

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم
(*Triticum turgidum* var. durum L.)

Evaluation of genotype × environment interaction in durum wheat
(*Triticum turgidum* var. durum L.) regional yield trials

رضا محمدی^۱، بهزاد صادق زاده^۲ و ملک مسعود احمدی^۳

چکیده

محمدی، ر.، ب. صادق زاده و م. مسعود احمدی. ۱۳۹۹. ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* var. durum L.). نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲(۱): ۳۱-۱۵.

هدف از این تحقیق ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره (GGE بای پلات) و تک متغیره پایداری بود. ژنوتیپ‌های گندم دوروم طی سه سال زراعی (۹۷-۱۳۹۴) در ایستگاه‌های تحقیقات دیم سرارود (کرمانشاه)، مراغه و شیروان (خراسان شمالی) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی (سرارود و مراغه) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و برهمکنش آنها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود داشت. سهم اثر اصلی برای محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۸۱/۹، ۲/۱ و ۵/۲ درصد از مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثر محیط نشان دهنده متفاوت بودن محیط‌ها بود که باعث معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ در محیط و ایجاد تغییر در عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم شد. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای پلات، محیط‌های مورد آزمایش به چند گروه که امکان سازگاری خصوصی را برای ژنوتیپ‌ها داشتند، گروه‌بندی شدند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها ۲۶۴۹ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب ۲۲۱۲ و ۳۳۰۳ کیلوگرم در هکتار بود و بیشترین میانگین عملکرد دانه در شرایط دیم مربوط به ژنوتیپ G15 (۲۶۲۲ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط آبیاری تکمیلی مربوط به ژنوتیپ G3 (۳۷۴۴ کیلوگرم در هکتار) بود. بر اساس مدل GGE بای پلات، لاین‌های G14، G15، G8، G16 و G11 بعنوان ژنوتیپ‌های مطلوب با میانگین عملکرد دانه بالاتر و پایداری عملکرد بیشتر، شناسایی شدند. بر اساس آماره‌های پایداری، لاین G14 بعنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد. نتایج نشان داد که محیط مراغه با توجه به دارا بودن ویژگی‌های قدرت تمایز و نمایندگی بهتر برای ارزیابی ژرم پلاسم‌های زمستانه گندم دوروم، مناسب‌تر بود. بنابراین وجود لاین‌های با عملکرد و پایداری عملکرد بیشتر و سازگار به شرایط دیم در مناطق سرد، نشان‌دهنده بهبود ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم در مناطق معتدل و سرد دیم کشور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش ژنوتیپ در محیط، پایداری عملکرد، سازگاری، گندم دوروم و GGE بای پلات.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۴۱۶۵-۱۵-۱۵-۰۰ مصوب موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

۱- دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: r.mohammadi@areeo.ac.ir)

۲- دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

۳- مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران.

مقدمه

گندم دوروم با دانه‌های سخت، حاوی پروتئین بالا و رنگدانه‌های زرد که از آن برای تهیه سمولینا استفاده می‌شود، شناخته می‌شود. دارا بودن گلوتن سنگین، خمیر غیر چسبنده و سنگین، این نوع گندم را برای تهیه محصولات خمیری از جمله ماکارونی و اسپاگتی مناسب ساخته است. در سال‌های اخیر تولید سالانه گندم دوروم افزایش یافته و به حدود ۳۵ تا ۴۰ میلیون تن رسیده است. قسمت اعظم سطح زیر کشت و تولید گندم دوروم در مناطق مدیترانه‌ای قرار دارد (Able and Atienza, 2014) و با وجود اینکه ایران یکی از کشورهای با شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای است، اما جایگاه مهمی را در بین کشورهای این حوزه از لحاظ تولید گندم دوروم ندارد (Nachit et al., 1998). مناطق وسیعی از ایران برای تولید گندم دوروم با کیفیت بالا مناسب بوده و از این نظر ایران می‌تواند در تولید این محصول و تبدیل آن به سمولینا و ماکارونی نقش موثری در بازارهای جهانی داشته باشد، اما سطح زیر کشت این نوع گندم در کشور فقط حدود ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار است. اکثر مناطق کشت گندم دوروم دیم در ایران در مناطق گرمسیری و معتدل کشور واقع شده است. در سال‌های اخیر با توجه به افزایش مصرف گندم دوروم در صنایع ماکارونی‌سازی و توسعه کارخانجات تولید ماکارونی، تحقیق در زمینه شناسایی ارقام پرمحصول و سازگار گندم دوروم منجر به شناسایی ارقام پرمحصول دیم سیمره، دهدشت و ساورز برای مناطق گرمسیری و ارقام ساجی و ذهاب برای مناطق معتدل سرد و گرم کشور شده است. برنامه به‌نژادی گندم دوروم در شرایط دیم تا کنون به شناسایی رقمی مناسب برای شرایط سردسیر کشور منجر نشده است که این یکی از شکاف‌های تولید گندم دوروم در مناطق سرد می‌باشد.

ارزیابی ژنوتیپ‌های حاصل از برنامه‌های اصلاحی در سطح ملی با هدف تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در

محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار به شرایط اقلیمی مختلف، نقش مهمی در شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های هدف دارد. به‌نژادگران معمولاً لاین‌های پیشرفته به‌نژادی را در محیط‌های مختلف ارزیابی می‌نمایند تا محیط‌ها را از لحاظ پاسخ‌های مشابه به گروه‌های محیطی مشابه گروه‌بندی نموده و بهترین ژنوتیپ را برای هر گروه محیطی و ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا را برای محیط‌های مختلف معرفی کنند (Yan et al., 2000). در تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای، محیط می‌تواند هر نوع عملیاتی مانند آبیاری، تاریخ کاشت، تراکم بونه، مصرف کود و ... که به تولیدکنندگان توصیه می‌شود، در نظر گرفته شود (Balalić et al., 2012).

روش‌های مختلفی برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط و شناسایی ارقام پایدار برای محیط‌های مختلف پیشنهاد شده است که هر کدام از آن‌ها مبتنی بر روش‌های آماری خاصی بوده و دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش بیتز و کوکران (Yates and Cochran, 1938)، آماره θ پلاستد و پترسون (Plaisted and Peterson, 1959)، ضریب رگرسیون ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، اکووالانس ریگ (W_i^2) (Wricke, 1962)، آماره واریانس انحراف از رگرسیون (S_{di}^2) ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، پارامترهای β_i و δ_{ip}^2 پرکینز و جینکز (Perkins and Jinks, 1968)، واریانس پایداری شوکلا (σ_1^2) (Shukla, 1972)، آماره‌های ناپارامتری $(S_2^{(1)}, S_1^{(1)})$ نصار و هان (Nassar and Huhn, 1987)، آماره برتری (P_i) لین و بینز (Lin and Binns, 1988) و مدل‌های بای‌پلات (Gabriel, 1971; Gauch and Zobel, 1997)؛ Yan et al., 2000) که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های

ارقام آذر-۲ و الوند (شاهد) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، پنج ژنوتیپ برتر از لحاظ عملکرد و پایداری را شناسایی نمودند. راشیت و همکاران (Rakshit *et al.*, 2012) با ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه، عملکرد علوفه و شاخص برداشت ۱۰ هیبرید سورگوم در دو سال با استفاده از مدل GGE بای پلات، گزارش دادند که بیشترین سهم واریانس به ترتیب مربوط به اثر مکان (۵۹/۳ تا ۸۹/۹ درصد)، برهمکنش ژنوتیپ در مکان (۵/۸ تا ۲۵/۷ درصد) و اثر ژنوتیپ (۳/۹ تا ۱۶/۸ درصد) بود. بر اساس نتایج حاصل بیشتر مکان‌ها با یکدیگر همبستگی داشته و بر اساس الگوی "کدام ژنوتیپ برای کدام محیط"، سه مگا-محیط تعیین و بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس هر مگا-محیط شناسایی شد.

شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، مهم‌ترین هدف برنامه‌های به‌نژادی تحت شرایط متغیر محیطی است. استفاده از روش‌های آماری و تعیین بهترین مدل‌ها جهت نیل به اهداف برنامه‌های به‌نژادی کلاسیک، ابزار مناسبی برای به‌نژادگر در ارزیابی مواد ژنتیکی در دست مطالعه می‌باشد. هدف از این تحقیق تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای گندم دوروم با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره GGE بای پلات و تک متغیره پایداری (آماره‌های پارامتری و ناپارامتری) جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمایشی و شناسایی ژنوتیپ(های) با عملکرد بالا و پایدار برای مناطق هدف بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۹ لاین پیشرفته گندم دوروم همراه با رقم گندم دوروم ساجی (شاهد) طی سه سال زراعی (۹۷-۱۳۹۴) در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود (کرمانشاه)، مراغه و شیروان (خراسان شمالی) در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد

اصلی می‌باشند، اشاره نمود. یکی از روش‌های آماری چند متغیره مبتنی بر بای پلات که توسط یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) معرفی و مورد توجه به‌نژادگران گیاهی قرار گرفته است، روش GGE بای پلات است که بطور همزمان اثرات اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این روش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در محیط‌های مختلف، ترکیب پایداری و عملکرد، توانایی محیط‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها و میزان نمایندگی آنها ارزیابی می‌شود. روش GGE بای پلات قادر به شناسایی الگوهای "کدام ژنوتیپ(ها) برای کدام محیط(ها)" (Which-won-where) می‌باشد که این موضوع در تعیین مگا-محیط‌ها (Mega-environments) و توصیه ژنوتیپ‌های ویژه برای هر یک از مگا-محیط‌ها مهم است (Yan and Kang, 2003). یک مگا-محیط به گروهی از محیط‌ها اطلاق می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ یکسان در آن مگا-محیط بهترین عملکرد (واکنش محیطی) را داشته باشند (Yan *et al.*, 2000). با توجه به سادگی تفسیر گرافیکی نتایج حاصل از مدل GGE بای پلات، امروزه از این روش در تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط بصورت گسترده استفاده می‌شود.

یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) با استفاده از روش GGE بای پلات محیط‌های زیر کشت گندم زمستانه در کانادا را به دو مگا-محیط گروه‌بندی نمودند که با گروه‌بندی قدیمی که آنها را به چهار گروه تقسیم می‌کرد، متفاوت بود. شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2010) از روش GGE بای پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های گندم زمستانه با عملکرد و پایداری بالا از بین ۲۵ ژنوتیپ حاصل از برنامه‌های اصلاح گندم‌های زمستانه بین‌المللی (IWWIP) سمیت در آسیای مرکزی و غرب آسیا استفاده نمودند. مسلمی و همکاران (Moslemi *et al.*, 2012) با استفاده از مدل GGE بای پلات، از بین ۲۱ ژنوتیپ پیشرفته گندم و

ارزیابی قرار گرفتند (جدول‌های ۱ و ۲). آزمایش‌های آبیاری تکمیلی در ایستگاه‌های سرارود و مراغه انجام و در ایستگاه شیروان انجام نشد. در شرایط آبیاری تکمیلی دو بار آبیاری (جمعا حدود ۶۰ میلی لیتر) از آغاز دوره گلدهی تا مرحله پر شدن دانه انجام شد. زمین محل اجرای آزمایش‌ها در سال قبل بصورت آیش بود. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. بذره‌های هر ژنوتیپ در شش خط شش متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی به مساحت ۷/۲ متر مربع با استفاده از ماشین کشت وینتراشتاینگر در ایستگاه‌های سرارود و مراغه و بصورت دستی در ایستگاه شیروان کشت شدند. میزان کود مورد نیاز بر اساس توصیه کارشناسان خاک و آب به خاک داده شد.

از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای آزمون نرمال بودن داده‌های عملکرد در هر یک از محیط‌های

آزمایشی استفاده شد. سپس تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه به منظور بررسی اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط انجام شد. از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط استفاده شد. تجزیه GGE بای‌پلات براساس (۱) الگوی "کدام ژنوتیپ(ها) برای کدام محیط(ها)" مناسب‌تر است، (۲) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب همزمان میانگین عملکرد دانه با پایداری عملکرد، (۳) نمایندگی محیط‌ها در مقابل قدرت محیط‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها، (۴) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ مطلوب و (۵) گروه‌بندی محیط‌ها بر اساس میزان تشابه و عدم تشابه آنها در تفکیک ژنوتیپ‌ها انجام شد. به منظور ارزیابی بیشتر پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی از آماره‌های پایداری ضریب رگرسیون (b) (Finlay and Wilkinson, 1963)، واریانس انحراف از رگرسیون (S^2_{di}) (Eberhart and Russell, 1966)،

جدول ۱- کد و مشخصات ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم مورد ارزیابی

Table 1. Code and characteristics of 20 durum wheat genotypes

کد	نام/شجره	منشاء
Code	Name/Pedigree	Origin
G1	Saji (Check)	Iran
G2	RASCON_37/4/MAGH72/RUFO//ALG86...	CIMMYT
G3	61-130	Turkey
G4	61-130 /414-44 // 377-2 /4/ Df 21-72 // 61-130...	Iran
G5	61-130 /414-44 // 377-2 /4/ Df 21-72 //...	Iran
G6	61-130 /414-44 // 377-2 /4/ Df 21-72 // 61-130 //Uvy...	Iran
G7	Altintash	Turkey
G8	Kumbet	Turkey
G9	Yelken	Turkey
G10	Selcuklu	Turkey
G11	Kiziltan-91	Turkey
G12	Altin 40-98	Turkey
G13	Yilmaz	Turkey
G14	Eminbey	Turkey
G15	Imren	Turkey
G16	Mirzabey-2000	Turkey
G17	Received from Gene Bank SPII (Dr. Aghae)	Iran
G18	Received from Gene Bank SPII (Dr. Aghae)	Iran
G19	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA...	CIMMYT
G20	ICAMOR-TA04-62/4/Gdr-2//Sw Algia/Gdr1-43/3/...	ICARDA

