

## شناسایی جمعیت‌های برتر فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea*) در شرایط دیم و آبیاری با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE بای پلات

پرویز مرادی<sup>۱</sup> و احمدرضا دادرس<sup>۲\*</sup>

۱. استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ۲. استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان.  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۹)

### چکیده

فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea*)، با قابلیت تحمل بالا در شرایط مختلف آب و هوایی و نقش مؤثر آن در تغذیه دام و احیاء مراتع، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و مرتعی محسوب می‌شود. در مطالعه حاضر، از ۳۶ جمعیت فستوکای پابلند که از بانک ژن منابع طبیعی ایران تهیه شده بود استفاده شد. مواد گیاهی در دو سال زراعی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقاتی خیرآباد شهرستان زنجان، در دو شرایط آبیاری و دیم ارزیابی شدند. نتایج حاصل از روش بای پلات نشان داد که مؤلفه اول (معرف اثر اصلی ژنوتیپ یا G) و دوم (معرف اثر متقابل ژنوتیپ در محیط یا GE)، به ترتیب ۴۹ و ۲۸ درصد و در مجموع، ۷۷ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند و می‌توان این گونه استنباط نمود که نتایج به دست آمده از تجزیه بای پلات، دارای اعتبار نسبتاً خوبی در توجیه تغییرات G+GE است. نتایج روش گرافیکی نشان داد در کل محیط‌ها، جمعیت‌های G15 (توانکش)، G31 (استرالیا)، G11 (بروجن)، G25 (فلسطین اشغالی) و G35 (ایرلند)، دارای عملکرد نسبتاً بالا و پایداری بالا بودند و همچنین بر اساس گراف، ژنوتیپ ایده‌آل فرضی جمعیت‌های G35 (ایرلند) و G25 (فلسطین اشغالی)، نزدیکترین جمعیت‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی شناسایی شدند که سازگارترین جمعیت‌های پیشنهادی برای محیط‌های مورد مطالعه می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** اثر متقابل، پایداری عملکرد، تجزیه مرکب، خشکی، گیاه علوفه‌ای.

### Investigation of different populations of tall festuca (*Festuca arundinacea*) under rainfed and irrigation conditions using graphical analysis of GGE biplot

Parviz Moradi<sup>1</sup> Ahmad Reza Dadras<sup>2</sup>

1. Research Division of Natural Resources, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Zanjan, 2. Crop and Horticultural Science Research Department, Olive Research Station of Tarom, Zanjan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan.

(Received: July 28, 2018- Accepted: November 30, 2019)

### ABSTRACT

Tall festuca (*Festuca arundinacea*) is one of the most important crops and rangelands, with a high tolerance to different climatic conditions and its effective role in livestock feed and rangeland regeneration. In the present study, 36 populations of tall festuca from the Iranian Natural Resources Gene Bank were used that. Plant materials were evaluated in a randomized complete block design under two irrigation and rainfed conditions at Kheirabad Research Station, Zanjan, Iran, during 2005-2007. The results of the biplot method showed that the first component (as main effect of genotype or G) and second component (as genotype environment interaction effect or GE) were 49% and 28%, respectively, and totally explained 77% of the total variation, that is showing relatively good reliability in explanation of G+GE variations. Results of the graphical method indicated that in all environments, the population G15 (Tavankash), G31 (Australia), G11 (Borujen), G25 (Occupied Palestine) and G35 (Ireland) had relatively high yield and stability. Also, according to the ideal genotype, the G35 (Ireland) and G25 (Occupied Palestine) populations were identified as the nearest populations to ideal hypothetical genotype which are the most compatible populations suggested for the environments.

**Keywords:** Combined analysis, drought, forage, interaction, stability yield.

\* Corresponding author E-mail: a.dadras@areeo.ac.ir

## مقدمه

مهم‌ترین معیاری که به‌طور سنتی مورد استفاده قرار گرفته است، انتخاب مستقیم برای پایداری عملکرد در چند محیط است. اما این راهکار، وقت‌گیر و پرهزینه است؛ زیرا عملکرد، یک صفت پیچیده و کمی، با وراثت-پذیری پایین می‌باشد که به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی مانند ناهمگنی خاک، آب و هوا قرار می‌گیرد (Manavalan *et al.*, 2009).

از سال‌های دور، درک رابطه بین عملکرد گیاهان و محیط، موضوع مهمی برای به‌نژادگران و متخصصان ژنتیک گیاهی بوده است. نمود گیاه یا فنوتیپ مشاهده شده، تابعی از ژنوتیپ (وارثه یا رقم)، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و در محیط است. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط زمانی رخ می‌دهد که ارقام یا ژنوتیپ‌های مختلف، به‌شکل متفاوت به محیط‌های گوناگون واکنش نشان دهند (Moghaddam *et al.*, 2012). عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط، متشکل از اثر اصلی محیط (E)، اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) است (Yan & Hunt, 2002). با وجود این که اثر محیط، میزان زیادی از درصد تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌کند و اثرهای ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ کوچک‌تر هستند، اما این دو اثر در آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌ها نقش دارند و در زمان گزینش ژنوتیپ‌های برتر، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل محیط در ژنوتیپ، باید به‌صورت همزمان در نظر قرار گیرند (Pourdad & Moghaddam, 2013).

