

## ارزیابی واکنش ژنوتیپ های گندم دوروم به تنش خشکی آخر فصل

### Evaluation of response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines to terminal drought stress

غلامحسین احمدی<sup>۱</sup>، عادل سی و سه مرده<sup>۲\*</sup>، یوسف سهرابی<sup>۲</sup> و محمدرضا جلال کمالی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان و مربی پژوهشی بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲. عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، (نگارنده مسئول)
۳. محقق ارشد مرکز بین المللی تحقیقات گندم و ذرت (CIMMYT)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۳۱ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2019.125259.1384

#### چکیده

احمدی، غ.، ح.، سی سه مرده، ع.، سهرابی، ی.، جلال کمالی، م.، ر.، ارزیابی واکنش ژنوتیپ های گندم دوروم به تنش خشکی آخر فصل

نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۳ - شماره ۱- پیاپی ۱۲۶ بهار ۱۳۹۹ صفحه: ۴۳-۲۳

تنش خشکی آخر فصل از مهمترین عوامل تاثیر گذار در تولید گندم دوروم (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.) است. لذا با هدف شناسایی لاین های جدید متحمل به این تنش، تعداد ۱۵۴ لاین گندم دوروم در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی یا  $Z=4.5$ ) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب طی سال های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ کشت شدند. براساس عملکرد دانه دو محیط، شاخص های تحمل به خشکی محاسبه شد. بین لاین های مورد بررسی تنوع بالایی برای عملکرد و شاخص های تحمل به خشکی مشاهده شد. تجزیه خوشه ای لاین ها را در ۶ گروه جای داد. تعداد ۱۲ لاین با قرار گرفتن در یک گروه، براساس بیشتر شاخص های تحمل به خشکی و عملکرد دو محیط نسبت به دیگر گروه ها برتر بودند. نتایج تجزیه به مولفه های اصلی لاین های برتر نشان داد لاین های G41، G116، G123 و G199 بهترین لاین ها برای تحمل به خشکی آخر فصل بوده و در شرایط آبیاری بهینه نیز عملکرد مطلوبی داشتند. از طرف دیگر لاین های G50، G46 و G38 برای شرایط بهینه مناسب بوده و واجد تحمل به تنش آخر فصل نیز بودند. لاین های G29 و G157 هر چند در بین لاین های برتر بودند، اما تحمل به تنش پایینی نشان دادند و برای شرایط بهینه مناسب بودند. لاین های G105، G93 و G159 به شرایط تنش انتهایی متحمل بودند، اما در شرایط بهینه عملکرد پایینی داشتند. بطور کلی چهار لاین به شماره های G41، G116، G123 و G199، بویژه لاین G116، پتانسیل تولید رقم برای تنش خشکی انتهایی فصل را داشته و برای شرایط منطقه مورد مطالعه یا مناطق مشابه قابل توصیه می باشند.

واژه های کلیدی: شاخص های تحمل به خشکی، تجزیه خوشه ای، لاین های گندم دوروم

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: a33@uok.ac.ir

مقدمه:

تنش خشکی بسته به مرحله رشد گیاه متفاوت است (Blum *et al.*, 1980). می توان گفت به طور کلی، پاسخ گیاهان به تنش خشکی پیچیده است زیرا ترکیبی از اثر تنش، واکنش های گیاه به تنش و زمان بروز تنش، شدت و طول دوره وقوع تنش است. شدت و زمان وقوع آن نیز از هر سالی به سال دیگر و از مکانی به مکان دیگر بسیار متفاوت است و از این رو میزان خسارت آن نیز بسته به مرحله رشد گیاه گندم در زمان وقوع تنش نیز بسیار متفاوت خواهد بود. در هر حال با توجه به این که گندم دوروم اغلب در نواحی مدیترانه ای و مناطق مستعد محدودیت دسترسی به آب کشت می شود (Schuhwerk *et al.*, 2010) لذا دستیابی به ارقام متحمل خشکی در این گیاه ضروری است.

اصلاح ژنتیکی برای افزایش تحمل به تنش خشکی، شناسایی و ارزیابی ژرم پلاسماهای مقاوم به این نوع تنش دشوار و زمان بر است ولی اصلاح ارقام متحمل به خشکی یکی از مهمترین راه کارها برای مقابله با تنش خشکی است (Rebetzke *et al.*, 2000). تحمل به تنش خشکی یک صفت کمی است، ساز و کارهای ژنتیکی و فیزیولوژیکی آن نیز به خوبی شناخته شده نیست و روش اندازه گیری مستقیمی برای آن نیز وجود ندارد، لذا این امر سبب دشواری شناسایی ژنوتیپ های مقاوم به خشکی می شود (Takeda & Matsuoka, 2008). به طور کلی متخصصین به نژادی از دو روش برای دستیابی به ارقام پر محصول تحت تنش خشکی استفاده می کنند: ۱- معرفی ارقامی که فقط با شرایط تنش سازگاری بالایی نشان می دهند در حالی که

گندم دوروم (*Triticum durum* L.) گیاهی آلوپلی پلوئید با دو ژنوم A و B از تلاقی بین گونه *T. urartu* با گونه *Ae. speltoides* در خاورمیانه حاصل شده است (Kissing *et al.*, 2015). بیشترین سطح زیر کشت گندم دوروم در نواحی خشک مدیترانه متمرکز است (Shewry, 2009). آخرین آمار گندم کشور بیانگر ۱۴۵۹۲۰۰۳ تن تولید از سطح ۵۹۲۸۷۲۸ هکتار از این محصول است که از این میزان حدود ۵۰۰۰۰۰ تن گندم دوروم است (Anonymous, 2019). اقلیم گرم و معتدل گرم کشور برای کشت این گیاه مناسب بوده و هم اکنون نیز استان های فارس، خوزستان، لرستان و مناطق گرم استان های ایلام و کرمانشاه بیشترین سطح زیر کشت گندم دوروم کشور را دارا می باشند. بطور کلی این گیاه حدود ۱۰-۸ درصد سطح زیر کشت جهانی گندم را به خود اختصاص داده است که به شرایط نیمه خشک سازگاری بهتری داشته و اصولاً بهاره است (Anonymous, 2015) ولی به صورت زمستانه هم کشت می شود.

تنش خشکی به عنوان مهم ترین عامل کنترل کننده عملکرد محصولات بر همه فرآیندهای رشد گیاه اثر می گذارد (Siddique *et al.*, 1999) و یکی از عوامل مهم محدود کننده عملکرد گندم در محیط های مختلف است (Kilic & Yagbasanlar, 2010). وقوع تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه گندم در کشورهای حوزه مدیترانه مانند ایران متداول است (Golabadi *et al.*, 2006) و گاهی با تنش گرمایی نیز توأم است (Saint Pierre *et al.*, 2008). واکنش گیاهان به

داشته‌اند، در صورت معرفی به‌عنوان رقم و کشت در شرایط تنش علاوه بر داشتن عملکرد مطلوب دانه، محصول تولیدی نیز کیفیت مناسبی خواهد داشت. همچنین در شرایط بهینه و وجود آب برای آبیاری نیز توان تولید محصول بالا و عملکرد دانه بیشتری دارد (Uddin *et al.*, 1992). علاوه بر اصلاح برای عملکرد که معمولاً به دلیل وراثت‌پذیری پایین آن مشکل می‌باشد، توجه به شاخص‌های دیگر تحمل خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Kallo, 1992). شاخص‌های تحمل خشکی که معیاری از اثر تنش خشکی بر اساس کاهش عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط غیر تنش را فراهم می‌نمایند، برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده می‌شوند. همچنین، از محیط تنش خشکی مصنوعی می‌توان برای انتخاب ژنوتیپ برتر از داخل یک جمعیت بزرگ استفاده کرد. در این مطالعات شاخص‌های تحمل خشکی مختلفی برای تشخیص ژنوتیپ‌های برتر محاسبه می‌گردد و توسط شماری از محققین برای گزینش لاین‌های متحمل خشکی در گیاهان زراعی به کار رفته‌اند (Bennani *et al.*, 2017; Khan & Naqvi, 2011; Talebi *et al.*, 2009; Najafian, 2009). در مطالعه تنوع لاین‌های گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد شرایط تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI، HAM و DRI گزارش شده و پیشنهاد گردیده است که این شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مناسب می‌باشند (Akbarabadi *et al.*, 2015).

حتی در شرایط مساعد رشد، نیز عملکرد بالایی ندارند، ۲- اصلاح ارقامی که با دامنه گسترده‌ای از شرایط مختلف محیطی سازگار هستند یعنی تحت شرایط تنش خشکی عملکرد قابل قبولی دارند ولی به شرایط مساعد محیطی مانند بارندگی و یا آب قابل دسترس واکنش مثبت نشان داده و افزایش عملکرد خواهند داشت. در این صورت می‌توان با این ارقام به دو هدف پایداری عملکرد و پتانسیل عملکرد بالا دست یافت.

در تمام مناطق کشت گندم دوروم، عملکرد دانه صفت اصلی مورد نظر است (Pfeiffer *et al.*, 2000) که حاصل تمام فرآیندهای گیاه و اثر متقابل آن با محیط است و به عنوان یک شاخص گزینش به کار می‌رود (Royo *et al.*, 2000). به نظر برخی محققین، تحمل خشکی یک صفت کمی است و گیاهان متحمل به تنش خشکی نه تنها بایستی تحت شرایط تنش خشکی زنده بمانند، بلکه بایستی عملکرد قابل قبولی هم داشته باشند (Fleury *et al.*, 2010). با جمع‌بندی تعاریف متفاوت شاید بتوان تحمل به خشکی را زنده ماندن، ادامه رشد بدون آسیب جدی و تولید بذر یا اندام قابل رویش توسط گیاه برای بقای نسل تحت شرایط تنش خشکی تعریف کرد.

