



کارایی آنالیزهای آماری GGE بای پلات و AMMI در بررسی پایداری و سازگاری عملکرد لاین‌های گندم دوروم در مناطق مختلف

بهزاد صادق‌زاده^{۱*}، رضا محمدی^۲، حسن احمدی^۳، غلامرضا عابدی‌اصل^۴، غلامرضا خلیل‌زاده^۵، مهناز محمدفام^۱، نوذر بهرامی^۲، اسماعیل‌زادحسن^۱، محمدشرف‌خالدیان^۳ و مقصود حسن‌پورحسینی^۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۵

چکیده

برهمکنش ژنوتیپ × محیط در مورد عملکرد گندم دوروم باعث می‌شود که نتوان یک رقم اصلاح شده پرمحصول را برای مناطق مختلف توصیه کرد. لذا به منظور بررسی پایداری و سازگاری عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در مناطق مختلف دیم، تعداد ۱۶ لاین پیشرفته دوروم به مدت سه سال زراعی (۹۴-۱۳۹۱) در مناطق مراغه، کردستان، سرارود، اردبیل و ارومیه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار تحت شرایط دیم ارزیابی شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ در محیط اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده گردید. بر اساس نتایج GGE بای پلات، محیط‌ها به سه گروه و ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تفکیک شدند. ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از آماره پایداری امی (ASV) و GGE بای پلات نشان داد که امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول بین لاین‌های پیشرفته نسبت به ارقام شاهد وجود دارد و لاین‌هایی نظیر G-1252 و 61-130/414-44// در مناطق سردی مثل مراغه، قاملو و منطقه معتدل سرارود و لاین ۱۰ در اردبیل می‌توانند منبع ژنتیکی مطلوبی برای معرفی ارقام دوروم متحمل به تنش‌های خشکی و سرما در دیمزارهای این مناطق باشند. در مجموع، طی سه سال، لاین-61-130/414-44// به‌طور میانگین ۲۷ درصد عملکرد بیشتری نسبت به رقم شاهد (ساجی) داشت. انجام آبیاری در مراحل کشت و اوایل گرده‌افشانی توانست عملکرد عمومی لاین‌ها را ۱۴ و ۶۸ درصد به ترتیب در مناطق مراغه و سرارود افزایش دهد که این افزایش برای لاین 61-130/414-44// در منطقه مراغه ۱۷ درصد و در سرارود ۳۷ درصد بودند. در نهایت، بر اساس نتایج GGE بای پلات و AMMI، امکان گزینش لاین‌های پیشرفته گندم دوروم با پایداری و عملکرد زیاد نسبت به شاهد (ساجی) وجود دارد. به علاوه، نتایج AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) در مقایسه با نتایج GGE بای پلات نشان داد تمامی این شاخص‌ها از پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و این در حالی است که نتایج GGE بای پلات در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بسیار کارآ و کاربردی‌تر بوده و می‌تواند به صورت گسترده‌ای در بررسی لاین‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح گندم دوروم و سایر غلات به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: پایداری، دوروم دیم، ژنوتیپ × محیط، سازگاری، سردسیر.

- ۱- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
- ۲- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سرارود، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
- ۴- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
- ۵- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

مقدمه

ضرورت توجه به گندم دوروم جهت تهیه ماکارونی باکیفیت مطلوب به تبع افزایش روزافزون جمعیت انسانی و نیاز مبرم به مواد اولیه مورد لزوم، در حال حاضر بیش از پیش آشکار است. دوروم دومین گونه مهم جنس گندم در دنیا بوده و حدود ۱۰٪ از کل مساحت کشت جهانی گندم به کشت آن اختصاص دارد؛ و بیشترین مساحت کشت این محصول (۱۱ میلیون هکتار) در منطقه مدیترانه قرار دارد (Nachit, 2002). بر اساس آمار سال ۹۰-۱۳۸۹ (Anonymus, 2011)، بیش از ۲۱۰ هزار هکتار از زمین‌های زیر کشت غلات در ایران به گندم دوروم اختصاص دارد که اکثراً در مناطق معتدل سرد تا مناطق گرم واقع شده است. از این میزان سطح زیر کشت، تقریباً ۳۵٪ به صورت دیم است. در طی این سال، در مجموع بیش از ۵۵۰ هزار تن گندم دوروم تحت شرایط آبی و دیم تولیدشده؛ به عبارتی متوسط عملکرد ۲/۶ تن در هکتار است، که متأسفانه این میزان در مناطق دیم تنها ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

ایران از نظر منابع آبی محدودیت دارد به نحوی که با میانگین بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یک‌سوم متوسط بارندگی جهان را دارد. از سوی دیگر از حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی، تقریباً ۶/۲ میلیون هکتار (۳۳٪) به کشت دیم اختصاص دارد که بیش از ۸۰٪ اراضی دیم کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر بارندگی دارند (Heidari-Sharifabad, 2008). از این رو قسمت اعظم نواحی زیر کشت گندم دوروم دیم در کشور با مشکل کمبود بارش و نیز عدم پراکنش مناسب بارندگی در طی فصل رویشی مواجه می‌باشند. به‌طور کلی، بیش از ۸۰ درصد تغییرات عملکرد

دانه غلات، در نواحی غرب آسیا و شمال آفریقا، ناشی از نوسان بارندگی‌های فصلی است (Hamdan and Smets, 2013). در دیم‌زارها علاوه بر خشکی، سرما نیز از عوامل عمده محدود کننده تولید گندم دوروم بوده که مانع از پراکنش و افزایش سطح زیر کشت، بقا و تولید بهینه آن می‌گردد. تحمل به سرما و یخبندان در گندم یک صفت ثابت و پایداری نبوده بلکه نسبت به شرایطی چند از قبیل درجه حرارت، طول روز، مرحله بلوغ گیاه، تغذیه و سن فیزیولوژیکی گیاه تغییر می‌کند (Bray et al., 2000).

با توجه به وجود تنش‌های محیطی گرما، سرما و خشکی و خسارات قابل توجه آنها در تولید محصول دوروم در دیم‌زارها، بررسی واکنش ژنوتیپ و لاین‌های گندم دوروم به تنش‌های محیطی بسیار مورد توجه محققین است. از این رو عملکرد دانه و پایداری آن در مناطق و سالیان متعدد همیشه به‌عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی ارقام گندم دوروم مورد استفاده قرار گرفته است (Trethowan and Reynolds, 2007). تهیه ارقام اصلاح شده و سازگار با عملکرد بالا برای هر محیط زمان‌بر و پرهزینه است، لذا باید سعی در معرفی ارقامی کرد که برای چند منطقه مختلف قابل توصیه باشند تا بتوانند در کلیه مناطق اقلیمی مشابه و یا حداقل در اغلب آن مناطق عملکرد قابل قبولی داشته و بالاترین پایداری عملکرد و سازگاری را داشته باشند (Akcira et al., 2005). ولی در نظر گرفتن عملکرد (یک صفت پیچیده ژنتیکی) به‌عنوان شاخص اصلی انتخاب جهت انتخاب لاین‌های برتر، با توجه به متغیر بودن عوامل دخیل در عملکرد طی سال‌ها و مکان‌های مختلف و پایین بودن وراثت‌پذیری آن مخصوصاً تحت شرایط تنش، سخت است.

بود. بر اساس نتایج GGE بای پلات، ۶ منطقه به ۲ مگا محیط متعلق بودند.

صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh *et al.*, 2015) در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های گندم دوروم در مناطق سرد و معتدل گزارش کردند که با استفاده از آماره پایداری امی (ASV) و GGE بای پلات، امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در بین لاین‌های پیشرفته دوروم نسبت به ارقام شاهد وجود داشته و لاین‌هایی نظیر راسکون در مناطق سردی مثل مراغه، قاملو و اردبیل می‌تواند منبع ژنتیکی مطلوبی برای معرفی ارقام دوروم متحمل به تنش‌های خشکی و سرما در دیمزارهای این مناطق باشد.

در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است؛ البته باید توجه کرد بررسی دو اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بایستی به صورت توأم صورت گیرد. اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده و قابل بهره‌برداری نیست. لذا حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط (GE) حایز اهمیت است (Gauch and Zobel, 1996). روش GGE بای پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر هم‌زمان و به صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (Yan and Kang, 2003). از این‌رو، در GGE بای پلات، اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط از هم تفکیک نشده‌اند. گاچ (Gauch, 2006) معتقد است روش AMMI به علت تفکیک این اثرات از یکدیگر همواره بر GGE بای پلات ارجحیت دارد و یا حداقل از نظر دقت با آن برابر است، ولی یان و همکاران (Yan *et al.*,

برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مورد عملکرد موجب شده که نتوان یک رقم اصلاحی پرمحصول را برای مناطق مختلف توصیه کرد؛ از این‌رو بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط قبل از معرفی ارقام جدید پرمحصول با پایداری و سازگاری بالا ضروری است.