Falconer (1989) عنوان کرد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌تواند جنبه‌های مختلفی داشته باشد؛ مثلاً یک اختلاف محیطی خاص می‌تواند روی برخی از ژنوتیپ‌ها بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها گذارد و عکس‌العمل ژنوتیپ‌های مختلف، معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن-ها و با قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، همبستگی بین اثر ژنوتیپی و فنوتیپی را کاهش می‌دهد و پیشرفت گزینش ژنوتیپ‌ها، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی را کاهش می‌دهد. تجزیه پایداری، مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به کار می‌رود و با

فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea*) که با نام انگلیسی Tall fescue مشهور است، گیاهی پابلند، چند ساله و با ریشه اصلی ضخیم و عمیق است. این گیاه، ساقه زیر زمینی (ریزوم) کوتاهی دارد و به‌عنوان گیاه افراشته تلقی می‌شود (Heidari Shariabad & Dorry, 2003). فستوکای پابلند، یکی از گراس‌های مهم علوفه‌ای چندساله مناسب مناطق سردسیری است که در مناطق معتدل جهان، در سطح وسیعی می‌روید و با توجه به تحمل بالای آن در شرایط متنوع آب و هوایی و سازگاری آن با شرایط متفاوت محیطی (Ervin, 1995) و همچنین نقش آن در تولید علوفه، تغذیه دام، احیای مراتع و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی می‌تواند در برنامه‌های احیای مراتع، گزینه بسیار مناسبی باشد (Paymani-Fard *et al.*, 1985). در ایران، فستوکای بلند به‌طور طبیعی در مراتع شمالی، مرکزی و غربی می‌روید و در تولید علوفه و حفاظت از خاک، نقش دارد. کشت این گیاه به‌صورت زراعی متداول نشده است، اما از ظرفیت بالایی برای تولید علوفه به صورت زراعی و مرتعی برخوردار می‌باشد (Sharifi Tehrani *et al.*, 2009). از بارزترین مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب و خشکی هوا می‌باشد و با توجه به این که مناطق وسیعی از مراتع ایران در این بخش‌ها قرار دارند، بحث خشکی و خشکسالی حاصل از آن، در گیاهان این مناطق دارای اهمیت بسیاری می‌باشد. خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد فستوکای پابلند اثر می‌گذارد و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام-های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Azarnivand & Javadi, 2003). این گونه نسبت به سایر گونه‌ها تحمل بیشتری نسبت به خشکی از خود نشان می‌دهد (Wilman *et al.*, 1998; Farshadfar *et al.*, 2013). همچنین این گیاه می‌تواند به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای فیبری متراکم، از آب موجود در عمق-های بیشتر از یک متری خاک استفاده کند (Garwood & Sinclair, Rohollahi *et al.*, 2015). برای توسعه ارقام با عملکرد بهتر تحت شرایط خشکی،

محصولات زراعی مختلف مثل گندم نان (Yan & Tinker, 2005; Kaya *et al.*, 2006; Taghizadeh *et al.*, 2017)، گندم دوروم (Letta *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2010)، ذرت (Shiri & Bahrapour, 2015)، جو (Mohammadi *et al.*, 2009)، سویا (Yan and Rajcan, 2002; Dadras *et al.*, 2017) و برنج (Samonte *et al.*, 2005) گزارش شده است. در این پژوهش، تلاش شد با استفاده از نرم افزار GGE بای-پلات، ارقام مناسب تر و برتر برای کشت در دو محیط شناسایی شوند.

### مواد و روش‌ها

مواد گیاهی آزمایش حاضر، شامل ۳۶ جمعیت از فستوکای پابلند بود که از بانک ژن منابع طبیعی ایران تهیه شد؛ اطلاعات این جمعیت‌ها در جدول ۱ آورده شده است. این بررسی در ایستگاه تحقیقاتی خیرآباد، واقع در ۲۸ کیلومتری شمال شرق شهرستان زنجان، با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع متوسط ۱۷۷۰ متر از سطح دریا انجام شد. اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک و متوسط بارندگی در دوره آماری ۱۰ ساله برابر با ۲۷۰ میلی بود. متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه، ۹/۶ درجه سانتی‌گراد، متوسط تعداد روزهای یخبندان ۱۴۳ و حداقل مطلق دما ۳۶/۴- درجه و حداکثر مطلق ۴۲ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل دما ۲ درجه و متوسط حداکثر دما ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۳۷/۹٪ و متوسط حداکثر رطوبت نسبی ۷۵/۲٪ و حداکثر بارندگی روزانه ۳۹/۸ میلی‌متر گزارش شده است.

به منظور مقایسه و بررسی مواد گیاهی، آزمایش تحت دو شرایط آبیاری و دیم، در دو سال زراعی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ در قالب طرح بلوک‌های تصادفی انجام شد. کرت‌های آزمایشی شامل چهار خط دو متری به فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر از یکدیگر بود و در میان تکرارها نیز یک فاصله یک متری جهت تردد در نظر گرفته شد (Reed, 1996). در طول انجام آزمایش، مراقبت‌های زراعی از قبیل وجین علف‌های هرز که کاملاً به صورت

توجه به آن، می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی و مورد استفاده قرار داد (Perkins & Jinks, 1971; Cornelius & Crossa, 1999).

