

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری

رحمت‌الله کریمی‌زاده^۱، طهماسب حسین‌پور^۲، پیمان شریفی^{۳*}، جبار آلت‌جعفری^۴، کمال شهبازی هومونلو^۵ و کاوس کشاورزی^۶

۱- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت

۴- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد

۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان

۶- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۳)

چکیده

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) مانند بیشتر گیاهان زراعی دیگر، تحت تأثیر تنش‌های مختلفی قرار می‌گیرد؛ بنابراین، ارقامی که علاوه بر توانایی تولید عملکرد بالاتر، بتوانند پتانسیل عملکرد خود را در سال‌ها و مکان‌های مختلف حفظ کنند، ارقام برتر به‌شمار می‌آیند. به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم دوروم، ۱۶ لاین همراه با دو رقم شاهد دهدشت و سیمره در چهار منطقه گچساران، گنبد، خرم‌آباد و مغان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار طی سه سال زراعی (۹۵-۱۳۹۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه مرکب داده‌ها اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را نشان داد. ژنوتیپ ۶ و ژنوتیپ ۱۸ به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. بر پایه روش‌های پارامتری، ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۱۵، ۱۳ و ۱۶ و بر پایه روش‌های ناپارامتری، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۱۵ و ۳، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه مجموع رتبه‌ی کنگ، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۵، ۶ و ۱ پایدارتر از ژنوتیپ‌های دیگر بودند. از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) برای ادغام تمام شاخص‌ها در یک شاخص استفاده شد که بر پایه آن، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ با داشتن بیشترین میزان شاخص SIIG و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های برتر بودند. بر پایه تمام شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بود و می‌توانند در پروسه‌های معرفی رقم به‌کار گرفته شوند.

واژگان کلیدی: برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه مرکب، رتبه، سازگاری، شاخص SIIG

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum*) دومین گونه زراعی مهم گندم در دنیا است که در سطحی معادل ۱۷ میلیون هکتار کشت می‌شود (CIMMYT, 2019). از چالش‌های مهم کشت گندم دوروم همچون بیشتر گیاهان زراعی، تنش خشکی، سرما و گرمای آخر دوره رشد و تنگناهای مربوط به تغذیه، خاک و بیماری‌ها و آفات است (Karimizadeh et al., 2011). ارقامی که توانایی تولید عملکرد بالاتر در محیط‌های دارای تنش‌های محیطی را داشته باشند و همچنین بتوانند پتانسیل عملکرد خود را در سال‌ها و مکان‌های مختلف حفظ کنند ارقام برتر به‌شمار می‌آیند (Sharifi, 2017)؛ بنابراین، مهم‌ترین جنبه در تولید لاین‌های پیشرفته، علاوه بر عملکرد، پایداری عملکرد دانه در محیط‌های گوناگون است (Farshadfar et al., 2012)؛ از این رو، پژوهشگران برای معرفی رقم جدید لاین‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های مقدماتی را در محیط‌های مختلف ارزیابی می‌کنند و در برنامه‌های خود اقدام به تولید ارقامی می‌کنند که علاوه بر پتانسیل عملکرد بالا، دارای ویژگی‌های مناسب برای کشت در مناطق مختلف نیز باشند.

پژوهشگران برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط، تشخیص پایداری و معرفی ارقام پایدار از روش‌های گوناگونی بهره برده‌اند که به‌طور کلی روش‌های تک و چندمتغیره را در برمی‌گیرند (Zali et al., 2009). روش‌های تک‌متغیره به روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، ضریب رگرسیون فیلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، ضریب رگرسیون پرکینز و جینکر (Perkins and Jinks, 1968)، انحراف از خط رگرسیون ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russel, 1966) و میانگین مربعات درون مکانی لین و بینز (Lin and Binns, 1988) از جمله روش‌های پارامتری تک‌متغیره هستند که توسط پژوهشگران زیادی برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده‌اند. در روش‌های ناپارامتری، برقراری فرض‌های نرمال بودن توزیع داده‌ها، مستقل بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاها ضرورتی ندارد که از مزیت‌های این روش نسبت به روش‌های پارامتری تجزیه پایداری است (Bortz et al., 1990). از روش‌های ناپارامتری می‌توان میانگین تفاوت قدرمطلق ($Si^{(1)}$) و واریانس یا انحراف استاندارد ($Si^{(2)}$) (Nassar

and Huehn, 1987)، روش ناپارامتری رتبه (Kang, 1988) و روش‌های ناپارامتری $NPI^{(1)}$ ، $NPI^{(2)}$ ، $NPI^{(3)}$ و $NPI^{(4)}$ (Temesgen et al., 2015) را نام برد که بر پایه رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف هستند و با استفاده از آن‌ها ژنوتیپی پایدار خواهد بود که در همه محیط‌ها رتبه یکسانی داشته باشد (Najafi Mirak et al., 2018a). علاوه بر شاخص‌های تک‌معیاری مختلف پایداری، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل^۱ (SIIG) که یک شاخص چندمعیاری است، نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده است که در آن علاوه بر انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل، فاصله بین ژنوتیپ‌ها هم مشخص می‌شود (Zali et al., 2015).

پژوهش‌های مختلفی برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم انجام شده است. از جمله کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2011) با روش‌های مختلف تک و چندمتغیره، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را از بین ۱۹ لاین پیشرفته شناسایی کردند. همچنین نجفی‌میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2019) برای ارزیابی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در چهار منطقه و دو سال زراعی از روش‌های ناپارامتری رتبه و انحراف معیار رتبه و روش پارامتری تک‌متغیره ضریب تغییرات محیطی استفاده کردند و دو ژنوتیپ پایدار از نظر عملکرد دانه را شناسایی کردند. صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh et al., 2018) با ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در سه سال زراعی و پنج منطقه نشان دادند که محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۸۰، ۴ و ۹ درصد از مجموع مربعات کل را توجیه می‌کرد. حاجی محمدعلی جهرمی و همکاران (Haji Mohammad Ali Jahromi et al., 2011) برای ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در پنج منطقه و دو سال زراعی با استفاده از هشت آماره پایداری (W_i^2 ، CV_i ، S_i^2 ، MS_{yil} ، CV_{yil} ، YS_i ، ASV) و σ_i^2 ، دو ژنوتیپ پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) در پژوهشی برای ارزیابی ۲۳ ژنوتیپ گندم در چهار ایستگاه تحقیقاتی و سه سال زراعی نشان دادند که سهم اثر محیط، برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط و ژنوتیپ به‌ترتیب ۸۴، ۷/۷ و ۲/۳ درصد از تغییرات کل بود و با روش رگرسیون توأم (ضریب رگرسیون + واریانس انحراف از

1- Selection index of ideal genotype

تراکم ۳۰۰ دانه در مترمربع انجام شد. این چهار ناحیه از مناطق دیم نیمه‌گرمسیری ایران هستند که ایستگاه‌های اصلی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور برای انجام پژوهش‌های مرتبط با گیاهان دیم در آنجا مستقر شده است. در این مناطق، زمان کاشت و برداشت افزایش و کاهش طول روز و میزان دما در طول فصل زراعی و تناسب بارندگی از آبان تا خرداد تقریباً مشابه است؛ بنابراین هر کدام نماینده اقلیم گرم با شدت و ضعف در ویژگی‌های آب و هوایی هستند. ویژگی‌های جغرافیایی و میزان بارندگی سالانه مناطق در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در پایان هر سال زراعی و پس از رسیدگی محصول، عملیات برداشت از هر شش خط انجام شد و دانه‌ها پس از رسیدن به رطوبت ۱۴ درصد وزن شدند و با تناسب گرفتن، میزان عملکرد دانه در واحد سطح گزارش شد.

تجزیه‌های آماری: در این آزمایش، مکان و سال تصادفی و ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شده بودند و تجزیه‌ها بر پایه آن انجام شد. پیش از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد. در ادامه، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با روش‌های پایداری واریانس محیطی (Roemer, 1917)، ضریب تغییرات محیطی (Francis and Kannenberg, 1978)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، شاخص پایداری اکوالانس ریک (Wrick, 1962)، آماره پلاستد (Plaisted, 1960)، آماره پلاستد و پترسون (Plaisted and Peterson, 1959)، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) و انحراف از خط رگرسیون ابرهارت و راسل (Eberhart and Russel, 1966) با برنامه MATLAB (Karimizadeh et al., 2012) محاسبه شد (جدول ۴).

