"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

ارزیابی روش‌های ناپارامتری در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum)

Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum)

توحید نجفی میرک[۱]، منوچهر دستفال[۲]، بهرام اندرزیان[۳]، حسین فرزادی[۴]، محمد بهاری[۵] و حسن زالی[۶]

چکیده

نجفی میرک، ت.، م. دستفال، ب. اندرزیان، ح. فرزادی، م. بهاری و ح. زالی. ۱۳۹۷. ارزیابی روش‌های ناپارامتری در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum). **مجله علوم زراعی ایران. ۲۰(۲): ۱۳۸-۱۲۶.**

به‌منظور ارزیابی روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم دوروم برای مناطق گرم و خشک کشور، آزمایشی با ۱۸ لاین امیدبخش به‌همراه یک رقم گندم دوروم (بهرنگ) و یک رقم گندم نان (چمران) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال (۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳) اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش‌های ناپارامتری بریدینکامپ (به‌جز اثر ژنوتیپ) و هیلدبراند برای عدم وجود اثر متقابل غیرکراس‌اور (بدون تغییر در رتبه) و آزمون دی‌کرون و وان‌دیرلان (به‌جز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط) برای عدم وجود اثر متقابل کراس‌اور (تغییر در رتبه)، معنی‌دار بود. بر اساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (Selection index of ideal genotype; SIIG) بر مبنای کلیه روش‌های ناپارامتری، ژنوتیپ‌های DW-92-17 و DW-92-20 با بیشترین مقدار و به‌ترتیب با عملکرد دانه ۶۰۹۵ و ۶۲۱۵ کیلوگرم در هکتار، جزء پایدارترین لاین‌ها شناخته شدند. نتایج شاخص SIIG نشان داد که اغلب روش‌های ناپارامتری، قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با مفهوم استاتیکی (بیولوژیکی) هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های انتخاب شده با استفاده از این روش‌ها ممکن است از عملکرد دانه بالایی برخوردار نباشند. در مجموع ژنوتیپ‌های DW-92-17 و DW-92-20 به‌عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد بالاتر از شاهد و ژنوتیپ‌های DW-92-4 و DW-92-5 تنها به‌عنوان دو لاین پرمحصول برای تحقیقات تکمیلی (ارزیابی مقاومت به بیماری‌ها و خصوصیات کیفی) انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، روش SIIG، ژنوتیپ ایده‌آل و گندم دوروم.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۳ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر با شماره مصوب ۹۲۲۲۶-۰۳۰۸-۰۳-۰۳ می باشد.

۱- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲- مربی پژوهش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۴- مربی پژوهش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۵- مربی پژوهش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۶- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: Hzali90@yahoo.com)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) یکی از محصولات مهم زراعی و صنعتی است. خصوصیات گلوتن سنگین و خمیر غیرچسبنده و سنگین، این نوع گندم را برای تهیه محصولات پاستا از جمله ماکارونی و اسپاگتی مناسب نموده است (Brennan *et al*., 2002). با توجه به اهمیتی که گندم دوروم در صنعت و تغذیه دارد، تولید و اصلاح ارقام جدید و پر محصول با ویژگی‌های مهمی مانند پایداری عملکرد ضروری است. در همین راستا تولید ارقام پرمحصول که دارای ویژگی‌های مناسبی برای کشت در مناطق مختلف کشور باشند، از اهداف مهم برنامه‌های به‌نژادی این گیاه است (Aghaee-sarbarzeh *et al*., 2014).

به‌علت وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف، یک ضرورت محسوب می‌شود. محققان معیارهای متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها به کار برده‌اند (Farshadfar *et al.*, 2012). روش‌های ناپارامتری متعددی نیز به‌منظور تعیین پایداری ارقام پیشنهاد شده است که در اکثر آن‌ها ارقام در محیط‌های مختلف رتبه‌بندی شده و ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که در کلیه محیط‌ها رتبه مشابهی داشته باشد. آماره‌های میانگین تفاوت قدرمطلق ($S_i^{(1)}$) و واریانس یا انحراف استاندارد ($S_i^{(2)}$)، جزء آماره‌های ناپارامتری هستند که توسط ناسار و هیون (Nassar and Huehn, 1987) برای برآورد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و پایداری فنوتیپی (پایداری ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها) به‌کار برده شده است. یکی دیگر از روش‌های ناپارامتری، روش ناپارامتری رتبه است. در این روش، ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها براساس عملکرد دانه رتبه‌بندی می‌شوند. سپس میانگین رتبه و انحراف‌معیار رتبه‌ها (SDR) برای هر رقم محاسبه می‌شود. تنارازو (Thennarasu, 1995) چهار روش ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ را بر مبنای رتبه‌های تصحیح شده پیشنهاد کرد.

