مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۴، شماره ۳، ۱۳۹۲ (۴۶۵-۴۵۵)

تأثیر سیستم ریشه‌ای و کارآیی مصرف آب بر میزان تحمل به خشکی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

روح اله عبدالشاهی[1*]، مهدیه سالار پور[2]، طیبه سادات سادات حسینی[2] و حمزه امیری[3]
۱، ۲ و۳، به ترتیب استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و کارشناسی دانشگاه باهنر کرمان
(تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۲ - تاریخ تصویب: ۹۲/۴/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیستم ریشه‌ای، جذب و کارآیی مصرف آب و بنیه گیاه بر عملکرد و میزان تحمل به خشکی در ۴۰ ژنوتیپ گندم، دو آزمایش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای در دو سال زراعی ۹۰-۱۳۸۸ اجرا شد. آزمایش‌ها به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا و نتایج دو سال به صورت مرکب تجزیه شد. تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌ها برای اکثر صفات وجود داشت. صفات طول ریشه اصلی و میزان مصرف آب، همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه در شرایط تنش(به ترتیب $r=۰/۷۱^{**}$ و $r=۰/۴۷^{**}$) و نمره تحمل به تنش (به ترتیب $r=۰/۶۷^{**}$ و $r=۰/۴۳^{**}$) داشتند. همچنین، نتایج همبستگی‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های دارای ریشه طویل‌تر زیست توده (وزن خشک ریشه و اندام هوایی) بیشتری تولید می‌نمایند و کارآیی مصرف آب بالاتری دارند. میزان مصرف آب همبستگی معنی‌داری با صفات ریشه (وزن خشک و طول ریشه اصلی)، وزن خشک اندام هوایی و کارآیی مصرف آب داشت. این همبستگی‌ها نشان می‌دهند اصلاح برای بهبود یک صفت، همزمان سایر صفات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام، طول ریشه اصلی بیشترین تأثیر را بر عملکرد در شرایط تنش خشکی داشت و پس از آن به ترتیب صفات وزن زیست توده، طول برگ، کارآیی مصرف آب و عملکرد پتانسیل قرار داشتند. با توجه به نتایج دوساله رقم مهدوی دارای بیشترین عملکرد در شرایط تنش خشکی و رقم اکبری دارای بیشترین عملکرد در شرایط نرمال بود. علاوه بر عملکرد بالا، رقم مهدوی دارای بیشترین نمره تحمل به خشکی بود. بنابراین، برای کشت در شرایط کم آبی کرمان پیشنهاد می‌شود. این رقم از لحاظ میزان جذب و کارآیی مصرف آب بسیار خوب ولی سیستم ریشه‌ای متوسطی داشت. بهبود سیستم ریشه‌ای این رقم در برنامه‌های به‌نژادی می‌تواند باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش شود.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، زیست توده، مکانیسم تحمل به تنش

مقدمه

گندم یک سوم غذای مردم جهان، بیش از نصف کالری و تقریبا نصف پروتئین مورد نیاز آنها را تامین می‌نماید (Dhanda et al., 2004). این گیاه از زمان اهلی شدن تاکنون همواره از اهمیت خاصی برخوردار بوده است و سطح وسیعی از مزارع کشاورزی را به خود اختصاص داده است (Rauf et al., 2007). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گندم است. ایران در ناحیه نیمه خشک جهان واقع شده است و به خاطر بارندگی‌های ناکافی در سال‌های اخیر عملکرد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و تولید گندم در ایران را تحت تأثیر قرار داده است (Mohammadi et al., 2011). گزینش ژنوتیپ‌های گندم با سازگاری بیشتر به تنش خشکی باعث افزایش عملکرد

* نویسنده مسئول: روح اله عبدالشاهی تلفن: ۰۹۱۷۷۳۶۷۱۱۹ E-mail: abdoshahi@uk.ac.ir

در شرایط دیم می‌شود (Rajaram, 2001). بنابراین، بهبود خصوصیات گیاهی در جهت حفظ فرآیندهای فیزیولوژیکی و تولید رقم‌های متحمل به خشکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی در گندم می‌باشد (Farshadfar and Mohammadi, 2006). عملکرد در نواحی که با تنش خشکی مواجه هستند تحت تأثیر سه عامل عملکرد پتانسیل ، فنولوژی مناسب و تحمل به خشکی است (Ouk et al., 2006). اگرچه همبستگی عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط تنش در بسیاری از آزمایشات اثبات شده است، ولی میزان این همبستگی به شدت تنش بستگی دارد به طوری که در تنش‌های شدید این همبستگی بسیار ضعیف می‌شود (Abdolshahi et al., 2013). از این رو، برای دستیابی به عملکرد مناسب و پایدار در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد نیاز است. تحمل به خشکی صفتی پیچیده و تحت تأثیر صفات متعددی است که به صفات ثانویه معروف هستند. از جمله این صفات می‌توان به سیستم ریشه‌ای، جذب آب، کارآیی مصرف آب و بنیه گیاه اشاره کرد. اگرچه سیستم ریشه-ای دارای اهمیت زیادی است ولی به طور معمول اهمیت آن در مطالعات گیاهی نادیده گرفته می‌شود.

به‌طوری که از زمان اهلی کردن گیاهان، از ۱۰۰۰۰ سال پیش، گزینش بر اساس اندام‌های قابل مشاهده روی زمین انجام گردیده است و عموما نقش ریشه نادیده گرفته شده است (Waines & Ehdaie, 2007). به دلیل مشکل ارزیابی ریشه در مزرعه اطلاعات بسیار ناچیز در مورد آن وجود دارد. سیستم ریشه‌ای بهتر باعث پایداری بیشتر عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌شود، چون در خلال تنش خشکی ریشه آب را از بخش عمیق‌تر خاک جذب می‌نماید (Streda et al., 2012).

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند با گزینش برای بنیه بهتر، صفات زیست‌توده ریشه و طول ریشه بهبود یافته است (Palta & Watt, 2009; Palta et al., 2011).

عملکرد در مناطق خشک تابع جذب آب، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت است (Reynolds & Toberosa, 2008). گزینش برای افزایش کارایی مصرف آب در نسل‌های اولیه برنامه به‌نژادی، موجب افزایش عملکرد، زیست توده، شاخص برداشت و اندازه دانه می‌شود، ولی بر روی تعداد دانه در سنبله تاثیری نمی‌گذارد. وراثت‌پذیری خصوصی کارایی مصرف آب (۶۳٪) به مراتب از وراثت‌پذیری خصوصی عملکرد (۱۴٪) بیشتر است. همبستگی ژنتیکی قوی ($r = ۰/۶۱^{**}$) بین کارایی مصرف آب و عملکرد نشان می‌دهد که کارایی مصرف آب می‌تواند در گزینش غیرمستقیم عملکرد استفاده شود (Richards & Lukacs, 2002).

در حال حاضر، بهبود کارایی مصرف آب برای محصولات دیم و آبی ضروری به نظر می‌رسد. در گونه‌های C_3 تبعیض کربن (Δ) شاخص خوبی برای اندازه گیری کارآیی مصرف آب است (Condon et al., 2004). هدف این تحقیق ارزیابی ۴۰ ژنوتیپ مطرح کشورمان از لحاظ سیستم ریشه‌ای، کارآیی مصرف آب و خصوصیات مربوط به زیست توده و همچنین بررسی تأثیر این صفات بر تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش خشکی در کرمان است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سیستم ریشه‌ای و کارایی مصرف آب بر میزان تحمل به خشکی و عملکرد دانه ۴۰ ژنوتیپ گندم در شرایط نرمال و تنش خشکی، یک آزمایش مزرعه‌ای و یک آزمایش گلخانه‌ای طراحی شد و آزمایش‌ها دو سال زراعی (سال ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹) در مزرعه و گلخانه دانشگاه باهنر کرمان تکرار شدند.