معمولاً به علت معنی‌دار بودن برهم‌کنش موجود میان ژنوتیپ و محیط، شناسایی ارقام یا لاین‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی از عملکرد مطلوبی برخوردار باشند بسیار پیچیده است (Shiri *et al.*, 2010). تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط، با عنوان تجزیه پایداری در پژوهش‌های متعدد به روش‌های آماری پارامتری (یک متغیره و چند متغیره) و ناپارامتری انجام شده است. یکی از مهم‌ترین روش‌های پارامتری چندمتغیره، روش GGE بای‌پلات است که بر پایه تجزیه ریشه راکد منفرد (Singular Value Decomposition) بنا شده است. در این روش، اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در هم آمیخته‌اند و تفکیک نشده است. روش بای‌پلات، اولین بار توسط Gabriel (1971) و سپس توسط Kempton (1984) و Zobel *et al.* (1988)، Cooper & De Lacy (1994) و در سال‌های اخیر توسط Yan *et al.* (2000) با اصطلاح "GGE بای‌پلات" معرفی شد. کانگ به نقل از Pourdad & Moghaddam (2013) بر این عقیده است که آن‌چه برای به‌زادگران و تولید کنندگان محصولات زراعی مهم است، گزینش بر اساس اثر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط به صورت توأم است و بنابراین باید به صورت همزمان بررسی شود. در روش گرافیکی یا GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از هم تفکیک نمی‌شود و انتخاب ژنوتیپ برتر، بر اساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد. Yan *et al.* (2007) در تشریح این روش، بر پایه همین استدلال، آن را ایده‌آل تر از سایر روش‌ها مانند AMMI عنوان کردند.

از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات، تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌زادی محصولات مختلف است. با استفاده از GGE بای‌پلات، محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند. گروه‌بندی محیط‌ها برای

گرافیکی با استفاده از روش GGE بای پلات و با استفاده از نرم افزار GGE بای پلات (Yan and Kang, 2003)، براساس تجزیه به مقادیر منفرد انجام شد. در این روش، واریانس فنوتیپی، قابل تفکیک به اجزای خود یعنی واریانس ژنوتیپی، واریانس محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است که به صورت معادله  $P=G+GE+E$  یا  $P-E=G+GE$  دیده می‌شود.

در نوشتار پیش‌رو، از علامت اختصاری NY1 برای شرایط نرمال در سال اول، NY2 برای شرایط نرمال در سال دوم، DY1 برای شرایط دیم در سال اول و DY2 برای شرایط دیم در سال دوم استفاده شد.

دستی انجام گرفت و آبیاری هر هفت روز یکبار، انجام شد. برنامه کوددهی نیز بر اساس آزمایشات خاک و توصیه‌های علمی انجام شد. عملیات برداشت زمانی صورت گرفت که ۱۰ درصد از بوته‌های هر کرت به گل نشسته بودند. پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، عملکرد علوفه تر در هر کرت در سطح ۰/۵ متر مربع برداشت شد و بلافاصله وزن علوفه برداشت شده اندازه‌گیری شد و به عنوان علوفه تر به ثبت رسید. پس از ثبت داده‌ها، ابتدا مفروضات تجزیه واریانس از جمله نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی آزمون شد. پس از اطمینان از برقراری مفروضات، تجزیه مرکب برای صفت عملکرد با استفاده از نرم افزار SAS Ver. 9.1 انجام شد و با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، تجزیه

جدول ۱- کد بانک ژن و منشأ جمعیت‌های فستوکای پابلند *Festuca arundinaceae* مورد استفاده در آزمایش حاضر

Table 1. Gene bank code and origin of *Festuca arundinaceae* populations used in the present experiment

Origin	Gene bank code	Abbreviation of population	Origin	Gene bank code	Abbreviation of population
Russia	VII	G19	Baneh	625	G1
Russia	VIII	G20	Gene bank	1317	G2
California	078	G21	Ireland	Dovi	G3
Gene bank	269	G22	Australia	418	G4
Sanandaj	627	G23	Gonabad	01	G5
Belgium	1061	G24	Isfahan	6000-09	G6
Occupied Palestine	1081	G25	Isfahan	6000-39	G7
America	1152	G26	Semirom	6000-65	G8
America	1269	G27	Borujen	6000-66	G9
Australia	1414	G28	Borujen	6000-67	G10
Australia	1417	G29	Borujen	6000-70	G11
Australia	1418	G30	Borujen	6000-71	G12
Australia	1420	G31	Tavankash	6000-75	G13
Gene bank	1467	G32	Kamyaran	6000-76	G14
Netherlands	1768	G33	Tavankash	6000-83	G15
FAO	1346	G34	Bakhtiari	78-2-02-06	G16
Ireland	A-170-1	G35	Ireland	A2210	G17
Netherlands	1610-F112	G36	Ardebil	Sabalan	G18

