

تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های امیدبخش گندم نان منطقه سرد تحت شرایط بهینه و تنش خشکی آخر فصل

Stability analysis of grain yield of promising bread wheat genotypes in the cold climate zone under non-stress and late season drought-stress conditions

علی قربانی^۱، حبیب اله قزوینی^{۲*}، رقیه امینیان^۳، سید شهریار جاسمی^۴ اشکبوس امینی سفیدآب^۵

۱. دانش آموخته دوره دکتری، گروه اصلاح نباتات، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، ایران.
۲. استاد، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نگارنده مسئول)
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
۴. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵. دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۴ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2026.368656.1694

چکیده

قربانی، ع.، قزوینی، ح.، امینیان، ر.، جاسمی، س.ش.، امینی سفیدآب، ا.، . تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های امیدبخش گندم نان منطقه سرد تحت شرایط بهینه و تنش خشکی آخر فصل
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۷ - شماره ۲- پیاوند ۱۴۳ تابستان ۱۴۰۳ صفحه: ۸۵-۱۰۶

به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه و ارزیابی تحمل به تنش خشکی آخر فصل، تعداد ۱۴ لاین امیدبخش گندم نان به همراه چهار رقم شاهد منطقه سرد در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی آخر فصل در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و ایستگاه خیرآباد زنجان بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر متقابل سال × مکان در هر دو شرایط در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال در آزمایش بهینه و خشکی آخر فصل به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی دار شده است. با توجه به معنی دار بودن اثرات متقابل سال × مکان و ژنوتیپ × سال در آزمایش بهینه و تنش خشکی آخر فصل برای بررسی دقیق تر اثرات متقابل و پیدا کردن ارقام و لاین های سازگار در شرایط محیطی مختلف تجزیه پایداری ارقام و لاین ها با استفاده از روش امی انجام شد. نتایج تجزیه امی نشان داد که ژنوتیپ های ۸، ۵، ۶ و ۱۲ جزء چهار ژنوتیپ برتر آزمایش از نظر عملکرد دانه بودند. ژنوتیپ شماره ۱۲ با داشتن میانگین عملکرد دانه بالا و مقادیر کم مولفه های اصلی اول و دوم بیشترین سازگاری را داشت و ژنوتیپ شماره ۵ با وجود داشتن عملکرد خوب به دلیل داشتن مقادیر بالای مولفه های اصلی اول و دوم سازگاری خوبی در محیط های آزمایشی نشان نداد. در مجموع می توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ شماره ۱۲ از سازگاری و پایداری عملکرد خوبی در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه برخوردار بود.

واژه های کلیدی: گندم نان، تجزیه پایداری عملکرد، اثرهای اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Habib_ghaz@yahoo.com

مقدمه:

گندم نان با نام علمی (*Triticum aestivum*) L. مهم ترین گیاه زراعی جهان بوده که به طور مستقیم با تغذیه جمعیت جهانی در ارتباط می باشد. (Lv et al., 2021) به دلیل تطابق زیاد گندم با شرایط آب و هوایی مختلف محیطی، دامنه پراکندگی آن بیش از هر گیاه دیگر می باشد. (Alam et al., 2020) گندم نان به عنوان محصول راهبردی در بین گیاهان زراعی با سطح زیر کشت بیش از ۲۴۲/۳ میلیون هکتار با عملکرد ۴۲۳۰ کیلوگرم در هکتار و تولید ۸۹۵/۱۸ میلیون تن رتبه نخست را در جهان به خود اختصاص داده است. (Anonymous, 2020). گندم از نظر اقتصادی و تامین غذای اصلی از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد و به همین دلیل از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم ترین محصول کشاورزی ایران است و لذا افزایش محصول (عملکرد در واحد سطح) آن روز به روز مورد توجه قرار گرفته است. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ سطح محصولات زراعی حدود ۱۲/۹۵ میلیون هکتار بوده که سطح مربوط به غلات ۷۸/۷۴ درصد می باشد. در این سال حدود ۸۳/۷۸ میلیون تن انواع محصولات زراعی برداشت شده است که سهم غلات ۲۹/۵۳ درصد بوده است. گندم آبی در این سال با تولید ۱۰/۴۷ میلیون تن و سهم ۱۳/۸۷ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعت آبی رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. بیشترین میزان تولید دیم از بین محصولات زراعی مربوط به محصول گندم با تولید حدود ۶/۱۴ میلیون تن و سهم ۷۴/۵۱ درصد از کل

میزان تولید محصولات زراعی دیم بوده است (Agricultural Statistics, 2024). اگر چه سطح زیر کشت گندم در سال های اخیر کاهش یافته اما میزان تولید آن نه تنها کاهش نداشته است بلکه افزایش نیز نشان داده است (FAO, 2022). لازمه رسیدن به عملکرد مطلوب در گندم و جو، مدیریت تمام عوامل موثر بر تولید از جمله کوددهی اصولی، رعایت تاریخ کاشت، تراکم و عمق مناسب کاشت، آبیاری ها، مدیریت آفات و بیماری ها، علف های هرز و ... است. بنابراین عملکرد نهایی، نتیجه مجموعه ای از عوامل مدیریتی در مزرعه است و یک عامل (به عنوان مثال کوددهی) به تنهایی نمی تواند افزایش چشمگیر عملکرد را رقم بزند. (Agroriranexpert, 2025). امنیت غذایی جهان با افزایش سریع جمعیت و تغییرات اقلیمی شدیداً تحت تاثیر قرار گرفته است (Lesk et al., 2016). در حال حاضر کمبود آب مشکلی است که در سراسر جهان دیده می شود و در حال تبدیل شدن به یک معضل بزرگ است (Mathur et al., 2019). تنش خشکی از مهم ترین تنش های محیطی در سراسر جهان است که عامل کاهش تولید و بهره وری محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است. (Mahdavi et al., 2019). خشکی از عوامل محدود کننده رشد در غلات و به ویژه گندم می باشند. (Lv et al., 2021) در پژوهشی با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ های گندم نان اعلام شد که در هر دو شرایط تنش خشکی انتهای فصل و آبیاری بهینه، صفات وزن سنبله اصلی، وزن کل سنبله ها و عملکرد بیولوژیک

بیشترین همبستگی مثبت و تاثیر را در افزایش عملکرد دانه داشتند (Dashtaki *et al.*, 2023). مطالعه و سنجش میزان سازگاری و پایداری عملکرد ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاح نباتات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در توصیه ارقام برای زراعت در یک منطقه، عملکرد دانه به تنهایی معیار مناسبی برای انتخاب نبوده و تخمین درجه سازگاری و ثبات عملکرد دانه معیار مطمئن‌تری نسبت به آن است (Najafi Mirak, 2011). در این رابطه، روش‌های متعددی به منظور برآورد پایداری ژنوتیپی و نیز تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط محققین مختلف پیشنهاد شده‌اند. روش بای‌پلات ابزاری بسیار مفید جهت ارزیابی چشمی و تفسیر پاسخ الگوی ارقام، محیط‌ها و اثر متقابل آنها می‌باشد. بای‌پلات نمایش گرافیکی و ارائه رفتار همزمان دو منبع متغیر می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط (Gabriel, 1971) پیشنهاد شد و در ادامه این پژوهش‌ها، روش گرافیکی مناسبی جهت تجزیه داده‌های با حجم زیاد توسط سایر محققین نیز معرفی شد. (Crossa, 2006 & Gauch, 1991 *et al.*) به علت وجود برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف توسط به نژادگران یک ضرورت محسوب می‌شود. محققین معیارهای پارامتری و ناپارامتری متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آنها به کار برده‌اند (Farshadfar *et al.*, 2012) که یکی از آنها مدل AMMI (Additive main effects and multiplicative interaction) است. روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مولفه‌های اصلی است که از آن برای تجزیه و تحلیل مطالعات سازگاری استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از تجزیه واریانس، اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط برآورد شده (اثرات اصلی جمع پذیر) و سپس با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (اثرات متقابل ضرب پذیر) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. پاسخ و واکنش یک ژنوتیپ در چند محیط مختلف ممکن است در یک فضای چند بعدی توصیف و بنابراین تفسیر آزمایش‌های یکنواخت سراسری عملکرد ساده‌تر شود و ارتباط پیچیده و مرکب بین مکان‌ها، ژنوتیپ‌ها و یا بین هر دو با دقت توسط یک شکل پراکنش توضیح داده شود (Gauch, 2006 & Zobel, 1996). ژنوتیپ‌های پایدار براساس این روش با رسم مقادیر دو مولفه اصلی در یک نمودار تعیین می‌گردد (Clay & Dombek, 1995). رابطه بین عملکرد و محیط و گروه‌بندی محیط‌ها بر پایه میزان تولید آنها نقش مهمی در تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها دارد (Cornlius *et al.*, 1992). از مدل امی در برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط در گیاهان مختلف مانند نخود زراعی (Zali *et al.*, 2012)، گندم دوروم (Aghaee-Sarbarzeh *et al.*, 2012)، گندم (Roostaei *et al.*, 2014)، کلزا (Zali *et al.*, 2016)، برنج (Sharifi *et al.*, 2017) و جو (Ghazvini *et al.*, 2024) استفاده شده است. این تحقیق به منظور بررسی عکس العمل لاین‌های امیدبخش گندم نان به تنش‌های خشکی آخر فصل (قطع آبیاری بعد از مرحله گلدهی ژنوتیپ‌ها) و سرما در مناطق کرج و زنجان با هدف

