

## ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین‌های مختلف گندم نان با استفاده از روش‌های ناپارامتری

سیما آبیاری<sup>۱</sup>، سعید نواب‌پور<sup>۲\*</sup>، رحمت‌الله کریمی‌زاده<sup>۳</sup>، علی‌اصغر نصرالله‌نژاد قمی<sup>۴</sup>، غفار کیانی<sup>۵</sup> و امیر قلی‌زاده<sup>۶</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

### چکیده

کمبود آب مهم‌ترین عامل محدود کننده تولیدات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. برهمکنش ژنوتیپ × محیط مسئله‌ای مهم در مطالعه صفات کمی است، زیرا ضمن کاهش پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف، تفسیر آزمایش‌های ژنتیکی را دشوار و پیش‌بینی‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. به‌منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد و سازگاری لاین‌های گندم نان، ۱۵ لاین جدید گندم نان به‌همراه رقم آفتاب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گچساران، خرم‌آباد، مغان و گنبد) به‌مدت سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، لاین و برهمکنش لاین × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن برهمکنش لاین × محیط، واکنش متفاوت لاین‌ها را در محیط‌های مختلف نشان داد و بنابراین امکان تجزیه پایداری لاین‌ها وجود داشت. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپایداری مورد مطالعه، لاین‌های G1، G15، G7 و G3 با کم‌ترین مقادیر میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و لاین‌های G2، G6، G8 و G10 با بیش‌ترین میانگین رتبه به‌عنوان ناپایدارترین لاین‌ها شناسایی شدند. نتایج نشان داد که آماره‌های ناپارامتری  $S_1^{(3)}$ ،  $S_1^{(6)}$ ،  $NP_1^{(2)}$ ،  $NP_1^{(3)}$ ،  $NP_1^{(4)}$  و  $KR$  رابطه معنی‌دار با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری داشتند. بنابراین، استفاده از این روش‌ها برای گزینش لاین‌های پایدار با عملکرد بالا در گندم نان مناسب می‌باشند. در مجموع، لاین G7 با میانگین عملکرد دانه و پایداری عمومی مناسب، لاین برتر این آزمایش بود که بعد از آزمایش‌های تکمیلی می‌تواند به‌عنوان رقم جدید معرفی شود.

**واژه‌های کلیدی:** آماره‌های ناپارامتری، تجزیه پایداری، شرایط دیم، لاین ایده‌آل

۱- دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

۴- استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- دانشیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

\* نویسنده مسئول: [s.navabpour@gau.ac.ir](mailto:s.navabpour@gau.ac.ir)

## مقدمه

گندم یکی از اصلی‌ترین محصولات کشاورزی دنیا است. این گیاه در ایران با سطح زیر کشت حدود شش میلیون هکتار و تولید حداکثر ۱۳/۶ میلیون تن دانه و در جهان با سطح زیر کشت بیش از ۲۲۰ میلیون هکتار و تولید حدود ۷۸۱ میلیون تن دانه، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی به شمار می‌رود (FAO, 2019). با توجه به اهمیت گندم، تولید این محصول با کشت ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده که پایداری عملکرد بالایی داشته باشند، الزامی است. با توجه به کشت ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف، تعیین پایداری عملکرد بسیار مهم بوده و ژنوتیپ‌های با نقش کم‌تر در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط انتخاب می‌شوند (Alizadeh et al., 2021). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد و تولید محصولات در سراسر دنیا به‌شمار می‌رود (Shiri and Bahrampour, 2015). قسمت عمده کشور ایران نیز جز مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، تولید و دستیابی به ژنوتیپ‌هایی است که پایداری و ثبات عملکرد مطلوبی داشته باشند. اما به دلیل وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط، شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محیطی مختلف دارای عملکرد مطلوب و پایداری باشند، امر پیچیده‌ای به‌نظر می‌رسد (Najafi Mirak et al., 2019). به تغییری که در عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به وجود می‌آید، برهمکنش ژنوتیپ × محیط گفته می‌شود. وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی می‌شود و سودمندی وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده را کاهش می‌دهد. بنابراین بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد (Alizadeh et al., 2020).

روش‌های گوناگونی برای تجزیه پایداری عملکرد دانه بر اساس مفهوم‌های متفاوت پایداری وجود دارد که می‌تواند به روش‌های پارامتری تک‌متغیره و چندمتغیره و ناپارامتری گروه‌بندی شوند. مهم‌ترین روش‌های پارامتری شامل واریانس محیطی، اکووالانس‌ریک (Wrick, 1962)، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکنسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، روش ابرهارت-راسل (Eberhart and Russell, 1966)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) و ضریب تغییرات

محیطی (Francis and Kannenberg, 1978) هستند. روش‌های پارامتری، روش‌های مرسوم آماری هستند که با مشخص بودن توزیع احتمال یک متغیر تصادفی در مورد ویژگی‌های جامعه مورد بررسی، برآوردهایی مانند میانگین، واریانس، انحراف معیار، دامنه تغییرات و چندین برآورد دیگر را انجام می‌دهند. به عبارت دیگر، زمانی که توزیع متغیرهای مورد مطالعه مشخص باشد، می‌توان پارامترهای جامعه را استنباط کرد (Karimizadeh et al., 2019). از معایب روش‌های پارامتری این است که این روش‌ها نیازمند یک‌سری مفروضات اولیه شامل نرمال بودن داده‌ها، همگنی واریانس باقیمانده‌ها، عدم وجود داده‌های پرت و جمع‌پذیر بودن اثرات اصلی هستند که در صورت عدم محقق شدن آن‌ها، تفسیر این روش‌ها دارای اعتبار آماری نیست و بنابراین نمی‌توان از آن‌ها برای هر سری از داده‌ها استفاده کرد (Karimizadeh et al., 2019).

معیارهای ناپارامتری برای آزمون برهمکنش ژنوتیپ × محیط شامل روش‌های مبتنی بر آزمون آثار متقابل غیرضربی با آزمون‌های بردنکمپ (Bredenkamp, 1974)، هایلدبرند (Hildebrand, 1980) و کوپینگر (Kubinger, 1986)، روش‌های مبتنی بر آزمون آثار متقابل ضربی با آزمون دیکرون و واندرلان (de Kroon and Van Der Laan, 1981) و آماره‌هایی مانند مجموع رتبه کنگ (Kang, 1988)، فاکس و همکاران (Fox et al., 1990) و تنارازو (Thennarasu, 1995) هستند. این روش‌ها به دلیل نیاز نداشتن به توزیع نرمال داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و نیز حساس نبودن به داده‌های پرت، اطلاعات مفیدی در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران قرار می‌دهند (Karimizadeh et al., 2008; Movahhedi et al., 2010; Pourdard et al., 2014; Moghaddaszadeh et al., 2019). روش‌های ناپارامتری نیز دارای معایبی هستند که مهم‌ترین آن مشخص نشدن اختلافات نسبی در عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به عبارت دیگر، اختلاف عملکرد و بزرگی آن را نمی‌توان مشخص کرد.