## نتایج و بحث

و دوم، به ترتیب ۴۹ و ۲۸ درصد و در مجموع ۷۷ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند که می‌توان این گونه استنباط نمود که نتایج به دست آمده از تجزیه بای-پلات، دارای اعتبار نسبتاً خوبی در توجیه تغییرات  $G+GE$  است. البته باید خاطر نشان ساخت اگر مؤلفه-های اصلی اول (معرف اثر اصلی ژنوتیپ) و دوم (معرف اثر متقابل ژنوتیپ در محیط) در مجموع نتوانند قسمت قابل توجهی از تغییرات را توجیه نمایند، می‌توان تصور کرد که این امر، به ماهیت پیچیده اثر متقابل در محیط برمی‌گردد (Yan & Tinker, 2005) و نمی‌توان آن را دلیلی بر بی‌اعتباری بای پلات دانست

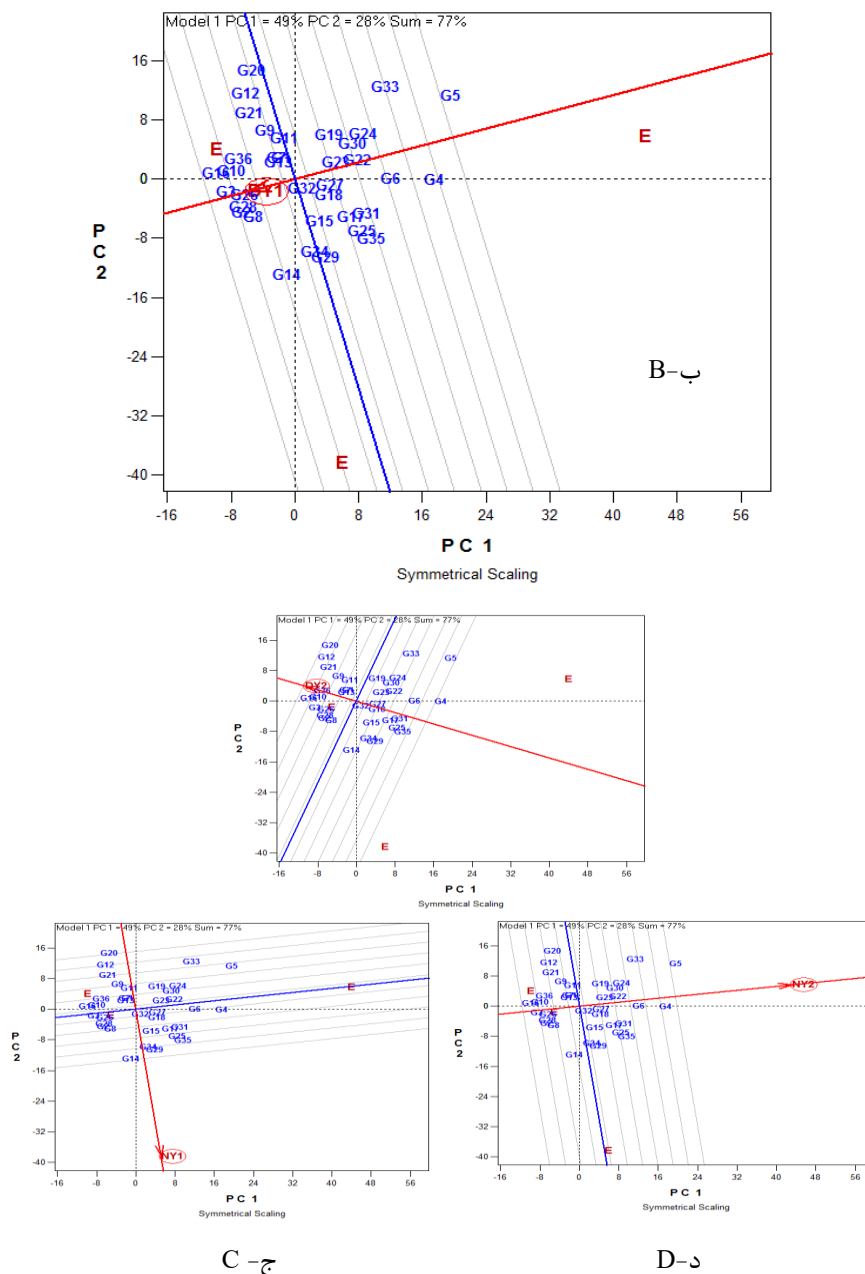
نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تمام اثرات، به جز اثر اصلی سال، معنی‌دار بودند. معنی‌دار بودن اکثر اثرات اصلی و اثرات متقابل، حاکی از آن است که واکنش جمعیت‌ها از نظر عملکرد تحت شرایط محیطی مختلف، متفاوت بود و همچنین وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار بین جمعیت‌های مورد مطالعه، نشان‌دهنده آن است که این منابع گیاهی می‌توانند در به‌نژادی افزایش تحمل به خشکی جمعیت‌های فستوکای پابلند، واجد پتانسیل بالایی باشند.

نتایج حاصل از تجزیه بای پلات نشان داد که مؤلفه اول

اثر متقابل در محیط است که برای تعیین بهترین ژنوتیپ در شرایط مختلف به محقق کمک می‌کند. این نمودار برای جمعیت‌های فستوکای پابلند مورد مطالعه در چهار محیط، در شکل ۱ (الف-د) آورده شده است.