در روش‌های ناپارامتری، ابتدا داده‌های عملکرد بر پایه اختلاف عملکرد دانه ژنوتیپ نام در محیط زام ($\bar{X}_{ij}$) با میانگین عملکرد ژنوتیپی ($\bar{X}_i$) تصحیح شدند و سپس به داده‌ها در هر محیط رتبه داده شد. در ادامه، شاخص‌های ناپارامتری معیار واریانس رتبه $S_i^{(2)}$ (Nassar and Huehn, 1987)، $S_i^{(3)}$ (Nassar and Huehn, 1987)، $S_i^{(6)}$ (Huhn and Leon, 1995)، Top، Mid و Low (Fox et al., 1990) و مجموع رتبه (Kang, 1988) با برنامه SAS (Akbarpour et al., 2016) محاسبه شدند (جدول ۴).

رگرسیون، ژنوتیپ‌های دارای سازگاری به شرایط مطلوب و شرایط نامطلوب را شناسایی کردند. نجفی‌میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2018a; Najafi Mirak et al., 2018b) در دو پژوهش جداگانه با ارزیابی ۱۸ لاین امیدبخش گندم دوروم (لاین‌ها در هر کدام از دو پژوهش متفاوت بودند) به‌همراه رقم شاهد گندم دوروم به‌رنگ و رقم شاهد گندم نان چمران با استفاده از روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس (CV_i ، $S_i^{(2)}$ و W_i^2) و روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون (b_i و R_i^2) و آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ و رتبه، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند. نجفی‌میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2018b) علاوه بر شاخص‌های بالا از شاخص SIIG هم برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری ناپارامتری در گندم دوروم استفاده کردند و در یک نمودار دوبعدی از شاخص SIIG و عملکرد ژنوتیپ‌های با عملکرد و پایداری بالا را معرفی کردند. در پژوهشی دیگر، کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2021) با ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط با روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری و همچنین روش‌های ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. این پژوهش با هدف دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دیم کشور با بهره‌گیری از روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی و طرح آماری: برای تهیه زمین در این پژوهش، در هر سال، زمینی که در سال گذشته آیش بود، با گاوآهن شخم زده شد و با دیسک و روتواتور نرم گردید. کود فسفات آمونیوم و اوره به‌ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار در هنگام آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد و به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم انتخاب شده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد به‌همراه دو رقم شاهد دهدشت و سیمره (جدول ۱) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و چهار منطقه گچساران، گنبد، مغان، خرم‌آباد به‌مدت سه سال زراعی (۹۵-۱۳۹۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در تمام محیط‌ها، آزمایش در کرت‌هایی به طول ۷/۰۳ متر و عرض ۱/۰۵ متر بر روی شش خط با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر و

جدول ۱- شماره و نام ژنوتیپ‌های بررسی شده

Table 1. Code and name of studied genotypes

شماره	نام/شجره
NO.	Name/Pedigree
1	Dehdasht
2	Seimareh
3	CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4//STORLOM/3//RASCON_37//TARRO_2//RASCON_37/5//TECA96//TILO_1 CDSS02Y01103T-0TOPB-0Y-0M-14Y-0Y
4	SNITAN/5//AJAIA_12//F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3//SOMAT_3/4//SOOTY_9//RASCON_37/6/ SNITANCDS02B01019T-0TOPB-0Y-0M-1Y-2M-04Y-0B
5	POD_20//SULA/ACO89/3//SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4//PATKA_4//THKNEE_9//CABECA_1CDSS02B0 1271T-0TOPB-0Y-0M-7Y-3M-04Y-0B
6	CMH85.797//DUKEM_12/2*RASCON_21/9//USDA595/3//D67.3//RABI//CRA/4//ALO/5//HUI/YAV_1/6//ARDEN TE/7//HUI/YAV79/8//POD_9CDSS02B01465T-0TOPB-0Y-0M-16Y-4M-04Y-0B
7	CMH85.797//CADO/BOOMER_33/4//ARMENT//SRN_3//NIGRIS_4/3//CANELO_9.1CDSS02B01468T-0TOPB-0Y-0M- 5Y-4M-04Y-0B
8	GUAYACANINIA/GUANAY/10//LD357E/2*TC60//JO69/3//FGO/4//GTA/5//SRN_1/6//TOTUS/7//ENTE/MEXI_2//HUI/4/Y AV_1/3//LD357E/2*TC60//JO69/8//SOMBRA_20/9//JUPARE C 2001CDSS04Y00275S-8Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
9	SNITAN/JUPAREC2001//SOMAT_4//INTER_8CDSS04Y 00284S-24Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
10	RANCO//CIT71/CII/3//COMDK/4//TCHO//SHWA/MALD/3//CREX/5//SNITAN/6//YAZI_1//AKAKI_4//SOMAT_ 3/3//AUK/GUIL//GREENCDSS04B00151S-3Y-0M-2Y-0M-2Y-0B
11	YAZI_1/3//MUSK_9//ACTS_8//CMH82A.1062/9//USDA595/3//D67.3//RABI//CRA/4//ALO/5//HUI/YAV_1/6//ARD ENTE/7//HUI/YAV79/8//POD_9CDSS05Y00303S-9Y-0M-5Y-0M-4Y-0B
12	ALAS/5*//SILVER_2/4//ARMENT//SRN_3//NIGRIS_4/3//CANELO_9.1/6//GUANAY*2/4//CHEN_1//TEZ/3//GUIL/ /CIT71/CII/5//SOMAT_4//INTER_8CDSS05Y00871D-10Y-0M-7Y-0M-1Y-0B
13	Azeghar-2/4//Stj3/3//Gdfl/T.dicds-SY20013//BcrICD02-1272-W-3AP-0TR-3AP-0AP-5AP-0AP-3AP-0AP
14	Ouasloukos1/5//Azn1/4//BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3//GdrICD03-0342-TA-2AP-0AP-9AP-0AP-2AP-0AP
15	ICAMOR-TA04-58//Maamouri-2ICD04-0211-TA-9AP-0AP-5AP-0AP
16	Stk/Hau//Heca-1/3//Quasnima-1ICD04-0935-CA-3AP-0AP-2AP-0AP
17	LLARETAINIA/4//SKEST//HUI/TUB/3//SILVER/5//LHNKE/RASCON//CONAD/6//GREEN_32//CHEN_7//SILV ER_14/3//DIPPER_2//BUSHEN_3/4//SNITANCDS02B00574S-0M-12Y-06Y-2M-1Y-0B
18	YAV79//SOMAT_4//INTER_8/7//YAV79/6//CHEN_1//TEZ/3//GUIL//CIT71/CII/4//SORA/PLATA_12/5//STOT//A LTAR 84//ALDCDSS04B00 811 D-32Y-0M-4Y-0M-4Y-0B

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics of trials area

مکان	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	متوسط میزان بارندگی (میلی متر)
Location	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Average rainfall (mm)
گچساران	710	50°, 50' E	30°, 17' N	450
Gachsaran				
گنبد	45	55°, 12' E	37°, 16' N	550
Gonbad				
مغان	100	39°, 39' E	47°, 88' N	312
Moghan				
خرم‌آباد	1147	48°, 18' E	33°, 29' N	445
Khorramabad				

جدول ۳- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵

Table 3. Annual rainfall of test areas during the cropping season in 2013-2016

مکان	سال زراعی		
Location	Cropping Season		
	2013-2014	2014-2015	2015-2016
گچساران			391.1
Gachsaran	503.7	351.6	
گنبد			478.8
Gonbad	534.8	279.4	
مغان			355.0
Moghan	247.9	335.0	
خرم‌آباد			743.4
Khorramabad	363.6	326.3	

جدول ۴- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 4. Stability analysis indices

