساده با دو تکرار و در دو شرایط فاریاب و تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران (کرج) در طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ آزمایش شد. تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله شروع و تا رسیدگی فیزیولوژیکی ادامه یافت. صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و ارتفاع گیاه ارزیابی شد. پنج روش آماری شامل همبستگی ساده، رگرسیون خطی چند گانه، رگرسیون گام به گام، تحلیل عاملی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی جهت مطالعه روابط بین عملکرد دانه گندم و اجزاء آن تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که از میان صفات مورد مطالعه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مؤثرترین متغیرها روی عملکرد دانه بودند، که از مهمترین صفات زراعی برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی محسوب می‌شوند. تأثیر این صفات در دو شرایط فاریاب و تنش خشکی شبیه به هم نیست، نقش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی کمتر محسوس بود. به هر حال در شرایط تنش، افزایش عملکرد دانه را می‌توان به توزیع مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه (اندام‌های زایشی) یعنی شاخص برداشت بالا نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: خشکی، گندم، رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون گام به گام، تحلیل

عاملی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

مقدمه

مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد.

تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد و نمو گندم در اغلب نقاط دنیا

گندم یکی از مهمترین محصولات زراعی از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید در جهان بوده و نقش

مناسب‌تر انجام شده که بتواند عملکرد دانه گندم را پیش‌بینی کرده و گیاه زراعی ایده آل را مشخص کند. اطلاعات ژنتیکی مرتبط با عملکرد دانه و اجزاء آن تحت تنش رطوبتی، کارایی برنامه‌های اصلاحی را با معرفی شاخص‌های مناسب برای گزینش واریته‌های گندم بهبود می‌بخشد (Evans & Fischer, 1999). مدل کردن عملکرد گندم تحت کمبود رطوبتی خاک، مشکلات ویژه‌ای برای مدل‌سازان گندم به وجود می‌آورد چون تنوع گسترده‌ای در عملکرد دانه تحت شرایط تنش و عدم تنش وجود دارد (Gupta et al., 2001).

تنش خشکی در هر مرحله از رشد گیاه گندم می‌تواند رشد و عملکرد آن را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار دهد. میزان این تأثیر بسته به مدت و شدت اعمال تنش می‌باشد (Guttieri et al., 2001). به عنوان مثال، تنش خشکی از گرده افشانی تا رسیدگی، عملکرد دانه را از طریق کاهش در سرعت و طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد (Stone & Nicolas, 1994, 1995).

محققان نشان دادند که عملکرد، تعداد دانه در سنبله، بیوماس و ارتفاع گیاه در مقایسه با تعداد سنبله و وزن هزاردانه بیشتر حساس به خشکی است (Zhong-hu & Rajaram, 1993). همچنین گزارش کردند که تعداد و وزن دانه در سنبله ارتباط نزدیکی با عملکرد دارد و اغلب برای گزینش نژادهای گندم با عملکرد بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhong-hu & Rajaram, 1993). همچنین، مشخص شده که همبستگی منفی بین ارتفاع گیاه و عملکرد دانه به علت تعداد کمتر دانه در سنبله است (Moghaddam et al., 1997).

در خصوص ارتباط عملکرد گیاه گندم با تولید ماده خشک آن گزارش‌های متفاوتی توسط محققان مختلف ارائه شده است. برخی معتقدند که افزایش توان تولید در گندم‌های جدید مستلزم افزایش کارایی استفاده از نور خورشید و در نتیجه عملکرد بیولوژیک می‌باشد (Reynolds et al., 2009). از طرفی در برخی دیگر از مطالعات گزارش شده است که در طی اصلاح گندم، عملکرد بیولوژیک ثابت مانده و ارقام جدید از نظر تولید ماده خشک هیچ برتری نسبت به ارقام قدیمی ندارند (Sayre et al., 1997). همچنین در مطالعات متعدد گزارش شده که افزایش عملکرد دانه در گندم

بوده و از موانع اصلی رسیدن به توان بالقوه عملکرد این گیاه می‌باشد. لذا شناسایی ارقام مقاوم و نیز مطالعه مکانیزم‌های افزایش دهنده مقاومت به تنش خشکی از راهکارهای مناسب جهت مقابله با عوارض تنش خشکی خواهد بود.

ارقام پیشرفته گندم با عملکرد بالا عمدتاً دارای مکانیسم‌های مقاومت به خشکی بالا بوده و لذا استفاده از آنها در مناطق خشک اهمیت زیادی دارد (Fischer & Maurer, 1978; Rajaram et al., 1996). گزینش برای عملکرد دانه تحت تنش خشکی به علت وراثت‌پذیری کم آن که از تغییرات در شدت تنش در سرتاسر مزرعه ناشی می‌شود، بسیار مشکل است (Blum, 1988; Ludlow & Muchow, 1990). با این وجود، احتمال افزایش عملکرد در جایی که تنش معنی‌دار است و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بالاست، وجود دارد.

مطالعات نشان می‌دهد که تلاش‌های گسترده‌ای در خصوص صفات و خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مؤثر در مقاومت به خشکی از جمله روزنه‌ها (اندازه، تعداد و باز و بسته شدن آن)، برگ (سطح، شکل، توسعه، جهت‌گیری، پیری و مومی بودن آن)، ریشه (طول، تراکم و وزن خشک آن)، راندمان مصرف آب، محتوای نسبی آب، راندمان تبخیر و تعرق، سطوح اسید آبسزیک و پایداری غشای سلول و پروتئین‌های شوک حرارتی و تبعیض ایزوتوپ کربن انجام شده است (Chaves & Oliveira, 2004). صفات زراعی مثل عملکرد و اجزاء آن نیز به عنوان یک عامل مهم برای ارزیابی اولیه مقاومت به خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد به عنوان یک شاخص گزینش مناسب تحت تنش خشکی در طی سالیان متمادی به طور متناقضی مورد شک و تردید بوده است. به هر حال، توافق کلی بر این وجود دارد که گزینش برای لاین‌های مقاوم به خشکی تحت شرایط بدون تنش کارایی بهتری نسبت به شرایط تنش خشکی دارد. چون اجازه به معرفی لاین‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا را ممکن می‌کند (Rajaram et al., 1996).