جدول ۲- کد و مشخصات ۱۵ محیط برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 2. Code and characteristics of the 15 environments for durum wheat genotypes assessment

کد Code	سال زراعی Cropping season	مکان Location	شرایط Condition	بارندگی + آبیاری Rainfall + supplemental irrigation (mm)	دما Temperature (°C)			نوع خاک Soil type
					کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Average	
KRF16	۱۳۹۴-۹۵2015-16	Kermanshah	کرمانشاه Rainfed	دیم 740.3	3.8	17.4	11.2	Clay-loam
KRF17	۱۳۹۵-۹۶2016-17	Kermanshah	کرمانشاه Rainfed	دیم 492.2	3.6	19.0	11.1	Clay-loam
KRF18	۱۳۹۶-۹۷2017-18	Kermanshah	کرمانشاه Rainfed	دیم 521.2	6.2	18.8	12.1	Clay-loam
KIR16	۱۳۹۴-۹۵2015-16	Kermanshah	کرمانشاه Irrigated	آبیاری تکمیلی 740.3 + 60	3.8	17.4	11.2	Clay-loam
KIR17	۱۳۹۵-۹۶2016-17	Kermanshah	کرمانشاه Irrigated	آبیاری تکمیلی 492.2 + 60	3.6	19.0	11.1	Clay-loam
KIR18	۱۳۹۶-۹۷2017-18	Kermanshah	کرمانشاه Irrigated	آبیاری تکمیلی 521.2 + 60	6.2	18.8	12.1	Clay-loam
MRF16	۱۳۹۴-۹۵2015-16	Maragheh	مراغه Rainfed	دیم 434.7	1.6	10.3	5.6	Loam
MRF17	۱۳۹۵-۹۶2016-17	Maragheh	مراغه Rainfed	دیم 263.9	-0.5	18.8	4.1	Loam
MRF18	۱۳۹۶-۹۷2017-18	Maragheh	مراغه Rainfed	دیم 423.2	2.3	11.6	6.6	Loam
MIR16	۱۳۹۴-۹۵2015-16	Maragheh	مراغه Irrigated	آبیاری تکمیلی 434.7 + 60	1.6	10.3	5.6	Loam
MIR17	۱۳۹۵-۹۶2016-17	Maragheh	مراغه Irrigated	آبیاری تکمیلی 263.9 + 60	-0.5	18.8	4.1	Loam
MIR18	۱۳۹۶-۹۷2017-18	Maragheh	مراغه Irrigated	آبیاری تکمیلی 423.2 + 60	2.3	11.6	6.6	Loam
SRF16	۱۳۹۴-۹۵2015-16	Shirvan	شیروان Rainfed	دیم 334.2	4.1	18.0	7.6	Clay-loam
SRF17	۱۳۹۵-۹۶2016-17	Shirvan	شیروان Rainfed	دیم 137.2	3.1	17.5	7.4	Clay-loam
SRF18	۱۳۹۶-۹۷2017-18	Shirvan	شیروان Rainfed	دیم 141.3	4.5	19.4	8.6	Clay-loam

مراغه نیز میزان بارندگی در سال‌های اول، دوم و سوم آزمایش به ترتیب ۴۳۴/۷، ۲۶۳/۹ و ۴۲۳/۲ میلی‌متر بود که نسبت به میانگین بلندمدت (۳۴۱/۵ میلی‌متر) به ترتیب ۲۷/۳ درصد افزایش، ۲۲/۷ درصد کاهش و ۲۳/۹ درصد افزایش بارندگی داشت. میانگین دمای سالانه در ایستگاه مراغه نیز به ترتیب ۵/۶، ۴/۱ و ۶/۶ درجه سانتی‌گراد، با میانگین بلند مدت ۵/۳ درجه سانتی‌گراد، بود. در ایستگاه شیروان خراسان شمالی (سرد معتدل) میزان بارندگی در سال‌های اول، دوم و سوم آزمایش به ترتیب ۳۳۴/۲ و ۱۳۷/۲ و ۱۴۱/۳ میلی‌متر بود که نسبت به میانگین بلندمدت (۲۵۶ میلی‌متر) در سال اول ۳۱ درصد افزایش و در سال‌های دوم و سوم به ترتیب ۴۶ و ۴۴ درصد کاهش داشت. میانگین دما در ایستگاه شیروان در سال‌های اجرای آزمایش به ترتیب ۷/۶، ۷/۴ و ۸/۶ درجه سانتی‌گراد، با میانگین بلندمدت ۷/۴ درجه سانتی‌گراد، بود. تحلیل بارندگی و دما در ایستگاه‌های مورد بررسی حاکی از تغییر قابل توجه در میزان و پراکنش بارندگی است، بنابراین در سال‌های آزمایش‌های بیشترین میزان بارندگی در ایستگاه سرارود و کمترین بارندگی در ایستگاه شیروان دیده شد و از لحاظ دمایی نیز میانگین دما در ایستگاه سرارود بیشترین و در ایستگاه مراغه کمترین مقدار بود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری برای عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم، محیط‌ها و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (در سطح احتمال یک درصد) وجود داشت. بزرگی اثر اصلی برای محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۸۱/۹، ۲/۱ و ۵/۲ درصد مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثر محیط نشان دهنده متفاوت بودن محیط‌ها بوده که باعث ایجاد برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط و ایجاد تنوع در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شده است. بزرگی برهمکنش ژنوتیپ در محیط نسبت به ژنوتیپ بیش از دو برابر بود که

ضریب تشخیص (R^2) (Pinthus, 1973)، ضریب تغییرات (Francis and Kannenberg, 1978)، اکووالانس ریک (W^2i) (Wricke, 1962)، آماره واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، آماره برتری (Pi) لین و بینز (Lin and Binns, 1988) و آماره‌های ناپارامتری $Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$ (Nassar and Huhn, 1987) استفاده شد. ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون بیشتر از واحد ($b > 1$) به شرایط مطلوب سازگارتر، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون کمتر از واحد ($b < 1$) به شرایط نامطلوب سازگارتر و ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون $b=1$ دارای واکنش متوسط به محیط‌ها و دارای پایداری عمومی می‌باشند (Finlay and Wilkinson, 1963). مقادیر کمتر سایر آماره‌های پایداری مورد اشاره برای هر ژنوتیپ نشان دهنده پایداری عملکرد بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد. تجزیه واریانس مرکب، تجزیه GGE بای پلات و برآورد پارامترهای پایداری با استفاده از نرم افزار R (R Core Team, 2016) انجام شد.