از روش‌های ناپارامتری برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی لاین‌های پایدار در گیاهان مختلفی از قبیل گلرنگ (Moghaddam and Pourdard, 2009)، نخود

حاشیه حذف و سپس تمام بوته‌های باقیمانده هر کرت برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح (برحسب کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه آماری داده‌ها، ابتدا آزمون بارتلت جهت بررسی یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌های مختلف انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب و آزمون F با فرض ثابت بودن اثر لاین و تصادفی بودن آثار سال و مکان (محیط) با توجه به امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات مختلف انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش لاین × محیط، تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری انجام شد. روش‌های ناپارامتری استفاده شده در این مطالعه شامل آماره‌های هان  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$  (Huhn, 1979);  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$  (Thennarasu, 1995) بود که روش محاسبه آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. برای محاسبه آماره پایداری مجموع رتبه (KR) (Kang, 1988) و آماره‌های تنارازو  $NP_i^{(1)}$  (Nassar and Huhn, 1987)، آماره پایداری مجموع رتبه شوکلا (Shukla, 1972)، به لاین دارای کم‌ترین واریانس پایداری شوکلا، رتبه یک داده شد و بر این اساس رتبه سایر لاین‌ها نیز تعیین شد. همچنین به لاین دارای بیش‌ترین عملکرد رتبه یک داده شد و به‌ترتیب رتبه همه لاین‌ها بر اساس عملکرد نیز مشخص شد. این دو رتبه با هم جمع و رتبه حاصل به‌عنوان معیار مجموع رتبه استفاده شد.

در ادامه تجزیه‌های آماری، ضریب همبستگی رتبه‌های اسپیرمن جهت بررسی روابط بین روش‌های مختلف ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه محاسبه شد. به‌منظور شناخت بهتر روابط بین آماره‌های مختلف و گروه‌بندی لاین‌ها از لحاظ رتبه آماره‌های ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه از تجزیه خوشه‌ای به‌روش حداقل واریانس وارد و معیار فاصله اقلیدوسی استفاده شد. برای انجام کلیه محاسبات آماری از نرم‌افزارهای SAS ver. 9.1 (SAS, 2011)، Minitab ver. 14 (Minitab, 2005) و SPSS ver. 20 (SPSS, 2010) استفاده شد.

(Zali et al., 2011)، گندم دوروم (Mohammadi et al., 2007; Jahromi et al., 2011; Karimizadeh et al., 2019). گندم نان (Zarei et al., 2012)، لوبیا (Temesgen et al., 2015)، جو (Khalili and Pour-, 2017; Vaezi et al., 2017; Aboghadareh, 2016; Moghaddasadeh et al., 2019) و کلزا (Alizadeh et al., 2020) استفاده شده است. هدف از این تحقیق نیز بررسی روش‌های مختلف ناپارامتری در ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم نان و تعیین روابط بین این معیارها و در نهایت شناسایی لاین‌های پایدار با عملکرد دانه بالا جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و خشک کشور بود.

### مواد و روش‌ها

#### مواد گیاهی و طرح آزمایش

مواد گیاهی این تحقیق شامل ۱۵ لاین پیشرفته گندم نان بودند که منشأ اصلی آن‌ها مرکز تحقیقات بین‌المللی گندم و ذرت جهان (سیمیت) بود. لاین‌های مورد مطالعه به همراه رقم معرفی شده آفتاب به‌عنوان شاهد آزمایش‌ها در در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گچساران، خرم‌آباد، مغان و گنبد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌مدت سه سال (۱۳۹۹-۱۳۹۶) ارزیابی شدند. نام و مبدأ لاین‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

ویژگی‌های فنی و زراعی ۱۲ آزمایش (محیط) در کلیه مناطق یکسان بود و لاین‌ها به‌عنوان متغیر ثابت در نظر گرفته شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به‌طول هفت متر بود و میزان بذر مصرفی نیز با توجه به وزن هزار دانه هر لاین بر اساس تراکم ۳۰۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد. یادداشت‌برداری از ویژگی‌های زراعی و مورفولوژیک لاین‌های مورد بررسی در طول فصل رشد به‌عمل آمد. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به‌عنوان اثر

جدول ۱- شماره، نام و مبداء لاین‌های گندم نان مورد بررسی در این تحقیق

Table 1. Code, name and origin of the studied bread wheat lines in this research

Code	Name/pedigree	Origin
G1	AFTAB	CIMMYT
G2	2*TRCHCMSS08Y00140S- F2001*2/BRAMBLING// KIRITATI/ TACUPETO 099Y-099M-099NJ-29WGY-0B	CIMMYT
G3	LERKE/5/KAUZ/3/MYNA/VUL//BUC/FLK/4/MILAN/6/PROGRESO 2*SERI.1B*2/ 3/KAUZ*2/BOW//KAUZ F2007/7/KIRITATI/4/ CMSS08B00400S-099M-099Y-25M-0WGY	CIMMYT
G4	92.001E7.32.5/SLVS/4/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1CM SA08M00321S-040M-0NJ-14Y-0B	CIMMYT
G5	QUAIU #1CGSS01B00046T-099Y-099M-099M-099Y-099M-29Y-0B-12B-0Y	CIMMYT
G6	BECARD/PFUNYE #1CMSS09Y00374S-099Y-099M-099Y-10WGY-0B	CIMMYT
G7	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTLA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1PTSS09 GHB00029S-0SHB-099Y-11Y-020Y-0MXI	CIMMYT
G8	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SRMA/TUIPTSA08M00045S- 050ZTM-050Y-28ZTM-010Y-0B	CIMMYT
G9	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/MEX94.2.19//SOKOLL/WBLL1PTSA 08M00050S-050ZTM-050Y-56ZTM-010Y-0B	CIMMYT
G10	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/ 4/WEAVER /5/2*KAUZ/7/2*PRL/ 2*PASTOR//PBW343*2/ KUKUNACMSS09Y01016T-099TOPM-099Y-099M-099Y-21WGY-0B	CIMMYT
G11	KACHU/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNACMSS09B00277S- 099ZTM-099NJ-099NJ-19WGY-0B	CIMMYT
G12	BAJ #1/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS 10Y00030S-099Y-099M-11WGY-0B	CIMMYT
G13	KACHU/SAUAL/8//ATTLA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW// BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTLA/2*PASTORCMSS10Y00374S-099Y- 099M-1WGY-0B	CIMMYT
G14	KACHU/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS10Y00375S-099Y-099M- 6WGY-0B	CIMMYT
G15	ROLF07/3/TRCH/SRTU//KACHU/4/SAUAL/MUTUSCMSS10Y00986T- 099TOPM-099Y-099M-7WGY-0B	CIMMYT
G16	MUTUS//ND643/2*WBLL1CMSS08Y00224S-099Y-099M-099Y-7M-0RGY	CIMMYT

جدول ۲- ویژگی‌های اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 2. Agro-climatic characteristics of the environments studied in this research

Location/Year	Environmental code	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Rainfall (mm)
Gachsaran/2017-2018	E1	E50°50′	N30°17′	710	445
Gachsaran/2018-2019	E2				
Gachsaran/2019-2020	E3				
Khoram Abad/2017-2018	E4	E48°28′	N33°39′	1125	520
Khoram Abad/2018-2019	E5				
Khoram Abad/2019-2020	E6				
Gonbad/2017-2018	E7	E55°12′	N37°16′	45	550
Gonbad/2018-2019	E8				
Gonbad/2019-2020	E9				
Moghan/2017-2018	E10	E47°88′	N39°39′	100	312
Moghan/2018-2019	E11				
Moghan/2019-2020	E12				