در بررسی‌های تحمل خشکی و کم آبیاری در گندم، مواد انتخابی تحت شرایط دو محیط آبیاری بهینه و تنش کم آبیاری کشت شده و ژنوتیپ‌هایی با نمود مناسب و مطلوب در هر دو محیط گزینش می‌شوند. در این شیوه، لاین‌هایی که در شرایط تنش کم آبی تظاهر مناسبی

زمینی و رودخانه‌های فصلی، اغلب در پایان فصل رشد زراعت گندم دوروم با کمبود آب در دسترس مواجه شده و یا آب در دسترس به محصولات اقتصادی‌تر اختصاص می‌یابد که در هر دو صورت عملیات آبیاری به طور کامل اجرا نمی‌شود. در چنین شرایطی عملکرد مطلوب به دست نمی‌آید و دانه‌ها چروکیده و غیر استاندارد می‌شوند. لذا تحقیق حاضر با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و سازگار گندم دوروم با شرایط تنش خشکی آخر فصل با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی در شرایط اقلیم معتدل استان کرمانشاه انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

حدود ۷۷ درصد از ارقام معرفی شده گندم دوروم در کشورهای در حال توسعه از مرکز بین المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) منشأ گرفته اند (Pfeiffer et al., 2000). در این مطالعه نیز تعداد ۱۵۴ ژنوتیپ گندم دوروم دریافتی از مرکز بین المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) پس از تکثیر بذر در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی یا  $z=4.5$ ) و بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب طی دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ تحت مطالعه قرار گرفتند. ایستگاه متأثر از اقلیم مدیترانه ای، با میانگین بارندگی ۴۵۰ میلیمتر، فاقد بارندگی تابستانه و بیشتر بارش‌ها در فصل زمستان تا اواسط اردیبهشت نازل می‌شود. آمار هواشناسی ایستگاه محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. به دلیل بارش‌های مناسب، تا اواسط

می‌توان گفت چگونگی و پیشینه گزینش مواد تحت بررسی طی مراحل به نژادی بر کارایی استفاده از شاخص‌های تجمل به خشکی تاثیرگذار است. به عنوان مثال اگر مواد تحت مطالعه پیش از ورود به شرایط بهینه، در شرایط تنش خشکی گزینش شده باشند و سپس در دو محیط تنش و بدون تنش مورد ارزیابی قرار گیرند، برخی ژنوتیپ‌ها ضمن ثبات عملکرد مطلوب در شرایط تنش، به رطوبت قابل دسترس واکنش مثبت نشان داده و افزایش عملکرد مشاهده خواهد شد. با این شیوه ضمن حذف لاین‌های با پتانسیل عملکرد پایین، حجم مواد اصلاحی کاهش یافته، مدیریت مواد آسان تر شده و حتی استفاده از شاخص‌های ساده ای مانند شاخص تحمل، TOL (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص پایداری عملکرد (YSI (Bousslama & Schapaugh, 1984)، میانگین بهره‌وری، MP (Rosielle & Hamblin, 1981) و مجموع شاخص عملکرد (Ahmadi et al., 2010) نیز بسیار سودمند خواهند بود. برخی از محققین نیز کاربرد دو مرحله‌ای برخی از این شاخص‌ها را توصیه می‌کنند به منظور افزایش کارایی استفاده از این شاخص‌ها و دقت بیشتر در گزینش مواد متحمل به تنش خشکی پیشنهاد شده است که ابتدا مواد تحت بررسی با شاخص STI گروه بندی شده و سپس مواد برتر حاصل از این گروه‌بندی با شاخص SSI گزینش شوند (Najafian, 2009). بنظر می‌رسد با این شیوه موادی گزینش خواهند شد که به خشکی تحمل بهتری دارند. با توجه به کاهش ذخایر آب‌های زیر

بر ۳۰ کرت، ارقام سرداری (رقم دیم به عنوان شاهد منطقه ای)، سیروان (گندم نان معرفی شده برای تحمل به تنش خشکی آخرفصل) و ریژاو (گندم نان معرفی شده برای دیمزارهای کشور) به عنوان شاهد های گندم نان و رقم ساجی (گندم دوروم معرفی شده برای اقلیم های معتدل سرد و گرم دیم کشور) به عنوان رقم دوروم در نظر گرفته شد. طی فصل زراعی عملیات متداول داشت انجام و برای مبارزه با علف های هرز پهن برگ و نازک برگ از علف کش های متداول استفاده شد.

پس از برداشت، عملکرد دانه کرت های شاهد های هر بلوک به عنوان یک تکرار مد نظر قرار گرفته و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی مورد تجزیه آماری قرار گرفت و با توجه به عدم تفاوت آماری بین بلوک ها، از کاربرد طرح آگمنت (Augment) برای تجزیه های آماری صرف نظر شد ولی در تجزیه های آماری داده های تصحیح شده مورد استفاده قرار گرفتند. تجزیه های آمای با نرم افزار SPSS و رسم دندوگرام با نرم افزار SYSTAT 13 انجام شد. نظر به تفاوت گونه ای گندم نان و دوروم، از رقم دوروم ساجی به عنوان شاهد در مقایسه و ارزیابی عملکرد ژنوتیپ های تحت مطالعه استفاده شد. بر اساس صفات زراعی مد نظر (زود رسی، عملکرد دانه، تحمل به ورس و وضعیت آلودگی به بیماری ها غلات) تعداد هشتاد ژنوتیپ برتر برای شرکت در برنامه به نژادی گندم کشور گزینش و به موسسه متبوع ارسال گردید. علیرغم صعود سه لاین به مراحل پیشرفته به نژادی، در نهایت هیچکدام از لاین

اردیبهشت آبیاری انجام نشد و پس از پایان بارش ها، دور آبیاری در شرایط بهینه در مزرعه آزمایشی به نژادی ایستگاه هشت روز یک بار در نظر گرفته شد و از شیوه آبیاری ثقلی استفاده شد. تعداد آبیاری بهاره در هر سال تابع وقوع آخرین بارش مفید بود. در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱، آخرین بارش مفید به میزان ۱۴/۴ میلیمتر در ۱۳۹۲/۲/۱۵ حادث شد و لذا تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، مزرعه بدون تنش پنج بار آبیاری شد و به دلیل تلاقی مرحله آبستنی با پایان بارش ها، در مزرعه تنش خشکی آخرفصل هیچ گونه آبیاری انجام نشد. در مقابل، در سال ۹۳-۱۳۹۲، آخرین بارش قابل توجه به میزان ۱۵/۴ میلیمتر در ۱۳۹۳/۲/۰۹ حادث شد و از این رو، تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، مزرعه بدون تنش شش بار آبیاری شد در حالی که مزرعه تنش خشکی آخرفصل تا قبل از مرحله آبستنی یک بار آبیاری شد و سپس تا پایان فصل رشد تحت تنش خشکی قرار گرفت.

زمین محل انجام آزمایش در سال زراعی قبل آیش بوده و از نوع رسی- لومی با درصد مواد آلی ۰/۸۱ درصد و اسیدیته ۷/۱ بود. میزان مصرف کود های شیمیایی بر مبنای آزمون خاک تعیین شد. تراکم بذر برای گندم نان ۴۰۰ و برای گندم دوروم ۴۵۰ بذر در متر مربع بر اساس وزن هزار دانه محاسبه شد و کاشت با دست در ۱۰ آبان ماه (تاریخ توصیه شده برای منطقه) انجام شد. هر ژنوتیپ در دو ردیف، روی یک پشته ۶۵ سانتیمتری به طول ۲ متر و به فاصله بین ردیف ۳۲/۵ سانتی متر ( $2 \times 65/0 = 3/1 \text{ m}^2$ ) کشت شد. پس از هر ۲۰ ژنوتیپ و در هر بلوک مشتمل

جدول ۱- داده های هواشناسی ایستگاه اسلام آباد غرب طی سالهای انجام آزمایش.