نتایج و بحث

در شرایط دیم میزان بارندگی و دمای هوا دو عامل مهم در رشد و تولید محصول محسوب می‌شوند. میزان بارندگی در ایستگاه سرارود - کرمانشاه (معتدل سرد) در سه سال زراعی متوالی (۹۵-۱۳۹۴، ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) به ترتیب ۷۴۰/۳، ۴۹۲/۲ و ۵۲۱/۲ میلی‌متر بود که نسبت به میانگین بلند مدت (۴۲۰ میلی‌متر) به ترتیب ۷۶، ۱۷ و ۲۴ درصد افزایش داشت. از لحاظ میانگین دمای سالانه، میانگین دما در سال‌های آزمایش به ترتیب ۱۱/۲، ۱۱/۱ و ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای بلند مدت نیز ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج نشان داد که در ایستگاه سرارود تغییرات در میزان و الگوی پراکنش ماهانه و سالانه بارندگی زیاد، اما تغییرات دمایی بسیار کم است. بنابراین میزان بارندگی، در مقایسه با دما، مهم‌ترین عامل در تغییرات عملکرد در ایستگاه سرارود محسوب می‌شود. در ایستگاه سرد

G9، G14 و G3 با ضریب رگرسیون بیشتر از یک و متوسط ضریب رگرسیون ۱/۱۴۱، دارای سازگاری به شرایط مطلوب بوده و دارای متوسط عملکرد ۲۸۹۶ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از میانگین کل بودند. تقریباً کلیه ژنوتیپ‌ها دارای ضریب تشخیص (R^2) بالایی برای مدل رگرسیون بودند، بنابراین مدل رگرسیون به خوبی برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌نماید (Pinthus, 1973). بر اساس مدل ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966) ژنوتیپ‌های با کمترین واریانس انحراف از رگرسیون (S^2_{di}) پایدار هستند. ژنوتیپ‌های G5، G13، G17، G5 و G14 با کمترین مقادیر واریانس انحراف از رگرسیون، پایدار و ژنوتیپ‌های G1، G12، G4، G19 و G16 با بیشترین مقدار واریانس انحراف از رگرسیون، ناپایدار بودند. مقادیر واریانس پایداری (σ^2) شوکلا (Shukla, 1972) و اکووالانس (W^2_i) ریک (Wricke, 1962) نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های G10، G8، G4 و G14 با کمترین مقادیر واریانس پایداری و اکووالانس ریک، کمترین نقش را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند و بنابراین از پایداری عملکرد بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G1، G15، G18 و G12 دارای بیشترین نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط بودند. بر اساس آماره برتری (P_i) لین و بینز (Lin and Binns, 1988) ژنوتیپ‌های G13، G15، G14 و G11 با کمترین مقادیر پایدارترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G18، G19، G5 و G20 با بیشترین مقادیر، بعنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند. بر اساس آماره ناپارامتری $Si^{(1)}$ ژنوتیپ‌های G14، G19، G1 و G2 از لحاظ عملکرد دانه پایدار و ژنوتیپ‌های G15، G9، G12 و G8 ناپایدار بودند. بر اساس آماره ناپارامتری $Si^{(2)}$ ژنوتیپ‌های G14، G19، G4 و G3 بیشترین پایداری استاتیکی و ژنوتیپ‌های G12، G18، G20 و G9 کمترین پایداری استاتیکی را داشتند.

نشان دهنده وجود احتمالی مگا-محیط‌های (Mega-environments) مختلف با ژنوتیپ‌های برتر که حداکثر عملکرد را در آن مگا-محیط دارند، می‌باشد (Yan and Kang, 2003). پایین بودن نسبت واریانس ژنوتیپ در توجیه واریانس کل نشان دهنده تنوع بیشتر مولفه‌های محیطی و برهمکنش آنها با ژنوتیپ است، به نحوی که محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، بیشترین مقدار تنوع را در تنوع موجود باعث شدند. نتایج این تحقیق با نتایج گزارش شده تطابق دارد (Yan et al., 2001; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008).

میانگین عملکرد دانه و مقادیر آماره‌های پایداری برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) وجود داشت. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها ۲۶۴۹ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ G15 (۳۰۰۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G19 (۲۲۴۸ کیلوگرم در هکتار) بود. رقم ساجی (شاهد) نیز دارای میانگین عملکرد ۲۴۹۴ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس مدل‌های فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) و ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، ضرایب رگرسیون عملکرد از ۰/۷۳۳ (برای ژنوتیپ G18) تا ۱/۱۸۱ (برای ژنوتیپ G13) متغیر بود، بنابراین ژنوتیپ G18 دارای بیشترین سازگاری به محیط‌های مطلوب و ژنوتیپ G13 دارای بیشترین واکنش مثبت به محیط‌های کم بازده می‌باشند. ژنوتیپ‌های G18، G9 و G6 با ضرایب رگرسیون کمتر از یک و متوسط ضریب رگرسیون ۰/۸۲۳، دارای سازگاری به شرایط نامطلوب و پایداری کمتر از متوسط و عملکرد پایین‌تر (۲۴۶۸ کیلوگرم در هکتار) از میانگین کل (۲۶۴۹ کیلوگرم در هکتار) بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G11، G15، G13،

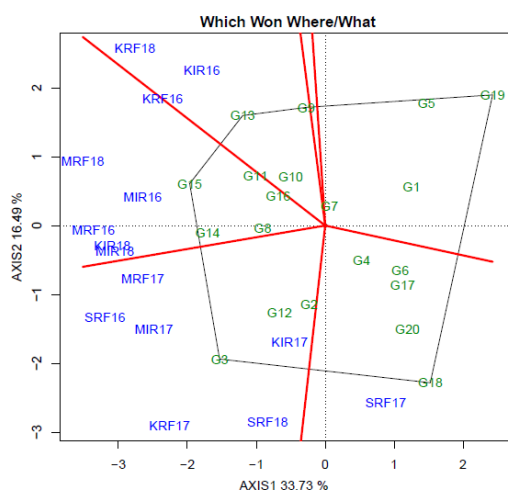
جدول ۳- میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری برای ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 3. Mean of grain yield and parametric and non-parametric stability indices for 20 durum wheat genotypes across 15 rainfed and supplementary irrigation environments

کد Code	عملکرد دانه Grain yield	ضریب تغییرات Coefficient of variation	ضریب رگرسیون Coefficient of regression	واریانس انحراف از رگرسیون Variance in regression deviation	ضریب تشخیص Coefficient of determination	واریانس پایداری Stability variance	اکووالانس ریک Wricke's ecovalence	آماره برتری Superiority index	آماره ناپارامتری Si ⁽¹⁾ Si ⁽¹⁾ non-parametric statistic	آماره ناپارامتری Si ⁽²⁾ Si ⁽²⁾ non-parametric statistic
G1	2494	61.6	1.036	159325	0.9031	250176	3245800	560216	0.64	30.4
G2	2643	48.2	0.867	49874	0.9215	173433	2278832	448210	0.64	28.1
G3	2918	53.5	1.081	33307	0.954	131839	1754756	185191	0.74	16.6
G4	2512	51.3	0.903	46518	0.977	55759	796141	494054	0.69	16.2
G5	2389	59.4	0.987	1906	0.9606	81416	1119426	599047	0.74	22.5
G6	2454	50.7	0.870	43290	0.9734	75781	1048420	548359	0.77	19.4
G7	2604	52.9	0.959	11270	0.9627	75077	1039546	404743	0.92	27.8
G8	2738	53.3	1.023	35945	0.9775	47019	686020	270299	0.94	25.7
G9	2726	58.9	1.112	41682	0.9535	153740	2030700	309061	0.98	35.0
G10	2727	52.5	1.009	59337	0.9872	21930	369901	279944	0.72	17.9
G11	2876	56.6	1.143	32014	0.9805	94959	1290060	173584	0.74	20.5
G12	2776	51.6	0.967	121622	0.9055	210956	2751626	309566	0.94	44.0
G13	2917	58.0	1.181	6498	0.9695	162393	2139732	145949	0.78	29.1
G14	2960	53.1	1.106	49108	0.9855	56937	810982	122577	0.47	9.5
G15	3002	56.3	1.165	76368	0.9467	222182	2893076	138321	1.00	33.2
G16	2720	55.1	1.021	102144	0.9217	189309	2478878	331157	0.70	28.1
G17	2505	54.2	0.939	7868	0.952	99320	1345007	480402	0.77	29.5
G18	2307	46.1	0.733	18756	0.9436	221524	2884778	822244	0.87	41.0
G19	2248	64.3	0.976	120642	0.9075	208727	2723534	791693	0.59	14.6
G20	2454	55.0	0.925	44318	0.9329	141215	1872888	586844	0.83	37.9