نام و خصوصیات ۴۰ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه در این آزمایش در جدول ۱ آورده شده است (Mobaser et al., 2011; Ministry of Agriculture 2012). این ۴۰ رقم گندم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو شرایط نرمال و تنش خشکی در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند و آزمایش دو سال تکرار شد. هر دو شرایط تنش و نرمال در هنگام کشت آبیاری شدند. سپس شرایط نرمال در مراحل پنجه‌دهی، ساقه رفتن، گلدهی و دانه‌بندی آبیاری شد ولی شرایط تنش فقط تا زمان ساقه رفتن آبیاری شد. میزان بارندگی از زمان کاشت تا برداشت در سال اول ۱۱۶ و در سال دوم ۱۱۸ میلی‌متر بود (جدول ۲). در هنگام کاشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفاته و در هنگام پنجه‌دهی ۴۰

کیلوگرم در هکتار کود ازته به مزرعه داده شد. در هر کرت ۸ ردیف با طول ۲/۵ و فاصله خطوط ۰/۲ متر کشت گردید و در پایان عملکرد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. خطوط کناری به عنوان حاشیه حذف و عملکرد ۶ خط وسط اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش

ژنوتیپ	منشاء	سال معرفی	ژنوتیپ	منشاء	سال معرفی	ژنوتیپ	منشاء	سال معرفی
اکبری	ایران	۱۳۸۶	قدس	ایران	۱۳۶۸	سبلان	ایران	----
الموت	ایران	۱۳۷۴	هامون	ایران	۱۳۸۱	شاهپسند	ایران	۱۳۲۱
الوند	ایران	۱۳۷۴	هیرمند	ایران	۱۳۷۰	شیراز	ایران	۱۳۸۱
آزادی	ایران	۱۳۵۸	کرج ۲	ایران	۱۳۵۲	سرداری	ایران	۱۳۰۹
آذر ۲	ایران	۱۳۷۸	کرج ۳	ایران	۱۳۵۵	تجن	سیمیت	۱۳۷۴
بم	ایران	۱۳۸۵	کویر	ایران	۱۳۷۶	توس	آمریکا	۱۳۸۱
بهار	ایکاردا	۱۳۸۶	مهدوی	ایکاردا	۱۳۷۴	ورینک	سیمیت	----
بزوستایا	روسیه	۱۳۴۸	مرودشت	ایران	۱۳۷۸	Ws-82-9	ایران	----
چمران	سیمیت	۱۳۷۶	مغان ۲	هندوستان	۱۳۵۳	زاگرس	ایکاردا	۱۳۷۵
داراب ۲	سیمیت	۱۳۷۴	نیک نژاد	ایکاردا	۱۳۷۴	زرین	سیمیت-ایکاردا	۱۳۷۴
دز	سیمیت	۱۳۸۱	امید	ایران	۱۳۳۵	MV-17	مجارستان	۱۳۷۲
استار	سیمیت	----	پیشتاز	ایران	۱۳۸۱	شعله	ایران	۱۳۳۶
اکسکلیبر	استرالیا	----	رسول	سیمیت	۱۳۷۱			
گاسپارد	فرانسه		روشن	ایران	۱۳۳۷			

جدول۲- میزان بارندگی (mm) در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸، ۹۰- ۱۳۸۹ و میانگین بارندگی ۴۰ ساله در کرمان

سال زراعی	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	جمع کل بارندگی
۸۹-۱۳۸۸	۰/۰	۱۵/۱	۷۸/۲	۱۴/۳	۸/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۱۶/۰
۹۰-۱۳۸۹	۰/۰	۲/۰	۱۳/۹	۷۸/۲	۱۴/۳	۹/۶	۰/۰	۰/۰	۱۱۸/۰
میانگین ۴۰ ساله	۱۷/۱	۲۴/۹	۲۲/۴	۲۸/۳	۲۳/۷	۱۱/۶	۲/۳	۰/۰	۱۳۰/۳

در گلخانه نیز از طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد به‌طوری که در سال اول، آزمایش دارای ۴ تکرار و در سال دوم دارای ۳ تکرار بود. ۴۰ ژنوتیپ گندم در آزمایش گلدانی تحت تأثیر تنش خشکی دوره-ای قرار گرفتند. برای مطالعه بهتر سیستم ریشه، به خصوص طول ریشه، از گلدان PVC با ارتفاع ۱۰۰ و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. درون هر گلدان ۶/۵ 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. بعد از کاشت به هر گلدان ۵۰۰ میلی لیتر آب اضافه شد تا به حد ضرفیت زراعی برسد. پس از آبیاری گلدان‌ها وزن شدند. برای کاهش تبخیر از سطح خاک، گلدان‌ها با پلاستیک پوشانیده شدند. قبل از هر آبیاری گلدان‌ها وزن و از طریق تفاضل با وزن اولیه میزان آب مصرفی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. گلدان‌ها به طور منظم وزن می-شدند و وقتی که به طور میانگین ۸۰ درصد آب گلدان‌ها مصرف شده بود آبیاری دوباره انجام می‌گرفت. در گلخانه صفات میزان مصرف آب، عرض، طول و مساحت برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه اصلی ، تعداد ریشه، و وزن زیست توده، نسبت ریشه به اندام هوایی و کارآیی مصرف آب اندازه‌گیری شد. کارآیی مصرف آب با تقسیم وزن خشک زیست توده به آب مصرف شده اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری صفات در گلخانه در مرحله ساقه‌رفتن انجام شد. ریشه‌ها پس از خارج شدن از گلدان مورد شستشو قرار گرفتند و پس از آن صفات ریشه اندازه‌گیری گردید. وزن زیست توده از مجموع وزن خشک ریشه و اندام هوایی حاصل گردید. برای کمی کردن میزان تحمل به خشکی از نمره تحمل به تنش (*STS*) ارائه شده توسط عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2013) استفاده شد و ارتباط صفات مورد بررسی با میزان تحمل به خشکی بررسی گردید.

$$STS=MP+STI+GMP+YI+DRI+YSI-SSI-TOL-ß$$

در این فرمول *MP*، *STI*، *GMP*، *YI*، *DRI*، *YSI*، *SSI*، *TOL* و *ß* به ترتیب نشان دهنده میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی

محصول‌دهی، شاخص عملکرد، شاخص پاسخ به خشکی، شاخص پایداری عملکرد، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل و شیب خط رگرسیون عملکرد ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیط است.

این شاخص‌ها ابتدا استاندارد شدند، سپس *STS* محاسبه گردید. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی فنوتیپی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای اکثر صفات مورد بررسی وجود داشت (جدول ۳). اثر متقابل رقم و سال برای صفات طول برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه اصلی ، تعداد ریشه و زیست توده معنی‌دار نبود. از این رو، این صفات دارای پایداری بیشتری هستند و با تغییر شرایط محیطی، رتبه بندی ژنوتیپ‌ها ثابت می‌ماند.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس عملکرد در مزرعه (شرایط تنش خشکی و نرمال) و ۱۲ صفت در گلخانه (شرایط تنش) در دو سال

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد تنش	عملکرد نرمال	مصرف آب	عرض برگ	طول برگ	مساحت برگ	وزن تر اندام هوایی
سال	۱	۰/۵۴^{ns}	۶۲/۹۸^{ns}	۱۴۳۳۰۳/۸۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۲۸۷/۷۹^{ns}	۸۰۶/۴۵**	۵۵/۰۷^{ns}
خطای سال	۵‡	۳/۴۸	۱۵/۳۳	۶۹۴۲۸۵/۰۴	۱/۰۱	۱۱۰۶/۸۵	۱۲۸۲/۰۲	۴۷/۱۴
ژنوتیپ	۳۹	۱/۴۱*	۲/۴۳^{ns}	۱۰۱۹۰۴/۴۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۳۸/۸۶**	۷۹/۹۶**	۵/۱۳**
ژنوتیپ×سال	۳۹	۰/۸۴**	۱/۶۳**	۷۰۹۰۸/۲۲**	۰/۰۷**	۳۲/۷۰^{ns}	۳۴/۱۲*	۲/۳۰^{ns}
خطا	۱۹۶	۰/۳۱	۰/۸۲	۳۹۸۰۱/۱۳	۰/۰۳	۴۱۱۴/۶۶	۲۳/۱۷	۲/۰۳
ضریب تغییرات		۲۳/۳۸	۲۲/۴۸	۲۳/۱۲	۲۵/۶۲	۱۹/۳۸	۳۰/۲۲	۱۵/۲۹