Table 1. Climatology data of Eslamabad-e gharb station over 2012-13 and 2013-14 cropping years

ماههای فصل رشد Months of growing season	میزان تجمعی بارندگی (میلیمتر) Cumulative precipitation (mm)		میانگین بیشینه دما (درجه سانتیگراد) Average of maximum temperature (°C)		میانگین کمینه دما (درجه سانتیگراد) Average of minimum temperature (°C)		میانگین ماهیانه دما (درجه سانتیگراد) Average of mean temperature (°C)	
	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳
	2012-13	2013-14	2012-13	2013-14	2012-13	2013-14	2012-13	2013-14
مهر Sep - Oct	0.1	0	28.8	26.4	8.7	4.8	19.1	15.6
آبان Oct - Nov	60.1	132.8	19	16.8	5.8	4.2	12	10.2
آذر Nov - Dec	85.7	73.6	11.1	11	0.4	-0.2	5.5	5.1
دی Dec - Jan	49.8	52.2	8.5	7.9	-4.3	-4.4	1.6	1
بهمن Jan - Feb	69.2	78.4	12.8	9.2	-0.8	-3.9	5.3	2.1
اسفند Feb - Mar	13.6	97.1	15.4	15.1	0.1	0.8	7.5	7.8
فروردین Mar - Apr	6.4	42.2	20.7	18.7	2.8	2.5	12.3	10.8
اردیبهشت Apr - May	49.5	25	21.3	25.5	6.8	7.8	14.3	16.9
خرداد May - Jun	0.3	3.7	30.6	31.2	10.7	10.8	21.5	21.6
تیر Jun - Jul	0	0	36.6	36.7	14.8	15.5	26.9	26.9

خشکی برای ۱۵۴ لاین مورد بررسی به همراه رقم ساجی (شاهد) محاسبه شد. بین ژنوتیپ‌ها اختلافات زیادی برای برتری در هر شاخص مشاهده شد. براساس شاخص‌های تحمل به خشکی، بعضی از لاین‌ها برتری نشان دادند ولی روند برتری لاین‌ها بر اساس شاخص‌ها یکسان نبود. لذا انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس میانگین در تک شاخص‌ها مشکل بود. روند برتری ژنوتیپ‌ها در هر شاخص متفاوت بود هرچند در مواردی نیز در دو یا چند شاخص ژنوتیپ‌های مشخصی برتر بودند، در ضمن در تمام شاخص‌های مورد بررسی ۱۵ لاین انتخاب شده نسبت به رقم شاهد برتر بودند. شجره و تاریخچه گزینش لاین‌های برتر در جدول ۳ و میانگین کل لاین‌ها، انحراف معیار، حداقل،

های انتخاب شده به عنوان رقم جدید معرفی نشدند (Najafi Mirak, 2018).

برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های مختلفی وجود دارند. بطور کلی برای محاسبه این شاخص‌ها از عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش (Yp)، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (Ȳp)، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در محیط تنش (Ȳs) و عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط تنش (Ys) استفاده می‌شود. فرمول‌ها و روش محاسبه برخی از شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده‌اند.

### نتایج و بحث:

براساس میانگین عملکرد محیط تنش رطوبتی آخر فصل و آبیاری بهینه شاخص‌های تحمل به



جدول ۲- شاخص های مورد استفاده در ارزیابی تحمل به خشکی برای ژنوتیپهای مورد بررسی در این آزمایش

Table 2. Indices used for evaluation of drought tolerance of the studied genotypes in this experiment

شاخص Index	مخفف Abbreviation	فرمول Formula	منبع References
میانگین بهره‌وری Mean Productivity	MP	$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	Rosielle and Hamblin (1981)
شاخص تحمل Tolerance Index	TOL	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle and Hamblin (1981)
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	SSI	$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / SI$	Fischer and Maurer (1978)
شدت تنش Stress Intensity	SI	$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	Fischer and Maurer (1978)
شاخص تحمل به تنش Stress Tolerance Index	STI	$STI = (Y_s * Y_p) / (\bar{Y}_p)^2$	Fernandez (1992)
میانگین هندسی بهره‌وری Geometric Mean Productivity	GMP	$GMP = \sqrt{Y_s * Y_p}$	Fernandez (1992)
شاخص عملکرد Yield Index	YI	$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	Gavuzzi <i>et al.</i> , (1997)
شاخص تحمل به خشکی Drought Resistance Index	DI	$DI = Y_s * (Y_s / Y_p) / \bar{Y}_s$	Lan (1998)
شاخص تحمل غیر زیستی Abiotic Tolerance Index	ATI	$ATI = [(Y_p - Y_s) / (\bar{Y}_p / \bar{Y}_s)] * \sqrt{Y_s * Y_p}$	Moosavi <i>et al.</i> , (2008)
شاخص درصد حساسیت به تنش Stress Susceptibility Percentage Index	SSPI	$SSPI = [(Y_p - Y_s) / (2 * \bar{Y}_p)] * 100$	Moosavi <i>et al.</i> , (2008)
شاخص نسبت عملکرد تنش به غیر تنش Stress/non-stress Production Index	SNPI	$SNPI = \sqrt{[(Y_s + Y_p) / (Y_s - Y_p)] * \sqrt{Y_p * Y_s * Y_s}}$	Moosavi <i>et al.</i> , (2008)
شاخص عملکرد نسبی متوسط Mean Relative Performance	MRP	$MRP = (Y_s / \bar{Y}_s) + (Y_p / \bar{Y}_p)$	Hossain <i>et al.</i> , (1999)
شاخص کارایی نسبی Relative Efficiency Index	REI	$REI = (Y_s / \bar{Y}_s) * (Y_p / \bar{Y}_p)$	Hossain <i>et al.</i> , (1999)
شاخص تحمل به تنش تعبیر یافته K1 Modified Stress Tolerance Index K1	MSTIk1	$MSTIk1 = (Y_p^2 / \bar{Y}_p^2) * STI$	Naderi <i>et al.</i> , (1999)
شاخص تحمل به تنش تعبیر یافته K2 Modified Stress Tolerance Index K2	MSTIk2	$MSTIk2 = (Y_s^2 / \bar{Y}_s^2) * STI$	Naderi <i>et al.</i> , (1999)
شاخص میانگین هارمونیک Harmonic Mean	HAM	$HAM = 2[(Y_p * Y_s) / (Y_p + Y_s)]$	Kristin <i>et al.</i> , (1997)
شاخص کاهش Reduction	Red	$Red = [(Y_p - Y_s) / (Y_p)] * 100$	Farshadfar & Javadnia, 2011
شاخص خشکی نسبی Relative Drought Index	RDI	$RDI = (Y_p / Y_s) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	Fischer & Wood (1979)
شاخص میانگین طلایی Golden Mean	GM	$GM = (Y_p + Y_s) / (Y_p - Y_s)$	Moradi <i>et al.</i> , (2012)
کارایی تحمل به خشکی Drought Tolerance Efficiency	DTE	$DTE = (Y_p / Y_s) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	Fischer & Wood (1979)
شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index	YSI	$YSI = Y_s / Y_p$	Bousslama & Schapaugh (1984)
مجموع شاخص عملکرد Total Yield Index	TYI	$TYI = (Y_p / \bar{Y}_p) + (Y_s / \bar{Y}_s)$ $= Y_{In} + Y_{Is}$	Ahmadi <i>et al.</i> , (2010)

تجزیه های آماری شامل تجزیه خوشه ای و بای پلات با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

The cluster and biplot analysis were done by SPSS software.

۱/۰۵ تن در هکتار بود. بیشترین عملکرد در این محیط ۱۱/۰۵ تن در هکتار متعلق به ژنوتیپ G50 و کمترین عملکرد ۵/۹۷ تن در هکتار به ژنوتیپ G189 اختصاص داشت. همچنین تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل، میانگین

حداکثر و میانگین رقم شاهد و میانگین لاین های برتر به همراه شماره تعداد ۱۵ لاین برتر از نظر هر شاخص در جدول ۴ ارائه شده است. میانگین عملکرد دانه در محیط آبیاری بهینه (55/8)  $Y_p$  تن در هکتار با انحراف معیار

در محاسبه شاخص تحمل به تنش (STI) میانگین ۰/۷۴ با انحراف معیار ۰/۱۵ حاصل شد که بیشترین میزان این شاخص به ژنوتیپ G123 به میزان ۱/۱۳ و کمترین میزان نیز به ژنوتیپ G110 به میزان ۰/۳۱ اختصاص داشت. در مورد شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) نیز متوسط ۷/۳۴ با انحراف معیار ۰/۷۶ حاصل شد که ژنوتیپ G123 بیشترین میزان (۹/۰۹) و ژنوتیپ G110 کمترین میزان (۴/۷۴) را داشت. محاسبات مربوط به شاخص عملکرد (YI) نیز میانگین ۱/۰۰ با انحراف معیار ۰/۱۲ را نشان داد که بیشترین میزان شاخص عملکرد به ژنوتیپ G110 (29/1) و کمترین میزان نیز به G110 (58/0) تعلق داشت. در مورد شاخص تحمل به خشکی (DI) نیز متوسط ۰/۷۵ با انحراف معیار ۰/۱۶ دیده و G22 (23/1) بیشترین و G70 (34/0) کمترین DI را داشتند. در محاسبات مربوط به شاخص تحمل غیرزیستی (ATI) میانگین ۱۲/۲۱ با انحراف معیار ۵/۸۹ بدست آمد و G189 (55/0) کمترین میزان و G50 (61/26) بیشترین میزان این شاخص را دارا بودند. متوسط شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) 02/13 با انحراف معیار ۵/۹۰ بود. در این شاخص G189 (73/0) کمترین و G53 (27/27) بیشترین میزان را داشتند.

محاسبه شاخص نسبت محصول تنش به غیر تنش متوسط ۳/۸۴ با انحراف معیار ۰/۹۰ را نشان داد که G70 (53/2) کمترین میزان و G189 (22/8) بیشترین میزان را داشتند. برای شاخص عملکرد نسبی متوسط (MRP) میانگین ۲/۰۰ با انحراف معیار ۰/۲۱ محاسبه شد. در این شاخص

عملکرد دانه (Y<sub>p</sub>) 32/6 تن در هکتار با انحراف معیار ۰/۷۷ تن در هکتار بود. در این محیط بیشترین عملکرد ۸/۱۵۰ تن در هکتار برای ژنوتیپ G22 بدست آمد و کمترین عملکرد نیز ۳/۶۴۰ تن در هکتار به ژنوتیپ G110 تعلق داشت. تنش خشکی سبب شد تا عملکرد دانه بطور متوسط ۲۶/۰۸ درصد کاهش یابد. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی آخر فصل در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Abid et al., 2016; Akbarabadi et al., 2015); (Kirigwi et al., 2004). همچنین، در یک مطالعه مشابه، کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Gonzalez et al., 2010). این پژوهشگران دریافتند که تنش خشکی از راه تسریع پیری برگ‌ها و کاهش فتوسنتز، سبب شد تعداد دانه در سنبله و وزن دانه که از مهمترین اجزای عملکرد دانه می‌باشند، کاهش یابد.