جنبه مهم نمایش چندضلعی بای پلات گروه‌بندی محیط‌ها است، بطوریکه امکان شناسایی گروه‌های محیطی معنی‌دار در یک ناحیه (منطقه) را فراهم می‌نماید. بر این اساس محیط‌ها به چهار گروه و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه تقسیم شدند (شکل ۱). اولین گروه محیطی شامل محیط‌های MRF18، MRF16، MIR18، MIR16، KIR18 و KRF16 (محیط‌های مربوط به کرمانشاه) بود که ژنوتیپ G15 و بعد از آن ژنوتیپ G14 دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بودند. گروه دوم شامل محیط‌های MRF17، MIR17 (محیط‌های مربوط به مراغه) و KIR17، KRF17 (محیط‌های مربوط به کرمانشاه) و SRF16 و SRF18 (محیط‌های مربوط به شیروان) بود که ژنوتیپ G3 دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بود. گروه سوم شامل محیط‌های KIR16 و KRF18 (کرمانشاه) بود که ژنوتیپ G13 دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بود. گروه چهارم محیطی شامل محیط SRF17 (محیط مربوط به شیروان) بود که ژنوتیپ G18 دارای بیشترین عملکرد در این گروه بود. ژنوتیپ‌های G19، G5، G1 و G16 در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. نتایج حاصل از گروه‌بندی

یکی از جنبه‌های GGE بای پلات، تجزیه الگوی چندضلعی برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که بهترین روش برای مشاهده الگوهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط جهت تفسیر مؤثر بای پلات و مطالعه وجود احتمالی مگا-محیط‌ها در یک منطقه می‌باشد (Gauch and Zobel, 1997; Yan *et al.*, 2000; Yan and Kang, 2003). در شکل ۱، نمایش چندضلعی GGE بای پلات برای عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط دیم و آبیاری تکمیلی نشان داده شده است. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به هم متصل شده‌اند و بقیه ژنوتیپ‌ها در درون چندضلعی قرار دارند. ژنوتیپ‌هایی که رئوس چندضلعی را تشکیل می‌دهند شامل G15، G13، G3، G18 و G19 هستند. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند، زیرا دارای بیشترین فاصله از مرکز بای پلات می‌باشند (Yan and Kang, 2003). بر هر ضلع چندضلعی یک عمود از مرکز بای پلات رسم می‌شود که بای پلات را به چند بخش تقسیم می‌کند که محیط‌ها در بخش‌های یکسان و یا متفاوتی قرار می‌گیرند. یک



شکل ۱- نمایش گرافیکی GGE بای پلات عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط دیم و آبیاری تکمیلی

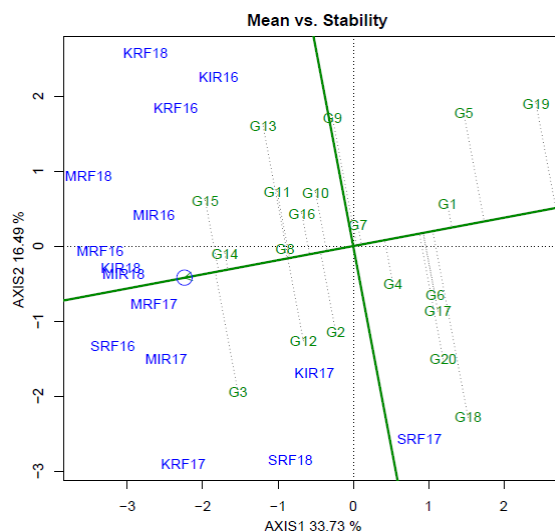
Fig. 1. GGE biplot for grain yield of 20 durum wheat genotypes across 15 rainfed and supplementary irrigation environments

خطی که بر خط ATC عمود و از مرکز بای پلات می‌گذرد، معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها است. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط فاصله بیشتری داشته باشند، در برهمکنش نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر این اساس ژنوتیپ G14 از لحاظ ترکیب پایداری و عملکرد، بهترین ژنوتیپ و بعد از آن ژنوتیپ‌های G8، G15، G16 قرار داشتند. ژنوتیپ‌های G3، G12، G13، G2 با عملکرد بیشتر از میانگین، نقش بیشتری در برهمکنش داشته و تمایل به سازگاری خصوصی داشتند. ژنوتیپ‌های G5، G18، G20 و G19 با عملکرد کمتر از میانگین ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های G7 و G9 با عملکرد در حد متوسط به ترتیب بیشترین و کمترین پایداری عملکرد را در محیط‌های مورد بررسی داشتند.

در نمایش بای پلات (شکل ۳)، کسینوس زاویه بین دو بردار محیطی (خطوطی که نشانگرهای محیطی را به مرکز بای پلات وصل می‌کند) تقریباً برابر است با همبستگی بین دو محیط، که هر چه زاویه بین دو بردار کوچک‌تر باشد، دو محیط همبستگی بیشتری با هم دارند (Yan and Kang, 2003). بر این اساس گروه‌های

ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بیانگر وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط است، بطوریکه رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت و گاهی عکس هم می‌باشد که نشان دهنده برهمکنش کراس اوری در برنامه به‌نژادی گندم دوروم در مناطق دیم معتدل و سرد کشور می‌باشد. عدم امکان قرار گرفتن محیط‌های مربوط به یک مکان در یک گروه نیز نشان دهنده وجود برهمکنش سال در مکان و همچنین سال در ژنوتیپ و ژنوتیپ در مکان می‌باشد.

ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم مورد بررسی بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری در ۱۵ محیط در شکل ۲ ارائه شده است. خطی که از مرکز بای پلات می‌گذرد و از نقطه مطلوب (که نماینده متوسط ضرایب دو مولفه اول برهمکنش (PC1, PC2) در مدل GGE بای پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (Average Tester Coordinate; ATC) نامیده می‌شود (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره‌ای که بر روی این خط قرار دارد نزدیک‌تر باشند، دارای عملکرد بیشتری هستند.