شماره Code	شاخص Index	فرمول Formula	رفرنس Reference
1	واریانس محیطی Environmental Variance	$S_i^2 = \frac{\sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2}{q-1}$	Roemer, 1917
2	ضریب تغییرات محیطی Coefficient of variation	$CV_i = \left(\frac{\sqrt{S_i^2}}{\bar{X}_{i.}} \right) \times 100$	Francis and Kannenberg, 1978
3	شوکلا Shukla stability variance	$\sigma_i^2 = \frac{p}{(p-1)(p-2)} \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2 + \frac{SSGE = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2}{(p-1)(p-2)(q-1)}$	Shukla, 1972
4	اکووالانس ریک Wricke ecovalence	$W_i^2 = \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2$	Wrick, 1962
5	آماره پلاستد Plaisted's statistic	$\theta_i = \frac{p}{2(p-1)(q-1)} \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2 + \frac{SSGE = \sum W_i^2}{2(p-1)(q-1)}$	Plaisted, 1960
6	پترسون Plaisted and Peterson's statistic	$\theta_{(i)} = \frac{p}{(p-1)(p-2)(q-1)} \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2 + \frac{SSGE}{(p-2)(q-1)}$	Plaisted and Peterson, 1959
7	شاخص مطلوبیت Desirability index	$DI = \bar{X}_{i.} + (b_i)C_1$	Hernandez <i>et al.</i> , 1993
8	شاخص برتری Superiority index	$PI = \frac{\sum (X_{ij} - M_j)^2}{2q}$	Lin and Binns, 1988
9	ضریب رگرسیون Regression coefficient	$b_i = \frac{\sum (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{i.})(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})}{\sum (\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}$	Finlay and Wilkinson, 1963
10	انحراف از رگرسیون Deviations from regression	$S^2 d_i = \frac{\sum (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{i.})^2 - b^2 \sum (\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}{q-2}$	Eberhart and Russel, 1966
11	پارامتر دوم نثار و هان Nassar and Huehn second parameter	$S_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2 / (n-1)$	Nassar and Huhn, 1987
12	پارامتر سوم نثار و هان Nassar and Huehn third parameter	$S_i^{(3)} = \frac{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2}{\bar{r}_{i.}}$	Nassar and Huhn, 1987
13	لئون Huhn and Leon sixth parameter	$S_i^{(6)} = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} - \bar{r}_{i.} }{\bar{r}_{i.}}$	Huhn and Leon, 1995

در رابطه‌های ۱ تا ۱۰، X_{ij} ، میانگین عملکرد ژنوتیپ i ($i = 1, 2, \dots, p$) در محیط j ($j = 1, 2, \dots, q$)؛ $\bar{X}_i$ ، میانگین ژنوتیپ i در تمام محیط‌ها؛ $\bar{X}_j$ ، میانگین همه ژنوتیپ‌ها در محیط j و $\bar{X}_{..}$ ، میانگین همه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است. در شاخص مطلوبیت (رابطه ۷)، $C1 = (I_b + I_a)/2$ ، شیب ژنوتیپ و I_b و I_a ، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار شاخص‌های محیطی هستند. در شاخص برتری (رابطه ۸)، M_j ، بیشترین عملکرد دانه در محیط j است. در معادله‌های ۱۱ تا ۱۳، r_{ij} ، رتبه ژنوتیپ i ام در محیط j ام؛ $\bar{r}_i$ ، میانگین رتبه‌های ژنوتیپ i ام در تمام محیط‌ها است.

برای ادغام روش‌های مختلف پایداری، شاخص SIIG (Zali et al., 2015) از ادغام تمام شاخص‌ها با نرم‌افزار Excel محاسبه شد. مقدار این شاخص از صفر تا یک است و هر چه مقدار SIIG ژنوتیپی به یک نزدیک‌تر باشد، آن ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر خواهد بود.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس: برای ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، از آزمون بارتلت استفاده شد که نتیجه آن گویای یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بود ($P\text{-value} = 13.25$ ، $F_{0.05} = 0.28$) و بنابراین هیچ‌کدام از محیط‌ها برای تجزیه مرکب حذف نشدند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در ۱۲ محیط نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط نیز نشان می‌دهد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر دارای نوسان بود و بنابراین برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نیاز به تجزیه‌های بیشتری است. در تطابق با نتیجه حاضر، پژوهشگران دیگری نیز اثر معنی‌دار

ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط را در گندم دوروم گزارش کرده‌اند (Karimizadeh et al., 2011; Sharifatabar et al., 2015; Mohammadi et al., 2016; Karimizadeh et al., 2021). سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط در مجموع مربعات کل به ترتیب برابر با ۹۲/۴، ۰/۴۵ و ۲/۱ درصد بود که سهم بیشتر محیط بیانگر دامنه گسترده‌تر اثر اصلی محیط نسبت به اثر اصلی ژنوتیپ بود. در ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم در محیط‌های مختلف، پژوهشگران دیگری نیز به نتایج مشابهی با این مطالعه مبنی بر سهم بیشتر محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در عملکرد دانه گندم دوروم دست یافتند (Mohammadi et al., 2018; Sadeghzadeh et al., 2014). با توجه به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم در سال‌های پیش، به نظر می‌رسد که این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایش‌های چندمحیطی در مقایسه با محیط و برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط نقش کمتری در توجیه تنوع کل داشته باشند (Fan et al., 2016; Rose et al., 2008; Mohammadi et al., 2016). میزان و پراکنش بارندگی در محیط‌های انجام آزمایش و همچنین توزیع متفاوت ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه می‌تواند دلیل تفاوت بین محیط‌ها باشد. عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم می‌توانند بر برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ $\times$ محیط تأثیر داشته باشند. در بسیاری از پژوهش‌ها اثر محیط بسیار بزرگ و قابل بهره‌برداری نیست و از آنجا که تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ $\times$ محیط است که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارند، لذا در این موارد بهتر است که اثر محیط حذف شود و بیشتر بر اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط تمرکز شود (Gauch et al., 1996). برای رسیدن به چنین هدفی، می‌توان از روش‌های چندمتغیره مانند روش AMMI و روش GGE بای‌پلات استفاده کرد.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم برای سه سال اجرای آزمایش

Table 5. Combined analysis of variance on grain yield for durum wheat genotypes in each station during 3 years

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	سهم در مجموع مربعات کل	امید ریاضی
Source of variation	Degree of freedom	Mean of square	The ratio in TSS	Expected value
محیط	11	190305693** (M1)	92.4	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GE}^2 + g\sigma_{R(E)}^2 + rg\sigma_E^2$ $\frac{M_1 + M_5}{M_2 + M_4}$
Block (Environment)	36	576920.36 (M2)		$\sigma_e^2 + g\sigma_{R(E)}^2$
ژنوتیپ	17	604246.9** (M3)	0.45	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GE}^2 + reVar_G$ $\frac{M_3}{M_4}$
Genotype				$\sigma_e^2 + r\sigma_{GE}^2$ $\frac{M_4}{M_5}$
ژنوتیپ × محیط	187	258798.85** (M4)	2.1	σ_e^2
Genotype × Environment				
خطای آزمایشی	612	152998.02 (M5)		
Experimental error				
کل	863			
Total				
ضریب تغییرات		11.2		
CV				

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1 % probability levels, respectively, and ^{ns}: Non-significant

ژنوتیپ ۶ (۳۵۹۲) کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ ۱۸ (۳۲۲۹) کیلوگرم در هکتار) بود. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در همه سال‌ها و مکان‌ها ۳۴۳۷/۸۹ کیلوگرم در هکتار بود.

بر پایه شاخص واریانس محیطی، ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ دارای کمترین واریانس محیطی بودند که از بین آن‌ها پنج ژنوتیپ ۴، ۵، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل بودند و به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها گزینش شدند (جدول ۶). همانند پژوهش حاضر، کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2011) و حاجی محمدعلی جهرمی و همکاران (Haji Mohammad Ali Jahromi et al., 2011) با استفاده از شاخص واریانس محیطی، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند. همچنین ژنوتیپ‌های ۵، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ دارای کمترین مقادیر ضریب تغییرات و میانگین عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند و بر اساس این شاخص، به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶).