ادامه جدول ۳

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه اصلی	تعداد ریشه	زیست توده	ریشه به اندام هوایی	کارآیی مصرف آب
سال	۱	۲/۱۶^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱۶۸۴/۴۱^{ns}	۴۲۳/۳۹^{ns}	۳/۲۱^{ns}	۰/۰۸۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۷^{ns}
خطای سال	۵	۳/۱۸	۰/۱۳	۱۷۶۰/۱۴	۳۴۶/۵۲	۳/۹۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۲
رقم	۳۹	۰/۲۵*	۰/۰۳**	۲۲۷/۶۱**	۳۰/۳۲^{ns}	۰/۳۹**	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۰۷^{ns}
رقم×سال	۳۹	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۹۰/۷۲^{ns}	۱۸/۶۲^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۰۳**
خطا	۱۹۶	۰/۱۳	۰/۰۱	۷۸/۹۳	۱۶/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۳۷/۱۵	۳۶/۹۰	۲۵/۱۳	۴۴/۱۹	۳۷/۸۵	۳۴/۳۸	۲۳/۸۸

‡ درجه آزادی خطای سال و خطا برای عملکرد تنش و نرمال به ترتیب ۴ و ۱۵۶ است.
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین دو سال در شرایط تنش خشکی نشان داد رقم‌های مهدوی (t/ha ۳/۷۵)، آذر ۲ (t/ha ۳/۱۶)، پیشتاز (t/ha ۳/۱۲)، روشن (t/ha ۳/۱۱) و اکبری (t/ha ۳/۰۶) دارای بیشترین میزان عملکرد در واحد سطح بودند (جدول ۴). اثر متقابل رقم و سال برای این صفت معنی‌دار بود.

وجود این اثر متقابل معنی‌دار در مطالعات زیادی (Jackson et al. 1996; Araus et al. 2002) گزارش شده است. با وجود این اثر متقابل بایستی ارقام با عملکرد و پایداری بالا در مقابل تغییرات میحطی انتخاب شوند. با توجه به این نتایج رقم مهدوی در هر دو سال داری عملکرد بالایی بود. بنابراین، این رقم برای کشت در شرایط کم آبی کرمان پیشنهاد می‌شود. این رقم که توسط ایکاردا اصلاح و در سال ۱۳۷۴ در کشورمان معرفی شده است (Mobaser et al., 2011) متحمل به خشکی نیز می‌باشد (Abdolshahi et al., 2013). این رقم از لحاظ میزان جذب آب (ml ۹۴۶) و همچنین کارآیی مصرف آب (gr/ml ۰/۰۰۱۷) بسیار خوب است و این صفات از دلایل عملکرد بالای این رقم در مواجه با تنش هستند. از طرف دیگر، مطالعه خصوصیات ریشه این رقم، سیستم ریشه‌ای متوسطی را نشان داد. بنابراین بهبود سیستم ریشه‌ای این رقم در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش شود.

صفات ریشه ممکن است به عنوان یکی از اجزای عملکرد معرفی شوند و ممکن است لازم باشد که به‌نژادگران به طور مستقیم برای ریشه عمل گزینش را انجام دهند (Waines & Ehdaei, 2007). در شرایط نرمال رقم اکبری بیشترین میزان عملکرد را داشت (t/ha ۵/۴۲). بنابراین، رقم اکبری برای کشت در شرایط فاریاب در کرمان پیشنهاد می‌شود. لازم به ذکر است که عملکرد در شرایط تنش خشکی و نرمال رطوبتی همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۵۳^{**}$) با هم داشتند (جدول ۵). بنابراین، به طور کلی ارقامی که در شرایط نرمال عملکرد خوبی دارند انتظار می‌رود که در شرایط

تنش خشکی نیز عملکرد بالایی داشته باشند.این نتایج موافق با Dadbakhs & Yazdansepas (2011) و Mohammadi et al., (2011) است.

عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با نمره تحمل به تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۳**) را نشان داد (جدول ۵). این همبستگی نشان دهنده اهمیت بالای تحمل به خشکی در تولید عملکرد گندم در شرایط کرمان است. این در حالی است که نمره تحمل به تنش با عملکرد دانه در شرایط نرمال ارتباط معنی‌داری ندارد (p=۰/۱۹ns).

این نتایج منطبق بر یافته‌های Ouk et al., (2006) است که اعلام کردند تأثیر تحمل به خشکی در تولید عملکرد تحت تأثیر شدت تنش قرار دارد و در شرایط بدون تنش بی‌تأثیر و در شرایط تنش شدید بسیار تعیین کننده است. از صفات ثانویه مورد بررسی میزان مصرف آب و طول ریشه اصلی همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد در شرایط تنش داشتند (به ترتیب r=۰/۴۷** و r=۰/۷۱**). Streda et al., (2012) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اندازه سیستم ریشه و عملکرد پیدا کردند. ارتباط طول ریشه اصلی با نمره تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ و ارتباط میزان مصرف آب با نمره تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، صفات میزان مصرف آب و طول ریشه اصلی برای افزایش تحمل به خشکی و در نتیجه آن افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی دارای اهمیت هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین دوساله ۴۰ ژنوتیپ مورد مطالعه به روش دانکن در سطح ۵٪.