شکل ۲- عملکرد دانه و پایداری عملکرد ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط دیم و آبیاری تکمیلی

Fig. 2. Grain yield and yield stability of 20 durum wheat genotypes across 15 rainfed and supplementary irrigation environments

آب و هوایی متنوع و برهمکنش ژنوتیپ در سال قابل توجه بود، بطوریکه زاویه بین محیط‌های مربوط به کرمانشاه بیشتر از ۹۰ درجه بود که این موضوع باعث تفاوت در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم دوروم در سال‌های مورد بررسی شد. یک محیط مطلوب باید بطور مشخص تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از منطقه هدف باشد. محیط مطلوب باید دارای دو ویژگی عمده باشد: الف- دارای توانایی بالایی در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها باشد و ب- نماینده‌ای برای سایر محیط‌های مورد آزمایش باشد (Yan and Kang, 2003). این مفهوم از محیط‌های مطلوب برای گیاهان مختلف از جمله ذرت (Fan et al., 2007)، انواع گندمیان (Robins et al., 2007) و پنبه (Dimitrios et al., 2008) مورد استفاده قرار گرفته است.

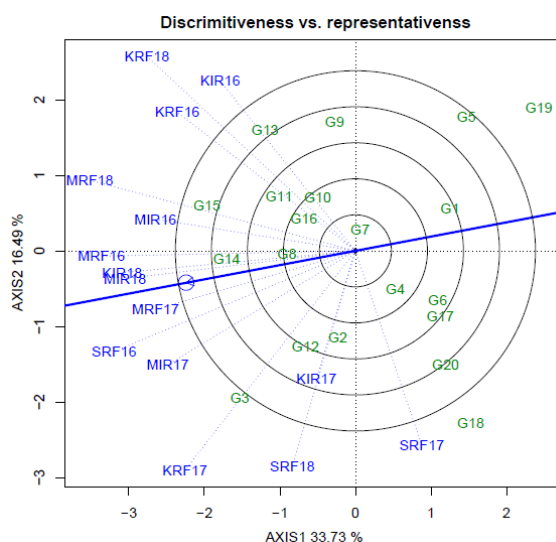
در شکل ۳ دایره کوچک نشان داده شده روی خط ATC محلی است که باید محیط مطلوب باشد. این نقطه بعنوان محیط مطلوب مجازی در نظر گرفته می‌شود، بنابراین هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور ATC کمتر باشد، محیط مورد نظر به محیط مطلوب نزدیک‌تر می‌باشد (Yan et al., 2000). بر اساس شکل ۳، محیط‌های MRF16، SRF16، KIR18، MIR18 و MRF17 را می‌توان به عنوان محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد ارزیابی در نظر گرفت. شرایط مطلوب بودن این محیط‌ها در شکل ۴ نیز بخوبی قابل مشاهده است. در شکل ۴ دایره متحدالمرکز کوچک نشان داده شده در شکل محلی است که محیط مطلوب قرار دارد و هر چه محیطی به این دایره نزدیک‌تر باشد، آن محیط به شرایط مطلوب نزدیک‌تر است (Yan and Kang, 2003)، بنابراین محیط‌های MRF16، SRF16، KIR18، MIR18 و MRF17 که نزدیک به دایره متحدالمرکز هستند، نماینده محیط‌های مطلوب در آزمایش هستند که دارای بیشترین قدرت تمایز و نمایندگی می‌باشند. هر چه طول بردار

محیطی در یک منطقه که گروهی از مواد ژنتیکی در آنها آزمایش می‌شوند، می‌توانند از یکدیگر تفکیک شوند (Gauch and Zobel, 1997). این روش برای تفکیک محیط‌های مشابه از محیط‌های غیر مشابه قبلاً نیز مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات شکل ۳ بیشترین تشابهات بین محیط‌های مورد آزمایش عبارتند از: همبستگی بالای بین محیط‌های KRF16، KRF17 و KRF18 که همگی مربوط به کرمانشاه هستند. همچنین همبستگی بالایی بین همه محیط‌های دیم و آبیاری تکمیلی مربوط به مراغه با برخی از محیط‌های کرمانشاه (KIR18) و شیروان (SRF16) وجود داشت. همبستگی بالایی بین محیط‌های KRF17 و KIR17 (محیط‌های مربوط به کرمانشاه) و SRF17 و SRF18 (محیط‌های مربوط به شیروان) وجود داشت. زاویه بین بردارهای محیطی مربوط به مراغه و شیروان با محیط‌های مربوط به کرمانشاه بیشتر از ۹۰ درجه بود که این موضوع نشان می‌دهد این محیط‌ها همبستگی منفی در تفکیک ژنوتیپ‌ها دارند، اما برخی از محیط‌های مربوط به کرمانشاه با محیط‌های مربوط به شیروان همبستگی مثبت و برخی نیز با محیط‌های مربوط به مراغه همبستگی مثبت داشتند.

بر اساس اطلاعات شکل ۳ حداکثر زاویه بین بردارهای محیطی مربوط به مراغه کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان دهنده همبستگی محیط‌های مراغه در سال‌های مختلف است. زاویه بین محیط‌های شیروان نیز حداکثر بیشتر از ۹۰ درجه نبود که این موضوع نشان می‌دهد در محیط‌های مربوط به هر یک از ایستگاه‌های مراغه و شیروان در سال‌های مختلف از لحاظ شناسایی ژنوتیپ‌های خاص همبستگی مثبت وجود داشت، بعبارت دیگر برهمکنش ژنوتیپ در سال در این دو ایستگاه زیاد نیست، زیرا در هر دو ایستگاه تغییرات آب و هوایی در سال‌های اجرای آزمایش روی ژنوتیپ‌ها اثر معکوسی نداشت، اما در کرمانشاه با توجه به معتدل بودن شرایط اقلیمی ایستگاه سرارود، شرایط

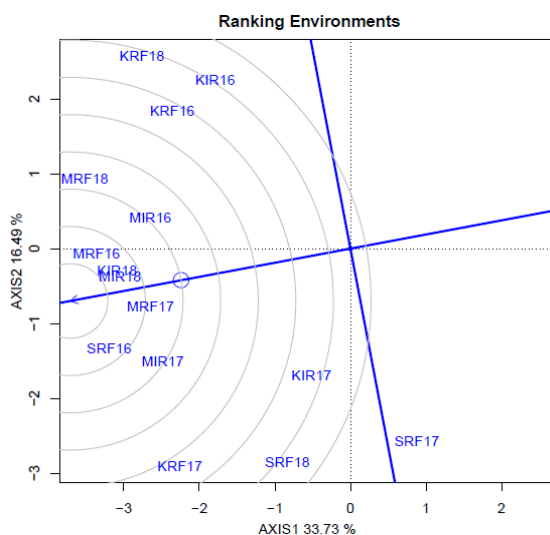
محیطی کوچک تر باشد، آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین محیطها دارد. بر این اساس محیط KIR17 (محیط آبیاری تکمیلی کرمانشاه) دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپهاست. محیطهای KRF18 و KRF17

محیطی کوچک تر باشد، آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین محیطها دارد. بر این اساس محیط KIR17 (محیط آبیاری تکمیلی کرمانشاه) دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپهاست. محیطهای KRF18 و KRF17