جدول ۳- آماره‌های پایداری ناپارامتری مورد مطالعه در این تحقیق

Table 3. Non-parametric stability statistics studied in this research

Formula <sup>†</sup>	Reference
$S_i^{(1)} = 2 \sum_j \frac{\sum_{j=j+1}^n  r_{ij} - r'_{ij} }{[N(N-1)]}$	Huhn, 1979; Nassar and Huhn, 1987
$S_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{(N-1)}$	Huhn, 1979; Nassar and Huhn, 1987
$S_i^{(3)} = \sum_{j=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{\bar{r}_i}$	Huhn, 1979; Nassar and Huhn, 1987
$S_i^{(6)} = \sum_{j=1}^n \frac{ r_{ij} - \bar{r}_i }{\bar{r}_i}$	Huhn, 1979; Nassar and Huhn, 1987
$NP_i^{(1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n  r_{ij}^* - M_{di}^* $	Thennarasu, 1995
$NP_i^{(2)} = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^n  r_{ij}^* - M_{di}^*  / M_{di} \right]$	Thennarasu, 1995
$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum (r_{ij} - \bar{r}_i^*)^2 / N}}{\bar{r}_i}$	Thennarasu, 1995
$NP_i^{(4)} = \frac{2}{N(N-1)} \left[ \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{[j'=j+1]}^n  r_{ij}^* - r_{ij'}^*  / \bar{r}_i \right]$	Thennarasu, 1995

<sup>†</sup>: The parameters  $r_{ij}$ ,  $\bar{r}_i$ ,  $r_{ij}^*$ ,  $\bar{r}_i^*$ ,  $M_{di}^*$ ,  $M_{di}$  and  $N$  are the rank of the  $i$ th genotype in the  $j$ th environment, mean rank for the  $i$ th genotype across all environments, rank of the  $i$ th genotype in the  $j$ th environment according to adjusted data, mean rank for adjusted data, median ranks for adjusted data, median ranks for the original data (unadjusted) and number of environments, respectively.

## نتایج و بحث

تنوع کل را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). با توجه به اینکه محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از عوامل محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی، نوع خاک) را شامل شدند، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. در سایر پژوهش‌ها، محققان در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولاتی از قبیل ذرت (Shiri and Jockovic *et al.*, 2015)، آفتابگردان (Bahrapour, 2015)، یولاف (Safavi and Bahraminejad, 2017)، و جو (Vaezi *et al.*, 2019) نیز نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داد. کم بودن اثر لاین (۱/۵۴ درصد) در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل است که در برنامه‌های به‌نژادی

نتایج آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی نشان داد که واریانس محیط‌های مختلف یکسان است ( $\chi^2 = 16.54$  و غیرمعنی‌دار) و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد که اختلاف بین محیط‌های مورد مطالعه، لاین‌ها و برهمکنش لاین × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). محاسبه نسبت مجموع مربعات محیط، لاین و برهمکنش لاین × محیط به مجموع مربعات کل نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها توسط محیط‌ها توجیه می‌شود (۹۱/۴۹ درصد) و لاین‌ها و نیز برهمکنش لاین × محیط به‌ترتیب ۱/۵۴ و ۵/۰۳ درصد از

پایه عملکرد تصمیم گرفت ( Yan and Kang, 2003; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2018; روش‌های ناپارامتری Hildebrand و Bredekamp قابلیت زیادی برای تشخیص برهمکنش غیرمقاطع و روش Laan-Kroon برای تشخیص برهمکنش مقاطع دارند (Huhn and Leon, 1995). نتایج تجزیه برهمکنش لاین × محیط با استفاده روش‌های ارزیابی شده در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به معنی دار شدن همه آزمون‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع برهمکنش (مقاطع و غیرمقاطع) در این پژوهش وجود دارد و پایداری عملکرد دانه لاین‌های گندم باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در تحقیق کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2019) نیز هر دو نوع برهمکنش در گندم گزارش شد. روش‌های ناپارامتری Hildebrand, Bredekamp و Laan-Kroon به‌منظور تشخیص برهمکنش غیرمقاطع از مقاطع در بسیاری از تحقیقات دیگر نیز استفاده شده است (Sabaghnia *et al.*, 2006; Ebadi Segherloo *et al.*, 2008; Karimizadeh *et al.*, 2013; Alizadeh *et al.*, 2020

گندم نان در سال‌های گذشته، لاین‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شدند و این لاین‌های برتر در آزمایش‌های چند محیطی نسبت به محیط و برهمکنش لاین × محیط نقش کم‌تری در توجیه تنوع موجود داشتند. معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نیز نشان داد که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان دادند و به‌عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Jafari and Farshadfar, 2018; Alizadeh *et al.*, 2020). در یک برنامه به‌نژادی، زمانی که برهمکنش از نوع مقاطع (Crossover interaction) باشد، باید به‌طور همزمان اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را در نظر گرفت و نباید فقط به اثر ژنوتیپ توجه شود، اما اگر برهمکنش از نوع غیرمقاطع (Non-crossover interaction) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد لاین‌های گندم نان در محیط‌های مختلف

Table 4. Combined analysis of variance for seed yield of bread Wheat lines in different environments

Source of variations	df	Grain yield	Sum of squares	Mean square	%TSS <sup>a</sup>
Environment (E)	11	118288757**	1301176327	118288757	91.49
Replication / E	24	245271**	5886503	945271	-
Genotype (G)	15	953203**	14298049	953203	1.54
G × E	165	433647**	71551824	433647	5.03
Error	360	81087	-	-	-
Total	575		1422104099	-	-
CV (%)	-	8.09	-	-	-

<sup>a</sup>Total sum of squares.

\*\* Significant at 1% probability level.

جدول ۵- تجزیه برهمکنش لاین × محیط بر اساس آزمون‌های ناپارامتری مختلف برای ۱۶ لاین گندم نان مورد بررسی در ۱۲ محیط

Table 5. Analysis of line × environment interaction using different nonparametric tests on 16 bread wheat lines across 12 environments

Statistics	df	$\chi^2$ Statistic
Hildebrand	165	566.51**
Kubinger	165	48.58 <sup>ns</sup>
Laan-Kroon	165	305.14**
Bredekamp	165	8744.03**

<sup>ns</sup> and \*\*: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.

(Karimizadeh *et al.*, 2019) به دلیل اینکه  $S_i^{(1)}$  راحت‌تر محاسبه می‌شود، تفسیر واضح و آشکاری دارد (میانگین مطلق نمره اختلاف بین محیط‌ها) و نیز آزمون مناسبی برای نشان دادن معنی‌داری است، آنرا بر  $S_i^{(2)}$  ترجیح دادند.