عملکرد دانه گندم برابندی از چند متغیر است که رشد گیاه را در سرتاسر طول دوره نمو تحت تأثیر قرار می‌دهند. تلاش‌های گسترده‌ای برای توسعه مدل‌های

دارد که بررسی این تغییرات در کنار عملکرد دانه می‌تواند در برنامه‌های آینده اصلاح گندم مورد استفاده قرار بگیرد. به رغم تحقیقات فراوان و البته پراکنده در کشور، مطالعاتی که در خصوص عملکرد و اجزاء آن انجام شده معمولاً روی ارقام معدود و در شرایط مختلف بوده و تا بحال مطالعه‌ای در یک شرایط اقلیمی معین وجود ندارد که طیف گسترده‌ای از ارقام زراعی و برخی از ژنوتیپ‌ها با سازگاری‌های متفاوت و سابقه اصلاحی متفاوت را مورد مطالعه قرار دهد، به خصوص از این لحاظ مهم است که تنش‌هایی مثل خشکی، تشعشع و گرما از مکانیسم‌های پایه ای مشابهی برخوردار هستند بنابراین امکان دارد ارقامی که برای مناطق گرم یا سرد اصلاح شده‌اند چه بسا در مقابله با تنش خشکی در یک منطقه معتدل بتوانند موفق شوند. به این منظور آزمایشی در طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ برای آگاهی از تغییرات صفات زراعی در طی روند اصلاحی گندم در دهه‌های گذشته در کشور تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به صورت آزمایش مزرعه‌ای در طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه آموزشی- پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (طول جغرافیایی $54^{\circ} 50'$ شرقی، عرض جغرافیایی $35^{\circ} 55'$ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) انجام گردید. این منطقه از نظر تقسیم بندی آب و هوایی بر اساس سیستم طبقه بندی دومارتن پیشرفته جزو مناطق نیمه خشک و سرد محسوب می‌شود. خاک محل آزمایش نیز دارای بافت لومی-رسی می‌باشد.

پژوهش مورد نظر در شرایط فاریاب و تنش خشکی در قالب طرح لاتیس ساده (شامل ۹ بلوک ناقص) و با ۲ تکرار اجرا گردید. ارقام زراعی گندم‌های ایران و برخی از ژنوتیپ‌ها (جدول ۱) با ویژگی‌های متفاوت زراعی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، فنولوژیکی و ژنتیکی که در فاصله سال‌های ۱۳۰۹ تا ۱۳۸۵ در کشور معرفی شده و در شرایط مختلف آب و هوایی کشور (معتدل-خشک، سرد-خشک و گرم-خشک) مورد کشت و کار قرار

همبستگی معنی‌داری با شاخص برداشت داشته است (Donald et al., 1976; Hay, 1995). بهینه‌سازی شاخص برداشت از طریق افزایش توزیع مواد برای رشد سنبله و به حداکثر رساندن تعداد دانه یکی از راهکارهای مؤثر برای بهبود عملکرد شناخته شده است (Foulkes et al., 2011).

روش‌های آماری متفاوتی از جمله همبستگی ساده، رگرسیون، تجزیه علیت، تجزیه عاملی و مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای در مدل‌سازی عملکرد گیاه زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به خوبی مشخص شده که اثر جبرانی اجزاء عملکرد در نتیجه رقابت برای منابع محدود شده اتفاق می‌افتد و به احتمال زیاد، همبستگی ساده با عملکرد، تصویر واضحی از اهمیت هر جزء در تعیین عملکرد را فراهم نمی‌کند (García del Moral et al., 1991). مطالعات نشان می‌دهد که تحلیل عاملی که توسط Walton (1972) پیشنهاد شده به طور گسترده‌ای جهت معرفی رشد و خصوصیات گندم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Moghaddam et al., 1997). ثابت شده که رگرسیون گام به گام، کارایی بهتری نسبت به مدل کلی رگرسیون جهت تعیین معادله پیش‌بینی شده برای عملکرد دارد. این روش‌ها برای گزینش والدین در برنامه‌های اصلاحی و مدل‌سازی گیاه زراعی (Jaynes et al., 2003) مفید است. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره برای ساده کردن مجموعه‌ای از داده‌ها است که به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Leilah & Al-Khateeb, 2005).

برخی محققین برای اجرای برنامه اصلاحی گندم تحت تنش خشکی، ارزیابی همزمان ژرم پلاسما تحت شرایط بدون تنش (جهت به کار بردن وراثت‌پذیری بالا و معرفی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا) و شرایط تنش (برای حفظ ال‌هایی مقاوم به خشکی) پیشنهاد کردند (Rajaram et al., 1996). در طی سال‌های گذشته تلاش‌های گسترده‌ای جهت افزایش عملکرد محصولات زراعی و بخصوص گندم انجام گرفته است. بررسی تعدادی از ارقام گندم معرفی شده در کشور در طی سال‌های گذشته و برخی از ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که تنوع قابل توجهی در فرایندهای مختلف فیزیولوژی و نیز تفاوت‌های ژنتیکی در بین ارقام و ژنوتیپ‌ها وجود

آبیاری شدند. در سال اول کشت تیمارهای تنش و فاریاب به ترتیب، ۵ و ۹ بار و در سال دوم ۵ و ۸ بار آبیاری شدند. در زمان رسیدگی یک مترمربع از قسمت انتهایی و غیر تخریبی هر کرت و با احتساب حاشیه انجام شد و جهت اندازه‌گیری عملکرد (گرم در مترمربع)، عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)، شاخص برداشت (درصد)، وزن هزاردانه (گرم) و تعداد دانه در سنبله استفاده شد و همچنین، وزن دانه در سنبله (گرم) و ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) از میانگین ۱۰ عدد سنبله اندازه‌گیری شد. روابط بین عملکرد دانه و اجزا آن در تعدادی از ارقام زراعی و برخی از ژنوتیپ‌ها تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی در طی دو سال زراعی با استفاده روش‌های آماری تحت عنوان همبستگی ساده، رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون گام به گام و تحلیل عاملی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مطالعه شد و تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS انجام شد.

می‌گیرند مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت شامل ۴ ردیف با فواصل ۲۰ سانتی‌متری و به طول ۴ متر بود. بذور ارقام مورد بررسی روی ردیف‌های کشت به‌صورت دستی و با استفاده از فوکا در آبان سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ کاشته شدند. بر اساس توصیه متداول کودی برای مزرعه آزمایشی کود آمونیوم فسفات بر مبنای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و همچنین کود اوره بر مبنای ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مراحل پنجه‌زنی و ساقه رفتن به‌صورت سرک به زمین داده شد. با توجه به زمان معمول تنش در منطقه، تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله (زمانی که ۵۰ درصد ارقام وارد این مرحله شده بودند) شروع و تا پایان فصل ادامه پیدا کرد. به این ترتیب که تیمارهای فاریاب و تنش تا مرحله ظهور سنبله به طور همزمان با یکدیگر آبیاری شدند. از این مرحله به بعد آبیاری تیمار تنش قطع شده در صورتی که تیمارهای عدم تنش تا پایان مرحله رشد