از آنجا که استفاده از یک یا تعداد اندکی روش، برای معرفی ارقام پرمحصول با عملکرد دانه پایدار ممکن است نتایج اشتباهی را در پی داشته باشد و به معرفی یک رقم ناپایدار یا با عملکرد پایین به عنوان رقم برتر بینجامد، با استفاده از روش‌های مختلف، احتمال یافتن ژنوتیپی پایدار در تمام محیط‌ها افزایش می‌یابد. از این‌رو، در این پژوهش از روش‌های مختلفی برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بهره گرفته شد تا یک یا چند ژنوتیپ پایدار با اعتبار بالا از بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده گزینش شود. هرچند در چنین شرایطی ممکن است نتایج متناقضی به دست آید و رسیدن به یک نتیجه نهایی ممکن نشود، اما اگر در این شرایط، رقمی انتخاب شود که در روش‌های بیشتری پایدار باشد؛ به نظر می‌رسد که استفاده از چندین روش، بهتر از استفاده از یک روش باشد. در چنین شرایطی استفاده از شاخص‌های چندمعیاری مانند SIIG نیز می‌تواند مفید باشد.

تجزیه پایداری پارامتری تک‌متغیره: در جدول ۶ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان میانگین عملکرد دانه مربوط به

توصیه کرد. پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از شاخص‌های پایداری اکووالانس ریک و واریانس شوکلا، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کرده‌اند (Najafi Mirak et al., 2018a; Najafi Mirak et al., 2018b). حاجی محمدعلی جهرمی و همکاران (Haji Mohammad Ali Jahromi et al., 2011) و زالی و همکاران (Zali et al., 2009) نیز نشان دادند که نتایج حاصل از رتبه‌بندی واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک همانند یکدیگر هستند و می‌توان یکی از این دو پارامتر را برای تجزیه پارامتری به‌کار برد. دلیل این همانندی آن است که واریانس پایداری، یک ترکیب خطی از اکووالانس است و بنابراین اکووالانس و واریانس پایداری از نظر درجه‌بندی ژنوتیپ‌ها ارزش یکسانی دارند (Zali et al., 2009).

شاخص مطلوبیت (DI) هراندز و همکاران (Hernandez et al., 1993) که روشی بر پایه رگرسیون است، علاوه بر رگرسیون، از عملکرد ژنوتیپ‌ها نیز برای معرفی ژنوتیپ پایدار استفاده می‌کند. ژنوتیپ‌های مطلوب بر پایه این روش، معمولاً دارای میانگین عملکرد بالا هستند. هر چه شاخص مطلوبیت در ژنوتیپی بیشتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بالاتر آن ژنوتیپ است. بر اساس مقادیر این شاخص، ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۶ با عملکرد بالا، دارای بیشترین مقادیر شاخص مطلوبیت بودند (جدول ۶). کایا و اوزر (Kaya and Ozer, 2014) نشان دادند که ژنوتیپ‌های انتخابی در این روش، دارای میانگین عملکرد بالا و دارای ضریب رگرسیونی بیشتر از یک هستند و در مقابل ژنوتیپ‌های دارای ضریب رگرسیونی کمتر از یک در این روش ناپایدار بودند. ایشان عنوان داشتند که پایداری شاخص مطلوبیت، بیشتر گویای پایداری دینامیک (پویا) یا زراعی است. توضیح اینکه، منظور از جنبه دینامیک پایداری این است که ژنوتیپ دارای عملکرد ثابتی است، اما در هر محیطی، میزان عملکرد آن با سطح تخمین‌زده شده و یا پیش‌بینی شده مطابقت دارد و همچنین بین سطح تخمین‌زده شده با مقدار واقعی عملکرد توافق وجود دارد. حال آنکه، جنبه ساکن یا استاتیک پایداری که جزء جنبه‌های بیولوژیک پایداری است، بیانگر آن است که ژنوتیپ، عملکرد ثابتی را در محیط‌های مختلف دارد و بین محیط‌ها واریانسی وجود ندارد و به بیانی دیگر، ژنوتیپ

محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016) و حاجی محمدعلی جهرمی و همکاران (Haji Mohammad Ali Jahromi et al., 2011) نیز با استفاده از شاخص پارامتری ضریب تغییرات، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند. همان‌گونه که دیده می‌شود، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در هر دو روش پایدار بودند که از بین آن‌ها عملکرد ژنوتیپ‌های ۵، ۱۳ و ۱۵ بالاتر از میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها بود.

بر پایه آماره پلاستد و پترسون (Plaisted and Peterson, 1959)، ژنوتیپ‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ به‌علت داشتن مقادیر کم θ_1 ، ژنوتیپ‌های پایدار بودند که بیانگر داشتن سهم کمتر آن‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط بود (جدول ۶). از آنجا که فقط عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ بالاتر از میانگین عملکرد کل بود، این دو ژنوتیپ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش برگزیده شدند. ژنوتیپ ۱ (رقم دهمشت) در گذشته به‌عنوان یک رقم معرفی شده بود.

در روش پلاستد (Plaisted, 1960)، به‌علت بزرگ بودن واریانس برهمکنش باقیمانده $\theta_{(i)}$ ، ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ سهم کمتری در برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط داشتند، اما به‌دلیل پایین بودن میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۱۰ و ۱۷، فقط ژنوتیپ‌های ۵، ۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۱۶ که دارای عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد مطلوب انتخاب شدند (جدول ۶). همانند پژوهش، از روش پلاستد برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول گندم (Mohammadi et al., 2017) و گندم دوروم (Karimizadeh et al., 2021) استفاده شده است.

در روش‌های اکووالانس ریک (Wrick, 1962) و واریانس شوکلا (Shukla, 1972) نیز ژنوتیپ‌های ۵، ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند که نشان‌دهنده کمتر بودن مقادیر اکووالانس و واریانس برهمکنش این ژنوتیپ‌ها است (جدول ۶). به بیانی دیگر، مجموع مربعات برهمکنش این ژنوتیپ‌ها کم بوده و می‌توان این ژنوتیپ‌ها را دارای سازگاری عمومی مطلوبی دانست و برای بیشتر مناطق

متوسط در محیط‌های مساعد و عملکرد کم در محیط‌های نامساعد بودند و با وجود تغییرات محیطی زیاد، عملکرد آن‌ها دارای تغییرات اندکی بود و حساسیت کمی به محیط داشتند. ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵، با ضریب رگرسیون برابر با ۱ و میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های سازگار به تمام محیط‌ها و پر محصول بودند (شکل ۱). ژنوتیپ‌های ۵ و ۷، کمترین شاخص میانگین مربعات انحراف از رگرسیون را داشتند و بر پایه این شاخص، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. البته با توجه به عملکرد پایین‌تر از میانگین عملکرد کل و ضریب رگرسیون کمتر از یک برای ژنوتیپ ۷، این ژنوتیپ نمی‌تواند یک ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شود و فقط می‌تواند ژنوتیپی با سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد پنداشته شود. پژوهشگران دیگری نیز از روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم بهره گرفته‌اند (Mohammadi et al., 2014; Najafi Mirak et al., 2018a;) (Najafi Mirak et al., 2018b).

روش‌های ناپارامتری پایدار عملکرد دانه: از آنجا که استفاده از روش‌های آماری پارامتری با فرض توزیع و یکنواختی واریانس صورت می‌گیرد، اما روش‌های اندازه‌گیری پایداری با روش‌های ناپارامتری نیازی به فرض‌های گفته‌شده ندارد و روش‌های ناپارامتری بر مبنای درجه‌بندی ژنوتیپ‌ها صورت می‌گیرد نه بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و هیچ‌گونه فرضی پیرامون ارزش‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌ها لازم نیست (Farshadfar, 1999). از برخی از شاخص‌های ناپارامتری هم برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد. نتایج محاسبه آماره‌های ناپارامتری مختلف نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۵ و ۱۶ دارای کمترین مقادیر $S_i^{(2)}$ بودند و بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (جدول ۷). به‌دلیل میزان عملکرد پایین ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۰، این ژنوتیپ‌ها از لیست ژنوتیپ‌های پایدار حذف شدند. ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۷، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ دارای کمترین مقادیر $S_i^{(3)}$ بودند و ژنوتیپ‌های پایدارتر پنداشته شدند، البته از روی میزان عملکرد پایین ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱، ۱۷ و ۱۸، این ژنوتیپ‌ها از لیست ژنوتیپ‌های پایدار حذف شدند (جدول ۷).