ژنوتیپ	طول برگ (سانتی متر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن زیست توده (گرم)	طول ریشه اصلی (سانتی متر)	تعداد ریشه
اکبری	۲۸/۲۷$^{c-i}$	۴/۲۷$^{a-f}$	۱/۲۴$^{a-d}$	۰/۲۲$^{a-d}$	۱/۴۶^{ab}	۴۴/۷۴$^{a-c}$	۹/۱۸$^{c-h}$
الموت	۳۰/۱۲$^{b-f}$	۲/۱۸$^{i-k}$	۰/۹۷$^{c-l}$	۰/۱۶$^{d-g}$	۱/۱۳$^{b-h}$	۴۲/۱۵$^{a-e}$	۸/۹۳$^{c-h}$
الوند	۳۱/۹۶$^{a-d}$	۴/۵۱$^{a-e}$	۰/۱۱$^{a-i}$	۰/۱۵$^{d-h}$	۱/۲۷$^{b-e}$	۳۸/۳۸$^{c-j}$	۶/۴۵$^{g-j}$
آزادی	۲۳/۱۹$^{i-o}$	۲/۶۰$^{g-l}$	۰/۸۶$^{f-m}$	۰/۱۹$^{d-i}$	۰/۹۸$^{d-k}$	۳۴/۵۰$^{d-m}$	۸/۲۱$^{d-i}$
آذر ۲	۳۳/۰۰$^{a-c}$	۴/۶۷$^{a-d}$	۱/۱۴$^{a-h}$	۰/۲۰$^{b-f}$	۱/۳۴$^{a-d}$	۴۰/۴۰$^{a-h}$	۱۰/۸۱$^{a-f}$
بم	۲۲/۷۴$^{j-o}$	۲/۹۹$^{f-j}$	۰/۹۲$^{d-m}$	۰/۱۵$^{d-h}$	۱/۱۴$^{b-g}$	۴۰/۶۶$^{a-h}$	۷/۰۵$^{f-i}$
بهار	۲۱/۵۶$^{k-p}$	۲/۱۶$^{i-l}$	۰/۷۶$^{j-m}$	۰/۱۳$^{d-i}$	۰/۸۹$^{e-k}$	۳۲/۴۳$^{g-m}$	۹/۵۸$^{c-h}$
بزوستایا	۳۰/۸۹$^{a-e}$	۱/۷۸$^{j-l}$	۰/۷۲$^{j-m}$	۰/۱۱$^{f-j}$	۰/۸۳$^{f-k}$	۳۲/۹۰$^{f-m}$	۸/۳۱$^{d-i}$
چمران	۲۰/۶۵$^{n-p}$	۲/۸۰$^{g-k}$	۰/۹۹$^{c-k}$	۰/۱۰$^{g-j}$	۱/۰۹$^{b-h}$	۳۲/۰۰$^{g-m}$	۸/۹۲$^{c-h}$
داراب ۲	۲۱/۰۳$^{l-p}$	۲/۴۳$^{h-l}$	۰/۷۹$^{i-m}$	۰/۱۰$^{g-j}$	۰/۸۲$^{f-k}$	۳۵/۰۲$^{d-l}$	۹/۵۶$^{c-h}$
دز	۲۳/۹۵$^{h-n}$	۳/۱۷$^{e-j}$	۰/۸۷$^{e-m}$	۰/۲۲$^{a-d}$	۱/۰۳$^{c-j}$	۳۵/۹۶$^{d-l}$	۱۱/۳۸$^{a-e}$
استار	۲۶/۰۴$^{e-m}$	۱/۳۲^{L}	۰/۷۸$^{I-m}$	۰/۰۳^{J}	۰/۷۵$^{h-k}$	۲۵/۸۲$^{m-o}$	۷/۰۲$^{f-i}$
اکسکلیبر	۱۶/۷۵^{P}	۲/۰۶$^{i-l}$	۰/۶۷$^{k-m}$	۰/۰۴^{ij}	۰/۷۰$^{i-k}$	۲۷/۲۸$^{l-o}$	۷/۶۸$^{e-i}$
گاسپارد	۳۲/۷۹$^{a-c}$	۵/۱۶^{ab}	۱/۳۵^{ab}	۰/۲۷^{ab}	۱/۶۳^{a}	۴۸/۴۱^{a}	۱۲/۶۳$^{a-c}$
قدس	۲۱/۴۶$^{k-p}$	۲/۳۲$^{h-l}$	۱/۰۱$^{c-k}$	۰/۱۸$^{f-j}$	۱/۱۲$^{b-h}$	۲۹/۸۵$^{j-n}$	۷/۷۵$^{e-i}$
هامون	۳۴/۰۰^{ab}	۴/۸۳$^{a-c}$	۱/۲۱$^{a-e}$	۰/۱۸$^{c-g}$	۱/۴۱$^{a-c}$	۳۹/۴۳$^{b-i}$	۱۳/۷۵^{ab}
هیرمند	۲۱/۵۹$^{k-p}$	۲/۷۲$^{g-k}$	۰/۹۳$^{d-m}$	۰/۱۷$^{c-g}$	۱/۱۰$^{b-h}$	۳۴/۶۵$^{d-l}$	۷/۹۳$^{e-i}$
کرج ۲	۱۸/۵۰^{op}	۲/۷۶$^{g-k}$	۰/۹۹$^{c-k}$	۰/۰۹$^{g-j}$	۱/۰۸$^{c-i}$	۳۴/۳۲$^{d-m}$	۷/۶۶$^{e-i}$
کرج ۳	۲۷/۲۹$^{d-j}$	۲/۸۶$^{g-j}$	۱/۰۵$^{b-j}$	۰/۱۳$^{d-i}$	۱/۱۹$^{b-f}$	۳۳/۴۶$^{e-m}$	۱۲/۱۳$^{a-d}$
کویر	۲۰/۸۳$^{m-p}$	۱/۷۹$^{j-l}$	۰/۷۱$^{j-m}$	۰/۰۳^{J}	۰/۷۶$^{g-k}$	۲۹/۱۵$^{k-n}$	۲/۹۳^{j}
مهدوی	۲۴/۴۰$^{g-n}$	۲/۷۳$^{g-k}$	۰/۸۸$^{e-m}$	۰/۱۶$^{d-g}$	۱/۰۶$^{c-j}$	۴۲/۲۲$^{a-e}$	۹/۴۱$^{c-h}$
مرودشت	۲۲/۱۹$^{j-o}$	۱/۲۸^{L}	۰/۶۳^{Lm}	۰/۰۶$^{h-j}$	۰/۶۳^{k}	۳۲/۶۷$^{g-m}$	۴/۵۳^{ij}
مغان ۲	۲۲/۲۵$^{j-o}$	۱/۸۲$^{j-l}$	۰/۷۲$^{j-m}$	۰/۰۹$^{g-j}$	۰/۸۵$^{f-k}$	۲۷/۵۵$^{l-o}$	۵/۸۹$^{h-j}$
نیک نژاد	۲۵/۳۸$^{f-n}$	۱/۴۰^{kl}	۰/۸۳$^{g-m}$	۰/۰۶$^{h-j}$	۰/۹۰$^{e-k}$	۲۰/۵۴^{o}	۷/۹۲$^{e-i}$
امید	۳۲/۸۷$^{a-c}$	۵/۳۹^{a}	۱/۳۱$^{a-c}$	۰/۲۹^{a}	۱/۶۷^{a}	۴۰/۶۵$^{a-h}$	۱۴/۰۶^{a}
پیشتاز	۲۴/۲۱$^{h-n}$	۳/۴۱$^{d-i}$	۱/۳۹^{a}	۰/۲۹^{a}	۱/۷۰$^{a.}$	۳۴/۳۴$^{d-m}$	۱۰/۶۱$^{a-f}$
رسول	۲۵/۰۰$^{f-n}$	۲/۳۲$^{h-l}$	۰/۷۵$^{j-m}$	۰/۱۲$^{d-h}$	۰/۹۴$^{e-k}$	۲۲/۶۳^{no}	۸/۱۲$^{d-i}$
روشن	۲۰/۶۲$^{n-p}$	۳/۵۹$^{c-h}$	۱/۴۴^{a}	۰/۲۵$^{a-c}$	۱/۶۹^{a}	۴۲/۵۳$^{a-d}$	۹/۱۸$^{c-h}$
سبلان	۳۵/۶۳^{a}	۴/۴۸$^{a-e}$	۱/۱۷$^{a-g}$	۰/۲۸^{ab}	۱/۳۸$^{a-c}$	۴۷/۲۹^{ab}	۹/۷۱$^{c-h}$
شاهپسند	۲۹/۴۷$^{b-g}$	۲/۹۱$^{g-j}$	۱/۱۴$^{a-h}$	۰/۲۰$^{b-f}$	۱/۳۴$^{a-d}$	۴۲/۰۴$^{a-e}$	۹/۷۱$^{c-h}$
شیراز	۱۸/۶۴^{op}	۲/۱۷$^{i-k}$	۰/۹۹$^{c-k}$	۰/۱۲$^{d-h}$	۱/۱۳$^{b-h}$	۳۹/۶۰$^{b-i}$	۱۰/۲۰$^{a-g}$
سرداری	۲۸/۳۹$^{c-h}$	۳/۹۷$^{b-g}$	۱/۰۰$^{c-k}$	۰/۱۵$^{d-h}$	۱/۱۴$^{b-g}$	۳۷/۴۶$^{c-k}$	۵/۸۱$^{h-j}$
تجن	۲۱/۶۳$^{k-p}$	۲/۰۱$^{i-l}$	۰/۸۱$^{h-m}$	۰/۱۷$^{e-j}$	۰/۹۳$^{e-k}$	۴۱/۵۹$^{a-f}$	۱۰/۰۸$^{b-g}$
توس	۲۹/۹۸$^{b-f}$	۲/۸۶$^{g-j}$	۰/۹۰$^{d-m}$	۰/۲۱$^{a-e}$	۱/۰۵$^{c-j}$	۳۹/۹۶$^{a-h}$	۱۱/۶۳$^{a-e}$
ورناک	۲۱/۰۸$^{l-p}$	۱/۷۶$^{j-l}$	۰/۶۲^{m}	۰/۰۹$^{g-j}$	۰/۶۹^{jk}	۳۲/۱۰$^{g-m}$	۶/۵۰$^{g-j}$
Ws-82-9	۲۶/۵۸$^{e-k}$	۲/۵۱$^{h-l}$	۰/۸۲$^{h-m}$	۰/۱۱$^{f-j}$	۰/۹۲$^{e-k}$	۳۱/۷۹$^{h-m}$	۵/۹۵$^{h-j}$
زاگرس	۲۱/۳۸$^{c-h}$	۳/۴۱$^{d-i}$	۱/۱۲$^{a-i}$	۰/۱۴$^{d-h}$	۱/۲۶$^{b-e}$	۳۳/۶۰$^{e-m}$	۱۰/۴۲$^{a-g}$
زرین	۲۶/۱۹$^{e-l}$	۲/۹۵$^{f-j}$	۰/۹۳$^{d-m}$	۰/۱۱$^{f-j}$	۱/۰۴$^{c-j}$	۳۰/۸۳$^{i-m}$	۷/۸۵$^{e-i}$
MV-17	۳۲/۴۷$^{a-c}$	۴/۲۶$^{i-f}$	۰/۹۱$^{d-m}$	۰/۱۸$^{c-g}$	۱/۰۷$^{c-j}$	۴۰/۴۰$^{a-h}$	۱۲/۰۶$^{a-d}$
شعله	۲۸/۳۱$^{c-i}$	۳/۹۶$^{b-g}$	۱/۲۰$^{a-f}$	۰/۲۲$^{a-d}$	۱/۴۱$^{a-c}$	۴۰/۷۹$^{a-g}$	۱۱/۴۲$^{a-e}$
LSD	۵/۳۰	۱/۵۱	۰/۳۸	۰/۱۰	۰/۴۴	۹/۴۰	۴/۲۵