شکل ۳- ارزیابی محیطها از نظر "قدرت تفکیک در مقابل نمایندگی" آنها برای ارزیابی ژنوتیپهای گندم دوروم

Fig. 3. Evaluation of test environments for "Discriminating power vs. Representativeness" for evaluation of durum wheat genotypes



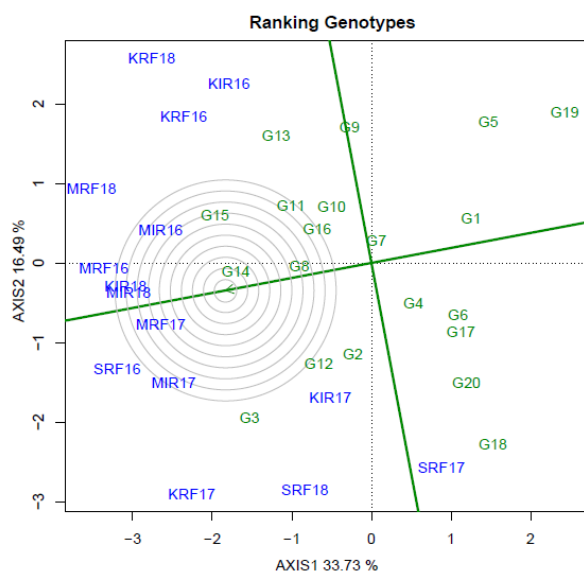
شکل ۴- ارزیابی محیطها نسبت به محیط مطلوب در مدل GGE بای پلات برای ارزیابی ژنوتیپهای گندم دوروم

Fig. 4. GGE biplot showing evaluation of test environments in compared to an ideal environment for evaluation of durum wheat genotypes

میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است (به صورتی که در شکل ۵ بصورت یک دایره کوچک متحدالمرکز روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داده شده است). اگر چه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد، اما می‌تواند بعنوان یک مرجع برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپی مطلوب در نظر گرفته می‌شود که به این مرجع نزدیک تر باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G8، G14، G15، G16 و G11 را می‌توان بعنوان ژنوتیپ‌های مطلوب در آزمایش حاضر که دارای میانگین و پایداری عملکرد بالایی بودند، در نظر گرفت.

تفکیک و نمایندگی سایر محیط‌ها داشتند. دلیل این موضوع این است که اکثر ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد بررسی در این تحقیق زمستانه بوده و سازگاری بهتری نسبت به محیط‌های سرد مراغه داشتند. این شرایط امکان شناسایی لاین‌های امید بخش زمستانه در بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم که مهم‌ترین چالش فراروی توسعه این محصول در مناطق سرد می‌باشد را فراهم می‌سازد.

یک ژنوتیپ مطلوب باید دارای بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و عملکرد پایدار نسبت به شرایط محیطی متغیر باشد. چنین ژنوتیپی بعنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار

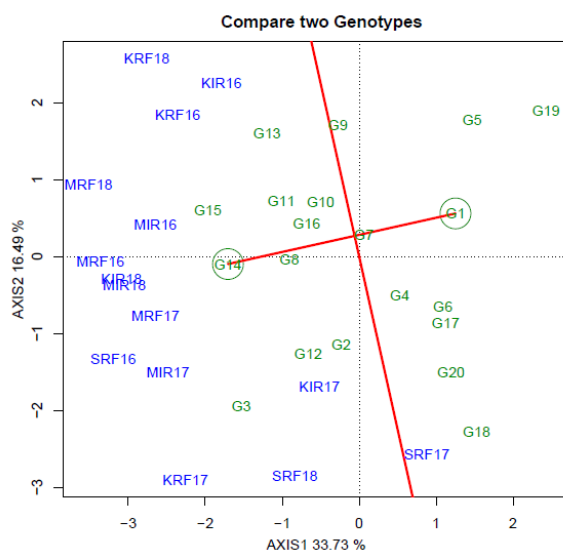


شکل ۵- ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم نسبت به ژنوتیپ مطلوب در مدل GGE بای پلات

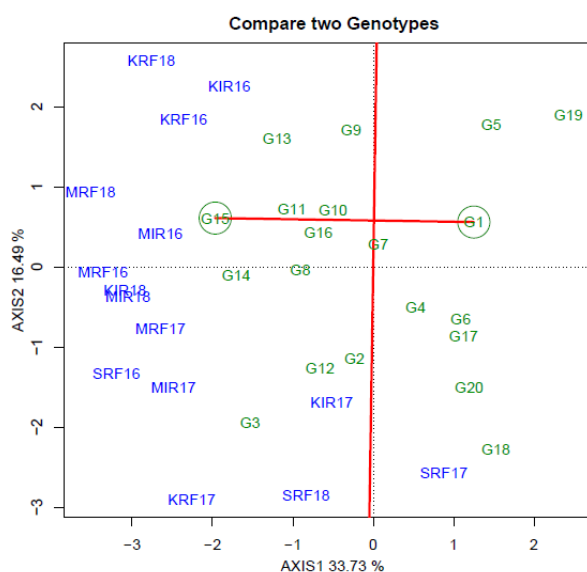
Fig. 5. GGE biplot showing evaluation of durum wheat genotypes compared to an ideal genotype

لاین‌های زمستانه برای توسعه کشت گندم دوروم در مناطق دیم سرد می‌باشد. با توجه به وجود عدم رقم گندم دوروم مناسب برای شرایط دیم سرد کشور، بهره‌برداری از این لاین‌ها می‌تواند مشکل عدم دسترسی به رقم مناسب گندم دوروم برای مناطق دیم سردسیر کشور را مرتفع نماید.

مقایسه سازگاری لاین‌های زمستانه G14 و G15 نسبت به شاهد آزمایش (G1) در محیط‌های سرد و معتدل سرد به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، لاین‌های با تیپ زمستانه سازگاری بیشتری به محیط‌های سرد دارند و این موضوع نشان دهنده اهمیت انتخاب



شکل ۶- مقایسه سازگاری لاین امیدبخش G14 با شاهد (G1) گندم دوروم در محیط‌های سرد و معتدل سرد
 Fig. 6. Comparison of promising line G14 with the check (G1) of durum wheat in cold and moderate cold environments



شکل ۷- مقایسه سازگاری لاین امیدبخش G15 با شاهد (G1) گندم دوروم در محیط‌های سرد و معتدل سرد
 Fig. 7. Comparison of promising line G15 with the check (G1) of durum wheat in cold and moderate cold environments

داشته و امکان انتخاب لاین‌های با پتانسیل و پایداری عملکرد بالا نسبت به شاهد وجود داشت. با توجه به عدم وجود رقم مناسب برای شرایط دیم سردسیر در برنامه به‌نژادی گندم دوروم، بهره‌برداری از لاین‌های

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع زیادی برای عملکرد و پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم دوروم دیم در محیط‌های سرد و معتدل سرد وجود

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۴۱۶۵-۱۵-۱۵-۰ موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد. بدینوسیله از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم که امکانات اجرای این پروژه در ایستگاه‌های تحقیقاتی دیم را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود. نگارندگان از همکارانی که در اجرای این پروژه تحقیقاتی در ایستگاه‌های تحقیقاتی دیم همکاری نمودند، سپاسگزاری می‌نمایند.