در تحقیقی که به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در مناطق گرم و خشک با استفاده از روش‌های ناپارامتری انجام شد، سه ژنوتیپ (Pichtaz/Catbird)، (SW89.5277//BORL95//SKAUZ/3/PRL/2*P) و (WhEAR//2*PRL/2*PASTOR) به‌عنوان ارقام پایدار شناخته شدند (Omrani *et al.,* 2017). سوقی و همکاران (Soughi *et al.,* 2016) در ارزیابی پایداری ارقام گندم بیان نمودند که روش‌های تنارازو (Thennarasu, 1995) و ناسار و هیون (Nassar and Huehn, 1987) اغلب بیانگر جنبه بیولوژیک پایداری است و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا و پایدار نیست. آن‌ها روش ناپارامتری انتخاب همزمان برای عملکرد و پایداری (Kang, 1993) را روش مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول گندم معرفی کردند. کاربرد این آماره‌ها در انتخاب ارقام مناسب گندم دوروم (Mohammadi *et al.,* 2007؛ Jahromi *et al.,* 2011) و گندم نان (Zarei *et al.,* 2012) نیز گزارش شده است.

برای انتخاب ارقام پرمحصول با عملکرد پایدار، استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به‌نتایج مطلوبی نشود، ولی ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، احتمال شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. بر همین اساس در این تحقیق از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (Selection index of ideal genotype; SIIG) به‌منظور ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری، برای ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها استفاده شد (Zali *et al.,* 2015, 2016). روشSIIG، برای اولین بار توسط زالی و همکاران (Zali *et al.,* 2015) برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. شاخص SIIG برگرفته از مدل TOPSIS (The technique for order of preference by similarity to ideal solution) یا اولویت‌بندی بر اساس

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

شباهت به راه‌حل ایده‌آل می‌باشد که نخستین بار بوسیله ونگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن می‌توان از سایر روش‌های تجزیه پایداری به‌طور هم‌زمان (Zali *et al.,* 2015) یا شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی به‌طور هم‌زمان (Zali *et al.,* 2016) و یا سایر صفات استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد. از آن‌جایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، به کمک روش SIIG، تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص درآمده و رتبه‌بندی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بسیار ساده‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند.

هدف از این تحقیق، ارزیابی روش‌های مختلف تجزیه پایداری ناپارامتری، پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش گندم دوروم، معرفی لاین‌های دارای عملکرد پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و خشک و هم‌چنین استفاده از شاخص SIIG برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها

هیجده لاین امیدبخش گندم دوروم که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به‌همراه یک رقم گندم دوروم (بهرنگ) (شاهد) و یک رقم شاهد گندم نان (چمران) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال (۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم (بعد از برداشت محصول قبل و یک نوبت شخم بهاره)، دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو بود. بذرهای ارقام و لاین‌های آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۴۵۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین شد. کاشت بذرها در شش خط به طول شش متر (۷/۲ مترمربع) به‌فاصله ۲۰ سانتی‌متر به‌صورت جوی و پشته و آبیاری به‌صورت نشتی انجام شد. قبل از برداشت ۱/۱۰ متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و محصول از بقیه (شش مترمربع) هر کرت برداشت شد. ترکیب کودی براساس نتایج تجزیه خاک هر منطقه مورد استفاده قرار گرفت. مبارزه با علف‌های هرز پهن و نازک برگ به‌صورت وجین دستی و با مصرف علف‌کش‌های برومایسیدام‌آ و آتلانتیس (هر کدام یک و نیم لیتر در هکتار) در مرحله پنجه‌زنی انجام شد.

در این تحقیق از روش‌های ناپارمتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(4)}$ معرفی شده توسط ناسار و هیون (Nassar and Huehn, 1987) و هیون (Huehn, 1990) و چهار روش ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ معرفی شده توسط تنارازو (Thennarasu, 1995) و روش میانگین رتبه ($\overline{R}$) و انحراف معیار رتبه (SDR) و شاخص برتری فاکس(Fox *et al.,* 1990) استفاده شد. به منظور ادغام روش‌های ناپارامتری از شاخص SIIG (Zali *et al.,* 2015, 2016) استفاده شد. نحوه محاسبه

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) به شرح ذیل می‌باشد:

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها. با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

(رابطه ۱)

x_{ij}: مقدار شاخص (صفت) iام ($i = 1, 2, \ldots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \ldots m$) می‌باشد.

۲- تبدیل ماتریس داده‌ها به ماتریس نرمال (رابطه ۲)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}}$$

ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

(رابطه ۳)

۳- شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف). در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ و ضعیف‌ترین انتخاب می‌شود.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف. در این مرحله برای هر آماره یا شاخص، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ ضعیف به‌ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(r_{ij} - r_j^+\right)^2} \quad i = 1, \ldots, n$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(r_{ij} - r_j^-\right)^2} \quad i = 1, \ldots, n$$

(رابطه‌های ۴ و ۵)

r_{ij}: مقدار نرمال شده شاخص (صفت) iام ($i = 1, 2, \ldots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \ldots m$) می‌باشد. r_i^+ و r_i^-: به‌ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص (صفت) iام ($i = 1, 2, \ldots n$) هستند. d_i^+: فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^-: فاصله از ژنوتیپ ضعیف می‌باشند.