بر اساس شاخص بهره‌وری متوسط (MP) میانگین عملکرد ۷/۴۴ تن در هکتار با انحراف معیار ۰/۷۷ بدست آمد. ژنوتیپ G123 با ۹/۲۰ بیشترین و ژنوتیپ G110 با ۴/۹۱ تن در هکتار کمترین بهره‌وری متوسط را داشتند. برای شاخص حساسیت به تنش (SSI) بیشترین حساسیت به تنش (۱/۹۷) به ژنوتیپ G70 و کمترین حساسیت به تنش (۰/۰۸) نیز به ژنوتیپ G189 تعلق داشت. متوسط شاخص تحمل ژنوتیپ‌ها ۲/۲۲ با انحراف معیار ۱/۰۱ بود و کمترین شاخص تحمل به ژنوتیپ G189 به میزان ۰/۱۳ و بیشترین شاخص تحمل به ژنوتیپ G73 به میزان ۴/۶۶ اختصاص داشت.



جدول ۳- شجره و تاریخچه گزینش لاین های برتر گروه نخست تجزیه خوشه ای

Table 3. Pedigree and selection history of superior lines in the first group of cluster analysis

ژنوتیپ	شجره و تاریخچه گزینش
Genotype	Pedigree and selection history
g29	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21/4/1A.1D 5+10-6/2*WB881//1A.1D 5+10-6/3*MOJO/3/ BISU_1/PATKA_3 CDSS04Y00362S-27Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
g38	NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII*2/5/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 CDSS04Y00888T-0TOPB-26Y-0M-06Y-2M-1Y-0B
g41	STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/4/D00003A/5/1A.1D5+10-6/3*MOJO/3/AJAIA_12/F3LOCAL (SEL.ETHIO.I35.85)//PLATA_13 CDSS04Y01238T-0TOPB-7Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
g46	MOHAWK/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/ CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC //BUB/RUFO/4/FNFOOT CDSS04SH00022S-20Y-4M-5Y-1M-1Y-0B
g50	USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/9/ADAMAR_15 //ALBIA_1/ ALTAR 84/3/SNITAN/10/ MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/3/SOOTY_9/RASCON_37 CDSS04B00316T-0TOPY-13Y-0M-3Y-0M-3Y-0B
g93	WID22241/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/5/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SO MAT_4/ INTER_8/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 CDSS06Y00646T-0TOPB-24Y-0M-4Y-1M-0Y
g105	MOHAWK/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1 1 CDSS05B00784T-0TOPY-22Y-0M-2Y-4M-0Y
g116	SIMETO/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/9/INTER_4/3/MINIMUS/COMBDUCK_2// CHAM_3 /7/CS/TH.CU//GLEN/3/GEN /4/MYNA/VUL/5/2*DON87/6/2*BUSCA_3/8/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4 CDSS06Y00759T-0TOPB-38Y-0M-2Y-4M-0Y
g123	ADAMAR_15/PLATA_18/3/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/6/LIRO_3/LOTAIL_6/4/MUSK_4/3/PLATA_3/ / CREX/ALLA/5/SOMAT_4/INTER_8 CDSS06Y00378S-7Y-0M-1Y-1M-0Y
g157	INTER_4/3/MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/7/CS/TH.CU//GLEN/3/GEN/4/MYNA/VUL/5/2*DON87/6 /2*BUŠCA_3 /8/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/9/AVILLO_1/3/ISLOM_1/DUKEM_2//TARRO_3/7/ECO/CMH76 A.722// BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/6/MALMUK_1/SERRATOR_1 CDSS06Y00410S-54Y-0M-4Y-2M-0Y
g159	ISLOM_1/DUKEM_2//TARRO_3/5/CREX//BOY/YAV_1/3/PLATA_6/4/PORRON_11/6/YAZI_1/AKAKI_4// SOMAT_3/3/ AUK/GUIL//GREEN/7/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 CDSS06Y00514S-37Y-0M-4Y-1M-0Y
g199	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/ CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/ FNFOOT/10/SOMAT_4/INTER_8 CDSS05B00270S-25Y-0M-3Y-2M-0Y

برای شاخص تحمل به تنش تعبیر یافته K2 (MSTik2) میانگین ۰/۷۹ با انحراف معیار ۰/۱۰ بدست آمد که G110 (10/0) کمترین و G123 (71/1) بیشترین میزان را داشتند. متوسط شاخص میانگین هارمونیک (HARM) برای لاین های مورد بررسی ۷/۲۴ با انحراف معیار ۰/۷۶ بود و G110 (58/4) کمترین و G123 (98/8) بیشترین میانگین هارمونیک را داشتند. با محاسبه شاخص کاهش (Red) متوسط ۲۵/۳۷ با انحراف معیار

G110 (30/1) کمترین و G123 (47/2) بیشترین میزان را داشتند. در مورد شاخص کارایی نسبی (REI) متوسط ۱/۰۱ با انحراف معیار ۰/۲۰ بدست آمد و G110 (42/0) کمترین و G123 (53/1) بیشترین کارایی نسبی را داشتند. در محاسبه شاخص تحمل به تنش تغییر یافته K1 (MSTik1) میانگین ۰/۷۹ با انحراف معیار ۰/۳۳ حاصل شد. برای این شاخص G110 (16/0) کمترین و G50 (76/1) بیشترین میزان را داشتند.

قرار داشت. گروه دوم شامل ۴۴ لاین بود که ژنوتیپ‌های این گروه براساس شاخص DI برتر از دیگر گروه‌ها بودند و بر اساس شاخص‌های MP، STI، GMP، YI، MRP، REI، MSTik1، MSTik2 و HARM و عملکرد دو محیط بعد از گروه اول برتر بودند. گروه سوم شامل ۴ لاین G175، G53، G139 و G70 بود که ژنوتیپ‌های این گروه بر اساس هیچ کدام از شاخص‌ها برتر نبودند و ژنوتیپ‌های این گروه عملکرد نسبتاً مطلوبی در محیط آبیاری بهینه داشتند، اما عملکرد پایینی در شرایط خشکی انتهایی نشان دادند و بر همین اساس با توجه به شاخص‌های TOL، SSI، ATI، SSPI، Red، RDI، GM و DTE کمترین تحمل خشکی را نشان دادند. گروه چهارم ۶۸ لاین به همراه رقم شاهد را شامل شد و لاین‌های این گروه تظاهر متوسطی بر اساس تمام شاخص‌ها نشان دادند. اما در گروه پنجم ۲۴ لاین قرار داشت که لاین‌های این گروه تظاهر ضعیفی در محیط آبیاری بهینه داشتند و چون برای محیط تنش آخر فصل نیز تظاهر نسبتاً ضعیفی نشان دادند، بنابراین کاهش عملکرد بین دو محیط نسبتاً کم بود و بر همین اساس با توجه به شاخص‌های TOL، SSI، ATI، SSPI، SNPI، Red، RDI، GM و DTE حساسیت به خشکی کمتری نشان دادند، اما چون اساساً پتانسیل عملکرد پایینی داشتند لاین‌های مناسبی نبودند. در نهایت دو لاین G110 و G177 در یک گروه قرار گرفتند که این دو لاین ضعیف‌ترین تظاهر برای عملکرد در هر دو محیط نشان دادند و برای تمام شاخص‌ها نیز تحمل خشکی پایینی نشان دادند.

۹/۹۲ بدست آمد. برای این شاخص G189 (10/2)) کمترین و (09/51 G70) بیشترین میزان شاخص کاهش را داشتند. در محاسبه شاخص خشکی نسبی (RDI) میانگین ۱/۰۱ با انحراف معیار ۰/۱۳ حاصل شد که (32/1 G189) بیشترین و (66/0 G70) کمترین میزان این شاخص را به خود اختصاص دادند. برای شاخص میانگین طلایی (GM) متوسط ۹/۶۶ با انحراف معیار ۱۰/۴۷ بدست آمد که (23/94 G189) بیشترین و (91/2 G70) کمترین میزان را داشتند. در مورد این شاخص پراکندگی بالایی در بین لاین‌ها مشاهده گردید و بر همین اساس میزان انحراف معیار این شاخص بسیار بالا بود. در محاسبات مربوط به شاخص کارایی تحمل به خشکی (DTI) نیز میانگین ۷۴/۶۳ با انحراف معیار ۹/۹۲ بدست آمد و (90/97 G189) بیشترین و (91/48 G70) کمترین میزان این شاخص را دارا بودند. در این تحقیق، تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA و فاصله اقلیدسی به عنوان معیار فاصله‌ای بر روی لاین‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی انجام شد. براساس تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها در ۶ گروه قرار گرفتند (شکل ۱ و جدول ۵). گروه اول شامل لاین‌های G105، G116، G199، G41، G29، G93، G159، G157، G46، G38، G50 و G123 بود که این گروه براساس ۹ شاخص MP، STI، GMP، YI، MRP، REI، MSTik1، MSTik2 و HARM و همچنین عملکرد دو محیط برتری محسوسی نسبت به دیگر گروه‌ها داشت و بر اساس شاخص DI نیز در رده دوم