آماره  $NP_i^{(1)}$  لاین‌های  $G_3, G_15, G_4, G_14$  و  $G_9$  را لاین‌های پایدار معرفی کرد، در حالی که بر اساس آماره  $NP_i^{(2)}$ ، لاین‌های  $G_15, G_13, G_3, G_5$  و  $G_7$  به‌عنوان پایدارترین لاین‌ها شناخته شدند. بر اساس دو آماره  $NP_i^{(3)}$  و  $NP_i^{(4)}$  نیز پنج لاین  $G_1, G_7, G_13, G_15$  و  $G_3$  به‌عنوان لاین‌های پایدار معرفی شدند. در پژوهش‌های صباغ‌نیا و همکاران (Sabaghnia *et al.*, 2006)، محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2007)، عبداللهی و همکاران (Abdulahi *et al.*, 2007)، عبادی صغری و همکاران (Ebadi Segherloo *et al.*, 2008) و نوروزی و عبادی (Noruzi and Ebadi, 2015) همبستگی بالایی بین چهار آماره ناپارامتری تنرازو (Thennarasu, 1995) مشاهده شد، در حالی که فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2012) گزارش کردند که همبستگی آماره  $NP_1$  با سایر آماره‌ها بسیار پایین بوده و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود، اما سه آماره دیگر دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بودند در تحقیق اکبرپور و همکاران (Akbarpour *et al.*, 2016) نیز همبستگی دو آماره اول با همدیگر و دو آماره دوم هم با همدیگر بسیار بالا بود.

آماره دیگری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، آماره پایداری مجموع رتبه (KR) کنگ (Kang, 1988) بود که بر اساس آن، لاین‌های با کم‌ترین مقدار KR به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر اساس این معیار، لاین‌های  $G_1, G_15, G_13, G_11$  و  $G_7$  با کم‌ترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و لاین‌های  $G_2, G_6, G_8, G_10$  و  $G_16$  با بیش‌ترین مقدار به‌عنوان ناپایدارترین لاین‌ها مشخص شدند (جدول ۶). روش مجموع رتبه (KR) برای تعیین پایداری محصولات مختلف در پژوهش‌های زیادی استفاده شده است (Akcura and Kaya, 2008; Kilic *et al.*, 2010; Zali *et al.*, 2011; Mortazavian and Azizinia, 2014; Alizadeh *et al.*, 2020). در این تحقیق، برای استفاده از نتایج همه آماره‌ها در شناسایی لاین‌های پایدار، رتبه هر یک از لاین‌های گندم از نظر هر یک از آماره‌های پایداری تعیین

میانگین عملکرد لاین‌های مورد بررسی به‌همراه مقادیر نه آماره ناپارامتری در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد لاین‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۳۱۹۲ تا ۳۸۱۲ با میانگین کل ۳۵۱۵ کیلوگرم در هکتار بود و لاین‌های  $G_10$  و  $G_7$  به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد لاین‌های  $G_1, G_5, G_6, G_7, G_8, G_9, G_11, G_12, G_13$  و  $G_15$  نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیش‌تر بود. بر اساس آماره‌های ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق، لاین‌های با کم‌ترین مقادیر  $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  به‌عنوان لاین‌های پایدار در نظر گرفته شدند. بر اساس آماره‌های  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$  لاین‌های  $G_1, G_15, G_3$  و  $G_7$  با کم‌ترین مقادیر و لاین‌های  $G_2, G_5, G_6, G_8$  و  $G_11$  با بیش‌ترین مقادیر این آماره‌ها، به‌ترتیب به‌عنوان پایدارترین و ناپایدارترین لاین‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس آماره‌های  $S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  لاین‌های  $G_1, G_7, G_15$  و  $G_3$  و  $G_13$  به‌عنوان پایدارترین شناخته شدند که دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین عملکرد کل لاین‌ها بودند (جدول ۶).

ژنوتیپ‌های دارای کم‌ترین مقادیر  $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  دارای پایداری عملکرد بالایی هستند (Kaya and Taner, 2010; Kilic *et al.*, 2003). معمولاً نمره‌های ژنوتیپی حاصل از عملکرد تصحیح‌شده و تصحیح‌نشده با هم متفاوت بوده و همبستگی متوسط تا ضعیفی بین این دو نوع نمره‌دهی وجود دارد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2007) و کایا و تورکوز (Kaya and Turkoz, 2016) نشان دادند که همبستگی بسیار بالایی بین هر چهار شاخص ناپارامتری  $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  وجود دارد. در مقابل، نتایج اکورا و کایا (Akcura and Kaya, 2008) نشان داد که بین نتایج  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$  با  $S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  همبستگی وجود ندارد و بیش‌ترین همبستگی بین  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$  وجود دارد. تمسژن و همکاران (Temesgen *et al.*, 2015) گزارش کردند که همبستگی بسیار بالایی بین دو آماره  $S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  وجود دارد. دقت آماره  $S_i^{(1)}$  از آماره  $S_i^{(2)}$  بیش‌تر است، زیرا بر اساس روابط ریاضی محاسباتی این دو آماره، امید ریاضی و واریانس  $S_i^{(1)}$  همیشه کوچک‌تر از امید ریاضی و واریانس  $S_i^{(2)}$  است و در نتیجه احتمال معنی‌دار شدن آن نیز بیش‌تر است (Nassar and Huhn, 1987; Sabaghnia *et al.*, 2006; Ebadi Segherloo *et al.*, 2008). کریمی‌زاده و همکاران

به‌عنوان ناپایدارترین لاین‌ها بودند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که لاین‌های G1، G7 و G3 با میانگین عملکرد بالاتر نسبت به میانگین کل آزمایش و کم‌ترین میانگین رتبه پایداری، به‌عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد بالا معرفی می‌شوند (جدول ۷).

و سپس میانگین رتبه (ASR) همه آماره‌های مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۷). نتایج حاصل از میانگین رتبه پایداری (ASR) لاین‌های گندم نشان داد که لاین‌های G1، G15، G7 و G3 با کم‌ترین میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و لاین‌های G2، G6، G8 و G10 با بیش‌ترین میانگین رتبه

جدول ۶- مقدار آماره‌های پایداری ناپارامتری ارزیابی شده در ۱۶ لاین گندم نان

Table 6. Non-parametric stability statistics evaluated for 16 bread wheat lines

Genotype	Mean yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	S <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(6)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(4)</sup>	KR
G1	3766.3	4.00	13.82	12.67	3.00	5.00	0.38	0.43	0.33	12
G2	3357.6	5.80	26.99	53.18	8.99	3.33	1.52	0.77	1.04	26
G3	3489.4	4.27	12.91	17.75	4.25	3.08	0.36	0.46	0.53	14
G4	3389.4	4.79	17.09	26.86	5.43	3.08	0.51	0.57	0.68	19
G5	3647.7	6.03	29.27	29.27	4.73	4.58	0.35	0.47	0.55	19
G6	3550.6	6.06	26.24	33.31	6.23	4.58	0.56	0.59	0.70	20
G7	3812.6	4.30	15.15	13.51	3.30	5.00	0.38	0.45	0.35	12
G8	3534.1	5.76	24.52	37.63	7.02	4.00	0.80	0.69	0.80	22
G9	3522.3	4.77	17.17	24.91	4.88	3.25	0.43	0.55	0.63	19
G10	3192	4.62	15.84	30.30	7.04	3.67	1.17	0.82	0.80	31
G11	3540.1	5.06	18.42	24.32	5.28	3.50	0.49	0.48	0.61	9
G12	3625.8	4.91	17.18	19.89	4.63	3.83	0.39	0.47	0.52	12
G13	3593.9	4.74	17.30	18.56	3.90	3.92	0.34	0.44	0.46	12
G14	3395.1	4.85	16.64	24.40	5.47	3.25	0.46	0.54	0.65	16
G15	3538.1	4.17	12.39	14.73	3.62	2.67	0.31	0.35	0.45	9
G16	3299.1	4.76	16.91	31.00	6.67	4.08	1.00	0.77	0.79	20

S<sup>(i)</sup>, Huhn's (1979) and Nassar and Huhn's (1987) non-parametric statistics; NP<sup>(i)</sup>, Thennarasu's (1995) non-parametric statistics; KR, Kang's (1988) sum rank statistics.