(Yan et al., 2007).

یکی از روش‌هایی که می‌توان سازگارترین ژنوتیپ را برای یک محیط ویژه شناسایی کرد، استفاده از گراف-های نرم افزار GGE بای پلات است و از موارد استفاده نرم‌افزار GGE بای پلات، نمودار چند ضلعی مربوط به



شکل ۱- مقایسه جمعیت‌های فستوکای پابلند در محیط‌های مورد بررسی الف: شرایط دیم سال اول (DY1)، ب: شرایط دیم سال دوم (DY2)، ج: شرایط آبیاری سال اول (NY1) و د: شرایط آبیاری سال دوم (NY2).

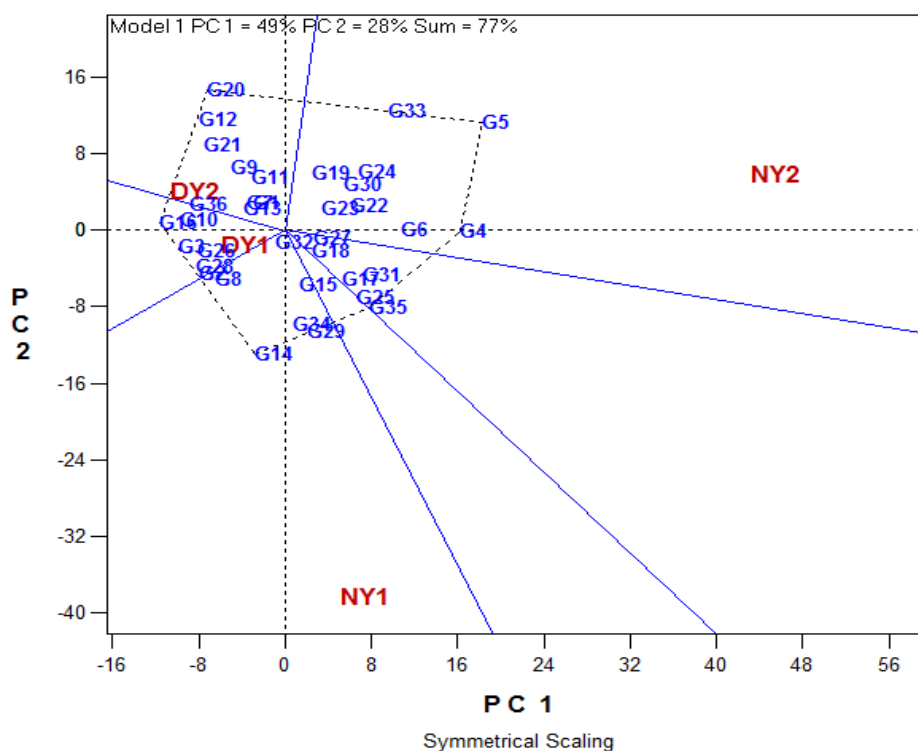
Figure 1. Comparison of *Festuca arundinaceae* populations across studied conditions. a: rainfed condition in first year (DY1), b: rainfed condition in second year (DY2), c: irrigation condition in first year (NY1) and d: irrigation condition in second year (NY2).

شمالی چندضلعی یک بای‌پلات که اولین بار توسط Yan (1999) ارائه شد، ابزاری موثر و برازنده را برای نمایش الگوی "کدام- برتر- کجا" در یک مجموعه از داده‌های آزمایش‌های چند محیطی فراهم می‌کند؛ خطی که از مبدا بای‌پلات و علامت محیط انتخاب شده می‌گذرد، محور آن محیط نامیده می‌شود و خطی که عمود بر محور محیطی توسط نرم افزار رسم می‌شود، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر از متوسط عملکرد را در محیط مورد نظر جدا می‌کند. همچنین فاصله مبدا بای-پلات تا علامت محیط، بردار آن محیط نامیده می‌شود و طول بردار، معیار توانایی محیط برای تمایز میان ژنوتیپ است. نسبت به اندازه بای‌پلات، یک بردار کوتاه معرف آن است که همه ژنوتیپ‌ها گرایش به برخورداری از عملکرد مشابه در محیط مورد نظر دارند (Moghadam *et al.*, 2012). خاطر نشان می‌شود از آن که واکنش جمعیت‌ها در محیط‌های چهارگانه متفاوت بود و نتایج تجزیه واریانس مرکب نیز شاهدهی بر این مدعاست، بنابراین هر محیطی به‌طور جداگانه مورد بحث قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱- الف برای محیط دیم در سال اول (DY1) مشاهده می‌شود، جمعیت‌های G8 (سمیرم)، G28 (استرالیا)، G2 (بانک ژن) و G16 (بختیاری) در این محیط، دارای عملکرد بهتری بودند و جمعیت‌های G33 (هلند)، G4 (استرالیا) و G5 (گناباد)، دارای کمترین عملکرد در این محیط بودند. در شکل ۱- ب برای محیط دیم در سال دوم (DY2) مشاهده می‌شود که جمعیت‌های G21 (کالیفرنیا)، G12 (بروجن)، G20 (روسیه)، G10 (بروجن)، G16 (بختیاری) و G2 (بانک ژن)، دارای عملکرد بهتر و جمعیت‌های G33 (هلند)، G4 (استرالیا) و G5 (گناباد) عملکرد کمتری در محیط دیم سال دوم از خود نشان دادند همان‌طور که در بالا آمده است، جمعیت‌های G10، G16 و G2 در محیط‌های دیم سال اول و دوم مشابهت داشتند که می‌توان انتظار داشت این جمعیت‌ها، مناسب برای محیط دیم باشند. همچنین جمعیت‌های G33، G4 و G5 در هر دو سال، عملکرد کمتری از خود در محیط دیم نشان دادند. در شکل ۱- ج برای محیط آبیاری در سال اول (NY1)