بیشترین همبستگی مثبت و تاثیر را در افزایش عملکرد دانه داشتند (Dashtaki *et al.*, 2023). مطالعه و سنجش میزان سازگاری و پایداری عملکرد ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاح نباتات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در توصیه ارقام برای زراعت در یک منطقه، عملکرد دانه به تنهایی معیار مناسبی برای انتخاب نبوده و تخمین درجه سازگاری و ثبات عملکرد دانه معیار مطمئن‌تری نسبت به آن است (Najafi Mirak, 2011). در این رابطه، روش‌های متعددی به منظور برآورد پایداری ژنوتیپی و نیز تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط محققین مختلف پیشنهاد شده‌اند. روش بای‌پلات ابزاری بسیار مفید جهت ارزیابی چشمی و تفسیر پاسخ الگوی ارقام، محیط‌ها و اثر متقابل آنها می‌باشد. بای‌پلات نمایش گرافیکی و ارائه رفتار همزمان دو منبع متغیر می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط (Gabriel, 1971) پیشنهاد شد و در ادامه این پژوهش‌ها، روش گرافیکی مناسبی جهت تجزیه داده‌های با حجم زیاد توسط سایر محققین نیز معرفی شد. (Crossa, 2006 & Gauch, 1991 *et al.*) به علت وجود برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف توسط به نژادگران یک ضرورت محسوب می‌شود. محققین معیارهای پارامتری و ناپارامتری متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آنها به کار برده‌اند (Farshadfar *et al.*, 2012) که یکی از آنها مدل AMMI (Additive main effects and multiplicative interaction) است. روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به

جدول ۱: مشخصات اقلیمی ایستگاه های تحقیقاتی

Table 1. Climatic characteristics of the research stations

مکان Location	بارندگی سالیانه (میلی متر) Annual rainfall (mm)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Height above sea level (meters)	متوسط دمای سالیانه (درجه سانتی گراد) Average annual temperature (degrees Celsius)
کرج Karaj	247.3	51° 12'	35° 52'	1321	14.4
زنجان، خیرآباد Zanjan, Khairabad	284	31° 36'	47° 48'	1767	5

انتخاب ژنوتیپ های با پایداری عملکرد دانه بالا در محیط های مختلف و متحمل به تنش های محیطی مزبور انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در مزرعه بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و همچنین ایستگاه خیرآباد زنجان بمدت دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) و (۱۴۰۰-۱۳۹۹) انجام شد. مشخصات اقلیمی مناطق کرج و زنجان در جدول ۱ نشان داده شده است.

ژنوتیپ های مورد بررسی جهت اندازه گیری پایداری عملکرد دانه و بررسی تحمل به خشکی در قالب آزمایش بلوک های کامل تصادفی در دو سال زراعی در کرج و ایستگاه خیرآباد زنجان در سه تکرار در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی آخر فصل کشت شدند. هر کرت شامل دو پشته به عرض هر کدام ۰/۶۰ متر و ۷/۲۰ متر مربع بود که پس از حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت مساحت برداشت شش متر مربع گردید. میزان بذر براساس ۴۰۰ دانه در متر مربع منظور شد و توزین بذر لازم برای کاشت در هر کرت با توجه به وزن هزار دانه ارقام انجام گردید. عملیات خاک ورزی،

تهیه بستر کاشت، تراکم، تغذیه و مبارزه با آفات، بیماری ها و علف های هرز مبتنی بر اصول متداول اجرا گردید. پس از برداشت و توزین، تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS ۹,۱,۳ و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای تعیین تحمل ژنوتیپ های تحت بررسی به تنش خشکی از میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها در محیط تنش (YS) و میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها در محیط بدون تنش (YP) استفاده شد. تعیین میزان خسارت سرما در زنجان براساس رتبه بندی بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران در پنج کلاس به صورت: (۱) مقاوم، (۲) نیمه مقاوم، (۳) متوسط، (۴) نیمه حساس و (۵) حساس انجام شد. همچنین جهت تعیین میزان تحمل سرمای ژنوتیپ ها ((LT50 در کرج از روش پیشنهادی (Limin & Fowler, 2006) استفاده گردید. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار EXCEL و تجزیه اثرهای اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر (AMMI) با استفاده از نرم افزار ۱۲,۱ Gen stat انجام شد. فهرست ژنوتیپ های مورد بررسی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱۲: شجره ژنوتیپ های مورد بررسی در کرچ و زنجان

Table. Pedigree of genotypes investigated at the Karaj and Zanjan research stations

شماره ژنوتیپ	نام و شجره	منشا	تاریخچه انتخاب
Genotype No.	Name and Pedigree	Origin	Selection history
G1	Milhan (Check#1 for Cold zone)	Iran	-
G2	Heidari (Check#2 for Cold zone)	Iran	-
G3	Zarneh (Check#3 for Cold zone)	Iran	-
G4	Zareh (Check#4 for Cold zone)	Iran	-
G5	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi	Iran	1-C-19324-1
G6	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi	Iran	1-C-19324-2
G7	Charer/CMH80A.768/3*Cho79/3/Zrn	Iran	1-C-19467-1
G8	Charer/CMH80A.768/3*Cho79/3/Zrn	Iran	1-C-19467-2
G9	Spb"s"/K1349/Go/3/Ve"s"/4/Bkt/90-Zhonge 87	Iran	1-C-19369-1
G10	Shahpasand/Norman	Iran	1-C-19521
G11	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi	Iran	1-C-19324-1
G12	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi	Iran	1-C-19324-2
G13	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi	Iran	1-C-19324-3
G14	Sob"s"/K1349/Go/3/Ve"s"/4/Bkt/90-Zhonge 87	Iran	1-C-19369-2
G15	AU/3/Mtm/HK38MA/4/YMH/ERA/5/PVM//CNO/GIL/6/Kanz/Altar 84/AOS/7/Tam 105/3/NE/70654/BBY//Bow"s"/4/Century*3/T/24250	Turkey, CIMMYT	0AP-DH61
G16	GRK79/Tukuru	Turkey, CIMMYT	CGW505B00072S-099ML-161230
G17	MV Nemere (DI-9812 Amanda)	Hungary	KS061470K-2
G18	ARS97135-9/O3A-B4//KS0603A-49	Turkey, CIMMYT	

به مقایسه میانگین ها در شرایط بهینه (جدول ۴) ژنوتیپ های ۱۲، ۵، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب با داشتن عملکرد ۷/۱۲، ۷/۰۱، ۶/۹۲ و ۶/۷۴ تن در هکتار و برتری نسبت به هر چهار شاهد بیشترین عملکرد را داشته و ژنوتیپ شماره ۱۵ با داشتن عملکرد ۵/۰۵ تن در هکتار، کمترین عملکرد را در بین ژنوتیپ های مورد بررسی داشت. همچنین در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ های ۱۲، ۵، ۹ و ۸ به ترتیب با داشتن عملکرد ۵/۳۳۶، ۵/۳۰۰، ۵/۲۷۹ و ۵/۲۶۰ تن در هکتار دارای بالاترین عملکرد دانه بوده و نسبت به هر چهار شاهد آزمایش برتر بودند، ژنوتیپ شماره ۱۵ با عملکرد دانه به میزان ۴/۰۷۶ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را در بین لاین های مورد بررسی به خود اختصاص داده بود (جدول ۴).