جدول ۷- رتبه پایداری ۱۶ لاین گندم نان از نظر هر یک از آماره‌های پایداری مورد مطالعه به‌همراه متوسط رتبه آن‌ها

Table 7. Stability rank of 16 bread wheat lines in each stability statistics along with their average rank

Genotype	Mean yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	S <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(6)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(4)</sup>	KR	ASR
G1	2	1	3	1	1	15	5	2	1	3	3.4
G2	14	14	15	16	16	6	16	14	16	15	14.2
G3	11	3	2	4	5	2	4	5	6	7	4.9
G4	13	9	8	10	10	2	11	11	11	9	9.4
G5	3	15	16	11	7	13	3	6	7	9	8.9
G6	6	16	14	14	12	13	12	12	12	12	12.3
G7	1	4	4	2	2	15	6	4	2	3	4.3
G8	9	13	13	15	14	11	13	13	14	14	12.9
G9	10	8	9	9	8	4	8	10	9	9	8.4
G10	16	5	5	12	15	8	15	16	15	16	۱۲/۳
G11	7	12	12	7	9	7	10	8	8	1	۸/۸
G12	4	11	10	6	6	9	7	7	5	3	۶/۸
G13	5	6	11	5	4	10	2	3	4	3	۵/۳
G14	12	10	6	8	11	4	9	9	10	8	8.9
G15	8	2	1	3	3	1	1	1	3	1	2.4
G16	15	7	7	13	13	12	14	15	13	12	11.1

S<sup>(i)</sup>, Huhn's (1979) and Nassar and Huhn's (1987) non-parametric statistics; NP<sup>(i)</sup>, Thennarasu's (1995) non-parametric statistics; KR, Kang's (1988) sum rank statistic; ASR, average stability rank of all non-parametric statistics.



معنی‌داری با آماره‌های  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ , KR و TOP داشت. همچنین ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری بین تمامی جفت شاخص‌های  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ , KR و TOP مشاهده شد (جدول ۹). کایا و تورکوز (Kaya and Turkoz, 2016) نیز همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری بین آماره‌های ناپارامتری فاکس و هان (  $NP_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ , ) در ارقام گندم دوروم گزارش کردند. واعظی و همکاران (Vaezi et al., 2017) طی تحقیقات خود در جو، بین میانگین عملکرد و آماره‌های  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$  و  $NP_i^{(4)}$  ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری مشاهده کردند. محققان دیگری نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین عملکرد و شاخص مجموع رتبه (KR) گزارش کردند (Mohammadi et al., 2007; 2009). محمدی و همکاران (2006; Alizadeh et al., 2021) در دو پژوهش جداگانه از شاخص Top برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم، گندم نان، جو و گلرنگ استفاده و در هر دو پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص Top و آماره‌های تنارازو (Thennarasu, 1995) و هان (Huhn, 1979) گزارش کردند. همبستگی بین آماره‌های پایداری ناپارامتری مختلف و شاخص Top در مورد داده‌های عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در پژوهش‌های چلیک و همکاران (Kilic et al., 2010) و کایا و تورکوز (Kaya and Turkoz, 2016) نیز گزارش شد، اما فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2012) و مرتضویان و عزیزینیا (Mortazavian and Azizzinia, 2014) گزارش کردند که شاخص Top فقط با میانگین عملکرد دانه و میانگین رتبه‌داری همبستگی معنی‌دار بود و با سایر آماره‌های ناپارامتری همبستگی نداشت.

شاخص ناپارامتری فاکس و همکاران (Fox et al., 1990) دارای سه پارامتر Top، Mid و Low است. این شاخص ژنوتیپ‌ها را بر اساس پایداری و میزان عملکرد در سه گروه بالا، متوسط و پایین گروه‌بندی می‌کند. هر چه مقدار پارامتر Top یک ژنوتیپ بیش‌تر باشد، میزان پایداری و مطلوبیت آن نیز بیش‌تر است. نتایج به‌دست آمده از روش ناپارامتری فوکس و همکاران (Fox et al., 1990) بر اساس عملکرد لاین‌های گندم نان مورد مطالعه در ۱۲ محیط در این پژوهش در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که لاین G7 با میزان ۶۶/۶۷ درصد Top، ۸/۳۳ درصد Mid و ۲۵ درصد Low به‌عنوان مطلوب‌ترین لاین در این پژوهش بود. به‌دنبال آن نیز لاین G1 با دارا بودن ۵۸/۳۳ درصد Top، ۳۳/۳۳ درصد Mid و ۸/۳۳ درصد Low و لاین G5 با داشتن ۵۸/۳۳ درصد Top، ۲۵ درصد Mid و ۱۶/۶۷ درصد Low به‌ترتیب به‌عنوان دومین و سومین لاین‌های پایدار و مطلوب از نظر روش ناپارامتری فاکس و همکاران (Fox et al., 1990) بودند (جدول ۸). نامطلوب‌ترین و در واقع ناپایدارترین لاین در این روش با دارا بودن بالاترین میزان شاخص Low (۷۵ درصد)، لاین G2 بود که متوسط عملکرد کمی نیز داشت. پس از این لاین نیز لاین G16 با ۶۶/۶۷ درصد Low به‌عنوان دومین لاین ناپایدار شناسایی شد. محققان دیگری نیز از شاخص فاکس (Fox et al., 1990) جهت تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در گیاهانی مانند گندم دوروم (Kilic et al., 2010; Kaya and Turkoz, 2016)، نخود (Farshadfar et al., 2012) و کانولا (Mortazavian and Azizzinia, 2014) استفاده کردند.