امیدبخش حاصل از این تحقیق می‌تواند امکان بهبود ژنتیکی در برنامه به‌نژادی گندم دوروم دیم در شناسایی ارقام گندم دوروم زمستانه را فراهم سازد. مقایسه آماره‌های پارامتری تک متغیره با مدل GGE بای پلات نشان می‌دهد که هر دو مدل در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار معمولاً شبیه هم عمل می‌کنند. بر اساس نتایج این تحقیق ایستگاه مراغه یک محیط مطلوب برای ارزیابی ژنوتیپ‌های زمستانه و ژنوتیپ‌های G14، G15، G8، G16 و G11 بعنوان ژنوتیپ‌های مطلوب گندم دوروم شناسایی شدند.

References

منابع مورد استفاده

- Able, J., and S. Atienza. 2014.** Durum wheat for the future: Challenges, research, and prospects in the 21st century. *Crop Pasture Sci.* 65: 1-124.
- Balalić, I., M. Zorić, G. Branković, S. Terzić and J. Crnobarac. 2012.** Interpretation of hybrid× sowing date interaction for oil content and oil yield in sunflower. *Field Crops Res.* 137: 70-77.
- Dimitrios, B., G. Christos, R. Jesus and B. Eva. 2008.** Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agron. J.* 100: 1230-1236.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- 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. *Agron. J.* 99: 220-228.
- Finlay, K. W. and G. N. Wilkinson. 1963.** The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Francis, T. R. and L. W. Kannenberg. 1978.** Yield stability studied in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 58: 1029-1034.
- Gabriel, K. R. 1971.** The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1997.** Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311-326.
- Lin, C. S. and M. R. Binns. 1988.** A method for analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. *Theor. Appl. Genet.* 76: 425-430.
- Nachit, M. M., M. Baum, E. Poreciddu, P. Monneveux and E. Picard. 1998.** SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa) Durum Research Network. Proceeding of the SEWANA Durum Network Workshop, 20-23 March 1995. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Moslemi, M., M. Roustaii and V. Rashidi. 2012.** Evaluation of grain yield and yield components in bread

- wheat genotypes under different moisture regimes. *Seed Plant Improv. J.* 28(4): 611–630. (In Persian with English abstract).
- Nassar, R. and M. Huhn. 1987.** Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45-53.
- Perkins, J. M. and J. L. Jinks. 1968.** Environment and genotype-environmental components of variability. *Heredity* 23: 339-3256.
- Plaisted, R. L. and L. C. Peterson. 1959.** A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *Am. Pot. J.* 36: 381-385.
- Pinthus, J. M. 1973.** Estimate of genotype value: a proposed method. *Euphytica*, 22: 121-123.
- R Core Team. 2016.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rakshit, S., K. N. Ganapathy, S. S. Gomashe, A. Rathore, R. B. Ghorade, M. V. Nagesh-Kumar, K. Ganesmurthy, S. K. Jain, M. Y. Kamtar, J. S. Sachan, S. S. Ambekar, B. R. Ranwa, D. G. Kanawade, M. Balusamy, D. Kadam, A. Sarkar, V. A. Tonapi and J. V. Patil. 2012.** GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica*, 85: 465-479.
- Sharma, R. C., A. I. Morgounov, H. J. Braun, B. Akin, M. Keser, D. Bedoshvili, A. Bagci, C. Martius and M. van Ginkel. 2010.** Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in Central and West Asia. *Euphytica*, 171: 53-64.
- Robins, J. G., B. L. Waldron, K. P. Vogel, J. D. Berdahl, M. R. Haferkamp, K. B. Jensen, T. A. Jones, R. Mitchell and B. K. Kindiger. 2007.** Characterization of testing locations for developing cool-season grass species. *Crop Sci.* 47: 1004-1012.
- Rose, I. V. 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 Bermuda grass. *Euphytica*, 164: 19-25.
- Shafii, B., K. A. Mahler, W. J. Price and D.L. Auld. 1992.** Genotype- environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. *Crop Sci.* 32: 922-927.
- Shukla, G. K. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245.
- Wricke, G. 1962.** Uber eine methode zur refassung der okologischen streubreite in feldversuchen, *Flazenzuecht* 47: 92-96.
- Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000.** Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
- Yan, W. and M. S. Kang. 2003.** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yates, F. and W. G. Cochran. 1938.** The analysis of groups of experiments. *J Agric. Sci.* 28: 556-580.

Evaluation of genotype × environment interaction in durum wheat (*Triticum turgidum* var. durum L.) regional yield trials

Mohammadi, R.,¹ B. Sadeghzadeh² and M. Masoud Ahmadi³

ABSTRACT

Mohammadi, R., B. Sadeghzadeh and M. Masoud Ahmadi 2020. Evaluation of genotype × environment interaction in durum wheat (*Triticum turgidum* var. durum L.) regional yield trials. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 22(1): 15-31. (In Persian).

The objective of this experiment was to analyze genotype × environment (GE) interaction for grain yield of 20 durum wheat genotypes to identify the yield stability and adaptability of genotypes using GGE biplot method as well as some univariate stability statistics. The genotypes were evaluated in three rainfed stations of Sararood (Kermanshah), Maragheh and Shirvan, Iran under both rainfed and supplemental irrigation conditions in three cropping cycles from 2015 to 2018. Combined analysis of variance showed significant differences among the genotypes, environments and GE interaction effects. The environment effect was accounted for the 81.9% followed by GE interaction for 5.2% and genotype for 2.1% of total sum of squares (TSS). The large size of the GE interaction variance relative to genotype, suggests the possible existence of sub-environmental groups and genotypes with high grain yield and specific adaptation. Mean grain yield of genotypes across all environments was 2649 kg.ha⁻¹, and 2212 and 3303 kg.ha⁻¹ under rainfed and supplemental irrigation conditions, respectively. The highest mean yield was observed for breeding line G15 (2622 kg.ha⁻¹) under rainfed conditions, and G3 (3744 kg.ha⁻¹) under supplemental irrigation conditions. The GGE biplot analysis could differentiate environments to sub-environmental groups with top yielding genotypes. According to GGE biplot, breeding lines G14, G15, G8, G16 and G11 were identified as ideal genotypes with high mean grain yield and yield stability performance. Based on stability parameters the high yielding breeding line G14 identified to have the most stable grain yield. The environments belonged to Maragheh location with higher "discriminateness and representativeness" ability was found as ideal location for evaluation of winter durum wheat germplasm. The results also showed genetic gains for high grain yield and yield stability for durum wheat breeding program under cold and temperate cold dryland conditions of Iran.

Key words: Adaptability, Durum wheat, Genotype×environment interaction, GGE biplot and Yield stability.

Received: April, 2019 Accepted: August, 2019

1. Associate Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Kermanshah, Iran (Corresponding author) (Email: r.mohammadi@areeo.ac.ir)
2. Associate Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Maragheh, Iran
3. Instructor., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Northern Khorasan Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Bojnourd, Iran