معنی دار بودن اثر سال × مکان در هر دو شرایط نشان دهنده اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال های مورد آزمایش می باشد. با توجه به معنی دار بودن اثرات متقابل سال × مکان و ژنوتیپ × سال در آزمایش بهینه و تنش خشکی می توان استنباط کرد که عملکرد ارقام و لاین ها در مکان ها و سال های مختلف در نوسان بوده و برای بررسی دقیق تر اثرات متقابل و پیدا کردن ارقام و لاین های سازگار در شرایط محیطی مختلف باید تجزیه پایداری ارقام و لاین ها انجام گیرد.

تجزیه اثرهای اصلی جمع پذیر و اثر

متقابل ضرب پذیر (AMMI)

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه با استفاده از مدل AMMI با استفاده از نرم افزار ۱۲,۱ Genstat نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل

نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد در شرایط بهینه و خشکی (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سال × مکان در هر دو شرایط در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال در آزمایش بهینه و خشکی به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی دار شده است. با توجه

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در کرج و زنجان (نرمال و خشکی)

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield in Karaj and Zanjan (normal and drought)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (نرمال)	عملکرد دانه (تنش)
S.O.V.	d.f.	Grain yield (Normal)	Grain yield (stress)
سال	1	86.759	22.873
Year= Y			
مکان	1	438.626	227.774
Place= P			
سال × مکان	1	60.821**	101.867**
Y × P			
خطای اول	8	1.116	1.115
First error			
ژنوتیپ	17	2.491	1.695
Genotype= G			
ژنوتیپ × مکان	17	1.145	1.433
P × G			
ژنوتیپ × سال	17	1.592**	1.020*
Y × G			
ژنوتیپ × سال × مکان	17	0.748	0.372
P × Y × G			
خطای دوم	136	0.666	0.510
The second error			
ضریب تغییرات (%)		12.831	14.936
C. V. (%)			

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

تغییرات کلی مشاهده شده در آزمایش های چند محیطی، نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتر می باشد. در مطالعه ای در مورد بررسی پایداری ۴۰ ژنوتیپ گندم عنوان شد که سهم ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۱۵/۳، ۵۴/۲ و ۳۰/۵ درصد است (Ghodrati, 2014; Niari & Abdolshahi, 2014). سهم بالای محیط در توجیه مجموع مربعات کل در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است. (Samonte *et al.*, 2005; Fan *et al.*, 2007; Sabaghnia *et al.*, 2008; Rose *et al.*, 2008; Shahmohamadi *et al.*, 2005)

تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر مبنای مدل AMMI نشان داد که دو مولفه اصلی اثر متقابل در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بوده و به

ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شده است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ۹/۰۸٪ از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داده است، در حالی که این مقدار برای اثرات ساده ژنوتیپ و محیط به ترتیب برابر با ۴/۲۶٪ و ۷۳/۳۵٪ بود (جدول ۵). هر چند اثر متقابل ژنوتیپ × محیط منبع اصلی تغییرات نیست، ولی این اثر متقابل حدوداً ۲/۱۳ برابر اثر ژنوتیپ به تنهایی بود که نشان دهنده امکان وجود محیط های بزرگ اثر (Gauch & Zobel, 1996; Yan *et al.*, 2000) در آزمایشات مقایسه عملکرد گندم نان است. کم اثر بودن ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل است که در برنامه های اصلاحی گندم نان در سال های گذشته، ژنوتیپ های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده اند و نقش این ژنوتیپ های برتر در

جدول ۴: مقایسه میانگین مرکب عملکرد ژنوتیپ های مورد بررسی در طی دو سال زراعی در ایستگاه های کرج و زنجان

Table 4. Combined mean comparison of grain yield of the studied genotypes during two cropping seasons at the Karaj and Zanjan stations

شماره ژنوتیپ Genotype No.	عملکرد دانه تحت شرایط نرمال (تن در هکتار) Grain yield under normal conditions (tones ha ⁻¹)	عملکرد دانه تحت شرایط خشکی (تن در هکتار) Grain yield under drought conditions (tones ha ⁻¹)
G1	6.3762 ^{ab}	4.6883 ^{cde}
G2	6.2358 ^{bcd}	4.4573 ^{def}
G3	6.2948 ^{ab}	4.8999 ^{abc}
G4	6.1716 ^{bcd}	4.4873 ^{def}
G5	7.0118 ^{ab}	5.3001 ^{ab}
G6	6.4361 ^{ab}	4.2734 ^{ef}
G7	6.4504 ^{ab}	4.7179 ^{bcd}
G8	6.4810 ^{ab}	5.2603 ^{abc}
G9	6.2311 ^{bcd}	5.2792 ^{abc}
G10	5.9245 ^d	4.6364 ^{def}
G11	6.922 ^{abc}	4.8907 ^{abcd}
G12	7.120 ^a	5.3364 ^a
G13	6.7433 ^{ab}	4.7400 ^{abcde}
G14	6.3521 ^{ab}	4.2749 ^{ef}
G15	5.0552 ^e	4.0765 ^f
G16	6.2861 ^{ab}	4.8616 ^{abcde}
G17	6.2710 ^{ab}	5.0531 ^{abcd}
G18	6.1234 ^{cd}	4.8251 ^{abcde}

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نیستند (آزمون چند دامنه دانکن).
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5% probability level (Duncan's multiple range test).

ترتیب حدوداً ۳/۳۹٪ و ۷/۲۸٪ و در مجموع ۶۸٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند (جدول ۵). در پژوهشی در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ های گندم، از روش AMMI استفاده و بیان گردید که سه مولفه اول ۸۹٪ از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کردند (Askarinia *et al.*, 2009). در مطالعه دیگری در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ۲۰ ژنوتیپ گندم نان با استفاده از مدل AMMI، گزارش شد که سهم هر سه مولفه اصلی در توجیه اثر متقابل ۱۰۰٪ است (Esmacilzadeh Moghaddam *et al.*, 2010).

با توجه به سهم معنی دار مولفه های اصلی اول

و دوم در اثرات متقابل، جهت تعیین پایداری ژنوتیپ ها از این مولفه ها استفاده گردید. در شکل های ۱ و ۲ پراکنش ژنوتیپ ها به ترتیب بر پایه میانگین عملکرد ژنوتیپ ها و مقادیر مولفه های اصلی یک و دو نشان داده شده است. محور افقی نشانگر میانگین عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار و محور عمودی مقادیر مولفه های اصلی را نشان می دهند. در این مدل هرچه ژنوتیپ ها به مرکز بای پلات AMMI نزدیک تر باشند، دارای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتر و از پایداری عمومی بیشتری برخوردار هستند، بنابراین برای اکثر مکان ها قابل توصیه خواهند بود. در مقابل، ژنوتیپ هایی که دور از مرکز قرار می گیرند دارای پایداری

جدول ۵: تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های مورد مطالعه بر مبنای روش امی (AMMI)

Table 5. Stability analyzing of grain yield of the studied genotypes using AMMI method					
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Average of squares	F	F_prob
تیمارها Treatments	143	1159.3	8.11	13.79	**
ژنوتیپ Genotype=G	17	57	3.36	5.71	**
محیط Environment=E	7	980.8	140.12	125.56	**
بلوک Block	16	17.9	1.12	1.90	*
ژنوتیپ × محیط G × E	119	121.4	1.02	1.74	**
مؤلفه اصلی اول The first principal component	23	47.7	2.07	3.53	**
مؤلفه اصلی دوم The second principal component	21	34.9	1.66	2.82	**
باقیمانده left over	75	38.9	0.52	0.88	
خطا Error	272	159.9	0.59	-	-
کل Total	431	1337	3.10	-	-

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. * and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

خصوصی هستند (Gauch & Zobel, 1996) به عبارت دیگر ژنوتیپ هایی که دارای مقادیر مولفه های اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) باشند اثر متقابل بالایی دارند، در حالی که ژنوتیپ های واجد مقادیر مولفه های اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایینی هستند (جدول ۶).

ژنوتیپ های ۸، ۲، ۱ و ۴ به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای اولین مولفه اصلی بوده و بنابراین دارای پایداری بالا برای مکان های مورد بررسی بودند. همچنین ژنوتیپ شماره ۸ دارای عملکرد بالاتر و ژنوتیپ های ۱، ۲ و ۴

دارای عملکرد پایین تری نسبت به میانگین کل بودند (شکل ۱).