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG). شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad i = 1, 2 \ldots, m, \qquad 0 \le SIIG \le 1$$

(رابطه ۶)

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. به‌عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده نمود. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است. در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیش‌ترین پایداری عملکرد را داشته باشد. ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپی فرضی است که کم‌ترین پایداری عملکرد داشته باشد (Zali *et al.*, 2016). به‌طور خلاصه، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از آماره‌های پایداری به دست می‌آید، درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف از مجموع مقادیر ضعیف هر یک از آماره‌های پایداری حاصل می‌شود. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و عملکرد پایین، به عنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود. در مورد واریانس محیطی نیز، مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار واریانس محیطی برای ژنوتیپ‌ها و مقدار ضعیف برابر با حداکثر مقدار واریانس محیطی برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد (Zali *et al.*, 2015).

برای محاسبه آماره‌های ناپارامتری از برنامه نوشته شده در نرم افزار SAS (Akbarpour *et al.*, 2016) و

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SPSS، برای روش‌های مختلف تجزیه پایداری و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- اسامی/ شجره ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Name/pedigree of durum wheat cultivars and promising lines used in the experiment

کد لاین‌ها Code of lines	نام لاین‌ها Name of lines	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G1	DW-92-1	Behrang (*T. durum*)
G2	DW-92-2	Chamran (*T. aestivum*)
G3	DW-92-3	MINIMUS/COMB DUCK_2//CHAM_3/3/FICHE_6/4/MOJO/AIRON/5/SOMAT_3.1/6/CHEN/ALTA…
G4	DW-92-4	ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO...N
G5	DW-92-5	LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3..3
G6	DW-92-6	CNDO/VEE//7*PLATA_8/3/GUANAY/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/…
G7	DW-92-7	CBC 514 CHILE/3/AUK/GUIL//GREEN
G8	DW-92-8	CMH85.797//CADO/BOOMER_33/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G9	DW-92-9	ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573/... 84/3/HUI/POC//B…
G10	DW-92-10	LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/…
G11	DW-92-11	NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII*2/5/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/…
G12	DW-92-12	ALTAR 84/BINTEPE 85/3/STOT//ALTAR 84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12…
G13	DW-92-13	KOFA/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G14	DW-92-14	CBC 509 CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1
G15	DW-92-15	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1
G16	DW-92-16	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVE…
G17	DW-92-17	STOT//ALTAR 84/ALD/3/PATKA_7/YAZI_1/4/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/SOOTY…
G18	DW-92-18	RANCO//CIT71/CII/3/COMDK/4/TCHO//SHWA/MALD/3/CREX/5/SNITAN/6/YAZI_1/AKAKI_4/...N
G19	DW-92-19	YAV79//SOMAT_4/INTER_8/7/YAV79/6/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/SORA/PLAT...LD
G20	DW-92-20	ALTAR 84/CMH82A.1062//ALTAR 84/3/DIPPER/RISSA//ALTAR 84/AOS/4/ARMEN…

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تجزیه واریانس انجام شد. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد تفاوت بسیار معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). با استفاده از روش‌های ناپارامتری، معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر محیط در هر سه روش دی‌کرون و وان‌دیرلان (De Kroon/Van der Laan, 1981)، هیلدبراند (Hildebrand, 1980) و بریدینکامپ (Bredenkamp, 1974) معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ نیز با استفاده از روش دی‌کرون و وان‌دیرلان (De Kroon/Van der Laan, 1981) و هیلدبراند (Hildebrand, 1980) معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش‌های دی‌کرون و وان‌دیرلان (De Kroon/Van der Laan, 1981) و بریدینکامپ (Bredenkamp, 1974) معنی‌دار بود، ولی با روش هیلدبراند (Hildebrand, 1980) به علت پایین بودن مقدار χ^2 معنی‌دار نبود. جمشیدی مقدم و پورداد (Jamshidimoghaddam and Pourdad, 2013) اثر معنی‌داری را برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با دو روش دی‌کرون و وان‌دیرلان (De Kroon/Van der Laan, 1981) و هیلدبراند (Hildebrand, 1980) در گلرنگ گزارش کردند، اما اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش هیلدبراند (Hildebrand, 1980) معنی‌دار نبود. استفاده از این روش‌های ناپارامتری در گندم دوروم (Mohammadi *et al.,* 2007)، نخود (Ebadi Segherloo *et al.,* 2008) و گلرنگ (Abdulahi *et al.,* 2007) گزارش شده است.

آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب لاین‌های پایدار گندم دوروم براساس معیارهای پیشنهادی هیون (Huehn, 1990)، تنارازو

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

(Thennarasu, 1995)، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه و شاخص برتری TOP (Fox *et al.*, 1990) به‌ترتیب در جدول ۳ ارائه شده است. در کلیه روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری (به‌جزء TOP)، ژنوتیپی از نظر عملکرد دانه پایدار محسوب می‌شود که کم‌ترین مقدار این آماره‌ها را داشته باشد. روش‌های ناپارامتری به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر عملکرد در گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2007)، گلرنگ (Moghadam and Pourdad, 2009)، عدس (Sabaghnia *et al.*, 2006)، نخود زراعی (Zali *et al.*, 2011) و گندم نان (Zarei *et al.*, 2012) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول ۲- نتایج روش‌های آماری برای آزمون معنی‌داری اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد ۲۰ لاین و رقم گندم دوروم در هشت محیط

Table 2. Results of the different statistical test methods of grain yield of 20 durum wheat lines in 8 environments

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	تجزیه واریانس ANOVA	روش‌های ناپارامتری ‡ Nonparametric methods χ^2 (Bredenkamp, 1974)	χ^2 (Hildebrand, 1980)	χ^2 (De Kroon/Van der Laan, 1981)
Genotypes (G)	ژنوتیپ‌ها	19	1139674^{**}	12.716^{ns}	117.12^{**}	51.385^{**}
Environments (E)	محیط‌ها	7	240115462^{**}	429.43^{**}	415.11^{**}	7430.4^{**}
G × E	ژنوتیپ × محیط	133	580115^{ns}	3065.41^{**}	475.97^{**}	153.4^{ns}

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: Not significant and significant at 1% probability level, respectively

‡ فرض صفر برای روش‌های ناپارامتری بریدینکامپ (Bredenkamp, 1974) و هیلدبراند (Hildebrand, 1980) عدم وجود اثر متقابل غیر کراس‌اور (بدون تغییر در رتبه) و برای آزمون دی‌کرون و وان‌دیرلان (De Kroon/Van der Laan, 1981) عدم وجود اثر متقابل کراس‌اور (تغییر در رتبه) است.

‡ The null hypothesis for Berdenkamp and Hildebrand is no non-crossover GEI and for de Kroon/van der Laan is no crossover GEI.

ناسار و هیون (Nassar and Huehn, 1987) برای آزمون پایداری ژنوتیپ‌ها، مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ را به‌صورت انفرادی برای هر ژنوتیپ پیشنهاد دادند. در این تحقیق نیز مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ برای کلیه لاین‌ها محاسبه شد، سپس این مقادیر برای آزمون χ^2 روی کلیه ارقام و لاین‌ها جمع زده شدند. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. ارزش مجموع Zها برای کلیه لاین‌ها در هر دو آماره $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ کم‌تر از ارزش χ^2 جدول با درجه آزادی ۲۰ بود. آزمون معنی‌دار برای دو معیار ناپارامتری $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ غیر معنی‌دار بود، بنابراین اختلاف معنی‌داری در سازگاری لاین‌ها بر اساس دو آماره $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ مشاهده نشد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین لاین‌ها بر اساس دو آماره $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ در گندم نان (Kaya and Taner, 2003)، عدس (Karimizadeh *et al.*, 2008) و گلرنگ (Moghaddam and Pourdad, 2009) نیز گزارش شده است. بر اساس دو معیار $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(4)}$ ارقام DW-92-1 (بهرنگ)، DW-92-2 (چمران) و لاین‌های DW-92-8 و DW-92-7 جزء پایدارترین ارقام و لاین‌ها از نظر عملکرد دانه و لاین‌های DW-92-4، DW-92-3 و DW-92-5 ناپایدارترین لاین‌ها از نظر عمکرد دانه بودند. عدم اختلاف معنی‌دار در بین دو معیار $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(4)}$ مطابق با نتایج جمشیدی مقدم و پورداد (Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013) در گلرنگ و کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2008) در عدس بود.

معیارهای ناپارامتری $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ ارقام DW-92-1 (بهرنگ)، DW-92-2 (چمران) و لاین‌های

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

DW-92-8 و DW-92-7 را به‌عنوان پایدارترین لاین‌ها شناسایی نمودند و لاین‌های DW-92-4 و DW-92-5 جزء ناپایدارترین لاین‌ها بودند، هر چند لاین‌های DW-92-4 و DW-92-5 جزء لاین‌هایی با بالاترین عملکرد بودند. نتایج نشان داد که آماره‌های تنارازو (Thennarasu, 1995) جزء مفهوم پایداری ایستایی هستند و ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده براساس این روش‌ها ممکن است از عملکرد دانه بالایی برخوردار نباشند. نتایج مشابهی در گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2007)، گلرنگ (Abdulahi *et al.*, 2003؛ Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013)، عدس (Sabaghnia *et al.*, 2006) و گندم نان (Kaya and Taner, 2003) گزارش شده است. لاین‌های DW-92-8، DW-92-20 و DW-92-13 با کم‌ترین مقدار آماره $NP_i^{(1)}$ به‌عنوان لاین‌هایی با سازگاری عمومی شناخته شدند. جمشیدی مقدم و پورداد (Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013) نشان دادند که آماره‌های ناپارامتری هیون (Huehn, 1990) و تنارازو (Thennarasu, 1995) جزء مفهوم ایستایی پایداری هستند و ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس این روش‌ها از عملکرد دانه بالایی برخوردار نیستند.