*- ژنوتیپ‌های دارای حروف مشترک در یک ستون با اطمینان ۹۵٪ غیرمعنی‌دار هستند.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین دوساله ۴۰ ژنوتیپ مورد مطالعه به روش دانکن در سطح ۵٪

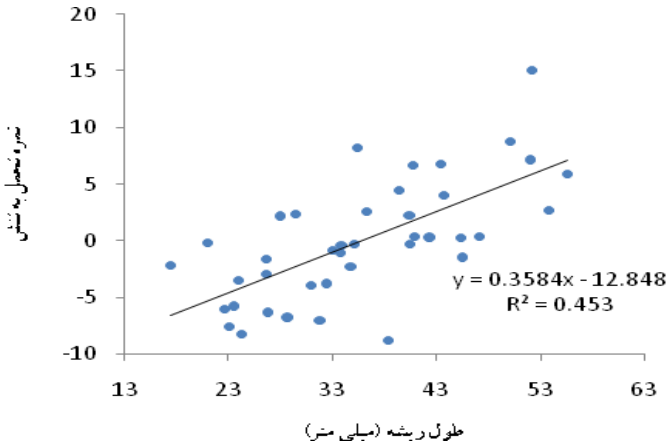
ژنوتیپ	عملکرد در شرایط تنش خشکی (تن در هکتار)	عملکرد در شرایط نرمال (تن در هکتار)	مصرف آب (میلی لیتر)	عرض برگ (سانتی متر)	نسبت ریشه به اندام هوایی	سطح برگ (سانتی متر مربع)	کارآیی مصرف آب (گرم در لیتر)
اکبری	۳/۰۶$^{a-d}$	۳/۴۲^{a}	۹۲۰/۶۴$^{a-h}$	۰/۶۰^{fg}	۰/۱۳$^{c-j}$	۱۶/۳۲$^{d-j}$	۰/۰۰۱۷^{a}
الموت	۲/۱۴$^{e-n}$	۳/۸۸$^{d-h}$	۸۹۰/۵۷$^{a-i}$	۰/۶۲$^{e-g}$	۰/۱۵$^{b-g}$	۱۶/۳۹$^{d-j}$	۰/۰۰۱۵^{a}
الوند	۲/۴۵$^{b-k}$	۴/۴۳$^{a-f}$	۷۱۶/۶۱$^{g-k}$	۰/۹۶^{a}	۰/۱۵$^{b-g}$	۲۵/۸۶^{a}	۰/۰۰۱۴^{a}
آزادی	۲/۹۳$^{b-e}$	۴/۰۴$^{c-h}$	۶۲۷/۴۴^{k}	۰/۶۲$^{e-g}$	۰/۱۳$^{c-i}$	۱۲/۴۷$^{h-m}$	۰/۰۰۱۳^{a}
آذر ۲	۳/۱۶^{ab}	۴/۴۲$^{a-f}$	۷۲۱/۶۳$^{f-k}$	۰/۶۷$^{c-g}$	۰/۱۸$^{b-d}$	۱۸/۴۲$^{c-g}$	۰/۰۰۱۵^{a}
بم	۲/۳۲$^{b-m}$	۳/۴۸$^{f-j}$	۹۶۹/۲۸$^{a-f}$	۰/۸۷$^{a-e}$	۰/۱۴$^{b-h}$	۱۶/۴۳$^{d-j}$	۰/۰۰۱۳^{a}
بهار	۲/۶۹$^{b-h}$	۴/۴۳$^{a-f}$	۸۶۱/۳۴$^{b-k}$	۰/۷۲$^{a-g}$	۰/۱۳$^{c-i}$	۱۴/۹۸$^{f-k}$	۰/۰۰۱۰^{a}
بزوستایا	۱/۵۸$^{l-n}$	۲/۳۸^{kl}	۸۰۵/۹۴$^{c-k}$	۰/۷۵$^{a-f}$	۰/۱۴$^{b-h}$	۲۲/۰۱$^{a-c}$	۰/۰۰۱۲^{a}
چمران	۲/۹۲$^{l-f}$	۳/۶۸$^{e-i}$	۸۵۰/۳۵$^{b-k}$	۰/۸۱$^{a-f}$	۰/۰۹$^{g-j}$	۱۵/۶۹$^{d-k}$	۰/۰۰۱۳^{a}
داراب ۲	۲/۱۱$^{e-m}$	۴/۶۵$^{a-e}$	۶۴۱/۱۵^{jk}	۰/۷۰$^{b-g}$	۰/۱۵$^{b-g}$	۱۳/۴۲$^{g-m}$	۰/۰۰۱۱^{a}
دز	۲/۳۴$^{b-m}$	۳/۷۵$^{e-i}$	۸۸۳/۹۹$^{a-j}$	۰/۸۰$^{a-f}$	۰/۱۶$^{b-f}$	۱۷/۱۸$^{c-i}$	۰/۰۰۰۹^{a}
استار	۱/۹۶$^{g-n}$	۳/۱۰$^{n-i}$	۶۴۵/۳۹$^{i-k}$	۰/۸۳$^{a-f}$	۰/۰۸$^{h-j}$	۱۵/۲۹$^{b-k}$	۰/۰۰۱۲^{a}
اکسکلیبر	۲/۲۷$^{c-m}$	۲/۱۱^{l}	۷۴۱/۶۳$^{e-k}$	۰/۷۰$^{b-g}$	۰/۰۷^{ij}	۹/۵۳^{m}	۰/۰۰۱۰^{a}
گاسپارد	۱/۴۱^{n}	۳/۱۲$^{g-l}$	۱۰۰۵/۰۳$^{a-c}$	۰/۷۸$^{a-f}$	۰/۱۶$^{b-f}$	۲۰/۵۷$^{b-d}$	۰/۰۰۱۶^{a}
قدس	۲/۲۳$^{d-n}$	۵/۳۳^{ab}	۸۳۱/۱۸$^{b-k}$	۰/۷۵$^{a-f}$	۰/۱۱$^{e-j}$	۱۰/۷۶$^{k-m}$	۰/۰۰۱۷^{a}
هامون	۲/۳۹$^{b-l}$	۴/۴۵$^{a-f}$	۱۰۳۵/۰۲$^{a-c}$	۰/۸۱$^{a-f}$	۰/۱۳$^{c-i}$	۲۳/۴۶^{ab}	۰/۰۰۱۳^{a}
هیرمند	۲/۰۷$^{f-n}$	۳/۶۸$^{e-i}$	۸۳۱/۵۲$^{b-k}$	۰/۸۶$^{a-e}$	۰/۱۴$^{b-h}$	۱۳/۶۱$^{g-m}$	۰/۰۰۱۲^{a}
کرج ۲	۲/۳۶$^{b-m}$	۴/۰۴$^{c-h}$	۸۲۳/۹۳$^{b-k}$	۰/۶۶$^{c-g}$	۰/۰۹$^{g-j}$	۹/۵۳^{m}	۰/۰۰۱۲^{a}
کرج ۳	۱/۷۳$^{j-n}$	۴/۳۵$^{a-f}$	۱۰۵۰/۵۲$^{a-c}$	۰/۹۴^{ab}	۰/۱۴$^{b-h}$	۱۷/۳۰$^{c-h}$	۰/۰۰۱۳^{a}