ژنوتیپ های ۷، ۱۷ و ۱۰ به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای دومین مولفه اصلی بوده و بنابراین دارای پایداری بالا برای مکان های مورد بررسی بودند. در این مورد هم ژنوتیپ های ۷ و ۱۷ دارای عملکرد بالاتر و ژنوتیپ شماره ۱۰ دارای عملکرد پایین تری نسبت به میانگین کل بودند (شکل ۲).

در میان محیط های آزمایشی کمترین

جدول ۶: سهم ژنوتیپ های مورد مطالعه بر روی مقادیر مختلف اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در مولفه های اصلی اول و دوم

Table 6. The contribution of studied genotypes on the different values of genotype interactions in the environment for the first and second principal components

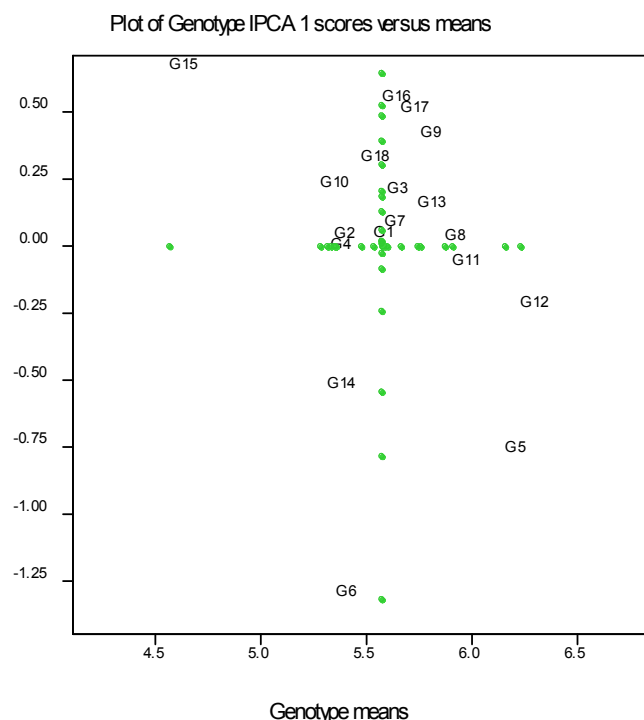
شماره ژنوتیپ Genotype no.	میانگین (تن در هکتار) Average (tons ha ⁻¹)	مولفه اصلی اول The first principal component	مولفه اصلی دوم The second principal component
G1	5.532	0.02036	0.15501
G2	5.347	0.01756	-0.20317
G3	5.597	0.18618	-0.28096
G4	5.329	-0.02538	0.43268
G5	6.156	-0.78274	-0.55709
G6	5.355	-1.31681	0.57483
G7	5.584	0.06113	0.01307
G8	5.871	0.00946	-1.20042
G9	5.755	0.39399	0.34073
G10	5.280	0.20644	-0.06952
G11	5.906	-0.08320	-0.35621
G12	6.229	-0.24118	-0.17591
G13	5.742	0.13040	-0.11902
G14	5.314	-0.54245	0.55652
G15	4.566	0.64639	0.59973
G16	5.574	0.52668	0.15283
G17	5.662	0.48796	0.05838
G18	5.474	0.30521	0.07852

محیط برای شناخت تفاوت ژنوتیپ ها محیط اول می باشد.

جهت تعیین سازگاری خصوصی ژنوتیپ ها در مناطق مختلف، سازگاری ژنوتیپ های آزمایش در مکان های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد (جدول ۸). در آزمایش بهینه در ایستگاه زنجان در هر دو سال ژنوتیپ های شماره ۱۲ و ۶ سازگاری بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ ها نشان دادند.

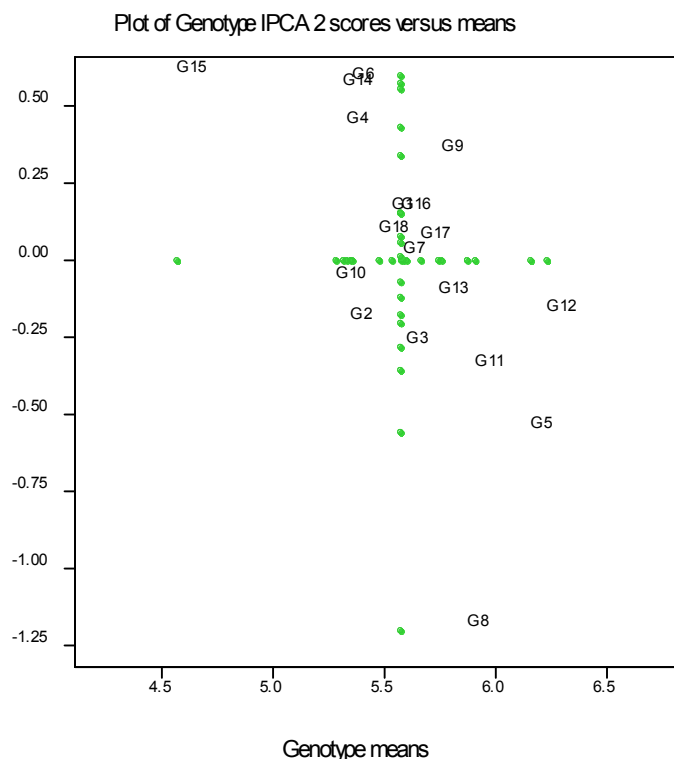
میانگین عملکرد ژنوتیپ های ۱۲ و ۶ در این دو سال به ترتیب برابر با ۴/۲۸۸ و ۴/۲۵۵ تن در هکتار بود، همچنین در شرایط بهینه زنجان در طی دو سال زراعی ژنوتیپ شماره ۱۲ با اختلاف عملکرد ۳۳ کیلوگرم بر هکتار نسبت به ژنوتیپ شماره ۶ برتر بود. در ایستگاه کرج در آزمایش بهینه در هر دو سال زراعی ژنوتیپ های

واریانس ها و تاثیرات در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب به محیط ششم (خشکی زنجان سال دوم)، محیط دوم (بهینه زنجان سال دوم) و محیط هشتم (خشکی کرج سال دوم) تعلق داشت و بیشترین واریانس ها و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب به محیط اول (بهینه زنجان سال اول)، محیط سوم (بهینه کرج سال اول) و محیط هفتم (خشکی کرج سال اول) تعلق داشت (جدول ۷) و (شکل های ۳ و ۴). باید توجه داشت که محیط هایی ایده آل هستند که دارای اثر متقابل بزرگ باشند، چون در این محیط ها تفاوت ارقام بهتر مشخص می شود. ولی در مورد ارقام هر چه اثر متقابل کمتر باشد، یعنی ژنوتیپ مورد نظر کمتر تحت تاثیر محیط است و پایداری بیشتری دارد (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2018). بنابراین بهترین



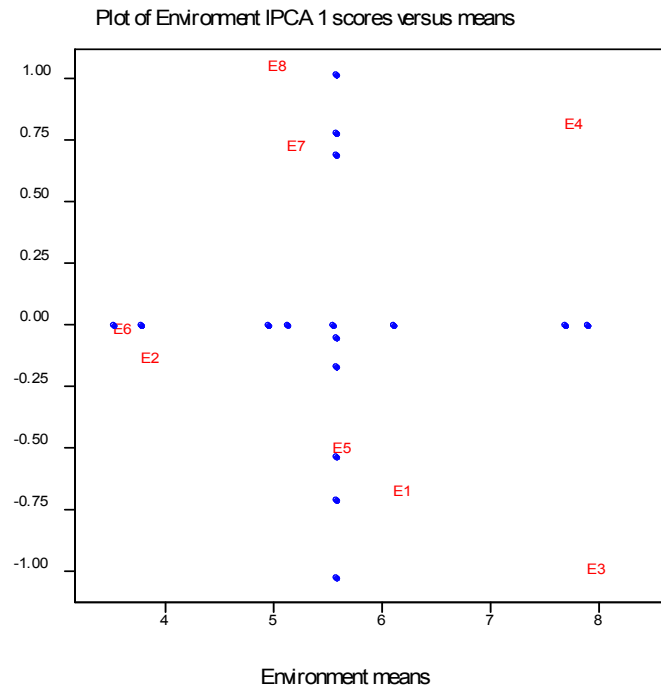
شکل ۱: بای پلات ژنوتیپ های مورد بررسی براساس مولفه اصلی اول و میانگین عملکرد ژنوتیپ ها

Fig 1. Biplot of the studied genotypes based on the first principal component t and mean yield of genotypes