مشاهده می‌شود که جمعیت‌های G35 (ایرلند)، G24 (بلژیک)، G29 (استرالیا) و G14 (کامیاران) در این محیط، دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر جمعیت‌ها بودند و همچنین جمعیت‌های G9 (بروجن)، G21 (کالیفرنیا)، G12 (بروجن) و G20 (روسیه)، عملکرد کمتری نسبت به سایر جمعیت‌ها داشتند. در شکل ۱- د برای محیط آبیاری در سال دوم (NY2) مشاهده می‌شود که جمعیت‌های G33 (هلند)، G6 (اصفهان)، G4 (استرالیا) و G5 (گناباد)، دارای بالاترین عملکرد و جمعیت‌های G16 (بختیاری)، G3 (ایرلند)، G10 (بروجن) و G28 (استرالیا)، دارای کمترین عملکرد در این محیط بودند. بدیهی است جمعیت‌هایی که بتوانند عملکرد بالاتر و مناسب‌تری در شرایط دیم نشان دهند، می‌توانند برای ارزیابی‌های بیشتر، دقیق‌تر و در نهایت معرفی در مناطق خشک، کاندیدای با ارزشی باشند. متفاوت بودن جمعیت‌های برتر در دو سال، نشان‌دهنده اثرات محیطی قابل توجه در عملکرد جمعیت‌هاست و این امر، بررسی‌های بیشتری را به منظور برآورد دقیق‌تر جمعیت‌ها می‌طلبد. در پژوهشی که Farshadfar *et al.* (2013) در ایستگاه تحقیقات اسلام آباد غرب بر روی ۳۶ جمعیت فستوکا در دو محیط آبی و دیم انجام دادند، عنوان شد که بر اساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک محیط‌های دیم و آبی، جمعیت‌های شش (اصفهان)، هفت (اصفهان)، ۱۵ (توانکش)، ۲۵ (استرالیا)، ۲۶ (آمریکا) و ۳۱ (استرالیا) برتر بودند. در پژوهش حاضر نیز جمعیت‌های G15، G31 و G25 به عنوان جمعیت‌های برتر شناسایی شدند که با نتایج *et al.* Farshadfar (2013) مطابقت دارد. در بررسی Shiri & Bahrapour (2015) نتایج تجزیه GGE بای‌پلات در محیط‌های E1، E2 و E4 (به ترتیب شرایط آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله رویشی و قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه) نشان داد که هیبرید SC704 بیشترین عملکرد دانه را داشت و هیبرید برتر در این محیط‌ها بود. همچنین هیبرید SC647 در محیط E3، برترین هیبرید بود. آن‌ها گزارش کردند که هیبریدهای SC700 و SC703 با وجود این‌که در راس چندضلعی بودند ولی در هیچ یک از محیط‌ها عملکرد

پلات دارند. بر اساس شکل ۲، در محیط آبیاری در سال اول (NY1) جمعیت G14 (کامیاران) دارای بیشترین عملکرد بود. در محیط آبیاری در سال دوم (NY2)، بیشترین عملکرد را جمعیت G5 (گناباد) داشت، برای محیط دیم در سال اول (DY1)، ژنوتیپ G16 (بختیاری) دارای بیشترین مقدار عملکرد بود و برای محیط دیم در سال دوم (DY2)، ژنوتیپ G20 (روسیه) دارای بیشترین عملکرد بود. Amini (2015) برای ارزیابی ترکیب پذیری عمومی در گیاه فستوکای بلند، از بذره‌های حاصل از پلی کراس ۲۵ ژنوتیپ انتخابی از ۴۶ جمعیت در مزرعه تحقیقاتی اصفهان استفاده نمود. نتایج به دست آمده از مطالعه وی بر اساس تجزیه خوشه‌ای نشان داد که بر اساس صفات اندازه‌گیری شده، جمعیت‌های فستوکای بلند مورد مطالعه به چهار گروه قابل تقسیم هستند.