جدول ۴- میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه، میانگین رقم شاهد و میانگین لاین های برتر به همراه شماره لاین های برتر در هر شاخص

Table 4. Mean, standard deviation, maximum, minimum, mean of check, mean and no of superior lines

شاخص	میانگین کل لاین ها	حداقل	حداکثر	رقم شاهد (ساجی)	میانگین لاین های برتر	لاین های برتر بر اساس شاخص مورد نظر
Index*	Grand mean	Min.	Max.	Check (Saji)	Mean of superior lines	Superior lines
Yp	8.55±1.05	5.97	11.05	8.33	10.31	50, 38, 46, 123, 157, 81, 41, 39, 91, 93, 29, 90, 199, 56, 183
Ys	6.32±0.77	3.64	8.15	6.54	7.65	22, 192, 116, 123, 105, 197, 199, 31, 125, 191, 126, 124, 41, 93, 127
MP	7.44±0.77	4.91	9.20	7.43	8.71	123, 50, 46, 38, 41, 199, 116, 93, 29, 105, 159, 157, 197, 191, 22
TOL	2.22±1.01	0.13	4.66	1.79	0.54	189, 115, 22, 31, 202, 98, 192, 7, 62, 160, 144, 124, 211, 14, 32
SSI	0.98±0.38	0.08	1.97	0.82	0.28	189, 115, 22, 31, 202, 192, 98, 124, 7, 144, 211, 160, 127, 62, 125
STI	0.74±0.15	0.31	1.13	0.75	1.01	123, 50, 199, 116, 46, 41, 38, 93, 105, 29, 159, 197, 22, 191, 157
GMP	7.34±0.76	4.74	9.09	7.38	8.60	123, 50, 199, 116, 46, 41, 38, 93, 105, 29, 159, 197, 22, 191, 157
YI	1.00±0.12	0.58	1.29	1.03	1.21	22, 192, 116, 123, 105, 197, 199, 31, 125, 191, 126, 124, 41, 93, 127
DI	0.75±0.16	0.34	1.23	0.81	1.05	22, 192, 31, 125, 124, 127, 126, 144, 197, 23, 115, 105, 211, 98, 12
ATI	12.21±5.89	0.55	26.61	9.75	2.84	189, 115, 202, 31, 22, 98, 7, 62, 160, 192, 14, 144, 211, 124, 32
SSPI	13.02±5.90	0.73	27.27	10.44	3.16	189, 115, 22, 31, 202, 98, 192, 7, 62, 160, 144, 124, 211, 14, 32
SNPI	3.84±0.90	2.53	8.22	3.89	5.99	189, 115, 22, 31, 192, 202, 98, 124, 144, 125, 127, 7, 211, 12, 32
MRP	2.00±0.21	1.30	2.47	2.01	2.34	123, 50, 199, 46, 116, 41, 38, 93, 105, 29, 159, 22, 197, 157, 191
REI	1.01±0.20	0.42	1.53	1.01	1.37	123, 50, 199, 116, 46, 41, 38, 93, 105, 29, 159, 197, 22, 191, 157
MSTik1	0.79±0.33	0.16	1.76	0.71	1.44	50, 123, 46, 38, 41, 157, 199, 93, 92, 116, 159, 39, 105, 56, 183
MSTik2	0.79±0.32	0.10	1.71	0.80	1.43	123, 22, 116, 199, 105, 41, 192, 197, 93, 191, 46, 29, 159, 125, 50
HARM	7.24±0.76	4.58	8.98	7.33	8.50	123, 116, 199, 41, 46, 50, 93, 105, 29, 38, 159, 22, 197, 191, 192
Red	25.37±9.92	2.10	51.09	21.45	7.23	189, 115, 22, 31, 202, 192, 98, 124, 7, 145, 211, 160, 127, 62, 125
RDI	1.01±0.13	0.66	1.32	1.06	0.78	189, 115, 22, 31, 202, 192, 98, 124, 7, 145, 211, 160, 127, 62, 125
GM	9.66±10.47	2.91	94.23	8.33	3.74	189, 115, 22, 31, 202, 192, 98, 124, 7, 145, 211, 160, 127, 62, 125
DTE	74.63±9.92	48.91	97.90	78.55	57.46	189, 115, 22, 31, 202, 192, 98, 124, 7, 145, 211, 160, 127, 62, 125

\* عنوان کامل شاخص ها در جدول ۲ ارائه شده است.

\*The full names of the indices are presented in Table 2.

ضرایب همبستگی پایین نیز معنی دار گردید. بنابراین می توان بیان داشت که تنها ۷ شاخص YI، TOL، DI، ATI، SSPI، SNPI و GM دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه دو محیط بودند و دیگر شاخص ها همبستگی بالایی با عملکرد دو محیط داشتند و شاخص های مناسبی برای تعیین ژنوتیپ های متحمل تنش انتهایی بودند. براساس نتایج یک مطالعه انجام شده، شاخص های MP، GMP، YI، HAM و STI همبستگی بالایی با عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیر تنش نشان دادند (Akbarabadi *et al.*, 2015) و لذا این شاخص ها برای ارزیابی تحمل خشکی و رسیدن

با توجه به این که شاخص هایی برای انتخاب ژنوتیپ های متحمل خشکی مناسب هستند که دارای همبستگی بالا با عملکرد در دو محیط باشند، در جدول ۶ همبستگی بین شاخص ها با دو محیط مورد آزمایش ارائه شده است. همچنان که ملاحظه می شود تنها دو شاخص ATI و DI فقط با یک محیط همبستگی معنی دار داشتند و دیگر شاخص ها دارای همبستگی معنی دار با دو محیط بودند. اما با توجه به اینکه تعداد لاین در بررسی همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت احتمال معنی دار شدن ضریب همبستگی زیاد شد و بر همین اساس

جدول ۵- میانگین گروه های حاصل از تجزیه خوشه ای در هر شاخص به همراه تعداد لاین های قرار گرفته در هر گروه

Table 5. Means and number of lines included in each group of cluster analysis

شاخص	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
Indices	Group1	Group2	Group3	Group4	Group5	Group6
Yp	<u>10.28*</u>	9.15	9.32	8.41	7.01	6.54
Ys	<u>7.32</u>	6.92	4.82	6.13	5.74	3.85
MP	<u>8.80</u>	8.04	7.07	7.27	6.37	5.20
TOL	2.96	2.23	4.49	2.27	<u>1.27</u>	2.68
SSI	1.10	0.91	1.86	1.03	<u>0.68</u>	1.58
STI	<u>1.03</u>	0.86	0.62	0.71	0.55	0.35
GMP	<u>8.67</u>	7.94	6.70	7.17	6.33	5.02
YI	<u>1.16</u>	1.09	0.76	0.97	0.91	0.61
DI	0.83	<u>0.84</u>	0.39	0.71	0.75	0.36
ATI	18.99	13.08	22.29	12.11	<u>5.91</u>	10.00
SSPI	17.33	13.04	26.29	13.30	<u>7.45</u>	15.70
SNPI	3.70	4.10	2.66	3.60	<u>4.44</u>	2.61
MRP	<u>2.36</u>	2.17	1.85	1.95	1.73	1.37
REI	<u>1.39</u>	1.17	0.83	0.95	0.74	0.47
MSTik1	<u>1.49</u>	1.00	0.74	0.69	0.37	0.21
MSTik2	<u>1.38</u>	1.05	0.36	0.67	0.46	0.13
HARM	<u>8.53</u>	7.85	6.35	7.08	6.29	4.85
Red	28.58	23.69	48.29	26.71	<u>17.69</u>	41.05
RDI	0.97	1.03	0.70	0.99	<u>1.11</u>	0.80
GM	6.34	10.54	3.15	7.17	<u>18.38</u>	3.87
DTE	71.42	76.31	51.71	73.29	<u>82.31</u>	58.95
تعداد لاین	12	44	4	شاهد+68	24	2
No of lines				68+Check		

\* مواردی که زیر آنها خط کشیده شده است، گروه برتر برای شاخص مورد نظر می باشد.