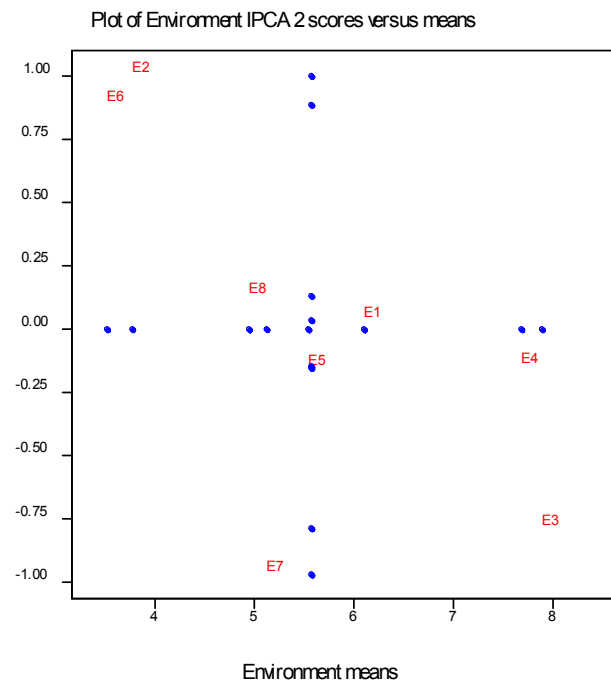


شکل ۲: بای پلات ژنوتیپ های مورد بررسی براساس مولفه اصلی دوم و میانگین عملکرد ژنوتیپ ها

Fig 2. Biplot of the studied genotypes based on the second principal component and mean yield of genotypes



شکل ۳: بای پلات محیط های مورد بررسی براساس مولفه اصلی اول و میانگین عملکرد محیط ها
Fig 3. Biplot of the investigated environments based on the first principal component and mean yield of the environments



شکل ۴: بای پلات محیط های مورد بررسی براساس مولفه اصلی دوم و میانگین عملکرد محیط ها
Fig 4. Biplot of the investigated environments based on the second principal component and mean yield of the environments

جدول ۷: سهم محیط های مورد مطالعه بر روی مقادیر مختلف اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط درموفه های اصلی اول و دوم

Table 7. The contribution of the studied environments on the different values of genotypic interaction effects in the environment for the first and second principal components

شماره محیط Environments no.	میانگین (تن در هکتار) Average (tons ha ⁻¹)	واریانس Variance	موفه اصلی اول The first principal component	موفه اصلی دوم The second principal component
1- بهینه زنجان در سال اول Normal Zanjan in the first year	6.100	1.528	-0.70929	0.03541
2- بهینه زنجان سال دوم Normal Zanjan in the second year	3.771	0.341	-0.16816	1.00104
3- بهینه کرج سال اول Normal Karaj in the first year	7.889	1.240	-1.02474	-0.78658
4- بهینه کرج سال دوم Normal Karaj in the second year	7.682	0.685	0.77945	-0.14611
5- خشکی زنجان در سال اول drought Zanjan in the first year	5.541	0.732	-0.53382	-0.15319
6- خشکی زنجان سال دوم drought Zanjan in the second year	3.517	0.291	-0.05081	0.88661
7- خشکی کرج سال اول drought Karaj in the first year	5.122	1.316	0.69077	-0.96873
8- خشکی کرج سال دوم drought Karaj in the second year	4.944	0.588	1.01660	0.13156

۱۲ و ۸ از نظر سازگاری برتر و به ترتیب میانگین عملکرد ۸/۴۳۳ و ۷/۹۲۲ تن در هکتار را داشتند.

در مجموع با توجه به مقایسه میانگین عملکرد، تجزیه پایداری و برتری عملکرد در هر دو شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی آخر فصل می توان نتیجه گرفت که در سال اول اجرای آزمایش ژنوتیپ شماره ۵ در میان سه محیط از چهار محیط رتبه اول را داشته و ژنوتیپ شماره ۱۲ در سه محیط از چهار محیط رتبه دوم را داشته است به بیان دیگر در سال اول اجرای آزمایش در ایستگاه های کرج و زنجان در دو شرایط بهینه و خشکی آخر فصل برتری با ژنوتیپ شماره ۵ بوده است و در سال دوم اجرای آزمایش ژنوتیپ شماره ۱۲ در هر چهار محیط جزء ژنوتیپ های برتر آزمایش بوده و در دو محیط (محیط های ۴ و ۶) نیز رتبه اول را داشته است (جدول ۸). با توجه به داده های هواشناسی و بارندگی دو ساله کرج و زنجان، شکل های (۵، ۶، ۷ و ۸) در سال دوم

اجرای آزمایش به دلیل عدم بارندگی و تنش خشکی، گلدهی ژنوتیپ های مورد مطالعه نسبت به سال اول آزمایش زودتر انجام شد و می توان نتیجه گیری کرد که به علت بارندگی کمتر و دمای بیشتر هوا در ماه های فصول بهار و زمستان در سال دوم آزمایش ژنوتیپ ۱۲ سازگاری بیشتری با خشکی دارد. با توجه به جدول (۲) این ژنوتیپ از کراس های ارقام الوند و شیرودی می باشد. رقم الوند نسبت به شوری و محدودیت آبیاری آخر فصل زراعی متحمل است و رقم شیرودی نیز یک رقم گندم زودرس بوده و به همین دلیل از خشکی آخر فصل زراعی اجتناب می نماید. به طور کلی آزمایشات مختلف نشان می دهند که تنش حاصل از کمبود آب عملکرد گندم را تحت تأثیر معنی داری قرار می دهد. نتایج تجزیه پایداری، سازگاری و امی در آزمایشات بهینه و خشکی کرج و زنجان نشان داد که ژنوتیپ های ۱۲، ۵، ۶ و ۸ جزء چهار ژنوتیپ

جدول ۸: سازگاری خصوصی چهار ژنوتیپ برتر دارای کمترین اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در هر یک از محیط‌های آزمایشی

شماره محیط	میانگین (تن در هکتار)	رتبه	ژنوتیپ برتر ۱	ژنوتیپ برتر ۲	ژنوتیپ برتر ۳	ژنوتیپ برتر ۴
Environments no.	Average (tons ha ⁻¹)	Rank	Superior genotype 1	Superior genotype 2	Superior genotype 3	Superior genotype 4
بهینه زنجان در سال اول-1	6.100	-0.7093	G5	G12	G6	G11
Normal Zanjan in the first year						
بهینه زنجان سال دوم-2	3.771	-0.1682	G6	G12	G9	G14
Normal Zanjan in the second year						
بهینه کرج سال اول-3	7.889	-1.0247	G5	G8	G12	G11
Normal Karaj in the first year						
بهینه کرج سال دوم-4	7.682	0.7794	G12	G8	G17	G9
Normal Karaj in the second year						
خشکی زنجان در سال اول-5	5.541	-0.5338	G5	G12	G8	G11
Drought Zanjan in the first year						
خشکی زنجان سال دوم-6	3.517	-0.0508	G12	G9	G6	G14
Drought Zanjan in the second year						
خشکی کرج سال اول-7	5.122	0.6908	G8	G12	G11	G5
Drought Karaj in the first year						
خشکی کرج سال دوم-8	4.944	1.0166	G9	G17	G16	G12
Drought Karaj in the second year						

× محیط و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در مناطق سرد ایران از روش تجزیه اثرهای اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر (AMMI) و آماره‌های غیرپارامتری برای تجزیه پایداری این ژنوتیپ‌ها استفاده گردید و بیان شد که ژنوتیپ شماره ۸ آزمایش از نظر عملکرد دانه به عنوان پایدارترین لاین در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود (Ghazvini *et al.*, 2018). نتایج پژوهش دیگر در مورد اثر تنش خشکی آخر فصل نشان داد که تنش کم آبیاری سبب کاهش ۲۳/۴ درصد و ۳۲/۱ درصد عملکرد به ترتیب برای تنش خفیف و شدید شد (Hasanpour *et al.*, 2025). نتایج آزمایش (Qavidel *et al.*, 2023) در مورد تنش خشکی آخر فصل نشان داد که از نظر کلیه صفات اندازه‌گیری شده به جزء طول سنبله اصلی و تعداد دانه در سنبله بین شرایط بهینه و تنش خشکی آخر فصل اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