نسبت به سطوح بالای مواد افزودنی همچون کود دهی واکنش نشان نمی‌دهد (Kang, 1994). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2017) و کایا و اوزر (Kaya and Ozer, 2014) از شاخص مطلوبیت برای شناسایی ژنوتیپ‌های گندم نان پایدار استفاده کردند.

شاخص برتری (PI)، آماره پایداری دیگری است که توسط لین و بینز (Lin and Binns, 1988) ارائه شد. ماهیت این آماره، واریانس بین سال‌های درون مکان‌ها است و ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه این آماره دارای کمترین شاخص برتری هستند که در سال‌های مورد آزمایش نوسان کمتری دارند (Lin and Binns, 1988). ژنوتیپ‌های ۱، ۹ و ۱۰ به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر شاخص برتری بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در این روش به‌شمار آمدند (جدول ۶). نجفی‌میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2018a) با آماره‌های انحراف از خط رگرسیون و شاخص برتری در گندم دوروم نشان دادند که ژنوتیپ‌های با کمترین آماره‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

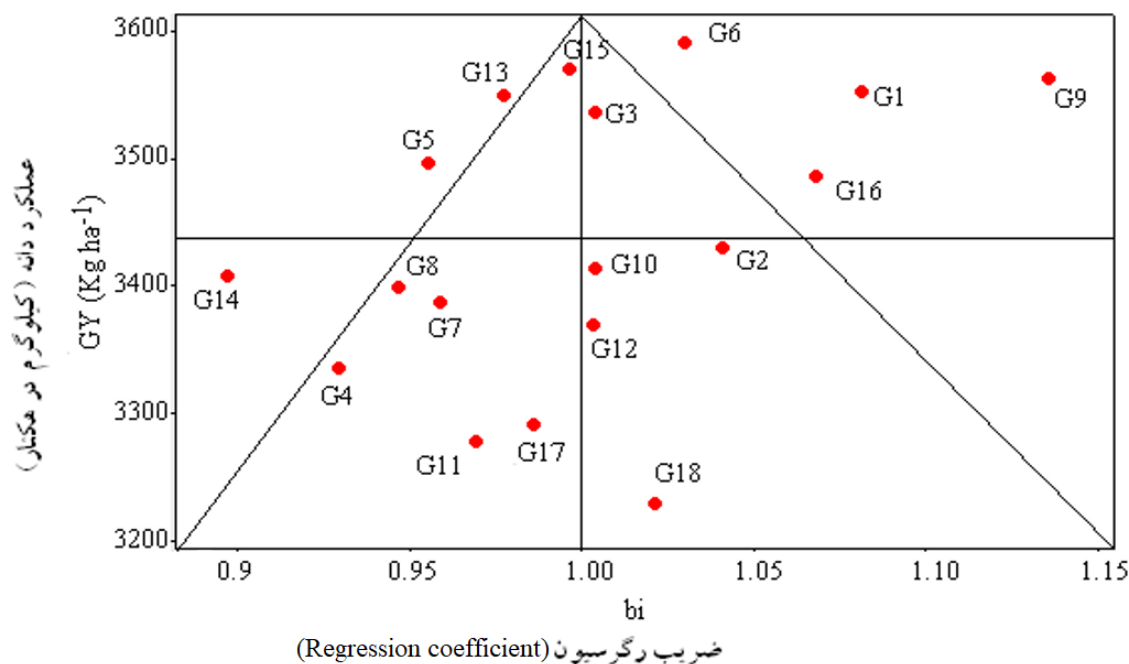
از شاخص‌های ضریب رگرسیون (b_i) به‌همراه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها ($\bar{g}$) و میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها ($\bar{X}$) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و یا سازگار به محیط‌های مطلوب و نامطلوب استفاده شد (جدول ۶). ضریب رگرسیون ژنوتیپ‌های ۱، ۶، ۹، ۱۶، ۲، ۱۰، ۱۲ و ۱۸ بیشتر از یک بود و بنابراین دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد بودند، اما از بین آن‌ها، فقط میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۱، ۶، ۹ و ۱۶ بالاتر از میانگین کل بود و ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار به محیط‌های مطلوب بودند (شکل ۱). این ژنوتیپ‌های دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل و ضریب رگرسیونی بیش‌تر از یک (به‌ویژه ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۶)، در روش شاخص مطلوبیت نیز جزء شاخص‌های پایدار بودند. کایا و اوزر (Kaya and Ozer, 2014) نیز چنین نتیجه‌ای را نشان داده بودند. ضریب رگرسیون ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۵ و ۱۳ کمتر از یک بود و دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد بودند. از بین این ژنوتیپ‌ها، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ کمتر از میانگین عملکرد کل بود و بنابراین، این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد

جدول ۶- مقادیر آماره‌های پارامتری پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در سه سال

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	عوامل محیطی Environmental variance S _e ²	ضریب تغییرات محیطی Coefficient of variation CV _e	Shukla stability variance σ _e ²	Wrick Ecovalence σ _e	Plaited and Peterson's statistic θ _{ij}	آماره پلاستد Plaited's statistic θ _{ij}	شاخص مطلوبیت Desirability index D _i	شاخص برتری Superiority index PI	ضریب رگرسیون Regression coefficient b	انحراف از رگرسیون Deviation from regression S _d
G1	3553	33525814	45.26	55059	534208	109520	163981	1314345	88149	1.08	34798.2
G2	3430	31545440	45.48	97461	639501	128365	159269	1383071	170232	1.04	79238.5
G3	3537	29269620	42.48	74045	670906	117958	161871	996379	146907	1.00	67053.3
G4	3334	24908172	41.57	56522	544741	110170	163818	431861	260867	0.93	40179.1
G5	3496	26135277	40.62	19916	281178	93901	167885	322582	148151	0.96	22443.4
G6	3592	30642038	42.81	60236	571481	111821	163405	1049289	96026	1.03	54669.4
G7	3386	26252048	42.02	12520	227924	90613	168707	286926	202744	0.96	17852.7
G8	3398	26830343	42.33	185829	1475749	167640	149451	1465454	268175	0.95	139447.8
G9	3563	36989562	47.41	106811	906825	132521	158230	2006894	88217	1.14	38612.3
G10	3413	29020226	43.84	37557	408192	101741	165925	735043	180813	1.00	40776.9
G11	3277	27324766	44.30	75700	682825	118694	161687	805771	302697	0.97	65583.7
G12	3369	29426105	44.73	97866	842418	128545	159224	1166335	240080	1.00	84209.7
G13	3550	27783534	41.24	78866	705621	120101	161335	873690	120580	0.98	69040.0
G14	3407	23578372	39.58	128497	1062964	142159	155821	758814	259330	0.90	75881.4
G15	3571	28661253	41.64	50204	499255	107362	164520	779527	101878	1.00	49878.7
G16	3486	32988476	45.76	81146	722037	121114	161082	1427119	138487	1.07	58991.0
G17	3291	28140000	44.77	58792	561086	111179	163566	781009	284428	0.99	55525.6
G18	3229	30447804	47.47	100764	863283	129833	158902	1290787	317471	1.02	85077.7

جدول ۷- مقادیر آماره‌های پارامتری پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	پارامتر دوم نصار و هان Nassar and Huelm second parameter S _{ij} ⁽²⁾	پارامتر سوم نصار و هان Nassar and Huelm third parameter S _{ij} ⁽³⁾	پارامتر ششم هان و لئون Huhn and Leon sixth parameter S _{ij} ⁽⁶⁾	پارامتر بالا High ranking percentage Top	درصد متوسط Intermediate ranking percentage Mid	درصد کم Low ranking percentage Low	مجموع رتبه Rank sum
G1	3553	35.65	21.35	5.14	33.3	16.6	50.0	9
G2	3430	37.87	22.68	4.15	16.6	8.3	75.0	22
G3	3537	49.88	39.52	6.24	33.3	16.6	50.0	15
G4	3334	28.25	15.43	2.61	16.6	0.0	83.3	21
G5	3496	21.21	13.49	3.68	8.3	50.0	41.6	9
G6	3592	44.25	33.33	5.91	33.3	25.0	41.6	9
G7	3386	24.10	10.05	2.63	0.0	25.0	75.0	14
G8	3398	47.18	39.02	5.80	16.6	16.6	66.6	30
G9	3563	30.25	19.81	3.76	25.0	8.3	66.6	19
G10	3413	28.54	19.66	3.76	8.3	0.0	91.6	13
G11	3277	39.21	17.89	3.31	8.3	8.3	83.3	27
G12	3369	42.85	30.44	4.73	16.6	8.3	75.0	28
G13	3550	38.07	37.14	5.95	25.0	25.0	50.0	16
G14	3407	44.96	26.23	4.42	8.3	25.0	66.6	28
G15	3571	32.76	28.94	5.81	33.3	33.3	33.3	6
G16	3486	33.29	25.47	4.33	33.3	25.0	66.6	20
G17	3291	29.65	11.71	2.42	0.0	8.3	91.6	23
G18	3229	28.54	15.04	2.57	8.3	0.0	91.6	33