جدول ۱- اسامی ارقام گندم مورد استفاده در آزمایش مزرعه ای

شماره	رقم	شماره	رقم	شماره	رقم	شماره	رقم
۱	آرتا	۲۱	چمران	۴۱	شاهپسند	۶۱	کرج ۲
۲	آزادی	۲۲	چناب	۴۲	شاهی	۶۲	کرج ۳
۳	آذرا	۲۳	خزرا	۴۳	شعله	۶۳	گاسپارد
۴	آذرا ۲	۲۴	خلیج	۴۴	کرخه	۶۴	گلستان
۵	اترک	۲۵	داراب ۲	۴۵	شهریار	۶۵	مازون
۶	اروند موتانت	۲۶	دریا	۴۶	شیرودی	۶۶	مرودشت
۷	استار	۲۷	دز	۴۷	شیراز	۶۷	مغان ۱
۸	اکبری	۲۸	دوروم یاواروس	۴۸	طیسی	۶۸	مغان ۲
۹	البرز	۲۹	رسول	۴۹	عدل	۶۹	مغان ۳
۱۰	الوند	۳۰	روشن	۵۰	فرونتانا	۷۰	مهدوی
۱۱	الموت	۳۱	زاگرس	۵۱	فلات	۷۱	ناز
۱۲	امید	۳۲	زرین	۵۲	فونگ	۷۲	نوید
۱۳	اینیاء	۳۳	سایسون	۵۳	قدس	۷۳	نیک نژاد
۱۴	بک کراس روشن بهاره	۳۴	سبلان	۵۴	کاهه	۷۴	هامون
۱۵	بک کراس روشن زمستانه	۳۵	M-73-18	۵۵	کاسکوژن	۷۵	هیرمند
۱۶	بم	۳۶	سرخ تخم	۵۶	کراس البرز	۷۶	ویری ناک
۱۷	بولانی	۳۷	سرداری	۵۷	کراس شاهی	۷۷	DN-11
۱۸	بیات	۳۸	سومای ۳	۵۸	کراس فلات هامون	۷۸	Stork
۱۹	بیستون	۳۹	سیستان	۵۹	کویر	۷۹	WS-82-9
۲۰	پیشتاز	۴۰	سیمینه	۶۰	کرج ۱	۸۰	Kauz
						۸۱	Montana

نتایج و بحث

آمار توصیفی و همبستگی ساده برای صفات زراعی

نتایج نشان داد که وزن دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد تک سنبله و به ویژه عملکرد دانه حساسیت بیشتری به تنش خشکی نسبت به ارتفاع گیاه و تعداد دانه در سنبله داشت (جدول ۲). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تمام صفات مورد مطالعه به جز ارتفاع گیاه (که همبستگی منفی و معنی‌داری داشت) تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۳). در صورتی که، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله تحت شرایط فاریاب و با وزن هزاردانه تحت تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۳). محققین بسیاری کاهش عملکرد دانه گندم را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Moghaddam et al., 1997; Sio-Se Mardeh et al., 2006). دلیل اصلی چنین واکنشی کاهش سرعت فتوسنتزی و پیر شدن سریع برگ‌ها (کاهش قدرت منبع) و کاهش قدرت مخزن عنوان شده است (Ritchie et al., 1990). ارقام واکنش متفاوتی به صفات ذکر شده تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی نشان دادند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). با توجه به طیف گله‌های متفاوت ارقام، احتمالاً بخشی از پاسخ متفاوت ارقام به دلیل فنولوژی متفاوت آنها باشد. کاهش وزن هزاردانه ارقام مختلف در پاسخ به تنش خشکی در دو سال زراعی (جدول ۲) نشان‌دهنده عدم تأمین مواد فتوسنتزی مورد تقاضای دانه‌ها تحت این شرایط می‌باشد. چنین واکنشی به تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. برای مثال Azizinya et al. (2005) و Karami et al. (2005) به ترتیب تأثیر معنی‌دار تنش خشکی را بر روی وزن هزاردانه ارقام مختلف گندم و جو اشاره کرده‌اند. واکنش متفاوت وزن هزاردانه ارقام به تنش خشکی نشان‌دهنده حساسیت یا مقاومت متفاوت آنها به شرایط تنش می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن هزاردانه با میزان عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (جدول ۳) به نظر می‌رسد که بالا بودن وزن هزاردانه در شرایط تنش خشکی هماهنگ با عملکرد دانه تحت این شرایط باشد. بر خلاف نتایج مشاهده شده در شرایط

تنش، ارتباط بین وزن هزاردانه و عملکرد دانه تحت شرایط فاریاب ضعیف به نظر می‌رسید (جدول ۳). دلیل چنین واکنشی احتمالاً به خاطر گنجایش محدود مخزن‌ها (محدودیت مخزن) و عدم توانایی آنها در جذب مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه باشد که در منابع دیگر نیز به آن اشاره شده است (Borras et al., 2004). ارتباط مثبت بین تعداد دانه با عملکرد بالای دانه در شرایط فاریاب (جدول ۳) احتمالاً به خاطر ظرفیت بالای مخزن و بهره‌وری از مواد فتوسنتزی بیشتر باشد. این نتایج با مشاهدات Mi et al. (2000) مطابقت دارد که اظهار داشتند که رهیافت جدید در اصلاح گندم زمستانه در چین به منظور افزایش پتانسیل عملکرد اصلاح ژنوتیپ‌های با تعداد دانه بیشتر در هر سنبله می‌باشد.

در شرایط تنش، بر خلاف شرایط فاریاب، همبستگی معنی‌داری بین تعداد دانه و عملکرد مشاهده نشد (جدول ۳). به این معنی که افزایش یا کاهش عملکرد ارقام در شرایط تنش ناشی از افزایش یا کاهش تعداد دانه نبوده بلکه متأثر از وزن هزاردانه بود. به نظر می‌رسد در شرایط تنش و در نتیجه کمبود مواد فتوسنتزی، تعادل بین منبع و مخزن از طریق تعداد دانه کمتر حفظ شده و دانه‌های باقیمانده در سنبله از وزن بیشتری برخوردار می‌شوند. به بیان دیگر افزایش تعداد دانه در سنبله به عنوان راهکاری جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی احتمالاً نمی‌تواند اثر مثبتی روی عملکرد دانه داشته باشد. چرا که در شرایط محدودیت فتوسنتزی افزایش تعداد دانه با کاهش وزن هزاردانه همراه خواهد شد و در نهایت منجر به بهبود عملکرد دانه نخواهد شد. همین‌طور محققین دیگری نیز عدم رابطه بین تعداد دانه در سنبله و افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند (González et al., 1999).