کویر	۲/۴۶$^{b-k}$	۳/۶۰$^{e-i}$	۶۲۵/۹۲^{k}	۰/۸۶$^{a-e}$	۰/۰۶^{j}	۱۷/۶۲$^{c-h}$	۰/۰۰۱۳^{a}
مهدوی	۳/۷۵^{a}	۴/۳۰$^{a-g}$	۹۴۶/۳۰$^{a-h}$	۰/۶۹$^{c-g}$	۰/۱۶$^{b-f}$	۱۲/۴۹$^{h-m}$	۰/۰۰۱۷^{a}
مرودشت	۲/۶۶$^{b-i}$	۵/۰۶$^{a-d}$	۶۵۶/۷۸$^{i-k}$	۰/۵۸^{fg}	۰/۱۰$^{f-j}$	۱۱/۴۶$^{j-m}$	۰/۰۰۱۲^{a}
مغان ۲	۲/۲۰$^{e-n}$	۳/۶۹$^{e-i}$	۷۰۰/۰۴$^{h-k}$	۰/۶۵$^{c-g}$	۰/۰۶^{j}	۱۱/۷۹$^{i-m}$	۰/۰۰۱۱^{a}
نیک نژاد	۲/۵۸$^{b-j}$	۴/۵۳$^{a-f}$	۶۵۰/۴۱$^{i-k}$	۰/۶۸$^{c-g}$	۰/۰۶^{j}	۱۲/۲۲$^{h-m}$	۰/۰۰۱۱^{a}
امید	۲/۱۱$^{e-n}$	۳/۵۹$^{e-i}$	۹۶۷/۵۸$^{a-f}$	۰/۴۹^{g}	۰/۲۰^{ab}	۱۵/۴۹$^{d-k}$	۰/۰۰۱۵^{a}
پیشتاز	۳/۱۲$^{a-c}$	۵/۰۹$^{a-c}$	۱۱۱۴/۹۵^{a}	۰/۸۱$^{a-f}$	۰/۲۰^{ab}	۱۵/۰۰$^{f-l}$	۰/۰۰۱۵^{a}
رسول	۲/۵۰$^{b-j}$	۳/۳۵$^{f-k}$	۳۱/۷۴۰$^{e-k}$	۰/۶۷$^{c-g}$	۰/۱۳$^{c-i}$	۱۶/۸۴$^{e-j}$	۰/۰۰۱۲^{a}
روشن	۳/۱۱$^{a-c}$	۴/۶۸$^{a-e}$	۱۰۵۲/۲۲$^{a-c}$	۰/۸۷$^{a-e}$	۰/۱۴$^{b-h}$	۱۵/۳۶$^{d-k}$	۰/۰۰۱۶^{a}
سبلان	۲/۸۱$^{b-g}$	۴/۲۶$^{b-h}$	۹۷۲/۶۹$^{a-e}$	۰/۷۴$^{a-f}$	۰/۱۹^{bc}	۱۹/۵۷$^{b-f}$	۰/۰۰۱۶^{a}
شاهپسند	۱/۵۱^{mn}	۲/۴۳$^{j-l}$	۹۹۱/۴۷$^{a-d}$	۰/۷۱$^{b-g}$	۰/۱۸$^{b-d}$	۱۶/۲۸$^{d-j}$	۰/۰۰۱۳^{a}
شیراز	۲/۶۲$^{b-i}$	۴/۹۸$^{a-d}$	۹۰۳/۳۰$^{a-h}$	۰/۶۶$^{c-g}$	۰/۱۱$^{e-j}$	۹/۸۲^{ln}	۰/۰۰۱۲^{a}
سرداری	۱/۸۴$^{h-n}$	۳/۹۹$^{c-h}$	۹۳۴/۰۲$^{a-h}$	۰/۶۴$^{d-g}$	۰/۱۶$^{b-f}$	۱۷/۲۵$^{c-h}$	۰/۰۰۱۳^{a}
تجن	۲/۲۸$^{c-n}$	۳/۷۶$^{e-i}$	۸۳۳/۱۹$^{b-k}$	۰/۶۲$^{e-g}$	۰/۱۰$^{f-j}$	۱۴/۲۱$^{f-m}$	۰/۰۰۱۱^{a}
توس	۲/۳۵$^{b-m}$	۴/۴۲$^{a-f}$	۹۸۰/۵۹$^{a-e}$	۰/۶۸$^{c-g}$	۰/۲۵^{a}	۱۷/۵۰$^{c-h}$	۰/۰۰۱۲^{a}
ورناک	۱/۸۹$^{h-n}$	۳/۷۷$^{e-i}$	۷۵۶/۱۲$^{d-k}$	۰/۶۸$^{c-g}$	۰/۱۰$^{f-j}$	۱۰/۸۲$^{c-m}$	۰/۰۰۰۹^{a}
Ws-82-9	۲/۰۵$^{g-n}$	۴/۰۰$^{c-h}$	۷۴۱/۶۴$^{e-k}$	۰/۷۴$^{a-f}$	۰/۱۳$^{c-i}$	۱۵/۶۴$^{d-k}$	۰/۰۰۱۰^{a}
زاگرس	۲/۱۸$^{e-n}$	۳/۶۸$^{e-i}$	۹۰۹/۷۱$^{a-h}$	۰/۸۸$^{a-d}$	۰/۱۱$^{e-j}$	۲۰/۴۵$^{b-e}$	۰/۰۰۱۵^{a}
زرین	۲/۹۳$^{b-e}$	۴/۴۴$^{a-f}$	۸۸۸/۱۸$^{a-i}$	۰/۸۵$^{a-e}$	۰/۱۲$^{d-j}$	۱۵/۱۲$^{e-l}$	۰/۰۰۱۱^{a}
MV-17	۱/۶۴$^{k-n}$	۲/۶۵$^{i-l}$	۱۰۶۳/۳۳^{ab}	۰/۸۹$^{a-c}$	۰/۱۸$^{b-d}$	۲۳/۶۴^{ab}	۰/۰۰۱۱^{a}
شعله	۱/۸۳$^{i-n}$	۴/۰۴$^{c-h}$	۹۶۳/۹۳$^{a-g}$	۰/۵۹^{fg}	۰/۱۷$^{b-e}$	۱۴/۳۱$^{f-m}$	۰/۰۰۱۵^{a}

*- ژنوتیپ‌های دارای حروف مشترک در یک ستون با اطمینان ۹۵٪ غیرمعنی‌دار هستند.

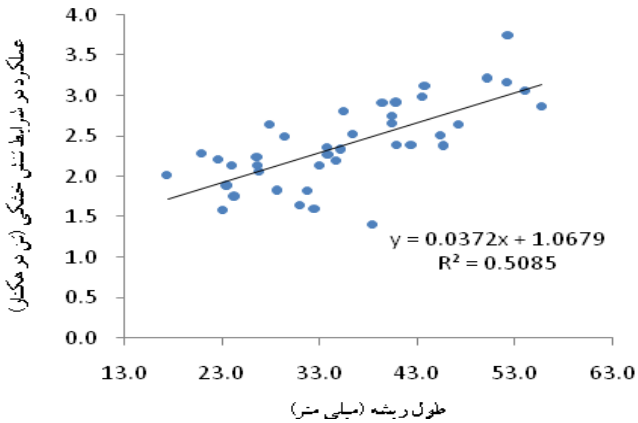
ریشه نقش مهمی در تنظیم رشد و رشد اندام‌های هوایی گندم دارد.