در صورت وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ارزیابی لاین‌های جدید در محیط‌های مختلف توسط اصلاح‌گران یک ضرورت محسوب می‌شود. برهمکنش ژنوتیپ در محیط درجه‌ای از عدم اطمینان در اندازه‌گیری برتری هر ژنوتیپ را نشان می‌دهد. این عدم اطمینان با بزرگ شدن برهمکنش افزایش می‌یابد. روش‌های آماری زیادی برای مشخص کردن وضعیت اثر محیط ابداع شده که معمولاً آنها را به دو گروه پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌کنند. روش‌های پارامتری خود به دو گروه یک متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شوند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد ناحیه‌ای، روش‌های آماری GGE بای پلات، AMMI و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود که بر پایه تجزیه به مقادیر منفرد بنا شده‌اند (Gauch, 2006). به‌عنوان مثال، استفاده از روش GGE بای پلات و مدل AMMI در سال‌های اخیر به‌عنوان ابزار تجزیه‌ای قوی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط مورد استفاده قرار گرفته است (Yan and Kang, 1992; Gauch, 2003). راد و همکاران (Rad *et al.*, 2013) در بررسی عملکرد ۳۶ ژنوتیپ گندم در ۶ منطقه با استفاده از GGE بای پلات و روش AMMI، مشاهده کردند این تجزیه‌ها قادر به تفکیک برهمکنش ژنوتیپ × محیط از اثر اصلی ژنوتیپ

سرارود، اردبیل و ارومیه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار تحت شرایط دیم بررسی شدند. به‌علاوه به‌منظور مطالعه واکنش ژنوتیپ‌ها به آبیاری تکمیلی، این آزمایش در قالب آبیاری تکمیلی نیز در مراغه و سرارود کشت گردید. هر ژنوتیپ در ۶ خط ۶ متری بافاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع کشت گردید.

برای آماده‌سازی قطعه زمین آزمایش، در پاییز سال قبل، از شخم به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر و در بهار سال اجرای آزمایش قبل از گلدهی علف‌های هرز از پنجه‌غازی و در پاییز قبل از کاشت از دیسک استفاده گردید. نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در مراغه نشان می‌دهد، میزان رس خاک ۴۰ درصد با pH برابر ۷/۷ با بافت خاک لومی رسی و درصد آهک ۴/۱ با ماده کربن آلی ۰/۷ درصد می‌باشد. نیتروژن مورد نیاز گندم در قطعه زمین آزمایش بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره و تماماً در پاییز مصرف شد. فسفر به میزان ۲۰ کیلوگرم به‌صورت P_2O_5 در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت مصرف شد. در سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه نیز تهیه زمین آزمایش و سایر عملیات زراعی بر اساس روال معمول در ایستگاه تحقیقات کشاورزی انجام گردید.

در طول دوره رویشی مراقبت‌های زراعی و یادداشت‌برداری از صفات قدرت رشد اولیه، خسارت سرمای زمستانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیک، وزن هزار دانه، و عملکرد دانه انجام گرفت (Pask *et al.*, 2012). پس از برداشت کرت‌های آزمایش و انجام

اعتقاد دارند روش GGE بای‌پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط از روش AMMI موفق‌تر است، چرا که از دیدگاه اصلاح‌گران گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس اثر اصلی ژنوتیپ و یا برهمکنش ژنوتیپ × محیط به تنهایی مد نظر نیست.

تنوع ژنتیکی برای تحمل به سرما و خشکی در دوروم در مطالعات مختلفی مشاهده شده است (Li *et al.*, 2013; Akar and Ozgen, 2007) (Mohammadi *et al.*, 2014)؛ از این‌رو انتخاب و اصلاح برای ارقام متحمل به تنش‌های محیطی از اولویت‌های اصلاح گندم دوروم دیم به‌شمار می‌رود. لذا بررسی صفات زراعی همراه با عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در آزمایش‌های یکنواخت سراسری از مراحل اصلاح گندم دوروم است. این قبیل مطالعات از سال‌ها قبل در مراکز تحقیقات کشاورزی از جمله موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور شروع شده و در حال حاضر نیز انجام می‌گیرد. نتایج بررسی‌های مشابه در سال‌های گذشته منجر به معرفی ارقام گندم دوروم نظیر سیمره و ساجی شده است. با توجه به موارد بالا، هدف از این تحقیق ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط به کمک گرافیکی GGE بای‌پلات و تجزیه AMMI و مقایسه کارایی آنها در شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار در محیط‌های برتر است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی پایداری و سازگاری عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در مناطق مختلف با اقلیم معتدل و سرد، تعداد ۱۴ لاین پیشرفته گندم دوروم به همراه دو شاهد ساجی و G-1252 به مدت سه سال زراعی (۹۴-۱۳۹۱) در مناطق مراغه، کردستان (قاملو)،

۴۰۹/۶ میلی‌متر بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۸۴ میلی‌متر افزایش داشت. پراکنش بارندگی در پاییز ۲۰۲/۳، در زمستان ۱۱۹/۵ و در بهار ۸۷/۸ میلی‌متر بود. میانگین دمای سال زراعی ۶/۸ درجه سلسیوس بود که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۲/۳ درجه سلسیوس کاهش داشت (شکل ۱).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در مراغه و سرارود بین سال‌های اجرای آزمایش اختلاف آماری معنی‌داری در هر دو ست دیم و آبیاری تکمیلی وجود داشت (جدول ۱)، ضمناً بین لاین‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌دار تنها در ست آبیاری تکمیلی در مراغه و برای ست دیم در سرارود مشاهده شد. با توجه به وجود بر همکنش ژنوتیپ × سال، واکنش لاین‌ها در طی سال‌ها در هر دو منطقه متفاوت بوده است. در مراغه میانگین عملکرد لاین‌ها در سال سوم برای ست آبیاری تکمیلی ۳۷ درصد و برای ست دیم ۷۴ درصد افزایش نسبت به سال اول نشان می‌دهد. این افزایش عملکرد در سال سوم به دلیل افزایش بارندگی و افزایش دمای حداقل در طی زمستان بود که در مجموع باعث کاهش خسارت سرمای زمستانه و خسارت خشکی در سال سوم گردید (شکل ۱). در آزمایش آبیاری تکمیلی سرارود، تغییرات بین سال‌ها به اندازه دیم نبود به طوری که میانگین عملکرد لاین‌ها در سه سال به ترتیب ۲۹۸۵، ۳۵۴۳ و ۱۱۹۸ کیلوگرم در هکتار بود. در مطالعات قبلی نیز مشاهده شده است انجام آبیاری در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با بهبود سطح برگ پرچم و بهبود عملکرد پنجه‌ها می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه گردد (Oweis et al., 1998; Tavakkoli and Oweis, 2004). به‌علاوه

آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌ها، تجزیه واریانس مرکب برای کلیه مناطق و برای سه سال توسط نرم‌افزار GenStat-12 انجام شد. همبستگی صفات مورد مطالعه توسط نرم‌افزار SPSS20 برآورد گردید. مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت. برای تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها، از روش‌های GGE بای‌پلات و AMMI استفاده شد.

نتایج و بحث

در طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۱ میزان بارندگی در ایستگاه مراغه به ترتیب ۲۸۷، ۳۵۲ و ۴۲۵ میلی‌متر بود (شکل ۱). در سال ۹۳-۱۳۹۲ در منطقه مراغه، مواد و ژرم‌پلاسم تحت بررسی در معرض تنش بسیار شدید سرما در زمستان و اوایل بهار و خشکی آخر فصل قرار گرفته‌اند. میانگین دمای سال‌های زراعی در مراغه به ترتیب ۶/۲، ۵/۰۲ و ۶/۲ درجه سلسیوس بود. در سرارود طی سال ۹۲-۱۳۹۱، میزان بارندگی ۳۹۵ میلی‌متر بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۱۹ میلی‌متر کاهش داشت. در سرارود طی سال ۹۳-۱۳۹۲، گیاهان در معرض تنش‌هایی چون تنش سرما و یخبندان زمستانه، تنش خشکی و گرمای آخر فصل قرار داشته‌اند. در قاملو طی سال ۹۲-۱۳۹۱، میزان بارندگی ۲۵۶ میلی‌متر بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۱۰۴ میلی‌متر کاهش داشت. در قاملو طی سال ۹۳-۱۳۹۲، ژنوتیپ‌ها در معرض تنش شدید سرما در زمستان و اوایل بهار و خشکی آخر فصل قرار گرفته‌اند. در اردبیل طی سال ۹۲-۱۳۹۱ میزان بارندگی ۲۴۰/۳ میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۱۴/۵ میلی‌متر افزایش داشت. در ارومیه طی سال ۹۲-۱۳۹۱، میزان بارندگی

در سال دوم که تمامی لاین‌های دوروم از جمله رقم ساجی به دلیل خسارت سرمای زمستانه و اوایل بهار کاملاً از بین رفته بودند (شکل ۱) عملکرد لاین 61-130/414-44// در ست دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب ۱۵۰۹ و ۴۰۲۴ کیلوگرم در هکتار بود. البته لازم به ذکر است لاین 61-130/414-44// دارای تیپ رشد زمستانه و رقم ساجی دارای تیپ رشد بهاره است. روند برتری لاین‌ها نسبت به شاهد در مورد سایر صفات مورد بررسی نظیر پابلندی، زودرسی و وزن دانه ثابت نبوده و به‌طور کلی لاین‌های برتر از ترکیب مناسب صفات مورد بررسی برخوردار بودند. با توجه به وجود همبستگی معنی‌دار عملکرد با صفات تیپ رشد زمستانه، زودرسی، ارتفاع و وزن هزار دانه (جدول ۳)، این قبیل صفات نیز می‌توانند مبنای گزینش باشند.