تنش خشکی متوسط عملکرد بیولوژیک ارقام گندم مورد بررسی را کاهش داد (جدول ۲). متوسط عملکرد بیولوژیک از ۲۰۱۷ گرم در مترمربع در آبی به ۱۵۷۶ گرم در مترمربع در شرایط تنش رسید. اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک در طی دو سال اجرای آزمایش در شرایط تنش ۸۹۰ گرم بود که در مقایسه با شرایط فاریاب (که ۱۴۳۵ گرم بود)

جدول ۲- پارامترهای آمار توصیفی برای صفات زراعی در ارقام و برخی از ژنوتیپ‌های گندم ایرانی تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی (میانگین دو سال)

متغیرها	شرایط	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
عملکرد دانه (Y)	فاریاب	۲۷۲	۱۰۳۲	۷۵۱/۱۶	۱۵/۴۹
	تنش	۱۱۲	۶۵۶	۳۷۱/۶۸	۱۱/۷۹
عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	۱۱۲۲	۲۵۵۷	۲۰۱۷/۱	۳۱/۱۳
	تنش	۱۱۰۴	۱۹۹۴	۱۵۷۶/۴	۱۵/۷۳
شاخص برداشت (X2)	فاریاب	۲۳	۴۹	۳۶/۰۶	۰/۵۹۱
	تنش	۸	۳۷	۲۴/۱۹	۰/۷۱۵
وزن هزاردانه (X3)	فاریاب	۳۶/۵۰	۶۰/۱۰	۴۷/۲۳	۰/۵۹۷
	تنش	۱۹/۵	۴۸/۸۰	۳۵/۰۹	۰/۷۱۱
تعداد دانه در سنبله (X4)	فاریاب	۲۴/۹۰	۶۲/۵۰	۴۴/۹۵	۰/۹۱
	تنش	۳۰/۲۰	۷۱/۹۰	۴۵/۰۸	۰/۸۹
وزن دانه در سنبله (X5)	فاریاب	۱/۱۶	۲/۷۹	۲/۰۲	۰/۰۳
	تنش	۰/۷۲	۲/۲۳	۱/۳۷	۰/۰۲
ارتفاع گیاه (X6)	فاریاب	۶۳	۱۰۹	۸۳/۶۱	۱/۲۳
	تنش	۶۶	۱۰۵	۸۲/۰۴	۱/۱۴

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده صفات مختلف در شرایط فاریاب و تنش خشکی ژنوتیپ‌های گندم در دو سال زراعی

صفات	شرایط	عملکرد	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزاردانه	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله
عملکرد بیولوژیک	فاریاب	۰/۶۶۵**					
	تنش	۰/۳۱۰**					
شاخص برداشت	فاریاب	۰/۶۱۵**	-۰/۱۴۳				
	تنش	۰/۹۱۰**	-۰/۰۶۶				
وزن هزاردانه	فاریاب	۰/۱۶۱	۰/۰۸۰	۰/۱۴۲			
	تنش	۰/۳۷۷**	۰/۱۴۳	۰/۳۲۹**			
تعداد دانه در سنبله	فاریاب	۰/۴۲۶**	۰/۳۰۵**	۰/۲۵۱*	-۰/۳۷۷**		
	تنش	۰/۰۸۲	۰/۰۲۹	۰/۰۹۳	-۰/۳۴۹**		
وزن دانه در سنبله	فاریاب	۰/۵۸۹**	۰/۳۵۸**	۰/۴۱۷**	۰/۲۳۹*	۰/۷۳۵**	
	تنش	۰/۵۴۴**	۰/۱۱۷	۰/۵۵۳**	۰/۴۶۰**	۰/۵۰۷**	
ارتفاع گیاه	فاریاب	-۰/۳۴۰**	۰/۲۸۰*	-۰/۷۳۴**	۰/۰۵۶	-۰/۳۲۳**	-۰/۳۲۸**
	تنش	-۰/۵۰۶**	۰/۲۲۶*	-۰/۶۴۸**	۰/۰۵۷	-۰/۴۳۶**	-۰/۴۲۳**

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

عملکرد بالا خواهند بود. محققان زیادی پیشرفت عملکرد را در طی سال‌های اخیر به دلیل افزایش ماده خشک گیاه دانسته‌اند (Donmez et al., 2001; Shearman et al., 2005; Reynolds et al., 2009). علت بالا بودن ماده خشک را در گندم‌های جدید، تجمع زیاد ماده خشک در قبل از گرده‌افشانی به دلیل بالا بودن کارایی استفاده از نور خورشید عنوان کردند. افزایش در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های

۳۸ درصد کمتر بود. ارتباط عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه در شرایط تنش ضعیف‌تر از شرایط فاریاب بود (جدول ۳). مطالعات نشان می‌دهد افزایش در عملکرد بیولوژیک زمانی مؤثر خواهد بود که کربن تولید شده در طی فتوسنتز به طرف اندام‌های اقتصادی یا دانه‌ها تخصیص یابد (Reynolds et al., 2009). به عبارتی دیگر ارقامی از گندم که هم دارای عملکرد بیولوژیک بالا و هم دارای شاخص برداشت بالا بودند به احتمال زیاد دارای

تجزیه رگرسیون خطی چندگانه

داده‌های موجود در جدول ۴، ضرایب رگرسیون و احتمال معنی داری متغیرهای ارزیابی شده برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان داد که معادله پیش‌بینی شده برای عملکرد دانه در مترمربع (\hat{Y}) با استفاده از متغیرهای مورد مطالعه به صورت زیر فرموله می‌شود:

شرایط فاریاب :

$$\hat{Y} = -486.381 + 0.275 X_1 + 15.937 X_2 + 0.873 X_3 + 0.612 X_4 - 30.066 X_5 + 0.263 X_6$$

شرایط تنش :

$$\hat{Y} = -629.829 + 0.385 X_1 + 17.745 X_2 - 0.429 X_3 - 0.575 X_4 + 16.534 X_5 - 0.695 X_6$$

معادله برای شرایط فاریاب و تنش به ترتیب ۹۵/۷ و ۹۶/۶ درصد از کل تغییرات در درون اجزا عملکرد را توجیه می‌کند و باقی تغییرات برای شرایط فاریاب و تنش به ترتیب ۴/۳ و ۳/۴ درصد احتمالاً به علت اثرات باقیمانده باشد. با توجه به اینکه داده‌های مربوط به صفات مورد مطالعه دارای همبستگی با یکدیگر می‌باشند یا به عبارت دیگر داده‌ها متعامد نیستند، لذا نمی‌توان از روی بزرگی ضرایب رگرسیونی موجود در جدول ۴ و معادله‌های فوق مشخص کرد که کدام صفت بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارد. اما با توجه به ضرایب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه و آزمون t می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحت هر دو شرایط فاریاب و تنش، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به طور معنی‌داری در عملکرد دانه در مترمربع نقش ایفاء می‌کنند. در حالی‌که متغیرهای دیگر نقش معنی‌داری نداشتند. بنابراین، نتایج کلی با استفاده از این روش تجزیه، اهمیت دو متغیر ذکر شده را در گزینش ارقام برای برنامه‌های اصلاحی منعکس می‌کند. این یافته‌ها مطابق با نتایج بدست آمده سایر محققین (Donald et al., 1976; Leilah and Al-Khateeb, 2005) نیز می‌باشد.