در سال اول اجرای آزمایش در کرج تعداد روزهای یخبندان ۴۶ روز بوده و در روز ۲۳ بهمن دمای هوا ۱۰/۴- سانتی‌گراد شد. در سال دوم اجرای آزمایش تعداد روزهای یخبندان ۵۲ روز و در سوم بهمن ماه دمای هوا ۷/۴- سانتی‌گراد شد. بنابراین با توجه به اینکه در سال اول کاهش دمای شدیدی نسبت به سال دوم اتفاق افتاده، احتمالاً این کاهش دما باعث تجمع قندهای محلول، پروتئین و آنزیم‌هایی شده که باعث مقاومت بیشتر ژنوتیپ‌ها به سرما در سال اول شده اند (شکل ۶) و همچنین در سال دوم به علت تعداد روزهای یخبندان بیشتر خسارت سرما بیشتر بوده است. در ایستگاه خیرآباد زنجان

برتر بودند و ژنوتیپ شماره ۵ در سال اول اجرای آزمایش و ژنوتیپ شماره ۱۲ در سال دوم اجرای آزمایش سازگاری بیشتری داشتند. در پژوهشی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ

جدول ۹: میزان خسارت سرما در ایستگاه زنجان و مقایسه میانگین دمای تحمل به انجماد و عملکرد دانه در کرج در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Table 9. The amount of cold damage at the Zanjan station and comparison of the average freezing tolerance temperature and grain yield in Karaj in two crop years (2019-2021)

شماره ژنوتیپ Genotype no.	خزانه سرما زنجان (۱۳۹۹-۱۳۹۸) Cold storage Zanjan (2019- 2020)	عملکرد دانه زنجان (۱۳۹۸) (تن در هکتار) Grain yield Of Zanjan(2019-2020) (Tons ha ⁻¹)	خزانه سرما زنجان (۱۳۹۹-۱۴۰۰) Cold storage Zanjan (2020-2021)	عملکرد دانه زنجان (۱۳۹۹-۱۴۰۰) (تن در هکتار) Grain yield Of Zanjan (2020-2021) (Tons ha ⁻¹)	دمای تحمل به انجماد (درجه سانتی گراد) LT ₅₀ (°C)
1	4	3.728	4-5	3.796	11.5 ^{bc}
2	2	3.149	4	3.007	9.3 ^{fg}
3	4	3.389	4-5	3.542	10 ^{defg}
4	4	4.005	4-5	3.847	12 ^b
5	2	3.806	3	3.917	8.8 ^{gh}
6	1	4.529	3	4.250	10.8 ^{bcd}
7	4	4.205	5	3.880	9.8 ^{efg}
8	4	2.866	5	2.792	7.8 ^h
9	4	4.177	4-5	4.227	10 ^{defg}
10	2	3.387	3	3.356	12 ^b
11	3	3.903	4	3.944	11.3 ^{bcd}
12	2	4.307	4	4.269	11.8 ^b
13	3	3.836	5	3.940	10.3 ^{cdef}
14	4	4.224	5	4.407	12 ^b
15	4	3.093	5	3.097	10.8 ^{bcd}
16	4	3.787	4	3.750	11.8 ^b
17	3	3.914	5	3.991	13.5 ^a
18	4	3.844	4	3.866	14 ^a

رتبه بندی خسارت سرما: (۱) مقاوم (۲) نیمه مقاوم (۳) متوسط (۴) نیمه حساس (۵) حساس

Frost damage rating: (1) Resistant (2) Semi-resistant (3) Medium (4) Semi-sensitive (5) Sensitive

گیاهان مستقر در مزرعه ایستگاه خیرآباد زنجان در این ماه معمولاً در زیر پوشش برف هستند که این موارد می توانند از دلایل از بین رفتن ژنوتیپ ها در مزرعه باشند. در سال دوم اجرای آزمایش تعداد روزهای یخبندان صفر تا ۱۰- درجه سانتی گراد ۱۱۳ روز و تعداد روزهای زیر ۱۰- درجه سانتی گراد برابر با ۲۸ روز بود. همچنین در هفتم دیمه دمای هوا به عدد ۱۹-

در سال اول اجرای آزمایش تعداد روزهای یخبندان صفر تا ۱۰- درجه سانتی گراد ۷۴ روز و تعداد روزهای زیر ۱۰- درجه سانتی گراد برابر با ۱۶ روز بود. در ۲۳ بهمن ماه دمای هوا ۲۵- درجه سانتی گراد بود و با توجه به اینکه دمای خاک براساس اندازه گیری های انجام شده حدوداً ۱۰ درجه بیشتر از دمای هوای بالای خاک می باشد (Sasani et al., 2006) از طرفی

کاهش می‌دهد و باعث ایجاد آریبی در برآورد آثار ژن و قابلیت ترکیب پذیری عمومی می‌شود (Farshadfar *et al.*, 2011). بنابراین لازم است رقم‌هایی به کشاورزان معرفی شود که علاوه بر عملکرد دانه بالا، پایداری مناسبی نیز داشته باشند. روش چند متغیره امی برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته و دقت بالایی نیز دارد. براساس نتایج تجزیه امی، سازگاری و با در نظر گرفتن پتانسیل عملکرد دانه در آزمایشات بهینه و خشکی کرج و زنجان، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۵، ۶ و ۸ جزء چهار ژنوتیپ برتر بودند و ژنوتیپ شماره ۵ در سال اول اجرای آزمایش و ژنوتیپ شماره ۱۲ در سال دوم اجرای آزمایش سازگاری بیشتری داشتند.

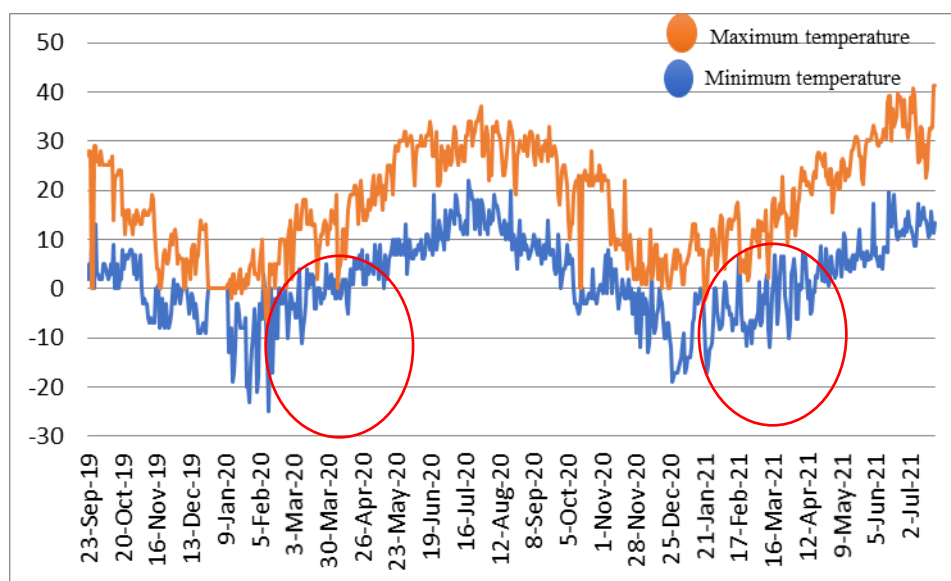
سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از مدیریت بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همچنین از زحمات همکاران در مرکز تحقیقات کشاورزی استان زنجان که اجرای این پژوهش بدون همکاری و همراهی ایشان امکان‌پذیر نبود، تشکر و قدردانی می‌کنند. این پژوهش با کمک مالی شماره ۰۰/۱۰۹۱۰ ستاد توسعه زیست فناوری انجام شد.

درجه سانتی گراد رسید (شکل ۵). به بیان دیگر در سال دوم اجرای آزمایش در زنجان به علت تعداد روزهای یخبندان بیشتر و میزان بارندگی کمتر (شکل ۷) میزان خسارت سرما بیشتر بوده و به همین دلیل میانگین خسارت سرمازدگی در ژنوتیپ‌های آزمایشی در این سال بیشتر از سال اول آزمایش است (جدول ۹). در سال اول به علت بارندگی خوب و وجود پوشش برف میزان خسارت سرما کمتر بوده است و می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ ۵ تحت شرایط محیطی بهتر مثل بارندگی بهاره و زمستانه مناسب و دمای کمتر در فصل رشد عملکرد بهتری در سال اول داشت که احتمالاً به قدرت باززایی این ژنوتیپ مربوط می‌باشد. این ژنوتیپ از کراس‌های رقم الوند و لاین چینی Zhong87-۹۰ است (جدول ۲). رقم الوند با عادت رشد بینابین از مقاومت خوبی در برابر سرما برخوردار است و همچنین لاین Zhong87-۹۰ به علت داشتن ژن‌های مقاومت به سرما در تولید ژنوتیپ‌های مقاوم به سرما در اقلیم سرد کاربرد دارد (جدول ۲). ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۵ به ترتیب دمای تحمل به انجماد $LT_{50} = -11/8$ و $LT_{50} = -8/8$ را داشته و بترتیب ژنوتیپ‌هایی با مقاومت خوب و متوسط به یخ زدگی طوقه محسوب می‌شوند (جدول ۹).