بررسی همبستگی صفات در منطقه مراغه نشان داد میزان تیپ رشد زمستانه، میزان پوشش سبز، ویگور در مرحله پنجه‌هی، شاخص زراعی و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت با عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت. عملکرد دانه در ست دیم، همبستگی منفی و معنی‌دار باصفت روز تا رسیدگی ($r = -0.79^{**}$) داشت؛ ولی در ست آبیاری تکمیلی همبستگی عملکرد با صفات تعداد روز تا خوشه‌دهی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.42^{*}$) بود (جدول ۳). تحت شرایط این تحقیق، با کمبود آب در مراحل آخر فصل زراعی، ژنوتیپ‌ها سعی کرده‌اند هر چه زودتر به مرحله زایشی وارد و به محصول دهی نهایی برسند. این عامل سبب گردیده که تنوع زیادی در بین توده‌ها از لحاظ صفات تعداد روز تا سنبله دهی و رسیدگی مشاهده نگردد. از طرف دیگر این صفات با عملکرد همبستگی منفی داشتند. وجود

کاهش تنش خشکی در ست آبیاری تکمیلی در مرحله بعد از گرده‌افشانی و پر شدن دانه باعث افزایش فعالیت ژن‌های تولیدکننده پروتئین‌های مؤثر در فتوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و انرژی، متابولیسم اسیدهای آمینه، و سیستم دفاعی گیاه شده و در نتیجه باعث بهبود پر شدن دانه و عملکرد می‌گردد (Chen *et al.*, 2015). از طرف دیگر، با سبز زود هنگام گیاهچه‌ها در اوایل پاییز در نتیجه آبیاری، استقرار اولیه گیاهچه‌ها در خاک بهبود یافته، تحمل به سرمای زمستان افزایش یافته، بیوماس زیاد شده و در نتیجه مجموع این عوامل، عملکرد مخصوصاً در شرایط دیم سردسیر افزایش می‌یابد (Benli *et al.*, 2007). ایلبی و همکاران (Ilbeyi *et al.*, 2006) در مطالعه‌ای روی تأثیر کشت زود هنگام در پاییز به همراه آبیاری تکمیلی در عملکرد گندم دیم سردسیر گزارش کردند که با کشت زود هنگام و استقرار بهتر گیاه در پاییز تحمل گیاه به سرما افزایش، کارایی استفاده از نزولات جوی بهبود یافته و در نتیجه عملکرد گندم تا ۶۵ درصد افزایش می‌یابد.

در مراغه، اغلب لاین‌ها عملکردی بیش از شاهد ساجی (رقم معرفی شده برای مناطق معتدل و معتدل-سرد) در هر دو ست دیم و آبیاری تکمیلی داشتند؛ و لاین 61-130/414-44// با عملکرد ۳۶۴۴ کیلوگرم در هکتار در ست دیم و با ۴۲۴۸ کیلوگرم در ست آبیاری تکمیلی پر عملکردترین لاین دوروم بود (جدول ۲). عملکرد رقم دوروم ساجی در ست دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب ۲۲۸۰ و ۲۴۹۲ کیلوگرم در هکتار بود. علت عمده اختلاف عملکرد بین لاین 61-130/414-44// و رقم ساجی به تحمل بسیار زیاد این لاین به سرمای زمستان است، به طوری که

در افزایش عملکرد دارد، البته باید خاطر نشان کرد به دلیل رابطه منفی بین وزن دانه با تعداد پنجه و تعداد دانه در سنبله، برآیند افزایش در وزن دانه در افزایش عملکرد مؤثر نخواهد بود. عملکرد دانه گندم برآیند اثرات ساده و متقابل اجزای عملکرد آن یعنی تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، شرایط محیطی رشد گیاه، سازگاری با محیط و کارایی استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر تولید است.

ارتفاع گیاه در بین لاین‌ها از ۴۹ تا ۷۵ سانتی‌متر متغیر بود که تفاوت قابل توجهی داشت و با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با ارتفاع گیاه ($r = 0.93^*$)، بیشترین عملکردها نیز مربوط به لاین‌های پابلند بود. مطالعه اینز و همکاران (Innes *et al.*, 1985) نشان داد در شرایط مساعد محیطی اختلاف عملکردی در بین گروه‌های با ارتفاع متفاوت وجود ندارد ولی در شرایط خشکی پایان فصل، ژنوتیپ‌های پابلند به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های پاکوتاه دارند. با توجه به خشکی آخر فصل در شرایط دیم، این امر می‌تواند به قابلیت بیشتر لاین‌های پابلند برای استخراج آب از خاک نسبت داده شود که در نتیجه طول دوره پر شدن دانه‌ها در این ژنوتیپ‌ها کمتر تحت تأثیر خشکی واقع می‌شود (Mikołajczak *et al.*, 2016). ساقه‌های گندم و به تبع آن ساقه‌های بلندتر، میزان قابل توجهی از قندهای محلول (کربوهیدرات‌ها) را در مرحله گلدهی دارا بوده، ولی در مرحله رسیدگی کاهش میزان این کربوهیدرات‌ها در ساقه‌ها و افزایش آنها در بذر اتفاق می‌افتد. در طول مرحله پر شدن دانه، ساقه‌ها می‌توانند بیش از ۳۰ درصد حداکثر وزن خشک خود را از دست بدهند، و مشاهده

همبستگی منفی بین تعداد روز تا رسیدگی در شرایط دیم این تحقیق نشان می‌دهد صفت دیررسی در شرایط وقوع تنش گرمایی آخر فصل در مراحل زایشی برای ژنوتیپ‌ها نامطلوب بوده و مانع از سازوکار فرار از تنش‌های محیطی شده و موجب کاهش پایداری عملکرد دانه در آنها می‌گردد. کاهش رطوبت در زمان گرده افشانی به دلیل دیررسی گیاه می‌تواند با کاهش تعداد سنبله بارور و یا سنبلچه‌های بارور باعث کاهش عملکرد شود (Davies *et al.*, 2013). بعلاوه دیررسی موجب می‌شود دوره پر شدن دانه مصادف با خشکی و گرمای آخر فصل گردیده و در نتیجه تسریع پیری برگ‌ها و کاهش طول دوره پر شدن دانه اتفاق بیافتد و در نهایت به کاهش عملکرد منتهی شود (Garcia del Moral *et al.*, 2003; Royo *et al.*, 2000). صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh *et al.*, 2012) در بررسی صفات زراعی مؤثر بر عملکرد توده‌های بومی دوروم تحت شرایط دیم بیان کردند زودرسی با عملکرد دانه و وزن هزار دانه رابطه مثبت و معنی‌داری دارد که نشانگر اهمیت گزینش ژنوتیپ‌های زودرس در دیمزارها است.

در ست دیم، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن دانه و عملکرد دانه ($r = 0.43^*$) مشاهده گردید که با نتایج صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh *et al.*, 2013) در شرایط دیم در گندم دوروم مطابقت دارد. وزن دانه به دسترس بودن آسیمیلات‌های گیاه در طول مرحله پر شدن دانه وابسته بوده، که این نیز کاملاً به‌اندازه سطح برگ بعد از مرحله گرده افشانی مرتبط است. بر اساس پژوهش زسویچ و همکاران (Ze evi *et al.*, 2004) وزن هزار دانه آسان‌ترین صفت برای انتخاب بوده و نسبت به سایر اجزاء تأثیر بیشتری

در پنج منطقه اجرای آزمایش در طی سه سال، نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در بین محیط‌ها (ایستگاه‌ها) دارای اختلاف بسیار معنی‌دار است؛ به عبارت دیگر تأثیر محیط روی عملکرد ژنوتیپ‌ها در مناطق اجرای آزمایش یکسان نبود (جدول ۲) و بایستی پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. میانگین عملکرد لاین‌های G-1252، 61-130/414-44//، ۵، ۶، ۱۳ و ۱۵ از شاهد ساجی بیشتر بود و در این میان عملکرد لاین 61-130/414-44// تقریباً ۲۷ درصد بیش از رقم شاهد ساجی بود.

تحت شرایط دیم، با توجه به شرایط مطلوب آب و هوایی در مراغه طی سال‌های اجرای آزمایش، بیشترین عملکرد متوسط لاین‌ها (۲۵۳۵ کیلوگرم) مربوط به این منطقه و کمترین عملکرد متوسط لاین‌ها (۸۰۶ کیلوگرم) در اردبیل مشاهده شد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌توان گفت عملکرد کمتر توسط اثرات ژنتیکی کنترل شده و بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته و تغییرات آن از محیطی به محیط دیگر متفاوت بوده است. ضمناً وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نشان می‌دهد یک ژنوتیپ در تمام محیط‌ها عملکرد مشابهی نداشته که این موضوع انتخاب ژنوتیپ دلخواه را مشکل کرده و امکان معرفی ژنوتیپی خاص برای تمامی مناطق را سخت خواهد کرد. البته باید خاطر نشان کرد که لاین 61-130/414-44// در تمامی مناطق به جز منطقه ارومیه، برترین لاین بود (جدول ۲). این لاین به دلیل داشتن تیپ زمستانه مقاوم به سرما بوده، زودرس و از ارتفاع متوسط، تعداد پنجه مطلوب، وزن هزار دانه

شده ذخایر ساقه در جو تا ۷۰ درصد وزن دانه را تأمین می‌کنند (Dogan, 2009). با توجه به ممانعت فتوسنتز تحت شرایط استرس، منابع ذخیره‌شده در ساقه در تعیین وزن دانه و عملکرد نهایی نقش مهمی دارند، زیرا قسمت اعظم رشد بعدی دانه به‌وسیله تحرک منابع ذخیره‌شده تأمین می‌گردد (Bilgin *et al.*, 2008). برای استفاده از صفات مورفو-فیزیولوژیک در انتخاب لاین‌های برتر در شرایط دیم، بایستی بر صفاتی تأکید نمود که دارای همبستگی بالایی با عملکرد بوده و در ضمن ارزیابی صفات مذکور آسان و کم هزینه باشد. به‌علاوه باید میزان تنوع ژنتیکی، توارث‌پذیری، اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط، وجود همبستگی صفت مذکور با صفات پلیوتروپیک نامطلوب را نیز مد نظر قرار داد (Richards *et al.*, 1999).