با توجه به شاخص برتری (TOP) فاکس و همکاران (Fox *et al.*, 1990) که در آن درصد قرارگیری لاین‌های مورد مطالعه در بین پنج ژنوتیپ برتر، از نظر عملکرد دانه، محاسبه می‌شود، لاین‌های DW-92-4، DW-92-5، DW-92-11 و DW-92-3 به ترتیب با ۷۵، ۶۲/۵، ۶۲/۵ و ۵۰ درصد از کلیه محیط‌ها، بالاترین پایداری را داشتند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های پایداری که با روش TOP انتخاب می‌شوند از میانگین عملکرد دانه بالایی برخوردار هستند.

لاین‌های DW-92-15، DW-92-10، DW-92-3، DW-92-1 و DW-92-4 با اختصاص کم‌ترین مقدار میانگین رتبه به عنوان برترین لاین‌ها شناخته شدند. با توجه به شاخص انحراف معیار رتبه (SDR)، لاین‌های DW-92-8 و DW-92-13 به‌عنوان پایدارترین لاین‌ها معرفی شدند (جدول ۳). لازم به توضیح است که در این تحقیق برای محاسبه میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه از داده‌های تصحیح شده استفاده شد. زارعی و همکاران (Zarei *et al.*, 2012) در ارزیابی روش‌های تجزیه پایداری گزارش کردند که روش ناپارامتری رتبه به‌دلیل بالا بودن میزان درستی نتایج و همچنین سادگی محاسبه، از روش‌های مناسب در تجزیه پایداری محسوب می‌شود.

در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین لاین‌ها از نظر ثبات عملکرد در محیط‌های مختلف، علاوه بر استفاده از تک تک آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری، از شاخص SIIG نیز استفاده شد و همه آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری ادغام شده و تبدیل به یک شاخص واحد یعنی SIIG شدند (جدول ۴). به‌منظور انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری عملکرد از نمودار دو بعدی استفاده شد (شکل ۱). در این نمودار، محور افقی نشان‌دهنده عملکرد و محور عمودی نشان دهنده میزان SIIG می‌باشد. نقطه چین افقی در این نمودار نشان دهنده میانگین SIIG است. از آنجایی که میزان تغییرات SIIG بین صفر تا یک می‌باشد و هر چه SIIG به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده ایده‌آل‌تر بودن آن ژنوتیپ است (Zali *et al.*, 2015, 2016)، بنابراین لاین‌هایی که در بالای محور نقطه چین افقی قرار می‌گیرند از پایداری عملکرد بالایی از نظر اکثر آماره‌های ناپارامتری برخوردار هستند. بر این اساس لاین‌های G17 (DW-92-17) و G20 (DW-92-20) با بیش‌ترین مقدار SIIG جزء پایدارترین لاین‌ها بوده و بعد از آن‌ها، لاین‌های G13 (DW-92-13)، G7 (DW-92-7)، G8 (DW-92-8)، G12 (DW-92-12)، G16 (DW-92-16)، G1 (DW-92-1) و G2 (DW-92-2) جزء لاین‌های پایدار از نظر عملکرد دانه شناخته شدند. لاین‌های G4 (DW-92-4)، G3 (DW-92-3)، G5 (DW-92-5)، G11 (DW-92-11) و G18 (DW-92-18) با کم‌ترین مقدار

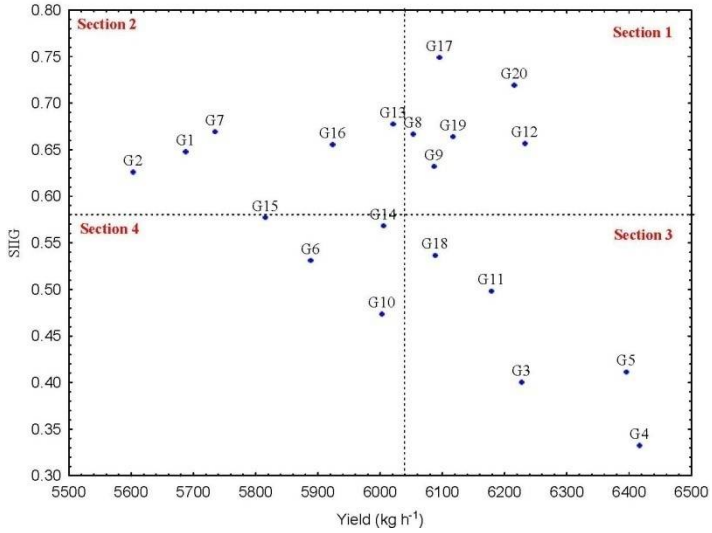
[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

جدول ۳- تجزیه پایداری عملکرد دانه برای لاین‌های گندم دوروم براساس روش‌های ناپارامتری در هشت محیط

Table 3. Stability analysis of grain yield for durum wheat lines based on non-parametric methods in 8 environments