به‌منظور بررسی رابطه بین میانگین عملکرد دانه و آماره‌های ناپارامتری، ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین آن‌ها محاسبه و در جدول ۹ ارائه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میانگین عملکرد دانه (GY) همبستگی مثبت و

جدول ۸- آماره‌های ناپارامتری فاکس و همکاران (Fox et al., 1990) در ۱۶ لاین گندم نان مورد مطالعه

Table 8. Nonparametric statistics of Fox et al. (1990) in the 16 studied bread wheat lines

Code	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16
Low	8.3	75.0	41.7	50.0	16.7	50.0	25.0	58.3	50.0	66.7	50.0	41.7	25.0	41.7	33.3	66.7
Mid	33.3	8.3	50.0	41.7	25.0	8.3	8.3	25.0	33.3	33.3	33.3	16.7	41.7	50.0	50.0	33.3
Top	58.3	16.7	8.3	8.3	58.3	41.7	66.7	16.7	16.7	0.0	16.7	41.7	33.3	8.3	16.7	0.0

جدول ۹- ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری در ۱۶ لاین گندم نان

Table 9. Spearman's rank correlation coefficients between mean grain yield (GY) and non-parametric stability statistics in 16 bread wheat lines

Statistics <sup>†</sup>	GY	S <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(6)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(4)</sup>	KR
S <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	0.03 <sup>ns</sup>									
S <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	0.91 <sup>**</sup>								
S <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	0.56 <sup>*</sup>	0.74 <sup>**</sup>	0.68 <sup>**</sup>							
S <sub>i</sub> <sup>(6)</sup>	0.74 <sup>**</sup>	0.60 <sup>*</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>**</sup>						
NP <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	-0.57 <sup>*</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>					
NP <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	0.65 <sup>**</sup>	0.44 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>**</sup>	0.90 <sup>**</sup>	0.035 <sup>ns</sup>				
NP <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	0.73 <sup>**</sup>	0.52 <sup>*</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>**</sup>			
NP <sub>i</sub> <sup>(4)</sup>	0.77 <sup>**</sup>	0.57 <sup>*</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.99 <sup>**</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>		
KR	0.61 <sup>*</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>**</sup>	0.83 <sup>**</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>**</sup>	0.88 <sup>**</sup>	0.87 <sup>**</sup>	
TOP	0.92 <sup>**</sup>	-0.11 <sup>ns</sup>	-0.24 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>*</sup>	-0.77 <sup>**</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	0.56 <sup>**</sup>	0.34 <sup>ns</sup>

<sup>†</sup>: GY, grain yields; S<sup>(i)</sup>, Huhn's (1979) and Nassar and Huhn's (1987) non-parametric statistics; NP<sup>(i)</sup>, Thenmarasu's (1995) non-parametric statistics; KR, Kang's (1988) sum rank statistics.

<sup>ns</sup>, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

توجه به اینکه این آماره‌ها، ارتباط و همبستگی مثبتی با میانگین عملکرد داشتند، در نتیجه دارای مفهوم دینامیک (زرعی) پایداری هستند و معیارهای مناسبی برای گزینش لاین‌های با عملکرد بالا و پایدار در ارقام گندم نان می‌باشند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های سایر محققین نیز آماره‌های S<sub>i</sub><sup>(3)</sup>، S<sub>i</sub><sup>(6)</sup>، NP<sub>i</sub><sup>(2)</sup>، NP<sub>i</sub><sup>(3)</sup> و NP<sub>i</sub><sup>(4)</sup> را دارای مفهوم دینامیک (زرعی) پایداری معرفی کردند (Pourdad *et al.*, 2014; Vaezi *et al.*, 2017).

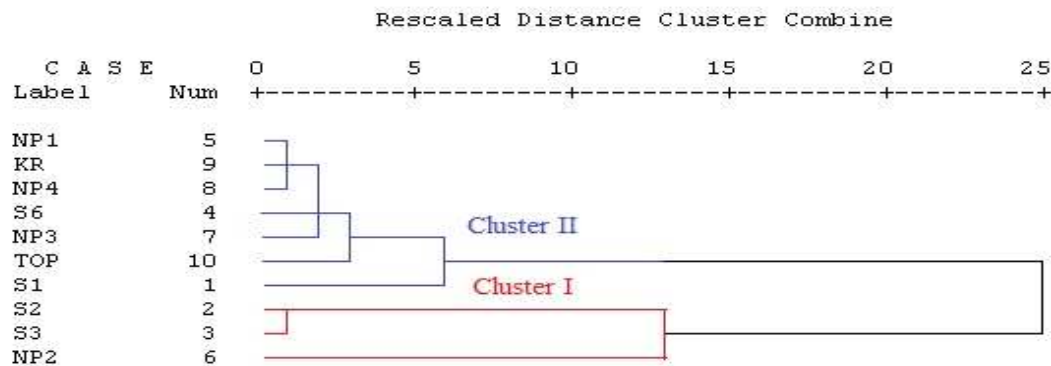
گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد بررسی، سه گروه از محیط‌ها را شناسایی کرد (شکل ۲). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های گنبد (سال‌های اول، دوم و سوم)، و گچساران (سال‌های دوم و سوم) بود. خرم‌آباد (سال‌های اول، دوم و سوم) در گروه دوم (Cluster II) قرار گرفتند و گروه سوم (Cluster III) نیز شامل محیط‌های مغان (سال‌های اول، دوم و سوم) و گچساران سال اول بود (شکل ۲). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر اثر لاین × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک گروه قرار می‌گیرند. در مقابل، محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند، دارای اثر متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم می‌باشند (Yan and Rajcan, 2002; Yan and Kang, 2003). بنابراین، قرار گرفتن گچساران (سال‌های دوم و سوم) و گنبد (سال‌های اول، دوم و سوم) در یک گروه بیانگر مشابهت نسبی این دو ایستگاه و نشان‌دهنده برهمکنش

پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد در دامنه وسیعی از محیط‌ها اطلاق می‌شود. بیکر (Becker, 1981) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرد. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیک) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنا که ژنوتیپ پایدار عملکرد غیرقابل تغییری در میان محیط‌های مختلف دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نیست. در مقابل، بسیاری از به‌نژادگران مفهوم زرعی (دینامیک) پایداری را جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. بر اساس این مفهوم پایداری، یک پاسخ پیش‌بینی‌پذیر به عوامل محیطی وجود دارد و به‌عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی هستند.

به‌منظور درک بهتر روابط بین آماره‌های ناپارامتری پایداری و ارتباط آن‌ها با پایداری زیستی و زرعی، از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده و پارامترهای پایداری و محیط‌های مورد مطالعه بر مبنای عملکرد ۱۶ لاین گندم مورد مطالعه، گروه‌بندی و نتایج به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، پارامترهای پایداری مورد مطالعه در دو گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۱). گروه اول (Cluster I) شامل آماره‌های S<sub>i</sub><sup>(1)</sup>، S<sub>i</sub><sup>(2)</sup> و NP<sub>i</sub><sup>(1)</sup> و TOP بود. با توجه به نتایج، آماره‌های گروه اول دارای مفهوم زیستی پایداری هستند. گروه دوم (Cluster II) شامل میانگین عملکرد (GY) و آماره‌های S<sub>i</sub><sup>(3)</sup>، S<sub>i</sub><sup>(6)</sup>، NP<sub>i</sub><sup>(2)</sup>، NP<sub>i</sub><sup>(3)</sup>، NP<sub>i</sub><sup>(4)</sup> و KR بود. با