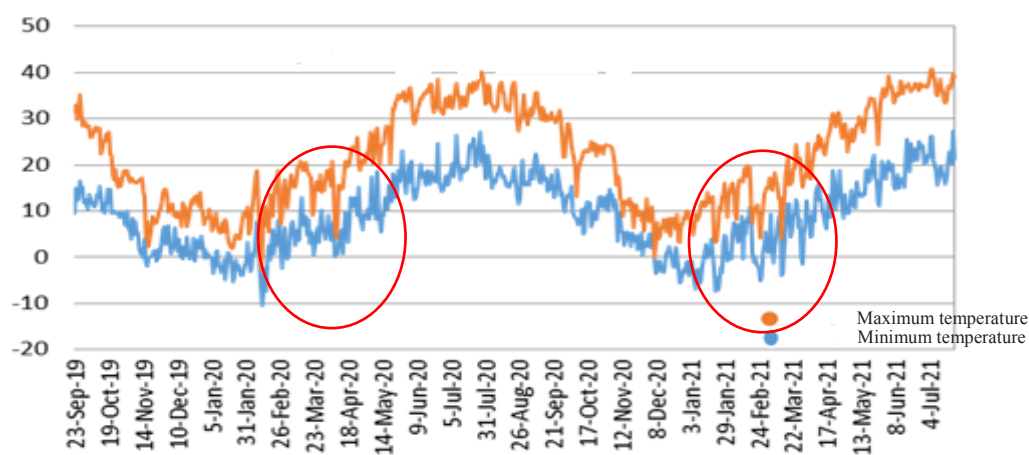
نتیجه گیری کلی:

اثر متقابل ژنوتیپ و محیط موضوع مهم و چالش برانگیزی بین به نژادگران، ژنتیک دانان و متخصصان به زراعی است. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ارتباط بین ارزش ژنوتیپ و فنوتیپ را



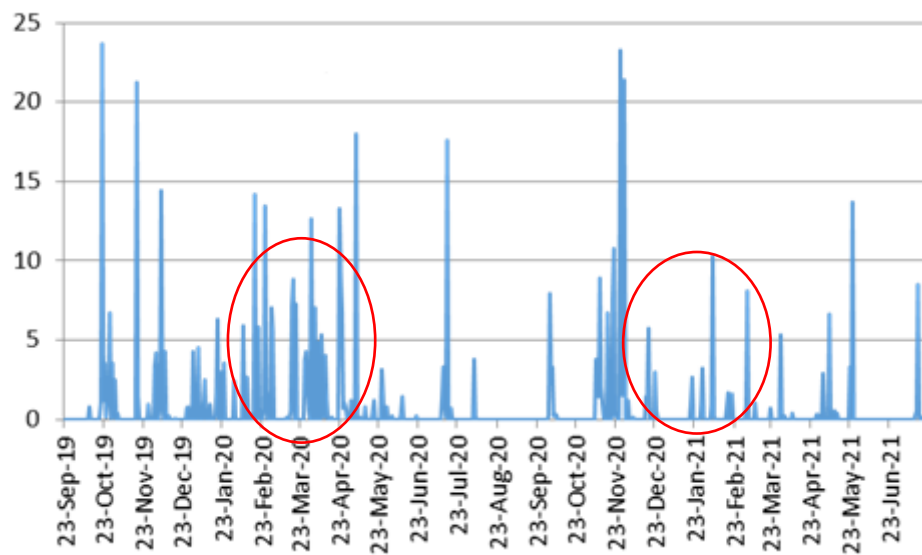
شکل ۵: دمای بیشینه و کمینه در زنجان (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Fig 5. Maximum and minimum temperature in Zanjan (2019-2021)



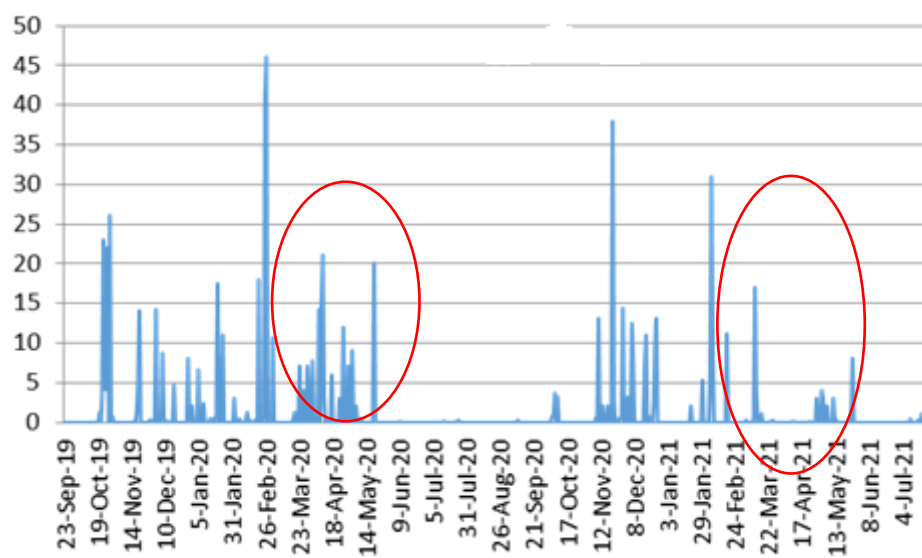
شکل ۶: دمای بیشینه و کمینه در کرج (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Fig 6. Maximum and minimum temperature in Karaj (2019-2021)



شکل ۷: میزان بارندگی زنجان (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Fig 7: Rainfall amount in Zanzan (2019-2021)



شکل ۸: میزان بارندگی کرج (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Fig 8: Rainfall amount in Zanzan (2019-2021)

References

- Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shabaz Pour Shahbazi, A., Bahari, M., and Rostami, H. 2012. Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Journal of Seedlings and Seeds*, 1-28(2), 325-315. (In Persian)
- Agricultural statistics. 2024. Ministry of agriculture-jahad, 1:1-26. (In Persian)
- Agroiranexpert. 2025. Available on: blog.agroyaar.com/?p=6855
- Alam, H., Khattak, J.Z.K., Ksiksi, T.S., Saleem, M. H., Fahad, S., and Sohail, H. 2020. Negative impact of long-term exposure of salinity and drought stress on native tetraena mandavillei L. *Physiologia Plantaurom*, 11(2), 1-16.
- Anonymous. 2020. FAO Statistical data. Available on: www.faostat.org.
- Askarinia, P., Saeidi, G ., and Rezai, A. 2009. Pattern analysis of genotype $\times$ field environments interaction for grain yield in wheat using AMMI method. *Electronic Journal of Crop Production*. 2 (2), 75-90. (In Persian)
- Clay, H., and Dombek, D. 1995. Comparing soybean cultivar ranking and selection for yield with AMMI and full data performance estimates. *Crop Science*, 35: 1536-1541.
- Cornlius, P. L., Seyedsadr, M.S., and Crossa, J. 1992. Using the shifted multiplicative model to search for separability in crop cultivar trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 84:161-172.
- Crossa, J., Fox, P.N., Pfeiffer, W.H., Rajaram, S., and Gauch, H.G. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*, 81:27-37.
- Dashtaki, M., Bihamta, M.R., Majidi, E., and Azizi nejad, M.R. 2023. Effect of end-of-season drought stress on yield, yield components and some morphological and phenological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 36(3), 262-275. (In Persian).

- Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Ayeneh, A. L., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, Kh., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S M., and Zali, H. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research*, 8 (3), 333-344. (In Persian). doi: 10.22124/c.2018.10654.1405
- Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Zakizadeh, M., Akbari Moghaddam, H., Abedini Esfahlani, M., Sayahfar, M., Nikzad, A. R., Tabib Ghaffari, S M., and Aeineh, A.L. 2010. Study of grain yield stability and genotype – environment interaction in 20 bread wheat lines in warm and dry areas of south of Iran. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(3), 179-200. (In Persian)
- Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220-228.
- FAO. 2022. Food and Agricultural Organization of the United Nations Quarterly bulletin of statistics. ROME. Italy
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., and Yaghotipoor, A. 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(13), 1837-1844.
- Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Zali, H. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6: 514-524.
- Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453 – 467.
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46:1488-1500.
- Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang M. S. and Gauch-Jr, H.G. (Eds.). Genotype by environment interaction. CRC Press, Boca Raton, New York. pp: 85-122.