نام لاین‌ها	آماره‌های هان (Huhn, 1990)						آماره‌های تنارازو (Thennarasu, 1995)				شاخص‌های رتبه Rank indexes		شاخص فاکس و همکاران (Fox *et al.*, 1990)
Name of lines	$S_i^{(1)}$	$Z_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$Z_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	$\overline{R}$	SDR	TOP
DW-92-1	6.43	0.028ns	31.14	0.030ns	1.08	4.69	3.75	0.250	0.342	0.422	9.50	5.58	0.0
DW-92-2	7.21	0.183ns	38.21	0.165ns	1.38	5.00	4.75	0.288	0.361	0.451	10.25	6.18	0.0
DW-92-3	8.79	2.627ns	57.71	4.011ns	5.94	46.07	6.25	1.042	0.801	0.990	9.50	7.60	50.0
DW-92-4	9.18	3.683ns	58.55	4.291ns	6.67	51.67	6.63	1.893	1.193	1.530	9.63	7.65	75.0
DW-92-5	7.46	0.382ns	38.70	0.199ns	5.91	35.89	5.13	1.464	0.990	1.271	10.88	6.22	62.5
DW-92-6	9.07	3.377ns	65.36	6.909ns	4.12	30.55	6.50	0.394	0.593	0.711	12.25	8.08	37.5
DW-92-7	6.54	0.008ns	31.41	0.023ns	1.90	10.90	3.88	0.235	0.347	0.432	10.38	5.60	12.5
DW-92-8	4.36	3.028ns	13.43	2.633ns	1.59	5.78	2.75	0.250	0.315	0.401	11.50	3.66	0.0
DW-92-9	6.96	0.057ns	33.27	0.000ns	3.85	23.40	4.88	0.513	0.533	0.688	11.13	5.77	37.5
DW-92-10	8.82	2.716ns	55.13	3.207ns	4.80	35.84	6.38	0.750	0.669	0.850	9.38	7.42	37.5
DW-92-11	8.00	1.050ns	44.57	0.859ns	5.08	35.31	5.25	1.050	0.769	0.985	10.00	6.68	62.5
DW-92-12	6.29	0.076ns	27.64	0.211ns	2.48	10.12	4.00	0.533	0.596	0.762	11.25	5.26	25.0
DW-92-13	5.54	0.715ns	22.13	0.829ns	2.07	10.69	3.38	0.293	0.395	0.498	10.88	4.70	12.5
DW-92-14	7.50	0.416ns	40.00	0.305ns	3.95	25.05	5.50	0.524	0.570	0.723	10.00	6.32	25.0
DW-92-15	8.32	1.609ns	47.70	1.399ns	3.40	21.57	5.63	0.469	0.550	0.708	8.63	6.91	25.0
DW-92-16	6.32	0.062ns	27.84	0.196ns	2.28	13.73	4.13	0.306	0.399	0.511	11.13	5.28	12.5
DW-92-17	5.64	0.584ns	22.57	0.764ns	2.47	10.95	3.75	0.357	0.439	0.557	11.50	4.75	37.5
DW-92-18	7.50	0.416ns	40.50	0.352ns	4.24	29.43	4.75	0.594	0.635	0.800	10.25	6.36	25.0
DW-92-19	6.50	0.013ns	29.64	0.087ns	3.58	19.79	4.50	0.474	0.536	0.684	10.75	5.44	37.5
DW-92-20	4.57	1.197ns	16.79	0.110ns	2.36	10.12	3.00	0.333	0.465	0.554	11.25	4.10	25.0
	$E(S_i^{(1)}) = 6.65$		$E(S_i^{(2)}) = 33.25$										
	$V(S_i^{(1)}) = 1.736$		$V(S_i^{(2)}) = 149.21$										
	χ^2 sum $= 9.140$		χ^2 Z1, Z2 $= 31.41$										

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]



شکل ۱- نمودار دو بعدی پراکنش ۲۰ لاین گندم دوروم بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG

Fig. 1. Two-dimensional graph of distribution of 20 durum wheat lines based on grain yield and SIIG method

جدول ۴- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل گندم دوروم بر مبنای روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و فواصل از ژنوتیپ مطلوب (d^+)، ژنوتیپ نامطلوب (d^-) و عملکرد دانه

Table 4. Selection index of ideal durum wheat genotype based on non-parametric different methods and distance from ideal genotype (d^+), non-ideal genotype and grain yield