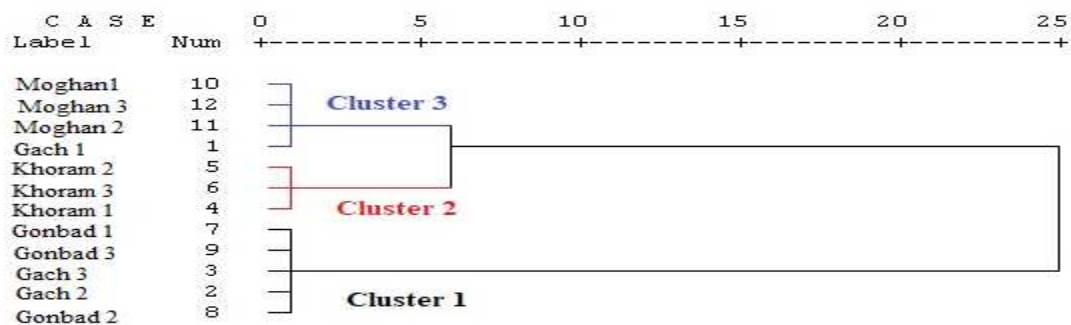
گنبد و گچسارن انجام شود. یان و راجان (Yan and Rajcan, 2002) با بررسی ژنوتیپ‌های سویا طی چندین سال در چهار مکان مختلف کانادا به این نتیجه رسیدند که یکی از این مکان‌ها تشابه بالایی با سایر مناطق داشت. بنابراین این مکان را از آزمایشات بررسی ارقام گندم نان حذف کردند. قرار گرفتن سال‌های اول، دوم و سوم ایستگاه‌های خرم‌آباد، مغان، گنبد و گچسارن در گروه‌های جدا نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر این امر نشان دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این مناطق در طول سه سال مورد بررسی بود.

افزایشی یا غیرکراس‌آوری و همچنین تکرارپذیری بالاتر این مکان‌ها نسبت به سایر مکان‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول سه سال مورد بررسی بود. بنابراین، با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و هوایی این مناطق طی چند سال روی عملکرد گندم نان تاثیری ندارد و می‌توان آزمایشات مربوط به بررسی ارقام گندم نان را با تعداد سال‌های کم‌تری انجام داد. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش هزینه‌ها و کارایی بیشتر برنامه‌های به‌نژادی، آزمایشات بررسی ارقام گندم نان فقط در یکی از دو مکان



شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای آماره‌های پایداری ناپارامتری بر اساس میانگین عملکرد دانه ۱۶ لاین گندم نان در ۱۲ محیط

Figure 1. Cluster analysis of non-parametric stability parameters based on average grain yield of 16 bread wheat lines in 12 environments



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه ۱۶ لاین گندم نان

Figure 2. Cluster analysis of the studied environments based on average grain yield of 16 bread wheat lines

## نتیجه گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های پایداری ناپارامتری ابزارهای کارایی برای بررسی اثر لاین  $\times$  محیط هستند و اطلاعات مفیدی در مورد لاین‌های پایدار و با عملکرد بالا در اختیار قرار می‌دهند. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپایداری مورد مطالعه، لاین‌های G15، G1، G7 و G3 با کم‌ترین مقادیر میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و لاین‌های G2، G6، G8 و G10 با بیش‌ترین میانگین رتبه به‌عنوان ناپایدارترین لاین‌ها شناسایی شدند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که لاین‌های G1، G7 و G3 با کم‌ترین مقدار میانگین رتبه و همچنین با میانگین عملکرد بالاتر نسبت به میانگین کل آزمایش، به‌عنوان لاین‌های پایدار و پرمحصول معرفی می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که آماره‌های  $S_i^{(3)}$ ،  $S_i^{(6)}$ ،  $NP_i^{(2)}$ ،  $NP_i^{(3)}$ ،  $NP_i^{(4)}$  و KR با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری رابطه دارند و استفاده از این روش‌ها جهت گزینش لاین‌های پایدار و با عملکرد بالا در گندم نان مناسب است. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن گنبد و گچساران در یک گروه بیانگر مشابهت نسبی این دو ایستگاه و نشان دهنده برهمکنش افزایشی یا غیرکراس اوری آن‌ها است. قرار گرفتن هر سه سال آزمایش مربوط به مکان‌های مغان و خرم‌آباد هر کدام در یک گروه نیز بیان‌گر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این مکان‌ها نسبت به سایر مکان‌ها است.

## سیاسگزاری

بدین‌وسیله نگارندگان این مقاله از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و معاونت موسسه و همچنین دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که امکان انجام آزمایش‌ها را فراهم کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

## رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

## اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کند.

## References

- Abdulahi, A., Mohammadi, R. and Pourdard, S. S. 2007. Evaluation of safflower (*Carthamus spp.*) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (5): 827-832.
- Akbarpour, O. A., Dehghani, H., Sorkheh Lalelu, B. and Kang, M. S. 2016. A SAS macro for computing statistical tests for two-way table and stability indices of nonparametric method from genotype-by-environment interaction. *Acta Scientiarum Agronomy* 38 (1): 35-50.
- Akcura, M. and Kaya, Y. 2008. Nonparametric stability methods for interpreting  $G \times E$  interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Genetic and Molecular Biology* 31 (4): 906-913.
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G. H., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H. R. and Gholizadeh, A. 2020. Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding* 12 (35): 202-212. (In Persian with English Abstract).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G. H., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh H. R. and Gholizadeh, A. 2021. Analysis of genotype  $\times$  environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing* 11 (1): 95-108. (In Persian with English Abstract).

- Becker, H. 1981.** Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. **Euphytica** 30: 835-840.
- Bredenkamp, J. 1974.** Nonparametriche prufung von wechsew-irkungen. **Psychology Beitrage** 16: 398-416.
- de Kroon, J. and Van Der Laan, P. 1981.** Distribution free test procedures in two-way layouts: A concept of rank interaction. **Statistica Neerlandica** 35: 189-213.
- Ebadi Segherloo, A., Sabaghpour, S. H., Dehghani, H. and Kamrani, M. 2008.** Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). **Euphytica** 162: 221-229.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science** 6: 36-40.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotfali Ayeneh, G. A., Akbari Moghaddam, H., Mahmoudi, K., 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 with English Abstract).
- FAO. 2019.** FAOSTAT. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- 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.
- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963.** The analysis of adaptation in a plant breeding program. **Australian Journal of Agricultural Research** 14: 742-754.
- Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K. and Braun, H. J. 1990.** Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. **Euphytica** 47 (1): 57-64.
- Francis, T. R. and Kannenberg, L. W. 1978.** Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. **Canadian Journal of Plant Science** 58: 1029-1034.
- Hildebrand, H. 1980.** Asymptotisch verteilungsfreie rangtests in linearen modellen. **Medical Informatics Statistics** 17: 344-349.
- Huhn, M. 1979.** Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. I. Vorschlag einiger auf Rang informationen beruhenden stabilitats parameter. **EDV in Medizin und Biologie** 10: 112-117. (In German with English Abstract).
- Huhn, M. and Leon, J. 1995.** Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. **Agronomy Journal** 87: 627-632.
- Jahromi, M. A., Khodarahmi, M., Mohammadi, A. R. and Mohammadi, A. 2011.** Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 13: 565-579. (In Persian with English Abstract).
- Jafari, T. and Farshadfar, E. 2018.** Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE Biplot. **Cereal Research** 8: 199-208. (In Persian with English Abstract).
- Jockovic, M., Cvejic, S., Jovic, S., Marjanovic-Jeromela, A., Miladlnovic, D., Jockovic, B., Miklic, V. and Radic, V. 2016.** Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). **Turkish Journal of Field Crops** 24: 202-210.
- Kang, M. 1988.** A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. **Cereal Research Communication** 16: 113-115.
- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A. and Rostami, B. 2008.** Determining rank and stability of lentil genotypes in rainfed condition by nonparametric statistics. **JWSS-Isfahan University of Technology** 12: 93-102. (In Persian with English Abstract).
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Shefazadeh, M. K., Hosseinpour, T. and Armion, M. 2013.** Exploring of genotype by environment interaction by nonparametric stability procedures. **Natura Montegrina** 12 (1): 181-203.
- Karimizadeh, R., Asghari, A., Sofalian, O., Shahbazi, K., Hosseinpour, T., Ghoghogh, H. and Armion, M. 2019.** Identification of the most stable durum wheat genotypes using nonparametric yield stability statistics. **Journal of Crop Production and Processing** 9 (1): 189-203. (In Persian with English Abstract).
- Kaya, Y. and Taner, S. 2003.** Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Central European Agriculture** 4: 47-53.