تجزیه رگرسیون گام به گام

از رگرسیون گام به گام به منظور تعیین متغیرهای

اقتصادی یکی از جنبه‌های مهم تکامل و گزینش گیاهان زراعی بوده است (Hay, 1995). تنوع بسیار وسیعی برای شاخص برداشت در بین ارقام گندم دیده شد. مقدار این صفت در طی دو سال زراعی در شرایط فاریاب از ۲۳ تا ۴۹ درصد و در شرایط تنش از ۸ تا ۳۷ درصد متغیر بود. عواملی که باعث تنوع در شاخص برداشت می‌شود متفاوت می‌باشند. این عوامل از طریق تأثیر بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و یا هر دوی آنها باعث افزایش یا کاهش شاخص برداشت می‌شوند. تفاوت در ارتفاع گیاهان به عنوان مهمترین علت تنوع در شاخص برداشت عنوان شده است. در این مورد گزارش شده است که کاهش ارتفاع (با استفاده از ژن‌های پاکوتاهی *Rht*) به صورت غیرمستقیم باعث افزایش شاخص برداشت شد بدون اینکه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشته باشد (Hay, 1995). افزایش توان رقابتی سنبله برای جذب مواد فتوسنتزی در مقایسه با ساقه باعث افزایش شاخص برداشت خواهد شد (Reynolds et al., 2009). رقابت سنبله با ساقه از مرحله تشکیل سنبله انتهایی آغاز و در زمان گرده‌افشانی و هنگامی که میان‌گره‌های بالایی ساقه در حال رشد و توسعه ساختار خود هستند به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این رقابت باعث سقط گلچه‌ها در داخل سنبله و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود. ارقامی از گندم که دارای سنبله‌های بزرگ‌تر با قدرت رقابتی بیشتر می‌باشد توان حفظ گلچه‌های بیشتر و افزایش تعداد دانه و عملکرد و در نتیجه شاخص برداشت را خواهند داشت. تفاوت در دوام سبز برگ‌ها و سایر اندام‌های فتوسنتزی از طریق تأثیر بر روی دوره پر شدن دانه و در نتیجه وزن دانه‌ها بر روی شاخص برداشت تأثیر می‌گذارد. در این خصوص Hay (1995) اشاره کرد که بیشتر بودن شاخص برداشت در انگلستان با آب و هوای معتدل و مرطوب در مقایسه با استرالیا به علت دوره طولانی‌تر پر شدن دانه است. با توجه به داده‌ها به نظر می‌رسد که در ارقام ایرانی هنوز شاخص برداشت به سقف خود نرسیده و هنوز امکان افزایش آن و در نتیجه افزایش عملکرد دانه وجود دارد. ضمن اینکه Austin et al. (1980) پیشنهاد کردند که بیشترین مقدار تنوریکی برای شاخص برداشت در گندم ۶۲ درصد می‌تواند باشد.

جدول ۴- ضریب رگرسیون، اشتباه استاندارد و مقادیر t و احتمال معنی‌داری متغیرها در پیش‌بینی عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی با تجزیه رگرسیون خطی چندگانه

متغیرها	شرایط	ضریب رگرسیون (b)	اشتباه استاندارد (SE)	t	احتمال معنی‌داری
عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	۰/۳۸۵	۰/۰۱۴	۲۶/۵۷۵	۰/۰۰۰ **
	تنش	۰/۲۷۵	۰/۰۱۷	۱۶/۲۳۱	۰/۰۰۰ **
شاخص برداشت (X2)	فاریاب	۱۷/۷۴۵	۰/۹۹۱	۱۷/۸۹۸	۰/۰۰۰ **
	تنش	۱۵/۹۳۷	۰/۵۹۰	۲۷/۰۱۷	۰/۰۰۰ **
وزن هزاردانه (X3)	فاریاب	-۰/۴۲۹	۱/۱۸۶	-۰/۳۶۱	۰/۷۱۹ ns
	تنش	۰/۸۷۳	۰/۶۲۲	۱/۴۰۴	۰/۱۶۵ ns
تعداد دانه در سنبله (X4)	فاریاب	-۰/۵۷۵	۱/۱۲۷	-۰/۵۱۰	۰/۶۱۲ ns
	تنش	۰/۶۱۲	۰/۵۵۸	۱/۰۹۶	۰/۲۷۷ ns
وزن دانه در سنبله (X5)	فاریاب	۱۶/۵۳۴	۲۶/۹۸۱	۰/۶۱۳	۰/۵۴۲ ns
	تنش	-۳۰/۰۶۶	۲۰/۰۰۴	-۱/۵۰۳	۰/۱۳۷ ns
ارتفاع گیاه (X6)	فاریاب	-۰/۶۹۵	۰/۴۸۷	-۱/۴۲۶	۰/۱۵۸ ns
	تنش	۰/۲۶۳	۰/۳۵۴	۰/۷۴۴	۰/۴۵۹ ns

فاریاب : Y-intercept (a) = -۶۲۹/۸۲۹, SE = ۲۹/۸۷۶, R2 = ۰/۹۵۷, Adjusted R2 = ۰/۹۵۴.

تنش خشکی : Y-intercept (a) = -۴۸۶/۳۸۱, SE = ۲۰/۲۰۲, R2 = ۰/۹۶۶, Adjusted R2 = ۰/۹۶۴.

** و * : به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، ns عدم اختلاف معنی‌دار.

نتیجه است. در مرحله دوم، صفت عملکرد بیولوژیک با ضریب تبیین جزء ۰/۱۳۸ وارد مدل شد. این دو صفت در مجموع ۹۶/۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمودند. واضح است که صفت عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش تأثیر کمتری داشته و فقط درصد کمی از تغییرات موجود در عملکرد دانه را توجیه می‌نماید. از آنجایی که عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و متوسطی با عملکرد دانه دارد به نظر می‌رسد که بالا بردن این صفت در شرایط تنش برای افزایش عملکرد تا یک حدی معقول می‌باشد ولی به دلیل کمبود رطوبت در شرایط تنش خشکی در مراحل پر شدن دانه، عملکرد آن در مقایسه با شرایط فاریاب کاهش می‌یابد. البته این مسئله در گیاهان مختلف بسته به میزان پدیده انتقال مجدد فرق می‌کند. ضرایب رگرسیون برای متغیرهای پذیرفته شده در جدول ۶ نشان داده شده است. معادله پیش‌بینی شده برای عملکرد دانه (\hat{Y}) به صورت زیر فرموله شد:

$$\hat{Y} = -739.299 + 0.382 X_1 + 18.935 X_2$$

$$\hat{Y} = -439.735 + 0.279 X_1 + 15.389 X_2$$

در کل، نتایج رگرسیون گام به گام نشان می‌دهد که شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط

با ارزش و مؤثر بر متغیر تابع و تهیه بهترین مدل برای توجیه تغییرات آن استفاده می‌گردد. به همین منظور، عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. به طور مسلم صفاتی که دارای همبستگی بالاتری با متغیر تابع هستند و دارای سهم بیشتری در توجیه تغییرات آن می‌باشند، زودتر وارد مدل می‌شوند. نتایج رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته در مقابل ۶ صفت زراعی به عنوان متغیر مستقل در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است. در شرایط فاریاب، عملکرد بیولوژیک نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که ۴۴/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمود. در مرحله دوم، شاخص برداشت با ضریب تبیین ۰/۵۱۴ به مدل وارد شد. این دو متغیر در مجموع ۹۵/۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. متغیرهای دیگر به علت شرکت نسبی کم وارد مدل نشدند. همبستگی مثبت و بالای شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه نیز تاییدکننده این مدل می‌باشد. در شرایط تنش از میان صفات مورد مطالعه، شاخص برداشت نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که ۸۲/۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. همبستگی مثبت و بسیار بالا بین عملکرد و شاخص برداشت نیز تاییدکننده این

جدول ۵- توزیع نسبی (ضریب تبیین جزئی و مدل) در پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در تجزیه رگرسیون گام به گام

گام	متغیرهای وارد شده	شرایط	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	اشتباه استاندارد (SE)
۱	عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	۰/۴۴۲	۰/۴۴۲	۰/۰۱۲
		تنش	۰/۱۳۸	۰/۹۶۵	۰/۰۱۶
۲	شاخص برداشت (X2)	فاریاب	۰/۵۱۴	۰/۹۵۶	۰/۶۲۸
		تنش	۰/۸۲۷	۰/۸۲۷	۰/۳۵۰

جدول ۶- پیش‌بینی عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام

گام	متغیرهای وارد شده	شرایط	ضریب رگرسیون (b)	اشتباه استاندارد (SE)	t	احتمال معنی‌داری
۱	عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	۰/۳۸۲	۰/۰۱۲	۳۱/۹۶۸	۰/۰۰۰ **
		تنش	۰/۲۷۹	۰/۰۱۶	۱۷/۴۸۴	۰/۰۰۰ **
۲	شاخص برداشت (X2)	فاریاب	۱۸/۹۳۵	۰/۶۲۸	۳۰/۱۶۱	۰/۰۰۰ **
		تنش	۱۵/۳۸۹	۰/۳۵۰	۴۳/۹۴۰	۰/۰۰۰ **

فاریاب : $Y\text{-intercept (a)} = -۷۳۹/۲۹۹$, $SE = ۳۶/۴۱۳$, $R^2 = ۰/۹۵۶$, $Adjusted R^2 = ۰/۹۵۵$.

تنش خشکی : $Y\text{-intercept (a)} = -۴۳۹/۷۳۵$, $SE = ۲۷/۱۲۴$, $R^2 = ۰/۹۶۵$, $Adjusted R^2 = ۰/۹۶۴$.

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

وابسته توجیه می‌کند. در صورتی که تحت شرایط تنش (جدول ۹)، اولین عامل شامل شاخص برداشت، وزن دانه در سنبله و ارتفاع گیاه وارد مدل شدند و ۳۹/۹۸۳ درصد از کل تغییرات را در یک ساختار وابسته توجیه می‌کند و نام پیشنهادی برای این عامل، شاخص برداشت است. دومین عامل شامل وزن هزاردانه، تعداد دانه سنبله (با نام پیشنهادی سنبله) با ۲۵/۲۶۸ درصد و سومین عامل عملکرد بیولوژیک با ۱۸/۹۰۱ درصد از کل تغییرات را در یک ساختار وابسته توجیه می‌کند. داده‌ها در جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهد که تحت شرایط فاریاب، وزن دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و وزن هزاردانه بالاترین اشتراک و در نتیجه نقش نسبی بالا در عملکرد دانه داشت ولی تحت تنش، شاخص برداشت، وزن دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک بالاترین اشتراک و در نتیجه نقش نسبی بالا در عملکرد دانه را دارد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Donald et al., 1976; Leilah & Al-Khateeb, 2005).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای کاهش تعداد متغیرهای اصلی از طریق مؤلفه‌های غیر همبسته که ترکیبی از متغیرهای اصلی می‌باشند، استفاده می‌شود.

وارد مدل شده و بهبود این دو صفت مهم به نظر می‌رسد. با توج به معادله رگرسیونی در شرایط تنش پیداست که برای بالا بردن عملکرد در شرایط تنش، اصلاحگر بایستی توزیع مواد فتوسنتزی را به سمت دانه افزایش دهد. نتایج این تحقیق مشابه با نتایج برخی از محققین دیگر (Donald et al., 1976; Leilah & Al-Khateeb, 2005) است که اعلام نموده‌اند عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به طور معنی‌داری مرتبط با عملکرد دانه گندم است.

تحلیل عاملی

داده‌ها در جدول ۷ نشان می‌دهد که تحت شرایط فاریاب و تنش به ترتیب، سه عامل اصلی ۸۷/۴۸۱ و ۸۴/۱۵۲ درصد از کل تغییرات را در یک ساختار وابسته توجیه می‌کند. به این ترتیب که تحت شرایط فاریاب (جدول ۸)، اولین عامل شامل شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و ارتفاع گیاه وارد مدل شدند و ۴۰/۱۳۹ درصد از کل تغییرات را در یک ساختار وابسته توجیه می‌کند و نام پیشنهادی برای این عامل، شاخص برداشت است. دومین عامل شامل عملکرد بیولوژیک (با نام پیشنهادی عملکرد بیولوژیک) با ۲۶/۳۲۴ درصد و سومین عامل وزن هزاردانه (وزن دانه) با ۲۱/۰۱۸ درصد از کل تغییرات را در یک ساختار

جدول ۷- دوران عامل‌ها و میزان اشتراک آنها برای متغیرهای ارزیابی شده گندم تحت تنش و عدم تنش خشکی