شکل ۱- نمودار دوبعدی عملکرد دانه و ضریب رگرسیون

Figure 1. Two-dimensional graph of grain yield and regression coefficient

آماره‌ی Top، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بعد از این چهار ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۳ با اختصاص ۲۵ درصد از آماره‌ی Top در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در صورتی‌که میزان آماره Top دو ژنوتیپ برابر باشد، ژنوتیپی که دارای کمترین مقدار آماره Low یا بیشترین مقدار آماره Mid باشد، پایدارتر است. به این ترتیب ژنوتیپ ۱۵ با دارا بودن ۳۳ درصد آماره‌ی Low و ۳۳ درصد آماره‌ی Mid، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در گروه اول انتخاب گردید. در گروه دوم، هم ژنوتیپ ۱۳ با اختصاص کمترین مقدار آماره‌ی Low پایدارترین ژنوتیپ بود (جدول ۶). نجفی‌میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2018b) نشان دادند که ژنوتیپ‌های پایداری که با روش Top در گندم دوروم شناسایی شده بودند، از میانگین عملکرد دانه بالایی برخوردار بودند. نامطلوب‌ترین و در واقع ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش با اختصاص میزان بالایی شاخص Low (۹۱/۶ درصد)، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ بودند که دارای متوسط عملکرد پایینی نیز بودند. بعد از آن‌ها، ژنوتیپ‌های ۴، ۱۱، ۲ و ۱۲ به‌ترتیب با دارا بودن ۸۳، ۸۳، ۷۵ و ۷۵ درصد آماره‌ی Low، به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار از نظر شاخص فاکس و همکاران (Fox et al., 1990) معرفی شدند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009b; Mohammadi et al., 2007) در دو پژوهش

نتایج آماره $S_i^{(6)}$ نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ با کمترین مقادیر، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش بودند (جدول ۷). از آنجا که عملکرد دانه برخی از این ژنوتیپ‌ها کمتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها و یا کمتر از میانگین عملکرد دانه رقم‌های شاهد بود، بنابراین در مجموع این سه روش پایداری ناپارامتری، ژنوتیپ ۵، پایدارترین ژنوتیپ بود (جدول ۷). در تطابق با این نتیجه، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از آماره ناپارامتری $S_i^{(2)}$ ، ژنوتیپ‌های پایداری گندم نان (Mohammadi et al., 2009a; Najafi Mirak et al., 2018a) و آماره $S_i^{(3)}$ ، ژنوتیپ‌های پایداری گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018b) را شناسایی کردند. در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده بود که ژنوتیپ‌های دارای کمترین مقادیر $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ ، دارای پایداری عملکرد بالایی هستند (Kaya and Turkoz, 2016).

شاخص ناپارامتری فاکس و همکاران (Fox et al., 1990)، دارای سه پارامتر Top، Mid و Low است. این شاخص، ژنوتیپ‌ها را بر پایه پایداری و میزان عملکرد دانه در سه گروه بالا، متوسط و پایین قرار می‌دهد. هرچه مقدار پارامتر Top یک ژنوتیپ بیشتر باشد، میزان پایداری و مطلوبیت آن نیز بیشتر خواهد بود. در این پژوهش، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۵ هر کدام با ۳۳ درصد از

جداگانه، از شاخص Top برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم، گندم نان، جو و گلرنگ استفاده کردند. نتایج این دو پژوهش، بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص Top و آماره‌های تناز و (Thenarasu, 1995) و هان (Huhn, 1990) بود. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016) با این روش، پایدارترین ژنوتیپ‌های گندم نان را شناسایی کردند.

مجموع رتبه به‌دست آمده از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و رتبه ژنوتیپ‌ها در روش واریانس پایداری شوکل، آماره‌ای به‌نام مجموع رتبه‌ی کنگ (R-Sum) را پدید می‌آورد (Kang, 1988) که بر پایه آن، ژنوتیپ‌های ۱۵ (با رتبه ۶) و ۶، ۵ و ۱ (همگی با رتبه ۹) پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند، در حالی که ژنوتیپ با بیشترین مجموع رتبه، ناپایدارترین ژنوتیپ بود. این روش برای تعیین پایداری محصولات مختلف در پژوهش‌های زیادی به‌کار رفته است (Mortazavian and Azizinia, 2014; Zarei, 2016; Soltankohi and Farshadfar, 2015; Mohammadi et al., 2016). در زمینه اهمیت روش‌های ناپارامتری که در این پژوهش نیز از آن‌ها استفاده شده است، زارعی و همکاران (Zarei et al., 2012) نشان دادند که روش ناپارامتری رتبه به‌دلیل بالا بودن درستی نتایج و همچنین سادگی محاسبه از روش‌های مناسب در تجزیه پایداری است.

تجزیه همبستگی: تجزیه همبستگی بین شاخص‌های مختلف انجام شد و نتایج نشان داد که از شاخص‌های پارامتری پایداری، واریانس محیطی و ضریب رگرسیون و از شاخص‌های ناپارامتری، شاخص‌های Top، Mid، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ همبستگی مثبت با عملکرد دانه داشتند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شده با این روش‌ها از اعتبار بیشتری می‌توانند برخوردار باشند. ژنوتیپ ۱۳ با شاخص‌های ضریب رگرسیون، واریانس محیطی و Top پایدار شناسانده شده بود. همچنین ژنوتیپ ۱۵ با شاخص‌های Top، Mid و واریانس محیطی، پایدار بود. ژنوتیپ ۵ نیز با شاخص‌های واریانس محیطی، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار بودند. نتایج تجزیه همبستگی همچنین نشان داد که شاخص‌های θ_i ، اکوالانس ریک و واریانس شوکل با یکدیگر همبستگی مثبت بسیار بالایی دارند. همچنین شاخص مطلوبیت (Di) با شاخص‌های θ_i ، W_i^2 ، σ_i^2 ، Cv_i و S_i^2 و با همبستگی بالایی داشت.

شاخص Low با تمام شاخص‌های ناپارامتری همبستگی منفی معنی‌داری داشت، در حالی که شاخص‌های Top، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ همبستگی مثبت بالایی با یکدیگر داشتند. در تطابق با این یافته‌ها، در پژوهش‌های گذشته، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2007) و کایا و تورکوز (Kaya and Turkoz, 2016) همبستگی بالایی را بین چهار شاخص ناپارامتری $S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ نشان دادند. درحالی‌که آکورا و کایا (Akcura and Kaya, 2008) بین نتایج $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ با $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ همبستگی ندیدند و بیش‌ترین همبستگی را بین $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ گزارش کردند. مرتضویان و عزیزنیا (Mortazavian and Azizinia, 2014) گزارش کردند که شاخص Top همبستگی معنی‌داری فقط با میانگین عملکرد دانه و میانگین رتبه داشته و با سایر آماره‌های ناپارامتری همبستگی نشان نداد. کنگ (Kang, 1994) اظهار داشته است که همبستگی رتبه‌های بین آماره‌ها در داخل یک گروه بالا است، در حالی که آماره‌های بین گروه‌های مختلف احتمالاً غیر همبسته هستند.