- Kaya, Y. and Turkoz, M. 2016.** Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. **Turkish Journal of Field Crops** 21 (1): 51-59.
- Khalili, M. and Pour-Aboghadaeh, A. 2016.** Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. **Journal of Agricultural Science and Technology** 18 (3): 789-803.
- Kilic, H., Akcura, M. and Aktas, H. 2010.** Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multi-environments. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 38 (3): 271-279.
- Kubinger, K. D. 1986.** A note on non-parametric tests for the interaction on two-way layouts. **Biometrical Journal** 28: 67-72.
- Minitab. 2005.** Minitab user's guide, ver. 14. Minitab Inc, Harrisburg, Pennsylvania, USA.
- Moghaddam, M. J. and Pourdad, S. 2009.** Comparison of parametric and nonparametric methods for analyzing genotype  $\times$  environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of Agricultural Science Cambridge** 147: 601-612.
- Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D. and Zare, N. 2019.** Nonparametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. **Journal of Crop Breeding** 28: 50-63. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadi, R., Abdullahi, A., Haghparast, R., Aghae, M. and Rostaii, M. 2007.** Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. **World Journal of Agricultural Sciences** 3 (2): 137-242.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. and Ceccarelli, S. 2009.** Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. **Crop and Pasture Science** 6: 92-101.
- Mortazavian, S. M. and Azizinia, S. 2014.** Nonparametric stability analysis in multi-environment trial of canola. **Turkish Journal of Field Crops** 19: 108-117.
- Movahhedi, Z., Dehghani, H. and Mofidian, M. 2010.** A study of yield stability in cold region ecotypes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) through non-parametric measures. **Iranian Journal of Field Crop Science** 40: 103-111. (In Persian with English Abstract).
- Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, Sh. and Ghandi, A. 2019.** Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 21: 127-138. (In Persian with English Abstract).
- Nassar, R. and Huhn, M. 1987.** Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. **Biometrics** 43: 45-53.
- Noruzi, E. and Ebadi, A. 2015.** Comparison of parametric and non-parametric methods for analyzing genotype  $\times$  environment interactions in sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines. **Jordan Journal of Agricultural Sciences** 11 (4): 959-979.
- Pourdad, S., Jamshid Moghaddam, M., Faraji, A. and Naraki, H. 2014.** Study on different nonparametric stability methods on seed yield of spring rapeseed varieties and hybrids. **Iranian Journal of Field Crop Science** 44: 539-548. (In Persian with English Abstract).
- Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S. H. 2006.** Nonparametric methods for interpreting genotype  $\times$  environment interaction of lentil genotypes. **Crop Science** 46: 1100-1106.
- Safavi, S. and Bahraminejad, S. 2017.** The evaluation of genotype  $\times$  environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. **Journal of Crop Breeding** 922: 125-132. (In Persian with English Abstract).
- SAS. 2011.** Statistical analysis system. SAS 9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary.
- Shiri, M. R. and Bahrapour, T. 2015.** Genotype  $\times$  environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. **Cereal Research** 5: 83-94. (In Persian with English Abstract).
- Shukla, G. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. **Heredity** 29: 237-245.
- SPSS. 2010.** SPSS 20 users guided. Chicago. USA.
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. and Jarso, M. 2015.** Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. **The Crop Journal** 3: 258-268.
- Thennarasu, K. 1995.** On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph. D. Dissertation. PJ School IARI, New Delhi, India.

- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hosseinpour, T. and Dorii, M. 2017.** GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. **Cereal Research Communications** 45: 500-511
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, S., Ghasemi, E., Moradkhani, H. and Siddique, K. H. 2019.** Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. **Euphytica** 215: 1-18.
- Wrick, G. 1962.** Uber eine methode zur erfassung der okologischen streubreite in feld versuchen. **Zeitschrift Fur Pflanzenzuechtung** 47: 92-96. (In German with English Abstract).
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science** 42: 11-20.
- Yan, W. and Kang, M. S. 2003.** GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zali, H., Farshadfar, E. and Sabaghpour, S. H. 2011.** Genetic variability and interrelationships among agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. **Crop Breeding Journal** 1: 127-132. (In Persian with English Abstract).
- Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R., Mohammadi Sarab Badieh, M. and Zali, H. 2012.** Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. **Electronic Journal of Crop Breeding** 5 (3): 81-97. (In Persian with English Abstract).



## Evaluation of genotype $\times$ environment interaction and grain yield stability of different bread wheat genotypes using non-parametric methods

Sima Abyar<sup>1</sup>, Saeid Navabpour<sup>2\*</sup>, Rahmatollah Karimizadeh<sup>3</sup>, Ali Asghar Nasrollahnejad Ghomi<sup>4</sup>, Ghafar Kiani<sup>5</sup> and Amir Gholizadeh<sup>6</sup>

Received: May 26, 2021

Accepted: July 20, 2021

### Abstract

Water scarcity is the most essential limiting element of agricultural production, particularly in arid and semi-arid areas throughout the world. The line  $\times$  environment interaction is a major challenge in the study of quantitative characters because it reduces yield stability in different environments and also it complicates the interpretation of genetic experiments and makes predictions difficult. In this regard to analysis of line  $\times$  environment interaction and determine the yield stability of bread wheat genotypes, 15 new bread wheat lines along with Aftab cultivar were evaluated in a randomized complete block design with three replications in four experimental field stations (Gachsaran, Khoramabad, Moghan and Gonbad) during three cropping seasons. Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, line and line  $\times$  environment interaction were significant, suggesting that the lines responded differently in the studied environment conditions. So, there was the possibility of stability analysis. According to mean rank of nonparametric stability parameters, the lines G1, G3, G7 and G15 with the lowest value for mean rank were stable, whereas lines G2, G6, G8 and G10 with highest values were unstable. Also, the results indicated that the nonparametric statistics  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ , KR and Top were associated with mean seed yield and the dynamic concept of stability. Therefore, these methods were suitable for selecting stable and high yielding lines in bread wheat. Finally, G7 line with average grain yield and high general stability was the top line of this test, which after additional tests can be a candidate for a new cultivar to introduce.

**Keywords:** Stability analysis, Ideal lines, Non-parametric statistics, Rainfed conditions

1. Ph. D. Student, Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3. Research Assist. Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

4. Assist. Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

5. Assoc. Prof., Dept. of Plant Breeding, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

6. Research Assist. Prof., Dept. of Crop and Horticultural Science Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

\* Corresponding author: [s.navabpour@gau.ac.ir](mailto:s.navabpour@gau.ac.ir)