نام لاین‌ها			شاخص SIIG	عملکرد دانه
Name of lines	d+	d-	SIIG index	Grain yield
DW-92-1	0.483	0.889	0.648	5687.1
DW-92-2	0.508	0.851	0.626	5602.7
DW-92-3	0.694	0.463	0.400	6226.8
DW-92-4	0.934	0.465	0.333	6416.3
DW-92-5	0.688	0.481	0.411	6395.1
DW-92-6	0.570	0.646	0.531	5888.0
DW-92-7	0.420	0.851	0.669	5734.3
DW-92-8	0.465	0.931	0.667	6052.5
DW-92-9	0.404	0.694	0.632	6086.2
DW-92-10	0.594	0.534	0.474	6002.4
DW-92-11	0.563	0.560	0.498	6178.2
DW-92-12	0.390	0.747	0.657	6232.2
DW-92-13	0.404	0.849	0.678	6020.5
DW-92-14	0.487	0.641	0.568	6005.0
DW-92-15	0.488	0.667	0.577	5815.2
DW-92-16	0.426	0.810	0.656	5923.3
DW-92-17	0.282	0.843	0.749	6094.8
DW-92-18	0.515	0.597	0.537	6087.9
DW-92-19	0.368	0.728	0.664	6116.6
DW-92-20	0.334	0.856	0.719	6215.0
Mean	میانگین		0.585	6039.0

SIIG جزء ناپایدارترین لاین‌ها از نظر ثبات عملکرد بودند. از طرفی لاین‌های شماره‌ی G4 (DW-92-4)، G3 (DW-92-3)، G5 (DW-92-5) و G11 (DW-92-11) بیش‌ترین عملکرد را داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که اکثر روش‌های ناپارامتری جزء مفهوم پایداری ایستایی بوده و ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده بر اساس

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

این روش‌ها معمولاً از عملکرد دانه بالایی برخوردار نیستند (Abdulahi *et al*., 2003؛ Kaya and Taner, 2003؛ Sabaghnia *et al*., 2006؛ Mohammadi *et al*., 2007 و Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013). در این تحقیق، اکثر روش‌های ناپارامتری (روش SIIG) لاین‌های با عملکرد متوسط را به‌عنوان لاین‌های پایدار شناسایی نمودند (شکل ۱).

بر مبنای اکثر روش‌های ناپارامتری (شاخص SIIG)، لاین‌های DW-92-17 و DW-92-20 جزء پایدارترین لاین‌ها از نظر سازگاری عمومی در همه مناطق (به‌ترتیب با عملکرد ۶۰۹۵ و ۶۲۱۵کیلوگرم در هکتار) بودند، در حالی که لاین‌های DW-92-4 و DW-92-5 با وجود عملکرد دانه بالا (به ترتیب ۶۴۱۶ و ۶۳۹۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر لاین‌ها جزء ناپایدارترین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه بودند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های ناپارامتری تنارازو (Thennarasu, 1995) و ناسار و هیون (Nassar and Huehn, 1987) ممکن است منجر به انتخاب ارقام پایدار با عملکرد بالا نشود (Soghi *et al*., 2017؛ Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013).

در میان روش‌های ناپارامتری، آماره TOP (Fox *et al*., 1990) بهتر از سایر روش‌ها ژنوتیپ‌های پرمحصول با پایداری عملکرد را شناسایی کرد که این موضوع نشان دهنده همبستگی بالای این شاخص با عملکرد دانه است. این موضوع در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Jamshidimoghadam and Pourdad, 2013؛ Ebadi and Mohammadi *et al*., 2007؛ Segherloo *et al*., 2008)، بنابراین شاید بتوان شاخص برتری فاکس و همکاران (Fox *et al*., 1990) را به‌عنوان یک شاخص مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم در نظر گرفت. بر مبنای روش TOP، لاین‌های DW-92-4 و DW-92-5 به عنوان لاین‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا نسبت به سایر لاین‌ها شناخته شدند.

بر اساس نتایج کلی این آزمایش، ژنوتیپ‌های DW-92-17 و DW-92-20 به‌عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد دانه بالاتر از شاهد و ژنوتیپ‌های DW-92-4 و DW-92-5 تنها به‌عنوان دو لاین پرمحصول برای تحقیقات تکمیلی (ارزیابی مقاومت به بیماری‌ها و خصوصیات کیفی جهت تهیه ماکارونی)، شناخته شدند.

منابع مورد استفاده

References

Abdulahi, A., R. Mohammadi and S. S. Pourdad. 2007. Evaluation of safflower (*Carthamus* spp.) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. Asian J. Plant Sci. 6 (5): 827-832.

Aghaee-sarbarzeh, M., M. Bahari, H. F. Arzadi, B. Andarzian, M. Dastfal and T. Najafi mirak. 2014. Evaluation of grain yield and its stability in durum wheat genotypes in warm and dry areas of Iran. Iran. J. Crop sci. 16(1):1 -11. (In Persian with English abstract).

Akbarpour, O. A., H. Dehghani, B. Sorkhi-Lalelo and M. Singh Kang. 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. Agron. Maringá. 38(1): 35-50.

Bredenkamp, J. 1974. Nonparametrische Prüfung von Wechselwirkungen. Psychologische Beiträge, 16: 398-416.

Brennan, J. P., A. Aw-Hassan, K. J. Quade and T. L. Nordblom. 2002. Impact Of Icarda Research On Australian Agriculture, Economic Research Report No. 11. , Nsw Agriculture, Wagga. Australia.

De Kroon, J. P. M. and P. van der Laan. 1981. Distribution-free test procedures in two-way layouts: a concept

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

of crossover-interaction. Statistica Neerlandica, 35: 189-213.