نتایج تجزیه واریانس برای عملکرد دانه در تمامی مناطق مراغه، سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه در طی سه سال زراعی نشان داد که بین لاین‌های مورد بررسی محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). بزرگی اثرات اصلی برای محیط، ژنوتیپ و بر همکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۷۸٪، ۴٪ و ۱۰٪ مجموع مربعات کل بود. تأثیر کم ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود شاید به این دلیل باشد که ژنوتیپ‌های موجود در این آزمایش در سال‌های گذشته در برنامه اصلاحی گندم دوروم برای عملکرد برتر و سازگاری نسبی انتخاب‌شده و لذا آنها نسبت به محیط و بر همکنش محیط در ژنوتیپ نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند که با نتایج سایر محققین نیز در تطابق است (Rose *et al.*, 2008; Fan *et al.*, 2007; Yan, 2001; Samonte *et al.*, 2005).

عملکرد خوبی داشت که بیانگر سازگاری خصوصی این لاین به مناطق سرارود، اردبیل و ارومیه است (جدول ۲).

نمایش چندضلعی حاصل از تجزیه GGE بای پلات ۱۶ لاین در ۱۴ محیط در شکل ۲ نشان داده شده است. در این تجزیه دو مؤلفه اصلی اول مدل رگرسیون مکانی، ۷۶ درصد از کل تغییرات مشاهده شده (مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط) را توجیه نمودند. لاین‌های تشکیل دهنده رئوس چندضلعی (۲، ۳، ۵، ۱۳ و ۱۴) بهترین و یا ضعیف‌ترین عملکرد دانه را در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها داشتند، چراکه آنها بیشترین فاصله از مرکز بای پلات را دارند (Yan and Kang, 2003). با توجه به خطوط عمودی بر هر ضلع پلی‌گون، محیط‌ها به سه گروه و ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تفکیک شدند. در اولین گروه محیطی اکثر محیط‌ها (۱۰ محیط از تمامی ۵ منطقه اجرای آزمایش طی سه سال) واقع شده‌اند؛ و لاین ۲ (G-1252) و ۳ (61-130/414-44//) بیشترین عملکرد را در این محیط‌ها و مخصوصاً در مناطق مراغه، قاملو و سرارود داشتند. در دومین گروه محیطی (شامل سال‌های دوم و سوم اردبیل) لاین ۱۳ و رقم ساجی بیشترین عملکرد را داشتند. در گروه سوم محیطی (سال‌های سوم ارومیه و قاملو)، لاین ۵ حداکثر عملکرد را داشت. به‌علاوه، لاین ۱۴ در هیچ‌یک از محیط‌ها برتر نبود و کمترین متوسط عملکرد را در تمامی محیط‌ها داشت. همچنین، لاین‌های واقع در نزدیکی مرکز بای پلات (۴ و ۷) ضمن داشتن عملکردی متوسط، از کمترین برهمکنش ژنوتیپ × محیط برخوردار بوده و می‌توان گفت از سازگاری عمومی خوبی برخوردار هستند. همبستگی بین محیط‌ها نشان داد زاویه بین بردار محیط‌های مراغه، قاملو و

متوسط و شاخص زراعی بالا برخوردار است. تجربه نشان داده که بین اجزای عملکرد یک همبستگی منفی وجود دارد، به‌طوری‌که ارقام پرمحصول دارای سنبله‌های طویل یا دانه‌های سنگین نیستند بلکه اجزای عملکرد آنها معمولاً در حد متوسطی می‌باشند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس با مدل AMMI برای عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت (جدول ۵). اثرات محیط ۷۹ درصد، اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط ۱۰ درصد و اثر ژنوتیپ‌ها تنها ۴ درصد از مجموع تغییرات را توجیه کردند. تأثیر زیاد محیط در تغییرات عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در مناطق مختلف می‌تواند به دلیل اختلاف زیاد مناطق اجرای آزمایش از نظر میزان و پراکنش بارندگی، سرمای زمستانه، نوع و بافت خاک باشد. سهم بسیار کم ژنوتیپ‌ها (۴ درصد) از مجموع تغییرات، نشان می‌دهد سهم تغییرات محیطی روی صفات کمی نظیر عملکرد دانه لاین‌های پیشرفته خیلی بیشتر بود. همچنین سهم ۲/۵ برابری برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبت به اثر اصلی ژنوتیپ نشان می‌دهد عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در محل اجرای آزمایش‌ها یکسان نبوده است.

بر اساس نتایج شاخص "ارزش پایداری امی" پورچاسه (Purchase et al., 2000) (جدول ۶)، ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۷، ۱۱، ۱۵ و ۱۶ به دلیل داشتن مقادیر کم ASV از پایداری عمومی خوبی برخوردار بوده، ولی ژنوتیپ‌هایی نظیر G-1252، لاین 61-130/414-44// و لاین ۱۴ به دلیل داشتن مقادیر زیاد AVS از پایداری خصوصی بیشتری برخوردار هستند. به‌عنوان مثال لاین ۱۴ در مراغه و قاملو از عملکرد کمی برخوردار بوده در حالی که در منطقه سرارود، اردبیل و ارومیه

در نتیجه کاهش عملکرد برخی از لاین‌های حساس به سرما دلیل اصلی افزایش قدرت تمایز این محیط‌ها باشد. ضمناً، قدرت تمایز محیط اردبیل و سرارود در سال سوم از بقیه محیط‌ها کمتر بود.

ژنوتیپ ایده‌آل بایستی از بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی برخوردار باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است. اگر چه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد اما می‌تواند به‌صورت یک رفرنس برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپی ایده‌آل است که به این رفرنس نزدیک‌تر باشد. بنابراین، برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای پلات به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۴). بنابراین، تنها لاین ۲ (G-1252) و ۳ (61-130/414-44//) را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب در نظر گرفت چرا که آنها به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و از میانگین عملکرد و پایداری بالایی برخوردار هستند (جدول ۲). البته لازم به ذکر است که در این تحقیق لاین 61-130/414-44// کاملاً در مجاورت ژنوتیپ ایده‌آل واقع شده است. در مقابل لاین‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند زیرا دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل بودند.

ارزیابی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری یکی از جنبه‌های مهم مدل GGE بای پلات است. شکل ۵ رتبه‌بندی ۱۶ ژنوتیپ بر

اردبیل کوچک بوده و همبستگی بین آنها زیاد است (شکل ۳). بیشترین همبستگی‌ها بین محیط‌هایی نظیر سال اول سرارود با سال دوم قاملو، سال سوم مراغه با سال اول اردبیل، سال اول مراغه با سال اول ارومیه ملاحظه می‌گردد چرا که بین این محیط‌ها زاویه حاده بسیار کوچک وجود دارد. سال سوم ارومیه با محیط‌های سال اول سرارود و سال دوم قاملو دارای زاویه نزدیک به قائمه بوده و محیط‌های مجزا محسوب می‌شوند. بین بردار محیط‌های سال سوم ارومیه و سال سوم اردبیل زاویه باز (۱۸۰ درجه) وجود داشت که بیانگر همبستگی بسیار منفی (حدود -۱) بین آنها می‌باشد. توجه به اطلاعات هواشناسی سال سوم ارومیه و اردبیل نشان می‌دهد اختلاف زیادی در میزان بارندگی، تعداد روزهای زیر صفر و حداقل دمای مطلق بین این دو محیط وجود دارد (شکل ۱). اطلاع از نزدیکی و دوری محیط‌ها می‌تواند به ما در برنامه‌ریزی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های تحقیقاتی یاری نماید تا بتوانیم ژنوتیپ‌ها را در شرایط متفاوت محیطی مورد ارزیابی قرار دهیم.

قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده، به‌طوری‌که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام ارائه نمایند. از این رو در بای پلات همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیط که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است، شاخصی برای قابلیت تمایز محیط‌هاست (Yan and Kang, 2003). با توجه به طویل بودن بردار محیط‌های مراغه و قاملو در سال اول، می‌توان گفت این دو محیط از قابلیت تمایز بیشتری نسبت به بقیه محیط‌ها برخوردار بوده و بهتر توانسته‌اند اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهند. احتمالاً سرمای شدید و

یا حداقل از نظر دقت با آن برابر است. ولی یان و همکاران (Yan et al., 2007) اعتقاد دارند روش GGE بای پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط از روش AMMI موفق تر است، چرا که از دیدگاه اصلاح‌گران گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس اثر اصلی ژنوتیپ و یا بر هم‌کنش ژنوتیپ × محیط به تنهایی مد نظر نیست.