تغیرات ریشه در خاک به سرعت به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود (Ayub et al., 2013). صفت ریشه دارای اهمیت بسیار زیادی است، به طوری که Gewin (2010) درمقاله‌ای تحت عنوان، انقلاب زیر زمین، اظهار داشت صفت ریشه، کلید انقلاب سبز دوم در کشاورزی است. در مقایسه پژوهشگران گیاهی و دامی، اکثر پژوهشگران گیاه فقط نصف اندامهای گیاه (اندام‌های بالای زمین شامل ساقه، برگها، گلها و میوه‌ها) را مطالعه و ریشه‌های زیر زمین را نادیده می‌گیرند در صورتی که ریشه‌ها برای نگهداری گیاه در خاک، جذب آب و عناصر غذایی

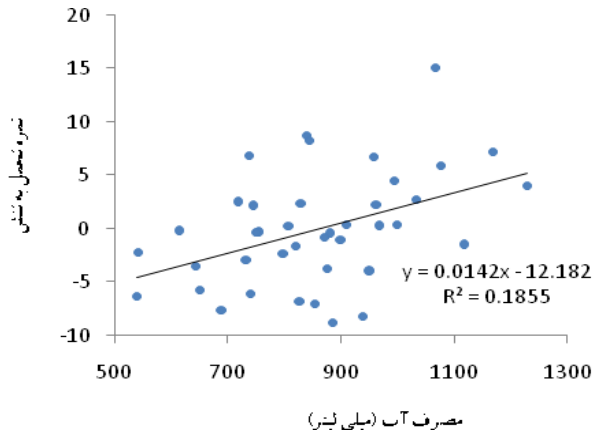
دارای اهمیت هستند و احتمالا یکی از اجزای عملکرد باشند (Waines & Ehdaie, 2007).



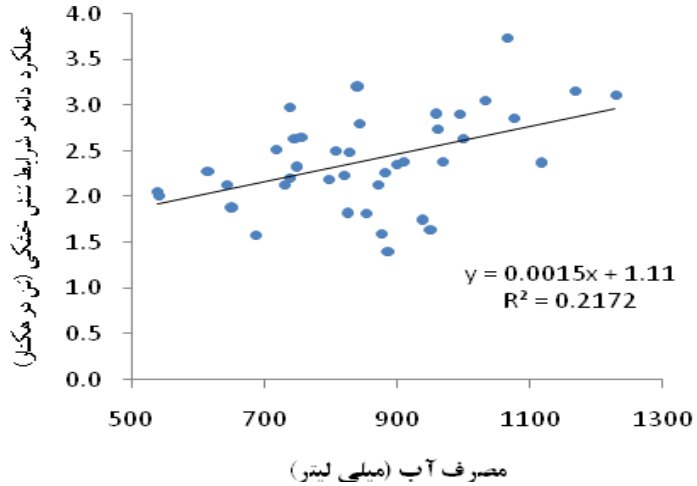
شکل ۱- ارتباط طول ریشه و نمره تحمل به خشکی



شکل ۲- ارتباط طول ریشه و عملکرد در شرایط تنش خشکی



شکل ۳- ارتباط میزان مصرف آب و نمره تحمل به خشکی



شکل ۴- ارتباط میزان مصرف آب و عملکرد در شرایط تنش خشکی

در این پژوهش خصوصیات ریشه ۴۰ ژنوتیپ گندم از قبیل وزن خشک ریشه، تعداد ریشه، طول ریشه اصلی و نسبت ریشه به اندام هوایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. اثر متقابل ژنوتیپ در سال به جز در صفت نسبت ریشه به اندام هوایی در سایر موارد غیرمعنی‌دار بود. بنابراین، سیستم ریشه‌ای صفتی مناسب برای مطالعات به‌گزینی در اصلاح نباتات است. همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد ژنوتیپ‌های دارای ریشه طویل‌تر نه تنها عملکرد و تحمل به خشکی بیشتری دارند بلکه زیست توده (وزن خشک ریشه و اندام هوایی) بیشتری تولید می‌نمایند و کارآیی مصرف آب بالاتری دارند.

Dhanda et al. (2004) اعلام کردند در شرایط تنش خشکی طول ریشه اصلی بسیار مهم است، چون ادامه رشد ریشه در شرایط تنش خشکی برای نگهداری فشار تورژسانس بسیار با اهمیت است. این نتایج نشان می‌دهند بخش زیرزمینی گیاه نقش مهمی در شرایط تنش خشکی ایفا می‌نماید.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین صفات مورد بررسی (n=۴۰)

	عملکرد نرمال	عملکرد تنش	نمره تحمل به تنش	میزان مصرف آب	عرض برگ	طول برگ	سطح برگ	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه اصلی
عملکرد تنش	۰/۵۳**									
نمره تحمل تنش	۰/۱۹^{ns}	۰/۹۳**								
میزان مصرف آب	۰/۳۱*	۰/۴۷**	۰/۴۳**							
عرض برگ	-۰/۱۴^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۰۵^{ns}	۰/۱۷^{ns}						
طول برگ	-۰/۱۵^{ns}	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۲۱^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۴^{ns}					
سطح برگ	-۰/۲۳^{ns}	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۲۰^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۵۰**	۰/۷۸**				
وزن خشک هوایی	۰/۲۴^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۶۴**	۰/۱۲^{ns}	۰/۴۷**	۰/۳۵*			
وزن خشک ریشه	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۶۱**	-۰/۰۵^{ns}	۰/۵۵**	/۳۷*	۰/۷۵**		
طول ریشه اصلی	۰/۴۲**	۰/۷۱**	۰/۶۷**	۰/۷۴**	-۰/۰۵^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۴۶**	۰/۵۹**	
کارآیی مصرف آب	۰/۲۹^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۰/۴۵**	-۰/۰۳^{ns}	۰/۴۳**	۰/۲۶^{ns}	۰/۷۴**	۰/۵۸**	۰/۴۹**

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

همین‌طور، میزان مصرف آب همبستگی مثبت و معنی‌داری با سیستم ریشه‌ای (وزن خشک ریشه و طول ریشه اصلی)، وزن خشک اندام هوایی و کارآیی مصرف آب دارد (جدول ۵). از این‌رو، ژنوتیپ‌های با سیستم ریشه‌ای مناسب‌تر در سطح وسیع‌تری از خاک آب را جذب می‌نمایند. این ژنوتیپ‌ها علاوه بر تولید زیست توده بیشتر، کارآیی مصرف آب بالاتری دارند. نتیجه این همبستگی‌ها نشان می‌دهد اصلاح برای بهبود یک صفت

همزمان سایر صفات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. Streda et al. (2012) نیز با گزارش این همبستگی‌ها، پیشنهاد کردند با گزینش منفی لاین‌های دارای سیستم ریشه‌ای ضعیف می‌توان به لاین‌هایی رسید که مصرف آب بالایی دارند.

رگرسیون چندگانه با استفاده از روش حذف گام به گام نیز بررسی شد. که در این تجزیه، عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها مستقل در نظر گرفته شدند. از ۱۳ متغیر مورد بررسی متغیرهای عملکرد پتانسیل ، طول برگ، طول ریشه اصلی ، کارآیی مصرف آب و وزن زیست توده وارد مدل شدند. بنابراین، این ۵ متغیر به طور معنی‌داری عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌دهند. این رابطه رگرسیونی ۷۲ درصد تغییرات عملکرد در شرایط تنش خشکی را توجیه می‌نماید (R^2=۰/۷۲). معادله رگرسیونی ۱ بر اساس داده‌های خام و معادله ۲ بر اساس داده‌های استاندارد شده برازش یافت.