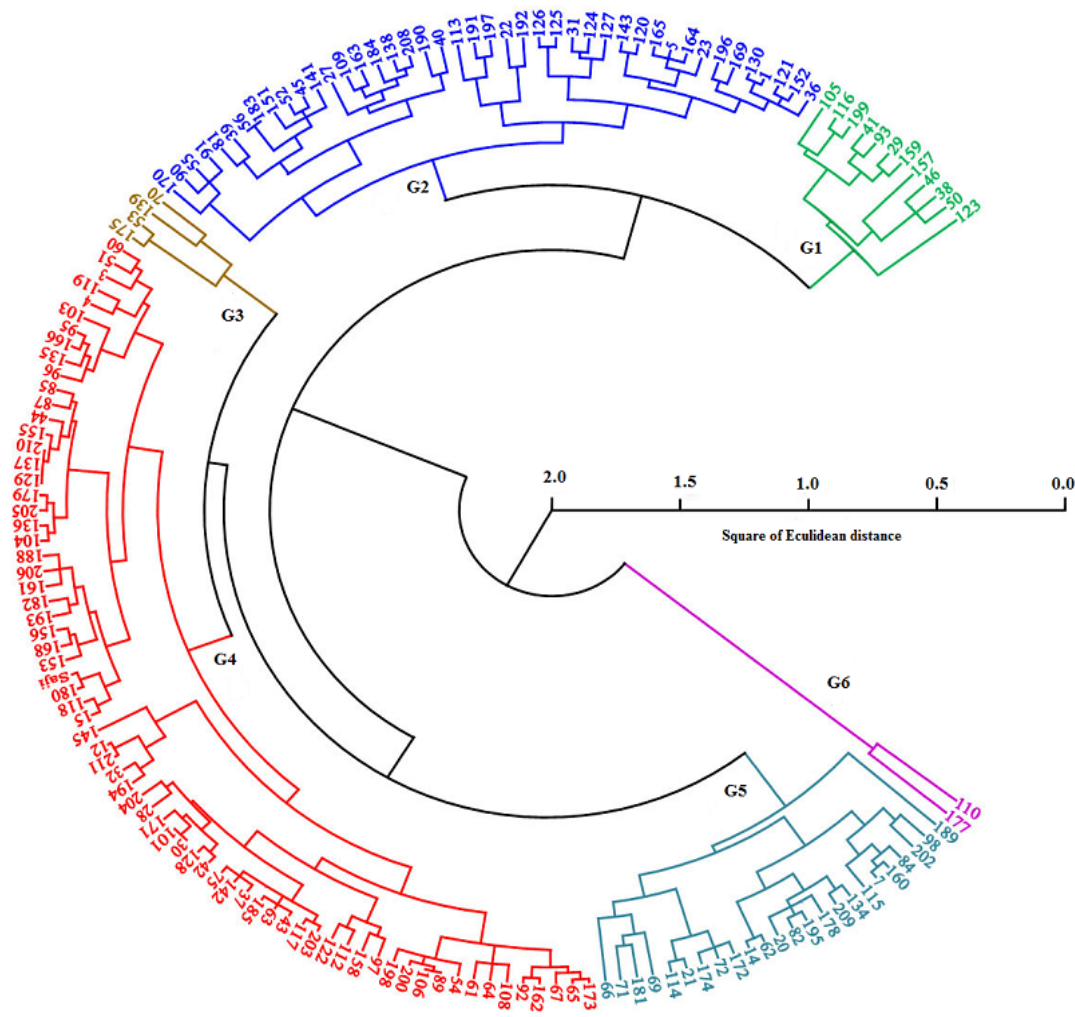
\*The underlined values refer to superior group for the related index

\*عنوان کامل شاخص ها در جدول ۲ ارائه شده است.

\*The full names of the indices are presented in Table 2.

موجود در ساختار داده ها را توجیه نمودند که در مجموع این دو مولفه ۹۹/۶۰ درصد از واریانس را توجیه کردند. در مولفه اول عملکرد محیط نرمال به همراه شاخص های TOL، SSI، ATI، SSPI و Red بیشترین سهم منفی را داشتند و عملکرد محیط تنش انتهایی به همراه شاخص های YI، DI، SNPI، MSTik2، RDI، GM و DTE دارای بیشترین سهم مثبت

به عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش آبی مناسب می باشند. برای ۱۲ لاین برتر گروه ۱ به منظور انتخاب لاین های متحمل خشکی انتهایی تجزیه به مولفه های اصلی بر اساس تمام شاخص های تحمل خشکی انجام شد، که نتایج در جدول ۷ ارائه شده است. بر این اساس، دو مولفه اول به ترتیب ۶۵/۹۸ و ۳۳/۹۲ درصد از واریانس



شکل ۱- نمودار تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA و فاصله اقلیدسی به عنوان معیار فاصله‌ای برای گروه بندی لاین‌های گندم دوروم مورد بررسی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 1. Cluster analysis diagram using UPGMA method and Euclidean distance for classification of the studied durum wheat lines based on drought tolerance indices

و Red حساسیت پایینی به تنش خشکی آخر فصل داشتند. در مولفه دوم شاخص‌های MP، STI، GMP، REI، MSTik1 و HARM دارای بیشترین سهم مثبت بودند. بنابراین لاین‌هایی که بر اساس این مولفه مقدار بالایی داشتند دارای تحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های MP، STI، GMP، REI، MSTik1 و HARM بودند. بای پلات حاصل از دو مولفه اول (شکل

بودند. بنابراین لاین‌هایی که بر اساس این مولفه بیشترین مقدار را داشتند، در شرایط تنش خشکی آخر فصل دارای عملکرد بالایی بودند و لذا می‌توان گفت بر اساس شاخص‌های YI، DI، SNPI، MSTik2، RDI، GM و DTE تحمل به خشکی انتهای فصل بالایی نیز دارند، همچنین در شرایط آبیاری بهینه دارای عملکرد کم و بر اساس شاخص‌های TOL، SSI، ATI، SSPI

جدول ۶- همبستگی بین شاخص های تحمل به خشکی با عملکرد دو محیط آبیاری بهینه و تنش آخر فصل

Table 6. Correlation of drought tolerance indices and grain yield of both normal and terminal drought conditions

شاخص ها	عملکرد محیط نرمال	عملکرد محیط تنش
Indices	Grain yield (normal environment)	Grain yield (stressed environment)
MP	0.890**	0.785**
TOL	0.720**	-0.331**
SSI	0.544**	-0.527**
STI	0.839**	0.839**
GMP	0.840**	0.843**
YI	0.416**	1.000**
DI	-0.100	0.858**
ATI	0.844**	-0.128
SSPI	0.720**	-0.331**
SNPI	-0.396**	0.524**
MRP	0.843**	0.840**
REI	0.839**	0.839**
MSTIK1	0.949**	0.612**
MSTIK2	0.619**	0.944**
HARM	0.781**	0.891**
RED	0.544**	-0.527**
RDI	-0.544**	0.527**
GM	-0.430**	0.242**
DTE	-0.544**	0.527**

\* عنوان کامل شاخص ها در جدول ۲ ارائه شده است.

\*The full names of the indices are presented in Table 2.

عملکرد دو محیط قرار داشتند. لذا می توان گفت که این شاخص ها در گزینش لاین های متحمل خشکی مناسب تر بودند. اما در بین این شاخص ها دو شاخص MP و MSTik1 به محیط نرمال تمایل بیشتر داشتند و شاخص های YI، MSTik2، HARM، STI، REI، GMP و MRP گرایش به سمت محیط تنش نشان دادند، که این نتایج با همبستگی بین شاخص ها با عملکرد دو محیط مطابقت نشان داد.

باتوجه به بای پلات مشاهده شد که در بین ۱۲ لاین برتر، لاین های G116، G199، G41 و G123 باتوجه به موقعیت آنها بهترین

(۲) نشان داد که شاخص های DI، SNPI، RDI، DTG و GM دارای یک روند بودند و این شاخص ها در بین عملکرد دو محیط تنش انتهایی و نرمال قرار نگرفتند. از طرف دیگر شاخص های ATI، SSPI، TOL، Red و SSI نیز با شاخص های اشاره شده در بالا یک روند داشتند زیرا مقدار کم این شاخص ها دلیلی بر کاهش حساسیت به تنش خشکی، یا به عبارت دیگر افزایش تحمل خشکی است و این گروه نیز بین عملکرد دو محیط قرار نداشتند و تنها شاخص های YI، MSTik2، HARM، STI، REI، GMP، MRP و MP و MSTik1 بین



تنش انتهایی می باشند، خصوصاً برتری محسوس بیشتر لاین ها نسبت به رقم شاهد نیز گواهی بر ارزشمند بودن این ژرم پلاسما بود. در یک مطالعه، با تجزیه خوشه‌ای شاخص‌های تحمل به خشکی در گندم دوروم، سه گروه بدست آمد. لاین‌هایی که در گروه سوم قرار گرفتند دارای کمترین مقادیر برای اکثر شاخص‌ها و عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بودند در حالی که لاین‌هایی که در گروه دوم قرار گرفتند از نظر میانگین اکثر شاخص‌ها و عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی لاین‌های این گروه بیشتر از میانگین کل بود. میانگین شاخص‌های SSI، TOL، SSPI و ATI در لاین‌های این گروه کمتر از میانگین کل بود که پایین بودن این شاخص‌ها خود معیاری برای تحمل بیشتر لاین‌ها به تنش را گزارش کردند (Mohammadnia et al., 2017).

### نتیجه گیری

متوسط عملکرد دانه در شرایط آبیاری بهینه ۸/۵۵ تن در هکتار بود و در شرایط تنش خشکی آخر فصل به ۶/۳۲ تن در هکتار کاهش یافت. تنش خشکی آخر فصل سبب کاهش ۲۶/۰۸ درصد میانگین عملکرد دانه شد. وجود رابطه قوی بین اکثر شاخص‌های مختلف با عملکرد دو محیط، بیانگر مناسب بودن این شاخص‌ها در گزینش ارقام متحمل به خشکی آخر فصل بود. با توجه به رابطه قوی بین این شاخص‌ها با عملکرد دو محیط، در این مطالعه YI، MSTik2، HARM، STI، REI، GMP، MRP، MP و MSTik1 شاخص‌های مناسبی، برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل بودند. در مجموع لاین‌های G116، G199، G41 و G123

لاین‌ها برای تحمل خشکی آخر فصل بودند ضمن اینکه در شرایط آبیاری بهینه نیز عملکرد مطلوبی داشتند. در مقابل، لاین‌های G50، G46 و G38 لاین‌های برتر برای شرایط آبیاری بهینه بودند ولی تحمل تنش انتهایی فصل نیز از خود نشان دادند. لاین‌های G29 و G157 هرچند در بین لاین‌های برتر بودند، اما نسبت به تنش خشکی آخر فصل تحمل پایینی در نشان دادند و منحصراً برای شرایط نرمال مناسب بودند. لاین‌های G105، G93 و G159 لاین‌های نسبتاً متحملی به شرایط تنش خشکی آخر فصل بودند، اما در شرایط آبیاری بهینه عملکرد پایینی داشتند لذا به کشاورزان قابل توصیه نیستند. بنابراین در یک جمع بندی کلی، می توان گفت لاین‌های G116، G199، G41 و G123 و خصوصاً لاین G116 این قابلیت را دارند که به عنوان ارقام مناسب برای مناطق مستعد شرایط تنش خشکی آخر فصل مد نظر قرار گیرند.