نتیجه‌گیری کلی

به‌صورت خلاصه نتایج این تحقیق نشان داد واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها از لحاظ آماری متفاوت و معنی‌دار است. بزرگی ۲۰ برابری اثر محیط نسبت به اثر ژنوتیپ نشان دهنده وجود گروه‌های محیطی متفاوت و امکان انتخاب برای سازگاری خصوصی را فراهم می‌نماید. ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از آماره‌های پایداری فنوتیپی نظیر شاخص پایداری امی (ASV) و GGE بای پلات نشان داد که امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در بین لاین‌های پیشرفته دوروم نسبت به ارقام شاهد وجود داشته و لاین‌هایی نظیر G-1252 و 61-130/414-44// در مناطق سردی مثل مراغه، قاملو و منطقه معتدل سرارود؛ و لاین ۱۰ در منطقه اردبیل می‌توانند منبع ژنتیکی مطلوبی برای معرفی ارقام دوروم متحمل به تنش‌های خشکی و سرما در دیمزارهای این مناطق باشند. میزان افزایش عملکرد لاین 61-130/414-44// نسبت به رقم ساجی (تنها رقم معرفی شده برای مناطق سرد و معتدل دیم) برابر ۶۰، ۱۱، ۳۱، ۱۰ و ۱۷ درصد به ترتیب در مناطق دیم مراغه، سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه بود. ضمناً در مجموع مناطق در طی سه سال، لاین 61-130/414-44// به‌طور میانگین ۲۷ درصد عملکرد بیشتری نسبت به رقم ساجی داشت.

اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. خط دارای علامت فلش که از مرکز بای پلات و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب دو مؤلفه اول برهمکنش در مدل GGE بای پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (AEC) نامیده می‌شود (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره که بر روی این خط قرار دارند نزدیک‌تر باشند دارای عملکرد بیشتری می‌باشند. خطی که بر خط AEC عمود و از مرکز بای پلات می‌گذرد معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها است. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط AEC فاصله بیشتری داشته باشند در برهمکنش نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر این اساس لاین‌های ۷ و ۱۰ جزو پایدارترین لاین‌ها با عملکرد نسبتاً ضعیف هستند. لاین‌های ۲ (G-1252) و ۳ (61-130/414-44//) و ۱۴ جزو لاین‌هایی با پایداری متوسط با این تفاوت که لاین‌های ۲ و ۳ بیشترین و لاین ۱۴ کمترین میانگین عملکرد را در تمامی محیط‌ها داشتند (جدول ۲). ضمناً این لاین‌ها دارای سازگاری خصوصی خوبی هستند، به‌عنوان مثال لاین‌های ۲ و ۳ از برترین لاین‌های مناطق مراغه، قاملو و سرارود بودند، همچنین لاین ۱۴ پرمحصول‌ترین لاین منطقه اردبیل بود. در گروه ناپایدارها، لاین‌های ۵ و ۱۳ قرار گرفتند. لازم به ذکر است این نتایج پایداری ژنوتیپ‌ها با "درجه پایداری امی" به میزان زیادی مطابقت داشت، هر چند که این تطابق صد در صد نبود (جدول ۶). البته در GGE بای پلات، اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط از هم قابل تفکیک نبودند که از این‌رو گاج (Gauch, 2006) معتقد است روش AMMI همواره بر GGE بای پلات ارجحیت دارد و

داد تمامی این شاخص‌ها از پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها برخوردار بوده؛ البته در هر دو روش تأثیر ژنوتیپ با تأثیر محیط-ژنوتیپ اندکی ترکیب می‌گردد. در مگا محیط‌ها، گراف‌های حاصل از GGE بای‌پلات بهتر از AMMI قادر به توصیف اثر ژنوتیپ و محیط-ژنوتیپ است. قدرت تفکیک GGE بای‌پلات در ارزیابی محیط‌های آزمون خیلی مؤثر بوده درحالی‌که این تجزیه در AMMI امکان‌پذیر نیست؛ ازاین‌رو GGE بای‌پلات در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بسیار کارآ و کاربردی‌تر بوده و می‌تواند به‌صورت گسترده‌ای در بررسی لاین‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح گندم دوروم و سایر غلات به‌کار گرفته شود.

انجام آبیاری در مراحل کشت و اوایل گرده‌افشانی توانست عملکرد عمومی لاین‌ها را ۱۴ و ۶۸ درصد به‌ترتیب در مناطق مراغه و سرارود افزایش دهد که این افزایش برای لاین 61-130/414-44//... در منطقه مراغه ۱۷ درصد و در سرارود ۳۷ درصد بود. به‌علاوه انجام آبیاری در لاین‌های ۹، ۱۱ و ۱۶ باعث افزایش عملکرد ۱۰۰ درصدی در منطقه سرارود گردید که از این پتانسیل می‌توان برای معرفی ارقامی مناسب برای آبیاری تکمیلی بهره جست. درنهایت، بر اساس نتایج حاصل از آنالیزهای آماری توسط GGE بای‌پلات و AMMI در این تحقیق، امکان‌پذیر لاین‌های پیشرفته گندم دوروم با پایداری و عملکرد زیاد نسبت به شاهد ساجی وجود دارد. به‌علاوه، نتایج AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) در مقایسه با نتایج GGE بای‌پلات نشان

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس عملکرد دانه در مراغه و سرارود تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 1- Anova for grain yield in Maragheh and Sararood under rainfed and supplementary irrigation conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of Squares)			
		مراغه (Maragheh)		سرارود (Sararood)	
		آبیاری (Irrigated)	دیم (Rainfed)	آبیاری (Irrigated)	دیم (Rainfed)
سال (Year)	2	19831805*	44751873**	72032649**	81186964*
خطا-۱ (e ₁)	6	1489256	410807	1283071	113881
ژنوتیپ (Genotype)	15	2143859*	1710291 ^{ns}	202116 ^{ns}	508884*
ژنوتیپ × سال (G × Y)	30	994370**	958257**	416424**	202575**
خطا-۲ (e ₂)	90	153844	139838	202972	48876
کل (Total)	143				
ضریب تغییرات (%) (CV)		14	15	18	14

جدول ۲- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر اساس دانکن در ۵ منطقه تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۱

Table 2- Grain yield mean of genotypes in 5 locations in 3 years (2012-15)

#	ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد دانه (kg/ha) Grain yield mean							تمامی مکان‌ها All locations
		مراغه Maragheh		سرارود Sararood		قاملو Qamloo	اردبیل Ardabil	ارومیه Urmia	
		دیم Rainfed	آبیاری Irrigated	دیم Rainfed	آبیاری Irrigated				
1	Saji (Check)	2280cd	2492df	1770a	2713ab	1953bc	798.3ae	1179cd	1547ce
2	G-1252 (Check)	3491a	4081a	1832a	2715ab	2387a	833.4ae	1508b	1905a
3	61-130/414-4...	3644a	4248a	1960a	2685ab	2561a	875ac	1375bc	1971a
4	BCRIS/BICUM/..	2429cd	2204f	1519b	2693ab	1804be	686.3be	1209bc	1465ef
5	D94528/3/2*...	2976b	3165bc	1467bc	2337ab	1899bd	753.6ae	1803a	1694b
6	CBC509HILE/...	2402cd	2397df	1812a	2565ab	1987b	779.7ae	1319bc	1607bd
7	MINIMUS/...	2695bc	2889cd	1445bc	2552ab	1862bd	800ae	1280bc	1539de
8	MINIMUS/...	2173d	2563df	1284bc	2404ab	1660cf	838.9ae	872d	1308g
9	CF4-21//RAS...	2747bc	2666df	1272c	2492ab	1531ef	631e	1085cd	1361fg
10	PNE/2*RAS...	2024d	2645df	1301bc	2438ab	1601df	933.3a	1133cd	1354fg
11	SORA/2*PLAT...	2270cd	2555df	1286bc	2580ab	1856bd	664.9be	1129cd	1382fg
12	1A.1D5+106/2..	2332cd	2595df	1396bc	2654ab	1430f	875.1ab	1161cd	1375fg
13	INTER_16/SNI...	2283cd	3396b	1737a	2600ab	1988b	960.1a	1196bc	1586be
14	CF4JS40/10/P...	1562e	2334ef	1324bc	2283b	1089g	868.4ad	1197bc	1183h
15	P91.272.3.1/3*	2972b	3295bc	1748a	2809a	1875bd	808ae	1375bc	1669bc
16	SORA/2*PLAT...	2276cd	2829ce	1347bc	2690ab	1829bd	783.4ae	1336bc	1460ef
	Mean	2535	2897	1531	2576	1832	806	1260	1525

جدول ۳- همبستگی ساده بین صفات در ژنوتیپ‌ها در مراغه تحت شرایط دیم در طی سال‌های زراعی

Table 3- Simple correlation of the studied traits in Maragheh under rainfed conditions