دانه خوبی نداشتند. بر اساس گفته‌های Yan *et al.* (2000)، ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای پلات دارند، به وسیله خطوطی به یکدیگر وصل می‌شوند و سپس از مبدأ مختصات، خطوطی عمود بر اضلاع این چند ضلعی رسم می‌شود و در نهایت، محیط‌های بزرگی تشکیل می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که در رأس این چند ضلعی قرار گرفتند می‌توانند بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ از نظر عملکرد باشند؛ چرا که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند. در این راستا و همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تعدادی از جمعیت‌ها از جمله G4 (استرالیا)، G35 (ایرلند)، G29 (استرالیا)، G14 (کامیاران)، G20 (روسیه)، G5 (گناباد) و G16 (بختیاری) که در رأس چند ضلعی قرار گرفتند، از نظر عملکرد، بهترین و یا ضعیف‌ترین جمعیت‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند؛ چرا که بیشترین فاصله را از مرکز بای

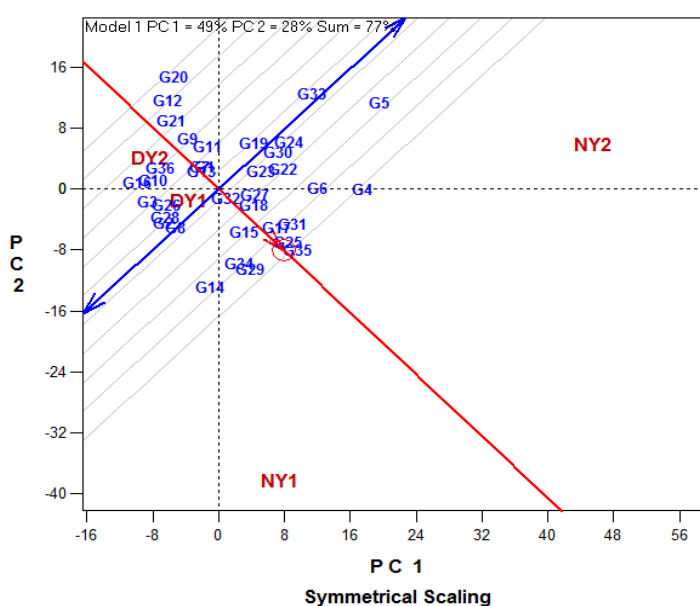


شکل ۲- گروه‌بندی جمعیت‌های مختلف فیسوکای پابلند در چهار محیط. Figure 1. Grouping of different festuca populations across four environments.

در تجزیه گرافیکی برای بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها، از نمودار به نام محور پایداری

(Yan & Kang, 2003). بر اساس بای‌پلات شکل ۳، سمت چپ محوری که دارای دو پیکان است، جمعیت‌های دارای عملکرد کمتر از میانگین کل و سمت راست آن، جمعیت‌های دارای عملکرد بیشتر از میانگین کل را نشان می‌دهد و محوری که دارای یک پیکان است و دایره‌ای که بر روی آن وجود دارد، نشان‌دهنده پایداری است و تصویر هر جمعیتی که به آن نزدیک‌تر باشد، پایدارتر است (Yan *et al.*, 2000).

(Average Tester Coordinate) استفاده می‌شود. در این نمودار، از میانگین داده‌های دو سال استفاده شد. یک نتیجه منطقی از مفهوم GGE بای‌پلات آن است که معیار پایداری تعیین شده به وسیله GEI، فقط هنگامی می‌تواند مفید باشد که همراه با میانگین عملکرد G در نظر گرفته شود و روش GGE بای‌پلات، یک راه حل خیلی خوب برای تلفیق میانگین عملکرد و پایداری و تبدیل آن‌ها به یک معیار مناسب است که می‌توان از آن برای ارزیابی گرافیکی استفاده نمود



شکل ۳- ارزیابی همزمان عملکرد و پایداری جمعیت‌های مختلف فستوکا در شرایط محیطی مختلف با روش GGE بای‌پلات.  
Figure 3. Simultaneous evaluation of yield and stability of different festuca populations across different environments by GGE biplot method.

(2017) بر اساس تجزیه گرافیکی و نمودار بای‌پلات (ATC) روی ۱۲۱ ژنوتیپ سویا در چهار محیط گزارش نمودند که لاین پیشرفته نسل F7 مشتق از ارقام K778 و گرگان سه (لاین ۳۴) و همچنین لاین مشتق از ارقام گرگان سه و ویلیامز (لاین ۳۷)، دارای عملکرد بالا و سازگاری پایین بودند و ژنوتیپ‌های لاین‌های مشتق از ارقام Spry و Kitimisharo (لاین‌های هشت و نه)، لاین مشتق از سحر و کتول (لاین‌های ۴۹ و ۴۶)، لاین مشتق از سحر و همیلتون (لاین ۶۳)، لاین مشتق از سحر و گرگان سه (لاین ۴۲)، رقم ویلیامز، همیلتون و کتول (لاین ۳۹)، دارای عملکرد متوسط و سازگاری

با در نظر داشتن چهار محیط، حالت‌های مختلفی شامل ژنوتیپ‌هایی دارای عملکرد بالا و پایداری بالا، عملکرد بالا و پایداری کم، عملکرد پایین و پایداری بالا و عملکرد پایین و پایداری پایین و همچنین حالت‌های متوسط آن‌ها وجود دارد. بر اساس اطلاعات قابل استنباط از شکل ۳، جمعیت‌های G6 (اصفهان)، G29 (استرالیا)، G24 (بلژیک)، G14 (کامیاران)، G5 (گناباد) و G4 (استرالیا) دارای عملکرد بالا و پایداری کم می‌باشند و جمعیت‌های G15 (توانکش)، G31 (استرالیا)، G11 (بروجن)، G25 (فلسطین اشغالی) و G35 (ایرلند) دارای عملکرد نسبتاً بالا و پایداری بالا بودند. Dadras *et al*