- Ghazvini, H., Pour-Aboughadareh, A., Sharifalhossaini, M., Razavi, S.A., Mohammadi, S., Ghasemi Kalkhoran, M., Fathi Hafshejani, A., and Khakizade, Gh. 2018. Phenotypic stability analysis of the barley genotypes in the cold regions of Iran. *Crop Breeding Journal*, 8 (1& 2), 17-29.
- Ghazvini, H., Pour-Aboughadareh, A., Jasemi, S.Sh., Chaichi, M., Tajali, H., and Bocianowski, J. 2024. A framework for selection of high-yielding and drought-tolerant genotypes of barley: applying yield-based indices and multi-index selection models. *Journal of Crop Health*, 76: 601-616.
- Ghodrati -Niari, F., and Abdolshahi, R. 2014. Evaluation of yield stability of 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(4), 322 -333 . (In Persian).
- Hasanpour, J., Dehghan. L., and Khalatbari, M. 2025. Evaluation of source and sink relationships in spring wheat under end-of-season water stress condition. *Journal of Crops Improvement*, 26(4), 707-725. (In Persian).
- Lesk, C., Rowhani, P., and Ramankutty, N. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529 (7584), 84-87.
- Limin, A. E., and Fowler, D. B. 2006. Low-temperature tolerance and genetic potential in wheat (*Triticum aestivum* L.) responses to photoperiod, vernalization and plant development. *Planta*, 224: 360-366.
- Lv, X., Ding, Y., Long, M., Liang, W., Gu, X., Liu, Y., and Wen, X. 2021. Effect of foliar application of various nitrogen forms on starch accumulation and grain filling of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 12: 645379.
- Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A., and Mohammadkhani, N. 2019. Effects of fertilizer treatments on antioxidant activities and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water limitation conditions. *Journal of Medicinal Plants and By-product*, 8(2), 143-151.
- Mathur, S., Tomar, R.S., and Jajoo, A. 2019. Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139(1), 227-238.

- Najafi Mirak, T. 2011. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes in cold agro-climatic zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(2), 380-394. (In Persian).
- Qavidel, Sh., Mostafavi, Kh., and Pourabouqadare, A. 2023. Investigation of terminal season drought stress effects on grain yield and some agronomic and physiological Traits in promising barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 15(46), 93-103. (In Persian).
- Roostaei, M., Mohammadi, R., and Amri, A. 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. *The Crop Journal*, 2: 154-163.
- Rose, I. V. L. W., Das, M. K., and Taliaferro, C. M. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of *Bermuda grass*. *Euphytica*, 164: 19-25.
- Sabaghnia, N., Sabaghpour, S. H., and Dehghani, H. 2008. The use of an AMMI model and its parameters to analyze yield stability in multi-environment trials. *The Journal of Agricultural Science*, 146 (5), 571-581.
- Samonte, S. O. P. B., Wilson, L. T., McClung, A. M., and Medley, J. C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45: 2414-2424.
- Sasani, Sh., Mahfoozi, S., Jasemi, S, Sh., Najafiyani, G., Moradi, F., Mortezaagholi, M., and Sharifi, H. R. 2006. Examination of some physiological mechanisms and phenological aspects of cold tolerance in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). 66 pp. (In Persian)
- Shahmohamadi, M., Dehghani, H., and Yousefi, A. 2005. Stability analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in regional trials in cold zone. *Journal of Crop Production and Processing*, 9 (1), 143-155. (In Persian).
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., and Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype $\times$ environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24 (3), 173-180.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*,

40: 597-605.

- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype $\times$ environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3 (7), 3126-3136.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., and Asghari, A. 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. *Agricultural Communication*, 4(1), 1-8.

Stability analysis of grain yield of promising bread wheat genotypes in the cold climate zone under non-stress and late season drought-stress conditions

Ali Ghorbani.¹, Habibollah Ghazvini.^{2*}, Roghayeh Aminian³, Shahriar Jasemi.⁴,
Ashkboos Amini Sefidab.⁵

1. Doctoral student, Plant Breeding Group, Imam Khomeini International University, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ghazvin, Iran .
2. Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (Corresponding author)
3. Associate professor of Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran
4. Assistant professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
5. Associate professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: January 2025 Accepted: June 2026- DOI: 10.22092/aj.2026.368656.1694

Extended Abstract

Ghorbani, A., Ghazvini, H., Aminian, R., Jasemi, SH., Amini Sefidab, A., . Stability analysis of grain yield of promising bread wheat genotypes in the cold climate zone under non-stress and late season-drought-stress conditions

Applied Research in Field Crops Vol 37, No.2, 2024, 13-15: 85-106(in Persian)

Introduction

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important field crops worldwide, directly contributing to global food security. In Iran, wheat holds the top position among agricultural crops in terms of both cultivated area and total production. Enhancing wheat production is therefore vital for strengthening the national economy and ensuring the supply of staple food for the population. In recent years, water scarcity has become a critical global issue (Mathur *et al.*, 2019). Among cereals, wheat is particularly vulnerable to drought, which significantly limits its growth and yield potential (Mahdaviikia *et al.*, 2019). When recommending new varieties for specific environments, selection should not be based solely on yield potential. Instead, it is essential to consider both adaptability and yield stability under varying environmental conditions. Different parametric and non-parametric methods have been suggested by researchers to evaluate yield stability and to analyze genotype environment interactions (Farshadfar *et al.*, 2012). One

Email address of the corresponding author: Habib_ghaz@yahoo.com

such method is the Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) model, which integrates analysis of variance (ANOVA) with principal component analysis (PCA) to predict adaptability of the genotypes to diverse environments.

Materials and Methods

To evaluate grain yield stability and late season drought-stress tolerance of 14 bread wheat promising lines and four check cultivars adapted to the cold regions - Mihan, Haidari, Zarine and Zare- were tested. The trials were conducted using a randomized complete block design with three replications under both normal irrigation and late-season drought stress conditions during the 2019-2021 cropping seasons. Experiments were carried out at the Seed and Plant Crop Improvement Institute and Khairabad-Zanjan Research Station. Combined analysis of variance was performed for both normal irrigation and late season drought-stress conditions. Since the year $\times$ location and genotype $\times$ year interaction effects were significant under both normal irrigation and late season drought-stress conditions, stability analysis using AMMI method (Additive Main effects and Multiplicative Interaction model) was employed to examine the effects of genotype $\times$ environment interaction and to determine adaptation of the genotype under different conditions.

Results & Discussion

The combined analysis of variance under normal irrigation and late season drought-stress conditions showed significant differences in grain yield. Specifically, the year $\times$ location interaction effect was significant at the 1% probability level, while genotype $\times$ year interaction effect was significant at the 5% probability level under both conditions. The AMMI analysis showed that genotypes no. 8, 5, 6 and 12 had the highest yields among genotypes tested. Genotype 12 with high grain yield and low amounts of first and second principal components had the highest adaptability but genotype 5 despite high grain yield had high amounts of first and second principal components and therefore did not show good adaptability in different environments. Based on meteorological data and two-years precipitations in Karaj and Zanjan research stations in the second year of the experiment, because of lower rainfall and drought stress condition in that year the heading of studied

genotypes was occurred earlier compared to the first year of experiment and in such condition genotype 12 showed better adaptability to drought stress under low rainfall condition as well as higher temperature during winter and spring seasons.

Conclusion

Overall, the results demonstrated that genotype 12 possessed superior adaptability and yield stability compared to the other genotypes evaluated, making it a promising candidate for cultivation under diverse environmental conditions.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the head of Cereal Research Department of Seed and Plant Improvement Institute, as well as our colleagues at the Agricultural Research Center of Zanjan, whose support and collaboration were instrumental in conducting this study. This research was founded by the Biotech Development Council (Contract No. 00.10910)

Keywords: Bread wheat, Yield stability analysis, Additive main effects and multiplicative interaction

References

- Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Zali, H. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6: 514-524.
- Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A. and Mohammadkhani, N. 2019. Effects of fertilizer treatments on antioxidant activities and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water limitation conditions. *Journal of Medicinal Plants and By-product*, 8(2), 143-151.
- Mathur, S., Tomar, R.S., and Jajoo, A. 2019. Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139(1), 227-238.