Trait صفت	تیپ رشد Growth habit	GC	Vig. Till	DHE	DMA	G. Fill.	AS	PLH	TKW
Green Coverage (GC) درصد پوشش سبز	0.29								A
Vigoure at Till. (Vig. Till.) ویگور در مرحله پنجه	0.30	0.97**							
Days to heading (DHE) روز تا خوشه‌دهی	0.12	-0.22	-0.23						
Days to maturity (DMA) روز تا رسیدگی	0.03	-0.81**	-0.82**	0.13					
Grain Filling Period (G. Fill.) دوره پر شدن دانه	-0.04	-0.69**	-0.68**	-0.28	0.91**				
Agronomic Score (AS) شاخص زراعی	0.25	0.87**	0.87**	-0.18	-0.85**	-0.74**			
Plant height (PLH) ارتفاع گیاه	0.33	0.92**	0.93**	-0.18	-0.82**	0.71**	0.92**		
Thosands Kernel Weight (TKW) وزن هزار دانه	0.25	-0.44*	-0.40*	-0.06	0.55**	0.54**	-0.43*	-0.36*	
Grian Yield عملکرد دانه	0.38*	0.94**	0.91**	-0.14	-0.79**	-0.70**	0.89**	0.93**	0.43*

Trait صفت	تیپ رشد Growth habit	GC	Vig. Till	DHE	DMA	G. Filling	AS	PLH	TKW
Green Coverage (GC) درصد پوشش سبز	0.32								B
Vigoure at Till. (Vig. Till.) ویگور در مرحله پنجه	0.15	0.76**							
Days to heading (DHE) روز تا خوشه‌دهی	0.14	0.64**	0.31						
Days to maturity (DMA) روز تا رسیدگی	0.37*	-0.47**	-0.32	-0.54**					
Grain Filling Period (G. Fill.) دوره پر شدن دانه	0.01	-0.67**	-0.36*	-0.95**	0.76**				
Agronomic Score (AS) شاخص زراعی	0.62**	0.66**	0.50**	0.20	-0.02	-0.17			
Plant height (PLH) ارتفاع گیاه	0.35*	0.93**	0.63**	0.57**	-0.50**	-0.63**	0.71**		
Thosands Kernel Weight (TKW) وزن هزار دانه	0.48**	-0.25	-0.17	-0.44*	0.74**	0.60**	0.17	-0.27	
Grian Yield عملکرد دانه	0.53**	0.83**	0.65**	0.42*	-0.18	-0.40*	0.81**	0.82**	0.10

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد در مناطق مراغه، سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه (۱۴ محیط) تحت شرایط دیم طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۱

Table 8- Combined ANOVA table for grain yield in 14 environments under rainfed conditions in 3 years

منابع تغییر (SOV)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)
محیط (Environment)	13	38607712**
خطا-۱ (e ₁)	28	316802
ژنوتیپ (Genotype)	15	1890524**
ژنوتیپ × محیط (G × E)	195	328921**
خطا-۲ (e ₂)	420	72858
کل (Total)	671	
ضریب تغییرات (CV)		18

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ : ns, * and **: non significant and significant at =0/05 & =0/01, respectively

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس آمی برای عملکرد دانه لاین‌های دوروم در ۱۴ محیط طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۱
Table 5- AMMI analysis variance for grain yield in 14 environments under rainfed conditions in 3 years

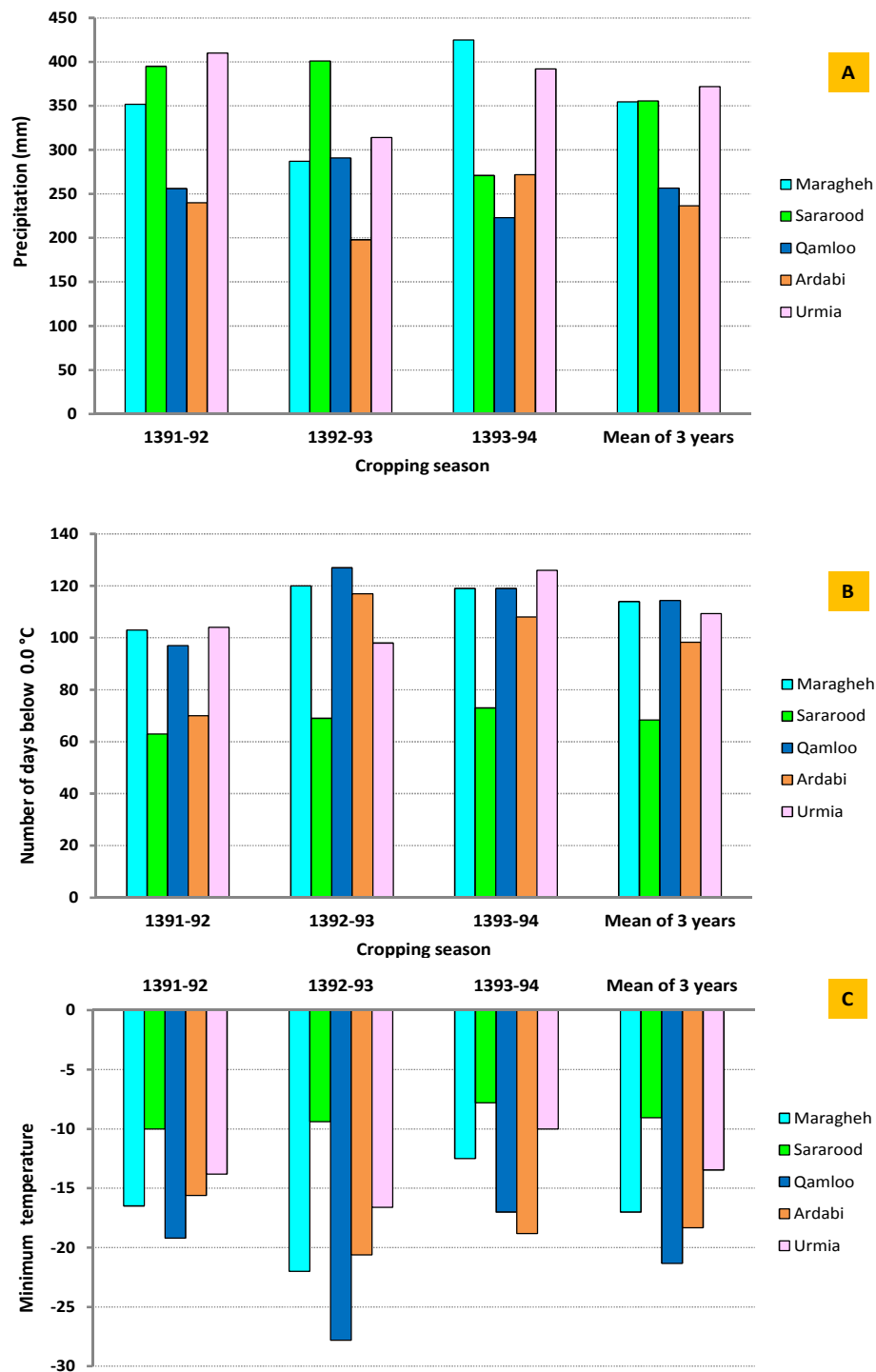
منابع تغییر (SOV)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)
ژنوتیپ (Genotype)	15	1890524**
محیط (Environment)	13	38607712**
بلوک (Block)	28	316802**
اثرات متقابل (Interactions)	195	328921**
IPCA ₁	27	1302047**
IPCA ₂	25	425760**
IPCA ₃	23	259844**
IPCA ₄	21	158312**
باقی‌مانده (Residuals)	99	91308 ^{ns}
خطا (Error)	420	72858
کل (Total)	671	944663

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ : ns, * and **: non significant and significant at =0/05 & =0/01, respectively

جدول ۶- دو مؤلفه اول بر هم‌کنش و ارزش پایداری امی (ASV) در لاین‌های گندم دوروم در پنج منطقه طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۱

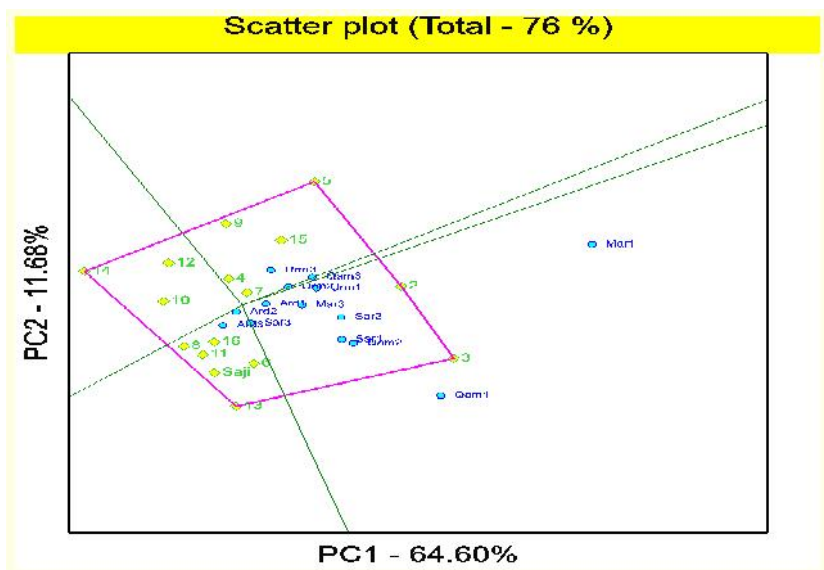
Table 6- Interaction Principle Component Axes and AMMI stability value (ASV) in durum genotypes in 5 locations in 3 years