شاخص چندمعیاری SIIG: علاوه بر روش‌های تک‌متغیره، از شاخص چندمعیاری SIIG نیز برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد و با بهره‌گیری از این شاخص و عملکرد دانه، نمودار دوبعدی کشیده شد که در آن ژنوتیپ‌های پایدار از نظر این شاخص که ترکیبی از تمام شاخص‌ها است، شناسایی شدند (شکل ۲). در این نمودار، ژنوتیپ‌های واقع در بالای محور افقی، از پایداری بالایی برخوردار هستند. بر این اساس در بخش اول، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ دارای بیشترین میزان این شاخص بودند و پس از آن‌ها، ژنوتیپ‌های ۱ و ۶ جای گرفته بودند. در این چارک که دربرگیرنده ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار است، علاوه بر چهار ژنوتیپ بالا، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۳، ۱۳ و ۹ نیز قرار داشتند. در بخش دوم، ژنوتیپ پایدار، اما با عملکرد پایین‌تر از متوسط عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (ژنوتیپ ۷) قرار داشت. در بخش سوم که مربوط به ژنوتیپ‌های پرمحصول، اما ناپایدار بود، هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها قرار نداشتند. در آخرین بخش، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۱، ۱۷، ۴، ۱۲، ۸، ۱۴ و ۱۰ قرار داشتند که علاوه بر عملکرد پایین‌تر از میانگین عملکرد کل، از ناپایداری عملکرد نیز برخوردار بودند.

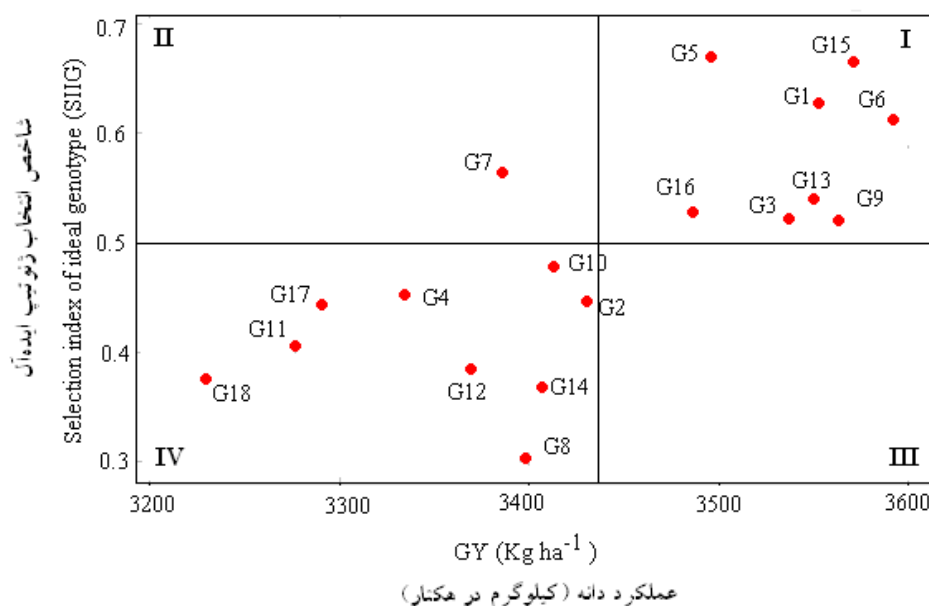
جدول ۸- همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های پایداری

Table 8. Correlations between grain yield and stability indices

پارامتر Parameter	GY	PI	Di	$\theta(i)$	θ_i	W_i^2	σ_i^2	Cv_i	S_i^2	S_{2di}	b_i	Rank-Sum	Low	Mid	Top	$S_i^{(6)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(2)}$
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha ⁻¹)	1	-0.95**	0.22	0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.21	0.40	-0.27	0.43	-0.76**	-0.86**	0.56*	0.75**	0.76**	0.51*	0.12
شاخص برتری Superiority index (PI)		1	-0.23	-0.32	0.32	0.32	0.32	0.02	-0.55*	0.44	-0.58*	0.82**	0.75**	-0.47*	-0.68**	-0.59**	-0.31	0.01
شاخص مطلوبیت Desirability index (Di)			1	-0.64**	0.64**	0.64**	0.64**	0.71**	0.81**	0.45	0.75**	0.29	0.01	-0.32	0.35	0.33	0.35	0.35
آماره پلاستد Plaisted's statistic (θ_0)				1	-1.0**	-1.0**	-1.0**	-0.153	-0.07	-0.89**	0.02	-0.71**	-0.13	0.26	-0.08	-0.31	-0.52*	0.63**
آماره پلاستد و پترسون Plaisted and Peterson's statistic (θ_1)					1	1.0**	1.0**	0.153	0.07	0.89**	-0.02	0.71**	0.13	-0.26	0.08	0.31	0.52*	0.63**
اکووالانس وریک Ecovalence Wrack (W_i^2)						1	1.0**	0.153	0.07	0.89**	-0.02	0.71**	0.13	-0.26	0.08	0.31	0.52*	0.63**
واریانس پایداری شوکلا Shukla stability variance (σ_i^2)							1	0.153	0.07	0.89**	-0.02	0.71**	0.13	-0.26	0.08	0.31	0.52*	0.63**
ضریب تغییرات محیطی Coefficient of variation (Cv_i)								1	0.81**	0.07	0.79**	0.29	0.44	-0.58*	-0.04	-0.26	-0.25	-0.14
واریانس محیطی Environmental variance (S_i^2)									1	-0.11	0.99**	-0.16	-0.09	-0.22	0.40	0.19	0.06	-0.02
انحراف از رگرسیون Deviation from regression (S_{2di})										1	-0.19	0.69**	0.15	-0.25	0.04	0.34	0.59**	0.68**
ضریب رگرسیون Regression coefficient (b_i)											1	-0.23	-0.12	-0.17	0.39	0.16	0.001	-0.09
مجموع رتبه Rank Sum												1	0.68**	-0.54*	-0.48*	-0.34	-0.02	0.26
درصد رتبه کم Low ranking percentage (Low)													1	-0.79**	-0.71**	-0.75**	-0.52*	-0.24
درصد رتبه متوسط Intermediate ranking percentage (Mid)														1	0.14	0.37	0.16	-0.07
درصد رتبه بالا High ranking percentage (Top)															1	0.80**	0.65**	0.47*
پارامتر ششم نهار و هان Huhn and Leon sixth parameter ($S_i^{(6)}$)																1	0.92**	0.71**
پارامتر سوم نهار و هان Nassar and Huehn third parameter ($S_i^{(3)}$)																	1	0.84**
پارامتر دوم نهار و هان Nassar and Huehn second parameter ($S_i^{(2)}$)																		1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at 5 and 1 % probability levels, respectively



شکل ۲- نمودار دوبعدی پراکنش ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس عملکرد دانه و شاخص SIIG

Figure 2. Two-dimensional graph of distribution of 20 durum wheat lines based on grain yield and SIIG method

ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شده با این روش‌ها می‌توانند از اعتبار بیشتری برخوردار باشند. ژنوتیپ ۱۳، با شاخص‌های ضریب رگرسیون، واریانس محیطی و Top؛ ژنوتیپ ۱۵، با شاخص‌های Top، Mid و واریانس محیطی و ژنوتیپ ۵ نیز با شاخص‌های واریانس محیطی، $S_i^{(6)}$ و $S_i^{(3)}$ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسانده شدند. برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها با یک شاخص که از درهم آمیختن تمام شاخص‌ها به‌دست آمده باشد، از نمودار دوبعدی عملکرد دانه و شاخص SIIG استفاده شد که بر پایه آن ژنوتیپ‌های ۳، ۵ و ۱۵ دارای بیشترین میزان شاخص SIIG و عملکرد دانه بودند. در مجموع، بر پایه تمام روش‌های مطالعه شده ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ پایدارترین ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه بودند و می‌توانند در پروسه‌های معرفی رقم برای ارزیابی‌های ترویجی به‌کار گرفته شوند.

در این پژوهش، از چندین روش برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد. ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ بر پایه شش پارامتر پایداری شامل: واریانس محیطی، ضریب تغییرات، آماره پلاستد و پترسون، آماره پلاستد و اکووالانس ریک و واریانس شوکلا به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۶ نیز بر پایه پنج شاخص پایداری پارامتری، در محیط‌های مختلف از نظر عملکرد دانه، پایدار شناسایی شدند. بر پایه روش‌های ناپارامتری، ژنوتیپ ۵ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۴، ۱۵ و ۳، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵ با ضریب رگرسیون برابر با ۱ و میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های سازگار به تمام محیط‌ها و پر محصول بودند. همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های واریانس محیطی، ضریب رگرسیون، Top، Mid، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ همبستگی مثبتی با عملکرد دانه داشتند؛ بنابراین

References

- 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.