در هر حال در بین لاین‌ها نیز میزان کاهش عملکرد ناشی از تنش نسبت به محیط نرمال متفاوت بود و این مسئله در وجود تنوع در بین لاین‌ها بر اساس شاخص‌ها خصوصاً شاخص تحمل تجلی نموده است. تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌ها سبب تشخیص گروه برتر متشکل از ۱۲ لاین شد که برتری کاملاً محسوسی نسبت به دیگر لاین‌ها و رقم شاهد داشتند، بنابراین حدود ۸ درصد از لاین‌ها به عنوان لاین‌های برتر انتخاب شدند. وجود ۸ درصد لاین متحمل به کم آبیاری در بین ژنوتیپ‌ها بیانگر این مطلب است که ژرم پلاسما جدید مورد بررسی، مواد گیاهی ارزشمندی برای اصلاح ارقام متحمل به

جدول ۷- مقادیر و بردارهای ویژه شاخص های تحمل به خشکی در لاین های گروه برتر

Table 7. Amount and vectors of drought tolerance indices for superior group of wheat lines

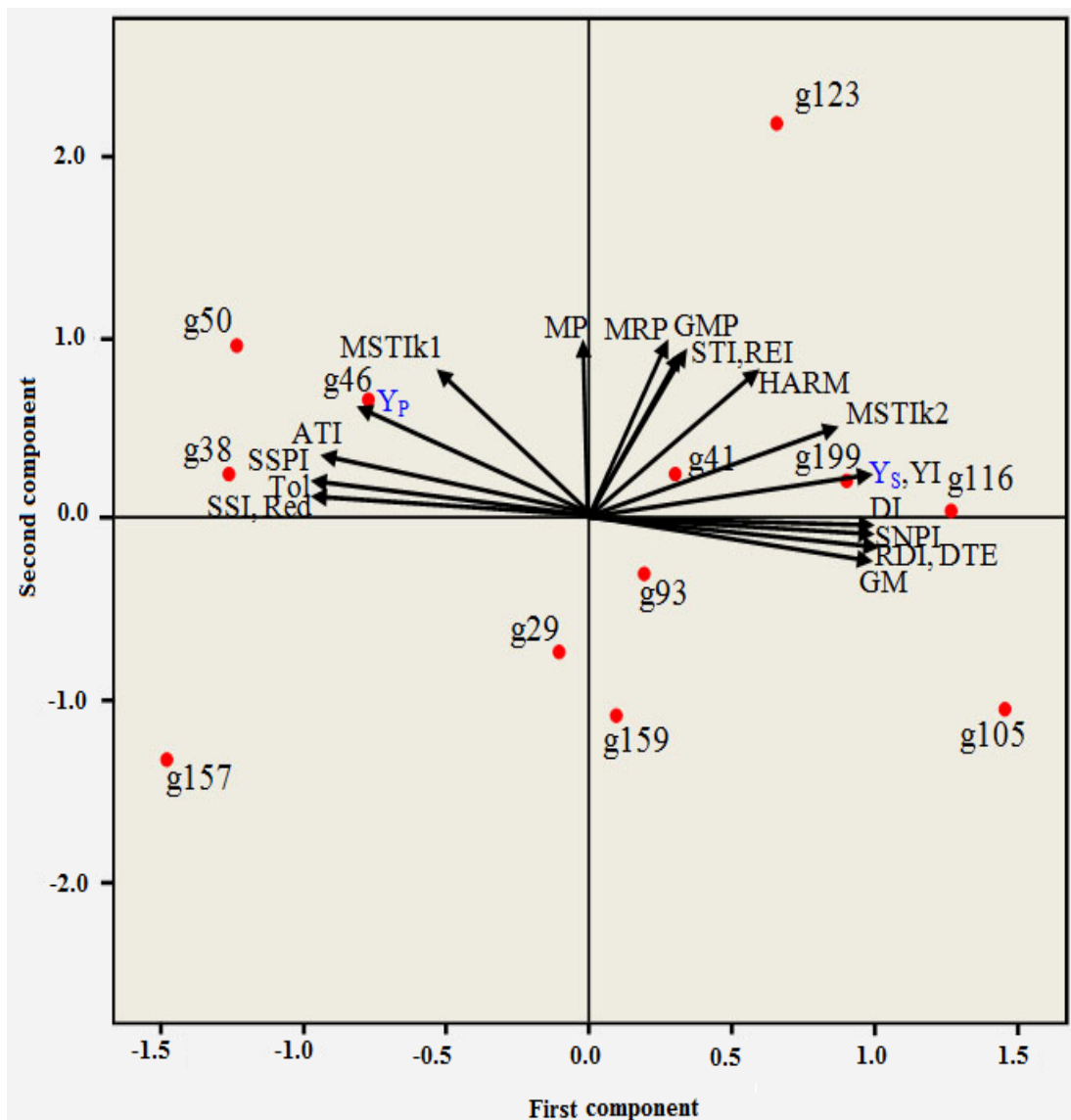
شاخص ها Indices	PC1	PC2
Y <sub>p</sub>	-0.582	-0.812
Y <sub>s</sub>	0.261	0.965
MP	0.999	-0.033
TOL	0.225	-0.973
SSI	0.152	-0.988
STI	0.948	0.317
GMP	0.948	0.319
YI	0.261	0.965
DI	-0.004	1.000
ATI	0.308	-0.950
SSPI	0.225	-0.973
SNPI	-0.109	0.987
MRP	0.961	0.276
REI	0.948	0.317
MSTik1	0.845	-0.531
MSTik2	0.519	0.853
HARM	0.802	0.594
Red	0.152	-0.988
RDI	-0.152	0.988
GM	-0.202	0.956
DTE	-0.152	0.988
مقادیر ویژه Eigen values	7.06	13.85
درصد از واریانس Percent of variance	33.62	65.98
واریانس تجمعی Cumulative variance	99.60	65.98

\* عنوان کامل شاخص ها در جدول ۲ ارائه شده است.

\*The full names of the indices are presented in Table 2.

G93 و G159 لاین های نسبتاً متحملی به شرایط تنش خشکی آخر بودند اما در شرایط آبیاری بهینه، عملکرد پایینی داشتند. بنابراین در یک جمع بندی کلی لاین های G116، G199، G41 و G123 و خصوصاً لاین G116 این پتانسیل را دارند که برای معرفی به عنوان ارقام جدید گندم دوورم برای عرضه به کشاورزان مناطق مستعد به خشکی آخر فصل مد نظر قرار گیرند.

لاین های برتر در تحمل به خشکی آخر فصل بودند و در شرایط آبیاری بهینه نیز عملکرد مطلوبی داشتند. از طرف دیگر سه لاین برتر شرایط آبیاری بهینه یعنی لاین های G50، G46 و G38، دارای تحمل به تنش آخر فصل نیز بودند. در بین لاین های برتر، دو لاین G29 و G157 تحمل به تنش پایینی نشان دادند و تنها برای شرایط نرمال مناسب بودند. لاین های G105،



شکل ۲- بای پلات حاصل از مولفه اول و دوم تجزیه به مولفه های اصلی لاین های برتر بر اساس شاخص های تحمل به خشکی

Figure 2. Biplot of first and second components of principal component analysis according to drought tolerance indices

## References

- Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul Karim, S. T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., and Dai, T. 2016. Improved tolerance to post anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106: 218-227.
- Ahmadi, G. H., Tovmasyan, G., Jalal Kamali, M. R., Khodarahami, M., and Aghaei, M. 2010. Selection of terminal drought tolerate bread wheat genotypes via field and laboratory indices. Proceeding of 8<sup>th</sup> International wheat Conference. St. Petersburg, Russia. June 1-4. 2010. pp:150.
- Akbarabadi, A., Kahrizi, D., Rezaizad, A., Ahmadi, G.H., Ghobadi, M., and Molsaghi, M. 2015. Study of variability of bread wheat lines based on drought resistance indices. *Biharean Biologist*, 9 (2), 88-92.
- Anonymous, 2015. [www.ag.ndsu.edu/plantsciences/research/durum/](http://www.ag.ndsu.edu/plantsciences/research/durum/). Accessed March, 2015.
- Anonymous, 2018. <http://amar.mja.ira>. Accessed February, 2019.
- Bennani, S., Nsarellah, N., Jlibene, M., Tadesse, W., Birouk, A., and Ouabbou, M. 2017. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. *Australian Journal of Crop Science*, 11(04), 395-405.
- Blum, A., Sinemina, B., and Ziv, D. 1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening tests in wheat. *Euphytica*, 29: 727-736.
- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933-937.
- Farshadfar, E., and Javadinia, J. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Improvement journal*, 27(4), 517-537.
- Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communication*, 31: 33-39.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceeding of Symposium. Taiwan, 13-16 Aug. Chapter 25. Pp: 257-270.
- Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
- Fischer, R.A., and Wood, J.T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of*