کد ژنوتیپ Genotype) (Code	شجره (Pedigree)	میانگین عملکرد Grain) yield (mean	IPCA1	IPCA2	ارزش پایداری امی AMMI) stability (value
G1	Saji (check)	1547	10.1	-9.6	35
G2	G-1252 (check)	1905	-25.1	3.3	83
G3	61-130/414-44//377-2/4/Df21-72//61-130/Uvy/3/128-13ya05509	1971	-36.7	-11.9	122
G4	BCRIS/BICUM//LLARETAINIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21	1465	0.6	4.7	5
G5	D94528/3/2*STOT//ALTAR 84/ALD	1694	-12.1	22.5	46
G6	CBC509HILE/SOMAT_3.1/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37	1607	1.6	-9.4	11
G7	MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/3/FICHE_6/4/MOJO/AIRON/5/SOMAT_3.1	1539	-0.7	2.7	3
G8	MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/3/CANELO_9/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9	1308	4.3	-10.1	17
G9	CF4-JS 21//RASCON_39/TILO_1	1361	-5.2	12.1	21
G10	PNE/2*RASCON_37/3/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/4/GUANAY	1354	13.1	0.8	43
G11	SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/5/CADO/BOOMER	1382	3.3	-10.6	15
G12	1A.1D5+106/2*WB881//1A.1D5+106/3*MOJO/3/SOOTY_9/RASCON	1375	13.0	8.8	44
G13	INTER_16/SNITAN/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD	1586	5.8	-17.1	26
G14	CF4JS40/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/A_A_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE	1183	27.1	8.2	90
G15	P91.272.3.1/3*MEXI75/3/2*STOT//ALTAR 84/ALD	1669	-3.5	12.9	17
G16	SORA/2*PLATA_12/3/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/AJAIA_13/YAZI//DIPPER_2/BUSHEN_3	1460	4.5	-7.2	16



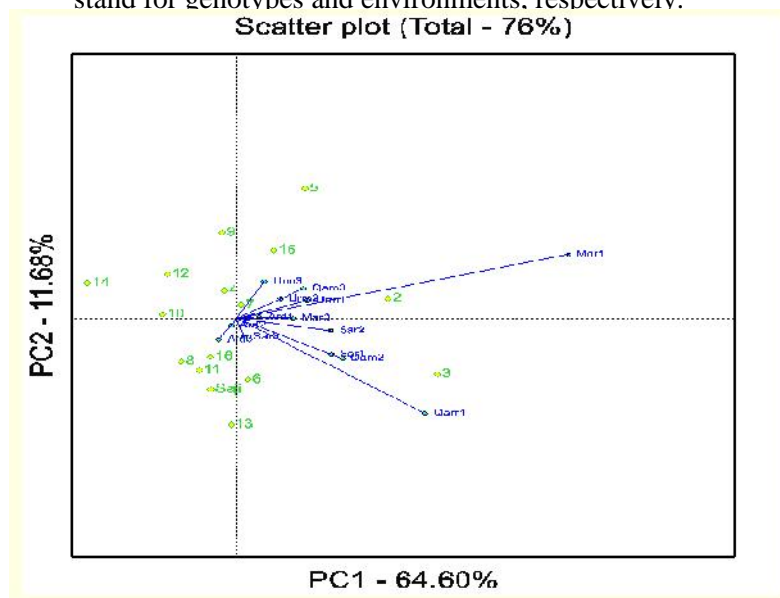
شکل ۱- میزان بارش (A)، تعداد روزهای زیر صفر درجه سلسیوس (B) و حداقل دمای مطلق (C) در ۵ منطقه اجرای آزمایش (مراغه، سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه) طی ۳ سال زراعی (۱۳۹۱-۹۴)

Figure 1- Precipitation, number of days below 0 °C, and minimum temperature in 5 locations (Maragheh, Sararood, Qamloo, Ardabil and Urmia) in 3 years (2012-15)



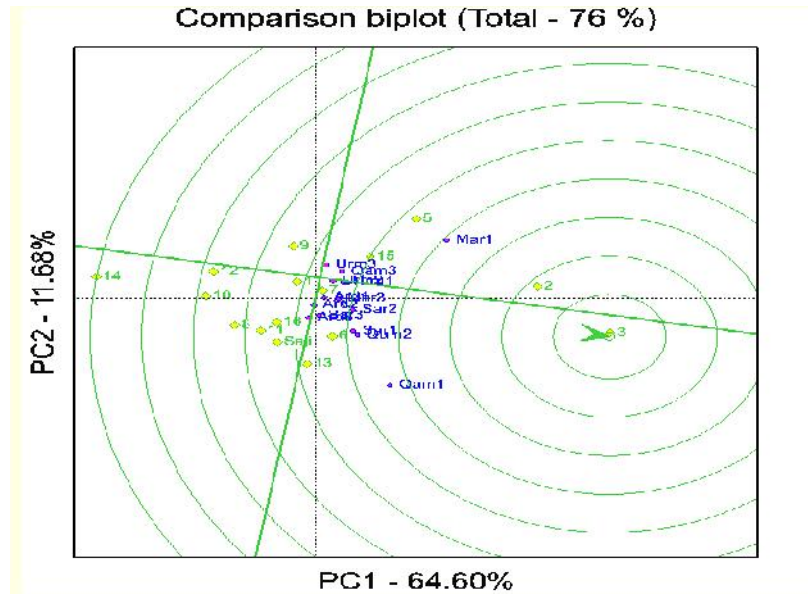
شکل ۳- نمایش گرافیکی GGE بای‌پلات جهت تعیین برتری کدام ژنوتیپ (ها) در کدام محیط (ها) برای ۱۶ ژنوتیپ کشت شده تحت شرایط دیم در پنج منطقه مراغه، سرارود، قاملو، اردبیل و ارومیه مشتمل بر ۱۴ محیط (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3) (کدهای عددی ۱، ۲ و ۳ نمایش دهنده سال‌های اجرای آزمایش هستند).

Figure 2- Polygon views of the GGE-biplot based on symmetrical scaling for the which-won where pattern for 16 genotypes in 14 environments (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3). Green and blue numbers stand for genotypes and environments, respectively.



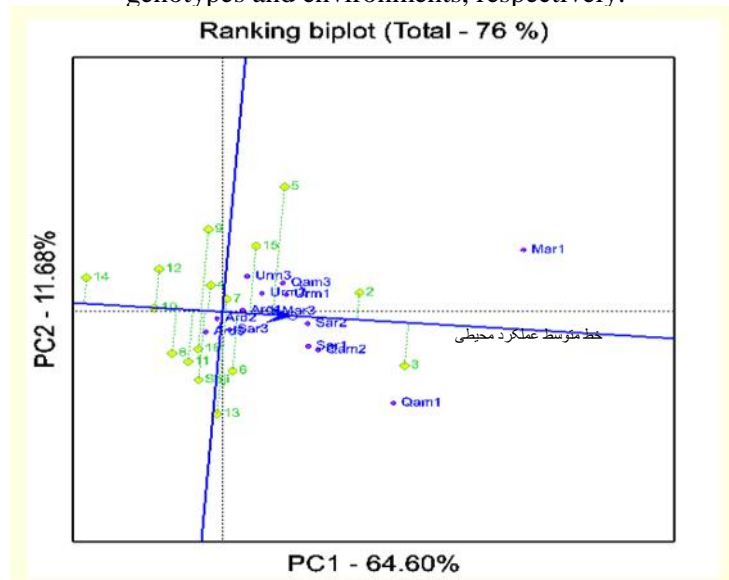
شکل ۳- بای‌پلات نقشه روابط محیطی (همبستگی) در ۱۴ محیط (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3) (کدهای عددی ۱، ۲ و ۳ نمایش دهنده سال‌های اجرای آزمایش می‌باشند).

Figure 3- GGE-biplot based on environment-focused scaling for 14 environments (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3). Green and blue numbers stand for genotypes and environments, respectively.



شکل ۵- ارزیابی ۱۶ ژنوتیپ مورد بررسی نسبت به ژنوتیپ ایده آل در ۱۴ محیط (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3) تحت شرایط دیم (کدهای عددی ۱، ۲ و ۳ نمایش دهنده سال‌های اجرای آزمایش می‌باشند).

Figure 4- GGE-biplot based on genotype-focused scaling for comparison 16 genotypes with the ideal genotype in 14 environments (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3). Green and blue numbers stand for genotypes and environments, respectively.



شکل ۵- مقایسه ۱۶ ژنوتیپ مورد بررسی بر اساس عملکرد دانه و پایداری در ۱۴ محیط (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3) تحت شرایط دیم. خط دارای فلش، خط متوسط عملکرد محیطی (Average Environment Coordination) نامیده می‌شود.

Figure 5- Average environment coordination (AEC) views of the GGE-biplot based on environment-focused scaling for the means performance and stability of genotypes in 14 environments (Mar1, Mar3, Sar1, Sar2, Sar3, Qam1, Qam2, Qam3, Ard1, Ard2, Ard3, Urm1, Urm2, Urm3). Green and blue numbers stand for genotypes and environments, respectively.