(معادله ۱):

$$Ys= 1.10 + 0.16Yp – 0.02LL + 0.04RL + 585.47 WUE – 0.70 Bio$$

(معادله ۲):

$$Ys= -0.05 + 0.21Yp – 0.23LL + 0.71RL + 0.21 WUE – 0.35 Bio$$

در این معادله‌ها Yp، LL، RL، WUE و Bio به ترتیب عملکرد پتانسیل دانه، طول برگ، طول ریشه اصلی ، کارآیی مصرف آب و زیست توده را نشان می‌دهند. بر اساس معادله ۱، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پتانسیل ، طول ریشه اصلی و کارآیی مصرف آب بالاتر و طول برگ و زیست توده پایین‌تری داشته باشند در شرایط کرمان موفق‌تر هستند. معادله ۲ نشان می‌دهد که طول ریشه اصلی مهم‌ترین صفت است و بعد از آن به ترتیب صفات وزن زیست توده، طول برگ، کارآیی مصرف آب و عملکرد پتانسیل قرار دارند. نقش برجسته ریشه بر افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی در پژوهش‌های متعدد اثبات شده است (Waines & Ehdaie, 2007; Condon et al., 2004; Palta et al., 2011).

۲۵٪ ژنوتیپ‌هایی که بیشترین طول ریشه اصلی و ۲۵٪ ژنوتیپ‌هایی که کمترین طول ریشه اصلی را داشتند مورد مقایسه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های با طول ریشه بیشتر ۲۷ درصد عملکرد بالاتری داشتند. همین‌طور، ۲۵٪ ژنوتیپ‌هایی که بیشترین کارآیی مصرف آب و ۲۵٪ ژنوتیپ‌هایی که کمترین کارآیی مصرف آب را داشتند مورد مقایسه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های با کارایی مصرف آب بیشتر ۷ درصد عملکرد بالاتری داشتند. Streda et al. (2012) اعلام کردند یک سوم ارقام دارای اندازه ریشه بزرگ نسبت به یک سوم دارای اندازه ریشه کوچک ۵ درصد عملکرد بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد، اصلاح برای بهبود سیستم ریشه و مصرف آب می‌تواند باعث بهبود تحمل به خشکی و در نتیجه آن بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی شود. از این رو، به به‌نژادگران گندم برای شرایط تنش خشکی توصیه می‌شود برای افزایش کارآیی گزینش، این صفات را در پروژه‌های به‌نژادی در نظر بگیرند.

گزینش برای جذب حداکثری آب از خاک هدف مهمی در برنامه‌های به‌نژادی در شرایط تنش خشکی است. از طرف دیگر اگرچه در اکثر مطالعات ریشه را نادیده می‌گیرند (Waines & Ehdaie, 2007)، ریشه کلید انقلاب سبز دوم در کشاورزی است (Gewin. 2010) و مطالعه آن در برنامه‌های اصلاحی دارای اهمیت بسیار بالایی است.

نتایج تجزیه رگرسیون با استفاده از داده‌های استاندارد نشان داد طول ریشه اصلی تأثیرگذارترین صفت بر عملکرد در شرایط تنش خشکی است و این صفت در برنامه‌های به‌نژادی بایستی به طور ویژه مورد توجه قرار گیرد. بر اساس نتایج دوساله مقایسه عملکرد، رقم مهدوی دارای عملکرد بالا و پایدار در شرایط کرمان است و برای کشت در نواحی که با کمبود آب و تنش خشکی مواجه هستند توصیه می‌شود. اگرچه ورود ژن‌های پاکوتاهی (*Rht*) منجر به انقلاب سبز شد ولی این ژن‌ها اثر معنی‌داری بر رشد ریشه داشته‌اند (Wojciechowski et al., 2009) به طوری که سیستم ریشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم انقلاب سبز کوچک‌تر از

ژنوتیپ‌های قبل از انقلاب سبز و ارقام محلی است (Waines & Ehdaie, 2007).

اگرچه این کاهش حجم ریشه در شـرایط مطلوب مشکـل ایجاد ننمود ولی باعث بروز مشکلاتی برای نواحی خشک شده است. بر اساس نتایج این پژوهش ریشه تأثیرگذارترین صفت بر عملکرد و تحمل به خشکی است. بنابراین، بهبود سیستم ریشه همـراه با حذف ژن‌های پاکوتاهی در برنامه‌های به‌نژادی می‌تواند باعث بهبود عملکرد در نواحی خشک شود.

سپاسگزاری

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

REFERENCES

1. Abdolshahi R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S. & Mohamadi-Nejad, G. (2013). Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archive of Agronomy and Soil Science*, (In press).
2. Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P. & Royo. C. (2002). Plant breeding and drought in C_3 cereals: what should we breed for?. *Annals of Botany*, 89, 925-940.
3. Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water use efficiency is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119-123.
4. Ayub M, Brook R.M, Tariq M, Nadeem M.A. & Tahir, M. (2013). Genotypic diversity of perennial and annual wheat for root and shoot behavior. *Romanian Agricultural Research*. 30, 1-6.
5. Condon, A.G., Richards, RA., Rebtzke, GJ. & Farquhar, GD. (2004). Breeding for high water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2447-2460.
6. Dadbakhsh, A. & yazdansepas, A. (2011). Evaluation of drought tolerance indices for screening bread wheat genotypes in end-season drought stress conditions. *Advance Environment Biology*, 5(6), 1040-1045.
7. Dhanda, S.S., Sethi, G.S. & Behl, RK. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stage of plant growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 6-12.
8. Farshadfar, E. & Mohammadi, R. (2006). Analysis of genetic control of drought tolerance in Sheynee wheat cultivar using substitution lines. *Seed and Plant*, 21(1), 93-108. (In Farsi)
9. Gewin, V. (2010). An underground revolution. *Nature*, 466, 552-553.
10. Jackson, P., Robertson, M., Cooper, M. & Hammer, G. (1996). The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. *Field Crops Research*, 49, 11-39.
11. Ministry of Agriculture. (2012). *Wheat information network*. From www.iranwheat.ir
12. Mobaser, S., Jamali, SH., Jazayeri, MR., Khandan, A., Razavi, V., Nasrolahi, E., Khazaei, F., Tahernejad, Z., Najafian, M., Sadeghi, L., Roozbeh, B. & Hosseni, S. (2011). National list of plant varieties. Seed and *Plant Certification and Registration Institute*. (In Farsi)
13. Mohammadi, M., Karimzade, R., Abdipour, M.,(2011). Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 487-493.
14. Ouk, M., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fischer, KS., Cooper, M. & Nesbitt, H. (2006). Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*, 99, 48-58.
15. Palta, J.A. & Watt, M. (2009). Crop root systems form and function: improving the capture of water and nutrients with vigorous root system. In V. Sadras, D. Calderini (Eds), *Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy*, (pp 309-325). Academic Press: San Diego.
16. Palta, J.A., Chen, X., Milroy, S.P., Rebetzke, G.J., Dreccer, M.F. & Watt, M. (2011). Large root system: are they useful in adapting wheat to dry environments?. *Functional Plant Biology*, 38, 347-354.
17. Rajaram, S. (2001). Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century. *Euphytica*, 119, 3-15.
18. Rauf, M., Munir, M., Hassan, M., Ahmad, M. & Afzal, M. (2007). Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Agriculture Research*, 6, 971-975.
19. Reynolds, M. & Toberosa, R. (2008). Translation research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 171-179.
20. Richards, R.A. & Lukacs Z. (2002). Seedling vigor in wheat-sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 41-50.

21. Streda, T., Dostal, V., Horakova, V. & Chloupek O. (2012). Effective use of water by wheat varieties with different root system size in rain-fed experiments in Central Europe. *Agriculture Water Management*, 104, 203-209.
22. Waines, J. & Ehdaie, B. (2007). Domestication and crop physiology: Roots of green revolution wheat. *Annals of Botany*, 100, 991-998.
23. Wojciechowski, T., gooding, M.J., Ramsay, L. & Gregory, P.J. (2009). The effects of dwarfing genes on seedling root growth of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2565-2573.