- Agricultural Research*, 30: 1001-1020.
- Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H., and Langridge, P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61(12), 3211-3222.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R.G., Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523- 531.
- Golabadi, M., Arzani, A., and Mirmohammadi Maibody, S.A.M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1(5), 162-171.
- Gonzalez, A., Bermjo, V., and Gimeno, B.S. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *Journal of Agricultural Science*, 148: 319–328.
- Hossain, A.B.S., Sears, A.G., Cox, T.S., and Paulsen, G.M. 1999. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30: 622-627.
- Kaloo, G. 1992. Utilization of wild species .In: G. Kaloo and J.B. Chowdhury (eds), Distant Hybridization of Crop Plants. Springer Verlag. Pp.149-167.
- Khan, N., and Naqvi, F.N. 2011. Effect of water stress in bread wheat hexaploid. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 3(5), 487-498.
- Kilic, H., and Yagbasanlar, T. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum durum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal*, 38 (1),164-170.
- Kirigwi, F.M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Sears, R.G., Rajaram, S., and Paulsen, G.M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, 135: 361–371.
- Kissing Kucek, L., Veenstra, L.D., Amnuaycheewa, P., and Sorrells, M.E. 2015. A Grounded guide to gluten: how modern genotypes and processing impact wheat sensitivity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 00: 1-18. doi: 10.1111/1541-4337.12129.
- Kristin, A.S., Senra, R.R., Perez, F.I., Enriques, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallego, P.R., Wassimi, N., and Kelley, J.D. 1997. Improving common Bean Performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
- Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7:85-87.
- Mohammadnia, S., Asghari, A., Sofalian, O., Mohammaddoust, H., and Karimizadeh, R. 2017. Evaluation of durum wheat lines using seed yield

- based indices in drought condition and relation between these indices. *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 11-23 (Abstract in Persian).
- Moosavi, S.S., Samadi, Y.B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.
- Moradi, H., Akbari, G.A., Khorasani, S.K., and Ramshini, H.A. 2012. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea Mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. *European Journal of Sustainable Development*, 1(3), 543-560.
- Naderi, A., Majidi, I., Dezfuli, A. H., Rezai, A. M., and Mohammad, G. N. 1999. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Seed and Plant*, 4:390-402.
- Najafi Mirak, T. 2018. Study of yield stability and adaptability of elite lines in uniform regional durum wheat yield trials in temperate zone (ERDYT-M94). Final report of Project No: 0-03-03-94206. Seed and plant Improvement institute. Karaj, Iran.
- Najafian, G. 2009. Drought tolerance indices, their relationships and manner of application to wheat breeding programs. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 24-34.
- Pfeiffer, W.H., Reynolds, M.P., and Sayre, K.D. 2000. Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. In "Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges". Royo, C., Nachit, M., Di Fonzo, N. and Araus, J.L. (Eds.). *Zaragoza, CIHEAM*, Pp: 83-93.
- Rebetzke, G.J., and Richards, R.A. 2000. Gibberellic acid-sensitive dwarfing genes reduce plant height to increase kernel number and grain yield of wheat. *Australian Journal of Agriculture Research*, 51: 235-245.
- Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-949.
- Royo, C., Garcia del Moral, L.F., Aparicio, N., Villegas, D., Casadesús, J., and Araus, J.L. 2000. Tools for improving the efficiency of durum wheat selection under Mediterranean conditions. In "Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges". Royo, C., Nachit, M., Di Fonzo, N. and Araus, J.L. (Eds.). *Zaragoza, CIHEAM*, Pp: 63-70.
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., Ohm, J.B., Verhoeven, M.C., Larson M., and Hoefler, B. 2008. White spring wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization and water stress. *Agronomy Journal*, 100: 414-420.



- Schuhwerk, D., Nakhforoosh, A., Kutschka, S., Bodner, G., and Grausgruber, H. 2010. Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. Proceeding of 61th Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkauffl eute Österreichs, 147-154.
- Shewry, P.R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537-1553.
- Siddique, M.R.B., Hamid, A., and Islam, M.S.1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin Academia Sinica*, 40: 141-145.
- Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. *Nature*, 9: 444-457.
- Talebi, R., Fayyaz, F., and Naji, A.M. 2010. Genetic variation and interrelationships of agronomic characteristics in durum wheat under two constructing water regimes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(4), 785-791.
- Uddin, N., Carver, B.F., and Clutter, A.C. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. *Euphytica*, 62: 89-96.

## Evaluation of response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines to terminal drought stress

Ahmadi, Gholam Hossein<sup>1</sup>, Siosemarde, Adel<sup>2\*</sup>, Sohrabi Yousef<sup>2</sup> - Jalal kamali, Mohamad Reza<sup>3</sup>

1. Graduate student of university of Kurdistan and Agricultural and Natural Resource Research and Education Center of Kermanshah, AREEO, Iran
2. Faculty of agriculture, university of Kurdistan . (Corresponding author)
3. Senior wheat scientist of International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).

Received: February 2019 Accepted: April 2020 - DOI: 10.22092/aj.2019.125259.1384

### Extended Abstract

**Ahmadi, Gh., Siosemarde, A., Sohrabi Y., Jalal kamali, M. R.,** Evaluation of response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines to terminal drought stress  
**Applied Research in Field Crops** Vol 33, No. 1,2020 4-6: 23-43(in Persian)

### Introduction:

The main production site for durum wheat is the dry Mediterranean regions and achieving high grain yields is the main goal for durum wheat cultivation. This crop is mainly grown in warm, temperate and temperate-warm zones of Iran. On the other hand, drought stress, especially terminal drought stress (TDS), is one of the most important factors limiting cultivation of wheat in various environments (Kilic & Yagbasanlar, 2010). TDS usually occurs during the grain filling period in the Mediterranean countries (Golabadi *et al.*, 2006). Generally, drought resistance is an unpredictable and complex trait whose effects depend on growth stage of crop. Lack of drought tolerant cultivars and occurrence of drought periods during wheat growing season are the main causes of fluctuation in wheat productivity in Iran. Drought resistance indices are widely used by researchers for the screening and selection of drought tolerant wheat genotypes (Bennani *et al.*, 2017). Desirable indices should show high correlation with grain yield (GY) under both normal irrigation and TDS conditions. Thus, this study was conducted to identify high-

Email address of the corresponding author: a33@UOK. ac.ir

yielding and terminal-drought adapted durum wheat genotypes using drought tolerance indices under temperate climatic conditions of Kermanshah province.

#### **Material and Methods:**

The 154 durum wheat lines obtained from International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) along with Saji cultivar as check were investigated under normal irrigation and TDS conditions at Islamabad Agricultural Research Station across 2013-14 and 2014-15 cropping seasons. Each plot consisted of 2 rows, 2m in length with 32.5cm row spacing. Seed density was considered 450 seeds per m<sup>2</sup>. Sowing was done by hand. Irrigation cut was at booting stage ( $Z = 4.5$ ) of crop. The grain yield (GY) (Kg/ha) of the two years was used to calculate 21 drought tolerance indices including MP, TOL, SSI, STI, GMP, YI, DI, ATI, SSPI, SNPI, MRP, REI, MSTik1, MSTik2, HARM, Red, RDI, GM, and DTE. The cluster analysis and biplot graphs construction were done using SPSS and SYSTAT 13 software respectively.

#### **Results and Discussion:**

The mean GY under normal irrigation and TDS conditions was 8.550 and 6.320 ton/ha, respectively. It showed that drought stress caused a 26.1% reduction in GY. The lines exhibited high variation for GY as it was reduced under TDS condition. All indices, excluding DI and ATI, showed high correlation with GY under both normal and TDS conditions. High variation was observed among the studied lines for GY and drought resistance indices. The desirable drought tolerance indices for the identification of drought tolerate genotypes were MP, MRP, GMP, REI, STI, HARM, MSTk2 and YI. The cluster analysis by using UPGMA method and square of Euclidean distance classified the evaluated lines into six groups. According to the drought resistance indices and the yield performance in the both environments, the 12 genotypes consisting of G29, G38, G41, G46, G50, G93, G105, G116, G123, G157, G159 and G199 were assigned to first group, which showed remarkable advantages over other groups. The results of the principal component analysis indicated that G116, G199, G41 and G123 lines were the best genotypes under TDS and normal irrigated conditions. The G29 and G157 lines were among the superior lines with less resistance to TDS but suitable for optimal conditions,

whereas G105, G93 and G159 lines were relatively resistant to TDS with low yield under normal irrigation. Totally, four genotypes including G41 (STORLOM/3/ RASCON\_37/ TARRO\_2// RASCON\_37/4/...), G116 (SIMETO/4/ DUKEM\_1// PATKA\_7/ YAZI\_1/3/ PATKA\_7/...), G123 (ADAMAR\_15/ PLATA\_18/3/ SORA/ 2\*PLATA\_12// SOMAT\_3/6/...) and G199 (PLATA\_10/6/ MQUE/4/ USDA573// QFN/AA\_7/3/ ALBA-D...), particularly G116 line, showed potential as candidates to be released as new cultivars, and recommended to wheat growers experiencing TDS conditions. At least a screening period for the crop materials under TDS condition prior to using them in studies under normal and TDS conditions is highly recommended to wheat breeders.

**Keywords:** Drought tolerance indices, Cluster analysis, Durum wheat lines

**References:**

- Bennani, S., Nsarellah, N., Jlibene, M., Tadesse, W., Birouk, A., and Ouabbou, M. 2017. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. *Australian Journal of Crop Science*, 11(04):395-405.
- Golabadi, M., Arzani, A., and Mirmohammadi Maibody S.A.M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1(5): 162-171.
- Kilic, H., and Yagbasanlar, T. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum durum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal*, 38 (1):164-170.