متغیرها	شرایط	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	میزان اشتراک
عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	۰/۱۵۸	۰/۸۳۶	۰/۲۱۶	۰/۷۷۰
	تنش	-۰/۰۵۵	۰/۳۸۲	۰/۸۰۸	۰/۸۰۱
شاخص برداشت (X2)	فاریاب	۰/۷۴۸	-۰/۴۸۶	۰/۱۷۵	۰/۸۲۶
	تنش	۰/۸۱۳	۰/۲۱۰	-۰/۲۹۶	۰/۷۹۳
وزن هزاردانه (X3)	فاریاب	-۰/۰۱۰	-۰/۰۸۱	۰/۹۷۸	۰/۹۶۴
	تنش	۰/۲۹۹	۰/۸۸۶	-۰/۰۹۵	۰/۸۸۴
تعداد دانه در سنبله (X4)	فاریاب	۰/۷۷۳	۰/۴۳۴	-۰/۳۸۶	۰/۹۳۵
	تنش	۰/۵۳۵	-۰/۶۱۴	۰/۴۹۸	۰/۹۱۱
وزن دانه در سنبله (X5)	فاریاب	۰/۸۳۳	۰/۳۶۶	۰/۲۵۹	۰/۸۹۶
	تنش	۰/۸۵۰	۰/۲۱۸	۰/۲۸۱	۰/۸۴۹
ارتفاع گیاه (X6)	فاریاب	-۰/۷۳۰	۰/۵۶۲	۰/۱۰۰	۰/۸۵۹
	تنش	-۰/۷۹۷	۰/۳۴۱	۰/۲۴۱	۰/۸۱۱
واریانس عامل (%)	فاریاب	۴۰/۱۳۹	۲۶/۳۲۴	۲۱/۰۱۸	۸۷/۴۸۱
	تنش	۳۹/۹۸۳	۲۵/۲۶۸	۱۸/۹۰۱	۸۴/۱۵۲

جدول ۸- خلاصه بار عامل‌ها برای متغیرهای ارزیابی شده گندم تحت شرایط فاریاب

عوامل	بار عاملی	درصد اشتراک کل	نام پیشنهادی برای عامل
<u>عامل ۱</u>	۲/۴۰۸	۴۰/۱۳۹	شاخص برداشت
شاخص برداشت (X2)	۰/۷۴۸		
تعداد دانه در سنبله (X4)	۰/۷۷۳		
وزن دانه در سنبله (X5)	۰/۸۳۳		
ارتفاع گیاه (X6)	-۰/۷۳۰		
<u>عامل ۲</u>	۱/۵۷۹	۲۶/۳۲۴	عملکرد بیولوژیک
عملکرد بیولوژیک (X1)	۰/۸۳۶		
<u>عامل ۳</u>	۱/۲۶۱	۲۱/۰۱۸	وزن دانه
وزن هزاردانه (X3)	۰/۹۷۸		
واریانس تجمعی	۵/۲۴۸	۸۷/۴۸۱	

جدول ۹- خلاصه بار عامل‌ها برای متغیرهای ارزیابی شده گندم تحت تنش خشکی

عوامل	بار عاملی	درصد اشتراک کل	نام پیشنهادی برای عامل
<u>عامل ۱</u>	۲/۳۹۹	۳۹/۹۸۳	شاخص برداشت
شاخص برداشت (X2)	۰/۸۱۳		
وزن دانه در سنبله (X5)	۰/۸۵۰		
ارتفاع گیاه (X6)	-۰/۷۹۷		
<u>عامل ۲</u>	۱/۵۱۶	۲۵/۲۶۸	سنبله
وزن هزاردانه (X3)	۰/۸۸۶		
تعداد دانه در سنبله (X4)	-۰/۶۱۴		
<u>عامل ۳</u>	۱/۱۳۴	۱۸/۹۰۱	عملکرد بیولوژیک
عملکرد بیولوژیک (X1)	۰/۸۰۸		
واریانس تجمعی	۵/۰۴۹	۸۴/۱۵۲	

۴۰/۱، ۲۶/۳ و ۲۱ درصد تغییرات را در عملکرد توجیه می‌کند و در شرایط تنش مؤلفه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۴۰، ۲۵/۳ و ۱۸/۹ درصد تغییرات را در عملکرد دانه توجیه می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های آماری مورد مطالعه نشان داد که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، از مهمترین متغیرهای عملکرد تحت شرایط فاریاب و تنش به حساب می‌آید (جدول ۱۱). بنابراین، عملکرد بالای گندم تحت شرایط تنش و شاهد را احتمالاً می‌توان با گزینش ارقام با عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالا بدست آورد. Donald et al. (1976) بیان کردند که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به عنوان معیارهای مهم زراعی و اصلاحی است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالا به عنوان معیارهای مهم می‌تواند در اصلاح ارقام در نظر گرفته شود. تأثیر این صفات در دو شرایط فاریاب و تنش خشکی شبیه به هم نیست. نقش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی کم رنگ‌تر می‌شود. به این ترتیب

داده‌ها در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش در تعداد مؤلفه‌ها، مقادیر ویژه کاهش پیدا کرده و بر اساس تجزیه انجام شده، سه مؤلفه اول که دارای مقادیر ویژه بزرگتر از یک بودند، انتخاب شدند که این سه مؤلفه در مجموع ۸۷/۵ و ۸۴/۲ درصد کل تغییرات عملکرد دانه را به ترتیب در شرایط فاریاب و تنش خشکی توجیه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط فاریاب، صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و ارتفاع گیاه با مؤلفه اول، عملکرد بیولوژیک با مؤلفه دوم و وزن هزاردانه با مؤلفه سوم همبستگی نسبتاً خوبی را نشان داد. در صورتی که تحت تنش، مؤلفه اول نشان‌دهنده صفات شاخص برداشت، وزن دانه در سنبله و ارتفاع گیاه، مؤلفه دوم بیانگر صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله و مؤلفه سوم تبیین‌کننده عملکرد بیولوژیک می‌باشد. متغیرها به طور معنی‌داری مرتبط با اولین بردار ویژه بودند (جدول ۱۰). چون متغیرها بالاترین تغییرات را در آن نشان دادند و همانطور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، تحت شرایط فاریاب، مؤلفه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب

جدول ۱۰- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه برای متغیرهای ارزیابی شده گندم تحت فاریاب و تنش خشکی با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