References

منابع مورد استفاده

- Akar, T., and M. Ozgen. 2007. Genetic diversity in Turkish durum wheat landraces. *Wheat Production in Stressed Environments*, 753-760. Springer.
- Akcura, M., Y. Kaya, and S. Taner, 2005. Genotype-environment interaction and phenotypic stability analysis for grain yield of durum wheat in the Central Anatolian region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 29: 369-375.
- Anonymus. 2011. Agricultural statistcic booklet. Misitry of Jihad-e-Agriculture. (In Persian).
- Benli, B., M. Pala, C. Stockle, and T. Oweis. 2007. Assessment of winter wheat production under early sowing with supplemental irrigation in a cold highland environment using CropSyst simulation model. *Agricultural Water Management*. 93: 45-53.
- Bilgin, O., K.Z. Korkut, I. Baser, O. Da ho lu, I. Ozturk, and T. Kahraman. 2008. Determiration of variability between grain yield and yield components of durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) in Thrace region. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 5: 101-109.
- Bray, E.A., J. Bailey-Serres, and E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses, In: W. Gruissem, B. Buchanan and R. Jones, (eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, 1158-1203. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD.
- Chen, T., G. Xu, Z. Wang, H. Zhang, J. Yang, and J. Zhang. 2015. Expression of proteins in superior and inferior spikelets of rice during grain filling under different irrigation regimes. *Proteomics* 16: 102-121.
- Davies, W., I. Dodd, and S. Wilkinson. 2013. Improving spike fertility by understanding and modifying its sensitivity to environmental cues, In: M. Reynolds and H. J. Braun, (eds.) *International Workshop of the Wheat Yield Consortium*, 5-7th March 2013, 36-38, CIMMIT, Mexico.
- Dogan, R. 2009. The correlation and path coefficient analysis for yield and some yield components of durum wheat (*Triticum turgidum* var. durum L.) in west Anatolia conditions. *Pak. J. Bot.* 41: 1081-1089.
- Fan, X.-M., M.S. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan, and C. Xu. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*. 99: 220-228.
- Garcia del Moral, L.F., Y. Rharrabti, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal* . 95: 266-274.
- Gauch, H.G. 1992. *Statistical analysis of regional trials. AMMI Analysis of Factorial Designs* Elsevier, New York, USA.
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 46: 1488-1500.
- Gauch, H.G., and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials, In: M. S. Kang and H. G. Gauch, (eds.) *Genotype by environment interaction*, 85-122. CRC

Press: Boca Raton, FL.

- Hamdan, I., and S. Smets. 2013. Climate Change Impact on WANA: Key Researchable Issues and Proposed Measures, In: M. V. K. Sivakumar, R. Lal, R. Selvaraju and I. Hamdan, (eds.) Climate Change and Food Security in West Asia and North Africa, 147-159. Springer.
- Heidari-Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector The 10th Iranian Congress of Crop Sciences, 18-20. Karaj, Iran. (In Persian).
- Ilbeyi, A., H. Ustun, T. Oweis, M. Pala, and B. Benli. 2006. Wheat water productivity and yield in a cool highland environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*. 82: 399-410.
- Innes, P., J. Hoogendoorn, and R.D. Blackwell. 1985. Effects of differences in date of ear emergence and height on yield of winter wheat. *Journal of Agricultural Science*. 105: 543-549.
- Li, Y.F., Y. Wu, N. Hernandez-Espinosa, and R.J. Peña. 2013. Heat and drought stress on durum wheat: Responses of genotypes, yield, and quality parameters. *Journal of Cereal Science*. 57: 398-404.
- Mikołajczak, K., A. Kuczy ska, P. Krajewski, A. Sawikowska, M. Surma, P. Ogrodowicz, T. Adamski, K. Krystkowiak, A.G. Górny, and M. Kempa. 2016. Quantitative trait loci for plant height in Maresi× CamB barley population and their associations with yield-related traits under different water regimes. *Journal of Applied Genetics*. 1-13.
- Mohammadi, R., R. Haghparast, B. Sadeghzadeh, H. Ahmadi, K. Solimani, and A. Amri. 2014. Adaptation patterns and yield stability of durum wheat landraces to highland cold rainfed areas of Iran. *Crop Science*. 54: 944-954.
- Nachit, M.M. 2002. Breeding for improved resistance to drought in durum wheat. ICARDA Caravan, ICARDA.
- Oweis, T., M. Pala, and J. Ryan. 1998. Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean climate. *Agronomy Journal*. 90: 672-681.
- Pask, A., J. Pietragalla, D. Mullan, and M. Reynolds, 2012. Physiological breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping CIMMYT.
- Purchase, J., H. Hatting, and C. Van Deventer. 2000. Genotype× environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 17: 101-107.
- Rad, M.N., M.A. Kadir, M. Rafii, H.Z. Jaafar, M.R. Naghavi, and F. Ahmadi. 2013. Genotype environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 7: 956.
- Richards, R.A., G.J. Rebetzke, R. Appels, and A.G. Condon. 1999. Physiological traits to improve the yield of rainfed wheat: can molecular genetics help?, In: J. M. Ribaut and D. Poland, (eds.) Molecular Approaches for Genetic Improvement of

- Cereals for Stable Production in Water-limited Environments. CIMMYT, Mexico.
- Rose IV, L.W., M.K. Das, and C.M. Taliaferro. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica*. 164: 19-25.
 - Royo, C., M. Abaza, R. Blanco, and L.F.G. del Moral. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Functional Plant Biology*. 27: 1051-1059.
 - Sadeghzadeh, B., G. Abedi-asl, and D. Sadeghzadeh-ahari, 2012. Evaluating agronomic traits related to grain yield of durum wheat landraces in drylands condition. *Iranian Journal of Dryland Agricultural Science*. 1: 40-62. (In Persian).
 - Sadeghzadeh, B., R. Mohammadi, H. Ahmadi, G. Abediasl, and M.M. Ahmadi. 2015. Adaptability and grain yield stability of durum lines in uniform regional yield trials in moderate and cold drylands, Vol. 48761/94.11.27. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, Iran. (In Persian).
 - Sadeghzadeh, B., D. Sadeghzadeh-ahari, R. Maali-Amiri, and L. Najad-Sadeghi. 2013. Understanding of morpho-physiological variability on Iranian-durum wheat landraces under cold-rainfed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 43: 633-648. (In Persian).
 - Samonte, S.O.P., L.T. Wilson, A.M. McClung, and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*. 45: 2414-2424.
 - Tavakkoli, A.R., and T.Y. Oweis. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*. 65: 225-236. (In Persian).
 - Trethowan, R., and M. Reynolds. 2007. Drought resistance: genetic approaches for improving productivity under stress, In: R. M. Trethowan and M. Reynolds, (eds.) *Wheat Production in Stressed Environments*, 289-299. Springer Pub., The Netherlands.
 - Yan, W. 2001. GGEbiplot - A Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*. 93: 1111-1118.
 - Yan, W., 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy Journal*. 94: 990-996.
 - Yan, W., and M.S. Kang. 2003. *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists* CRC Press, Boca Raton, FL.
 - Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*. 47: 643-653.
 - Ze evi , V., D. Kneževi , and D. Mi anovi . 2004. Genetic correlations and path-coefficient analysis of yield and quality components in wheat, *Triticum aestivum* L. *Genetika*. 36: 13-21.

Efficiency of GGE Biplot and AMMI Analyses for Adaptability and Grain Yield Stability of Durum Wheat Lines under Different Environments

Behzad Sadeghzadeh^{1*}, Reza Mohammadi², Hasan Ahmadi³, Gholamreza Abedi-asl⁴, Gholamreza Khalilzadeh⁵, Mahnaz Mohammadfam¹, Nozar Bahrami², Ismaeilzad Hasan¹, Mohammad-Sharif Khaledian³, and Maghsoud Hasanpour-hosni¹

Received: December 2016, Revised: 29 July 2017, Accepted: 13 August 2017

Abstract

Genotype \times environment interactions make it difficult to release high yielding durum varieties for diverse environmental conditions. The main purpose of this study was to achieve high yielding durum wheat genotypes with higher yield stability in different environmental conditions, tolerance to environmental stresses such as cold damage, terminal drought, and heat stresses. Hence, 16 durum wheat lines were evaluated for grain yield stability and morphological traits in Maragheh, Sararood, Qamloo, Ardabil and Urmia Agricultural Research Stations in 2012-15. In each location, the experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications. Based on combined ANOVA, there were significant differences among the environments (E), genotypes (G) and G \times E. GGE-biplot analysis showed that the 14 environments belonged to 3 mega-environments, and different genotypes had higher yield in each mega-environments. The AMMI and GGE results also confirmed that genotypes 2 (G-1252) and 3 (61-130/414-44//...) were the most high-yielding durum lines with reasonable yield stability across environments. Also, genotype 10 was the most adapted genotype to Ardabil. Line 61-130/414-44//... had 60, 11, 31, 10 and 17% more yield than check line (Saji) in Maragheh, Sararood, Qamloo, Ardabil and Urmia under rainfed conditions, respectively. Hence, these lines can be candidates to release as new durum varieties for cold and moderate rainfed areas. Complementary irrigation could increase grain yield up to 14 and 68% in Maragheh and Sararood, respectively. It can be concluded that finding new stable high-yielding durum lines, with better performances, as compared to the existed varieties, is a great progress in durum breeding programs in cold rainfed areas. Moreover, the GGE biplot and AMMI analysis had good performance in adaptability and yield stability analysis in durum genotypes and could be used to evaluate durum genotypes at different locations over the years in durum breeding programs.

Key words: Stability, Adaptability, Genotype \times Environment, Durum, Cold rainfed.

1- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

2- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sararood Branch, Iran

3- Kordestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran

4- Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

5- West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

* *Corresponding Author:* Behzada4@yahoo.com