- Bortz, J., Lienert., G.A. and Boehnke, K.** (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Springer- Verlag, Berlin, GE.
- CIMMYT.** (2019). *Wheat in Developing World*. International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT, MX.
- Eberhart, S.A. and Russel, W.A.** (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, **6**: 36-40.
- 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.
- Farshadfar, E.** (1999). *Application of Biometrical Genetics in Plant Breeding, Vol 2*. Kermanshah University, Kermanshah, IR (In Persian).
- Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. and Zali, S.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(3)**: 514-524.
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N.** (1963). The analysis of adaptation in plant-breeding programs. *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. 1. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **58**: 1029-1034.
- Gauch, H.G.J. and Zobel, R.W.** (1996). AMMI Analysis of Yield Trials. In: Kang, M.S. and Gauch, H.G., eds., *Genotype by Environment Interaction*. pp: 85-122, CRC Press, Boca Raton, New York, USA.
- Haji Mohammad Ali Jahromi, M., 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).
- Hernandez, C.M, Crossa, J. and Castillo, A.** (1993). The area under the function: an index for selecting desirable genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, **87**: 409-415.
- Huhn, M.** (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability: II. Applications. *Euphytica*, **47**: 195-201.
- 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.
- Kang, M.S.** (1988). A rank-sum method for selecting high yielding stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, **16**: 113-115.
- Kang, M.S.** (1994). *Applied Quantitative Genetics*. Kang Publication, Baton Rouge, LA, USA.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M. and Shefazadeh, M.K.** (2012). A review on parametric stability analysis methods: Set up by MATLAB program. *International Journal of Agricultural Research and Review*, **2(4)**: 433-442.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sheikh, M.M., Bavi, V., Hosseinpour T., Khanzadeh, H., Ghogh, H. and Armioun, M.** (2011). Application of multi-variate methods in determining grain yield stability of of durum wheat genotypes in semi-warm dry land areas of Iran. *Modern Genetics Journal*, **6**: 33-48 (In Persian).
- Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K. and Armion, M.** (2021). Evaluation of genotype $\times$ environment interaction and determining grain yield stability of durum wheat genotypes in uniform regional yield trials in semi-warm rainfed areas. *Plant Genetic Researches*, **7(2)**: 25-40 (In Persian).
- Kaya, Y. and Ozer, E.** (2014). parametric stability analyses of multi-environment yield trials in triticale (*Triticosecale Wittmack*). *Genetika*, **46(3)**: 705-718.
- 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.

- Lin, C.S. and Binns, M.R.** (1988). A method of analyzing cultivar $\times$ location $\times$ year experiments: A new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, **75**: 425-430.
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghogh H., Shahbazi, K. and Sharifi, P.** (2017). Use of parametric and non-parametric methods for genotype $\times$ environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genetic Researches*, **4(2)**: 75-88 (In Persian).
- Mohammadi, R., Abdullahi, A., Haghparast, R., Aghaee, 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., Aghaee, M., Haghparast, R., Pourdad, S. S., Rostaii, M., Ansari, Y., Abdullahi, A. and Amri, A.** (2009a). Association among non-parametric measures of phenotypic stability in four annual crops. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, **3(Special Issue I)**: 20-24.
- Mohammadi, R., Armion M., Zadhassan, E. and Eskandari, M.** (2014). Analysis of genotype $\times$ environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, **1(4)**: 1-16 (In Persian).
- Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, GH., Ahmadi, H., Abedi-Asl, GH. and Eskandari, M.** (2016). Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research*, **29(4)**: 25-42 (In Persian).
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. and Ceccarelli, S.** (2009b). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, **6**: 92-101.
- Mortazavian, S.M.M. and Azizzinia, S.H.** (2014). Nonparametric stability analysis in multi-environment trial of canola. *Turkish Journal of Field Crops*, **19(1)**: 108-117.
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H.** (2018a). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences*, **19(2)**: 126-138 (In Persian).
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H.** (2018b). Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, **8(2)**: 79-96 (In Persian).
- 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(2)**: 127-138 (In Persian).
- Nassar, R. and Huehn, M.** (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, **43**: 45-53.
- Perkins, J.M. and Jinks, J.L.** (1968). Environment and genotype-environmental components of variability. *Heredity*, **23**: 339-3256.
- Plaisted, R.L.** (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal*, **37**: 166-172.
- Plaisted, R.L. and Peterson, L.C.** (1959). A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, **36**: 381-385.
- Roemer, T.** (1917). Sin ertragsreichen sorten ertragssicherer. *DLG-Mitteilungen*, **32**: 87-89.
- Sadeghzadeh, B., Mohammadi, R., Ahmadi, H., Abedi-asl, G., Ahmadi, M.A., Mohammadfam, M., Bahrami, N., Khaledian, M.S. and Naseri, A.A.** (2018). Evaluation of compatibility and stability of grain yield of durum wheat lines under dryland conditions using GGE biplot and AMMI. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, **11(2)**: 241-360.
- Shariftabar, M. M., Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M. and Bozorhipoor, R.** (2015). A study of grain yield stability and relations among some agronomic traits in durum wheat genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, **4(14)**: 111-120 (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.
- Shukla, G.K.** (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype $\times$ environmental components of variability. *Heredity*, **29**: 237-245.
- Thennarasu, K.** (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *Indian Journal of Genetics*, **60**: 433-43.
- Wrick, G.** (1962). Uber eine methode zur refassung der okologischen streubreite in feldversuchen. *Flazenzuecht*, **47**: 92-96.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A. and Hoseini, S.M.** (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal*, **7(2)**: 703-711.
- Zali, H., Sabaghpour, S.H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R. and Hashembeygi, A.** (2009). Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter and it's comparison with other methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **40(2)**: 21-29 (In Persian).
- Zarei Soltankohi, M. and Farshadfar, M.** (2015). Evaluation of genotype $\times$ environment interaction in landraces of common wheat using non-parametric stability indicators. *Biological Forum–An International Journal*, **7(1)**: 945-950.
- 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).

Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat Genotypes Using Parametric and Non-Parametric Methods

Rahmatollah Karimizadeh¹, Tahmasb Hosseinpour², Peyman Sharifi^{3,*}, Jabar Alt Jafarby⁴, Kamal Shahbazi Homonlo⁵ and Kavoos Keshavarzi⁶

- 1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
- 2- Assistant Professor, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
- 3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
- 4- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran
- 5- Assistant Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
- 6- Assistant Professor, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasouj, Iran

(Received: October 31, 2020 – Accepted: June 24, 2021)

Abstract

Durum wheat (*Triticum turgidum* L.), like most other crops, is affected by various stresses. Therefore, cultivars that, in addition to the ability to produce higher yields, can maintain their yield potential in different years and locations are considered superior cultivars. In order to obtain high-yielding and stable genotypes of durum wheat, 16 lines with two control cultivars Dehdasht and Seymareh were evaluated in four locations of Gachsaran, Gonbad, Khorramabad and Moghan based on randomized complete block design with four replications in three cropping seasons (2013-2016). Combined analysis of variance indicated a significant effect of genotype, environment and genotype by environment interaction. Genotypes G6 and G18 had the highest and lowest grain yield, respectively. Based on parametric methods, genotypes G3, G5, G15, G13 and G16 and based on non-parametric methods, genotypes G1, G3, G4, G5, G15 and G3 were the most stable genotypes. The most stable genotypes based on the total Kang sum-rank were genotypes G15, G5, G6 and G1. The Selection index of ideal genotype (SIIG) was used to integrate all indices into one index, based on which genotypes G5 and G15 were the superior genotypes with the highest SIIG index and grain yield. Based on all indices, genotypes G5 and G15 were the most stable genotype in terms of grain yield and can be used in cultivar introduction processes.

Keywords: Genotype by environment interaction, Combined analysis of variance, Rank, Adaptability, SIIG index

* Corresponding Author, E-mail: sharifi@iaurasht.ac.ir