Ebadi Segherloo, A., S. H. Sabaghpour, H. Dehghani and M. Kamrani. 2008. Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229.

Farshadfar, E., S. H. Sabaghpour and H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Aust. J. Crop Sci. 6(3): 514-524.

Fox, P. N., B. Skovmand, B. K. Thompson, H. J. Braun and R. Cormier. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica, 47: 57-64.

Hildebrand, H. 1980. A symptotisch verteilungs freie Rangtests in linearen Modellen. Medizinische Informatik und Statistik, 17: 344-349.

Huehn, V. M. 1990. Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47: 189-194.

Hwang, C. L. and K. Yoon. 1981. Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications, Springer, Berlin Heidelberg. Germany.

Jahromi, H. M. A., M. Khodarahmi, A. R. Mohammadi and A. Mohammadi. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iran. J. Crop Sci. 13 (3): 565-579. (In Persian with English abstract).

Jamshidimoghaddam, M. and S. S. Pourdad. 2013. Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. Seed Plant Improv. J. 19 (1): 45-63. (In Persian with English abstract).

Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agron. J. 85: 754-757.

Karimizadeh, R., M. Safikhani, M. Mohammadi, F. Seyyedi, A. Mahmoodi and B. Rostami. 2008. Determining rank and stability of lentil in rainfed condition by nonparametric statistics. J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res. 43(1): 93-103. (In Persian with English abstract).

Kaya, Y. and S. Taner. 2003. Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cent. Eur. Agric. 4 (1): 47-53.

Moghaddam, M. J. and S. S. Pourdad. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analyzing genotype × environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Agric. Sci. Cambridge, 147: 601-612.

Mohammadi, R., A. Abdulahi, R. Haghparast and M. Armion. 2007. Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica, 157: 239-251.

Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.

Omrani, S., A. Mohammad Naji and M. Esmaeilzadeh Moghaddam. 2017. Yield stability analysis of

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

promising bread wheat lines in southern warm and dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. J. Crop Breed. 23(9): 157-165. (In Persian with English abstract).

Sabaghnia, N., H. Dehghani and S. H. Sabaghpour. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Sci. 46: 1100-1106.

Soughi, H. A., N. A. Babaeian Jelodar, G. A. Ranjbar and M. Hadi Pahlevani. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. J. Crop Breed. 8 (18): 119-125. (In Persian with English abstract).

Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P. J. School, IARI, New Delhi. India.

Zali, H., E. Farshadfar and S. H. Sabaghpour. 2011. Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. Crop Breed. J. 1: 89-100. (In Persian with English abstract).

Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and S. M. Hoseini. 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. Biol. Forum – An Int. J. 7(2): 703-711.

Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. J. Crop Breed. 8(20): 77-90. (In Persian with English abstract).

Zarei, L., E. Farshadfar, R. Haghparast, R. Rajabi, M. Mohammadi Sarab Badieh and H. Zali. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Electronic J. Crop Breed. 5 (3): 81-97. (In Persian with English abstract).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]

Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum)

Najafi Mirak, T.[1], M. Dastfal[2], B. Andarzian [3], H. Farzadi[4], M. Bahari[5] and H. Zali[6]

ABSTRACT

Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H.Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. 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).**

To evaluate of non-parametric methods for identification of high yielding and stable durum wheat genotypes, 18 durum wheat promising lines along with two commercial durum (Behrang) and bread wheat (Chamran) as check cultivars, were evaluated in four warm and dry locations of Iran including Darab, Ahvaz, Khoramabad and Dezfoul stations during two cropping seasons (2013-2014). The experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications. Results showed that the effect of environment (E), genotype(G) and interaction of GE were significant in Bredenkamp (except for genotype) and Hildebrand for non-crossover interaction (without change in rank) and de Kroon/van der Laan (except for interaction of GE) for non-crossover interaction (with change in rank) methods. Results of SIIG (Selection Index of Ideal Genotype) method, based on all non-parametric methods, showed that DW-92-17 and DW-92-20 genotypes (with 6095 and 6215 kg.ha^{-1} grain yield) were the most stable genotypes. According to SIIG method, the majority of non-parametric methods may identify the stable genotypes considering the static (biological) concept, so the selected genotypes may not necessarily produce high grain yield. Genotypes DW-92-17 and DW-92-20 were selected as stable lines with higher yields (compared to control) and DW-92-4 and DW-92-5 genotypes were selected as high yielding lines for complementary experiments, especially for resistance to diseases and quality characteristics evaluation.

Key words: Interaction of Genotype × Environment, SIIG method, Ideal genotype and Wheat.

Received: December, 2017 Accepted: July, 2018

1. Associated Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Research Officer, Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Darab, Iran
3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Department, Khouzestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ahvaz, Iran
4. Research Officer, Seed and Plant Improvement Department, Dezfoul Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Dezfoul, Iran
5. Research Officer, Seed and Plant Improvement Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Khorramabad, Iran
6. Associated Prof., Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Darab, Iran (Corresponding author) (Email: Hzali90@yahoo.com)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8]