متغیرها	شرایط	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه پنجم	مؤلفه ششم
عملکرد بیولوژیک (X1)	فاریاب	-۰/۱۰۲	-۰/۶۶۵	۰/۱۹۳	-۰/۶۹۶	۰/۱۶۲	۰/۰۰۸
	تنش	۰/۰۳۵	۰/۳۱	۰/۷۵۸	۰/۵۶۲	-۰/۱۰۳	۰/۰۲۴
شاخص برداشت (X2)	فاریاب	-۰/۴۸۲	۰/۳۸۶	۰/۱۵۶	-۰/۴۰۸	-۰/۱۶۵	-۰/۰۷۲
	تنش	-۰/۵۲۵	۰/۱۷	-۰/۲۷۸	۰/۴۳۴	۰/۵۹۲	-۰/۲۸۱
وزن هزاردانه (X3)	فاریاب	۰/۰۰۷	۰/۰۶۴	۰/۸۷۱	۰/۲۱۱	۰/۱۵۶	-۰/۴۱
	تنش	-۰/۱۹۳	۰/۷۲	-۰/۰۸۹	-۰/۳۱۸	-۰/۳۹	-۰/۴۲۸
تعداد دانه در سنبله (X4)	فاریاب	-۰/۴۹۸	-۰/۳۴۶	-۰/۳۴۴	۰/۲۹۳	-۰/۰۳۱	-۰/۶۵۴
	تنش	-۰/۳۴۵	-۰/۴۹۹	۰/۴۶۸	-۰/۳۰۷	۰/۰۱۴	-۰/۵۶۴
وزن دانه در سنبله (X5)	فاریاب	-۰/۵۳۷	-۰/۲۹۱	۰/۲۳۱	۰/۴۱۶	-۰/۰۵۱	۰/۶۳۱
	تنش	-۰/۵۴۹	۰/۱۷۷	۰/۲۶۴	-۰/۴۱۲	۰/۱۸۵	۰/۶۲۷
ارتفاع گیاه (X6)	فاریاب	۰/۴۷	-۰/۴۴۷	۰/۰۸۹	۰/۲۱۴	-۰/۷۲۴	-۰/۰۳۹
	تنش	۰/۵۱۵	۰/۲۷۷	۰/۲۲۷	-۰/۳۶۱	۰/۶۷۲	-۰/۱۵۹
مقادیر ویژه	فاریاب	۲/۴۰۸	۱/۵۷۹	۱/۲۶۱	۰/۴۶۲	۰/۲۲۹	۰/۰۵۹
	تنش	۲/۳۹۹	۱/۵۱۶	۱/۱۳۴	۰/۶۲۱	-۰/۲۳۵	۰/۰۹۴
درصد تغییرات توجیه شده توسط مؤلفه‌ها	فاریاب	۴۰/۱	۲۶/۳	۲۱	۷/۷	۳/۸	۱
	تنش	۴۰	۲۵/۳	۱۸/۹	۱۰/۴	۰/۰۲۹	۱/۶
درصد تجمعی	فاریاب	۴۰/۱	۶۶/۵	۸۷/۵	۹۵/۲	۹۹	۱۰۰
	تنش	۴۰	۶۵/۳	۸۴/۲	۹۴/۵	۹۸/۴	۱۰۰

که در شرایط تنش، بهبود عملکرد دانه بیشتر برآیندی از توزیع مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زایشی یعنی شاخص برداشت بالا است. به این معنی که در شرایط تنش ما نمی‌توانیم بوته‌های با رشد رویشی بالا داشته باشیم چون مرحله زایشی در شرایطی مثل ایران با تنش خشکی روبرو می‌شود و عملکرد کاهش می‌یابد. در صورتی‌که در شرایط آبی، بهبود در عملکرد دانه را می‌توان با افزایش در عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت متناسب به دست آورد. توجه به این مهم و شناخت مکانیسم‌های کنترل‌کننده این عوامل کارایی روش‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد در واحد سطح را بهبود خواهد داد.

جدول ۱۱- اهمیت صفات معرفی شده گندم در عملکرد دانه گندم تحت شرایط فاریاب و تنش در طی دو سال زراعی با هر یک از روش‌های آماری مورد استفاده

متغیرها	شرایط	*۱	۲	۳	۴	۵
عملکرد بیولوژیک	فاریاب	✓				
	تنش	✓				
شاخص برداشت	فاریاب	✓				-
	تنش	✓				
وزن هزاردانه	فاریاب		-	-		
	تنش	✓				-
تعداد دانه در سنبله	فاریاب	✓				-
	تنش		-	-		
وزن دانه در سنبله	فاریاب	✓				-
	تنش	✓				-
ارتفاع گیاه	فاریاب	✓				-
	تنش	✓				-

* ۱= همبستگی ساده، ۲= رگرسیون خطی چندگانه، ۳= رگرسیون گام به گام، ۴= تحلیل عاملی، ۵= تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

REFERENCES

- Azizinya, S., Bihanta, M. R., Zali, A. A., Yazdi Samadi, B. & Ahmadi, A. (2005). An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36, 281-293.
- Austin, R. B., Bingham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L. & Taylor, M. (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *The Journal of Agricultural Science*, 94, 675-689.
- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp: 38-78.
- Borras, L., Slafer, G. A. & Otegui, M. E. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86, 131-146.
- Chaves, M. M. & Oliveira, M. M. (2004). Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2365-2384.
- Donald, C. M., Hamblin, J. & Brady, N. C. (1976). *The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria*. In: *Advances in Agronomy*, Volume 28. Academic Press, pp 361-405.
- Donmez, E., Sears, R. G., Shroyer, J. P. & Paulsen, G. M. (2001). Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Science*, 41, 1412-1419.
- Evans, L. T. & Fischer, R. A. (1999). Yield potential. *Crop Science*, 39, 1544-1551.
- Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
- Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Davies, W. J. & Berry, P. (2011). Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62, 469-486.
- García del Moral, L. F., Ramos, J. M., García del Moral, M. B. & Jimenez-Tejada, M. P. (1991). Ontogenetic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Science*, 31, 1179-1185.
- González, A., Martín, I. & Ayerbe, L. (1999). Barley yield in water-stress conditions: The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Research*, 62, 23-34.
- Gupta, N. K., Gupta, S. & Kumar, A. (2001). Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 55-62.
- Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K. & Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41, 327-335.
- Hay, R. K. M. (1995). Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, 126, 197-216.
- Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., Colvin, T. S. & James, D. E. (2003). Cluster analysis of spatiotemporal corn yield patterns in an Iowa field. *Agronomy Journal*, 95, 574-586.
- Leilah, A. A. & Al-Khateeb, S. A. (2005). Statistical analysis of wheat yield under drought conditions.

- Journal of Arid Environments*, 61, 483-496.
18. Ludlow, M. M. & Muchow, R. C. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 43, 107-153.
 19. Mi, G., Tang, L., Zhang, F. & Zhang, J. (2000). Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size? *Field Crops Research*, 68, 183-190.
 20. Moghaddam, M., Ehdaie, B. & Waines, J. G. (1997). Genetic variation and interrelationships of agronomic characters in landraces of bread wheat from southeastern Iran. *Euphytica*, 95, 361-369.
 21. Rajaram, S., Braun, H. J. & Ginkel, M. (1996). CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. *Euphytica*, 92, 147-153.
 22. Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A. J., Snape, J. W. & Angus, W. J. (2009). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60, 1899-1918.
 23. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
 24. Sayre, K. D., Rajaram, S. & Fischer, R. A. (1997). Yield potential progress in short bread wheat in northwest Mexico. *Crop Science*, 37, 36-42.
 25. Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K. & Foulkes, M. J. (2005). Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, 45, 175-185.
 26. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. & Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98, 222-229.
 27. Stone, P. J. & Nicolas, M. E. (1994). Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Functional Plant Biology*, 21, 887-900.
 28. Stone, P. J. & Nicolas, M. E. (1995). A survey of the effects of high temperature during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46, 475-492.
 29. Zhong-hu, H. & Rajaram, S. (1993). Differential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica*, 72, 197-203.