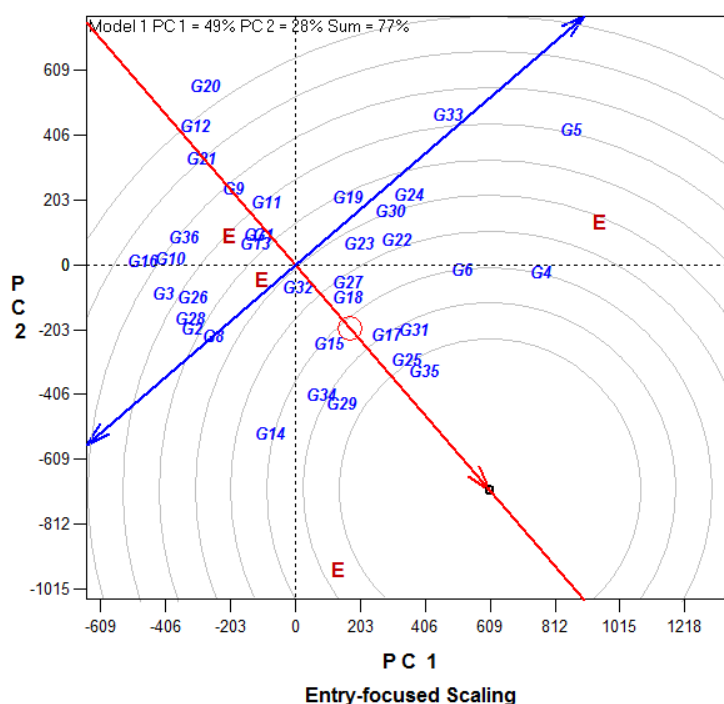
ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بود و در مرحله بعد، جمعیت‌های G29 (استرالیا)، G31 (استرالیا)، G17 (ایرلند) و G34 (فائو) در رتبه دوم و جمعیت‌های G4 (استرالیا)، G6 (اصفهان)، G15 (توانکش) و G14 (کامیاران) در رتبه سوم از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی قرار گرفتند جمعیت‌های G35 (ایرلند) و G25 (فلسطین‌اشغالی) که نزدیکترین جمعیت‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی شناسایی شدند را می‌توان به عنوان جمعیت‌های برتر برای محیط‌های مورد مطالعه پیشنهاد نمود. در پژوهش Dadras *et al.* (2017) ژنوتیپ ۳۷ سویا که لاین مشتق از ارقام گرگان سه و ویلیامز بود، نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی و به‌عنوان مناسب‌ترین لاین پیشرفته گزارش شد. در مطالعه Pourdad & Moghaddam (2013) که در آن به مقایسه ارقام و هیبریدهای کلزا پرداخته شده بود، ژنوتیپ‌های Option500 و Kristina با فاصله تقریباً برابر، نزدیکترین ارقام به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بودند. شکل ۵، نمای برداری از نرم‌افزار GGE بای‌پلات را نشان می‌دهد. در این شکل، خطوطی به نام بردارها، محیط‌ها را به مبدا بای‌پلات متصل می‌کنند. در این گراف، کسینوس زاویه بین دو محیط (بردار)، نشان دهنده تقریبی همبستگی بین محیط‌ها می‌باشد. زمانی که زاویه دو بردار محیطی ۹۰ درجه باشد، همبستگی آن‌ها صفر، اگر این زاویه ۱۸۰ درجه باشد، همبستگی آن‌ها ۱- و اگر زاویه صفر درجه باشد، همبستگی آن‌ها مثبت یک است. زاویه بین محیط‌های DY1 و DY2 کم بود که این امر، نشانگر همبستگی زیاد دو محیط مورد آزمایش بود ولی از طرف دیگر، دو محیط NY1 و NY2 دارای زاویه تقریباً ۹۰ درجه‌ای هستند که نشان از صفر بودن تقریبی همبستگی دو محیط مورد بحث داشت. Shiri & Bahrapour (2015) در پژوهش خود عنوان داشتند که محیط‌های E1 و E4 (به ترتیب شامل آبیاری کامل و قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه)، دارای زاویه بسیار کم در نتیجه همبستگی بالا و نزدیک یک می‌باشند و بنابراین نتیجه گرفتند که واکنش هیبریدهای ذرت مورد مطالعه در این دو محیط یکسان بود.

بالایی بودند. Rohollahi *et al.* (2015) ۱۴ جمعیت فستوکای پابلند را مورد بررسی قرار دادند که جمعیت‌های اصفهان و بروجن نسبت به دیگر جمعیت‌ها برتر بودند و به‌عنوان منابع ژنتیکی مناسب برای برنامه‌های به‌نژادی معرفی شدند. Shiri & Bahrapour (2015) در مطالعه‌ای که بر روی هیبریدهای ذرت دانه‌ای، تحت شرایط مختلف آبیاری انجام دادند گزارش کردند که هیبریدهای TWC600، SC720 و SC724، هیبریدهایی با عملکرد دانه متوسط و پایداری بالا هستند. همچنین برای هیبرید SC704، عملکرد دانه بالا و پایداری متوسط گزارش نمودند.

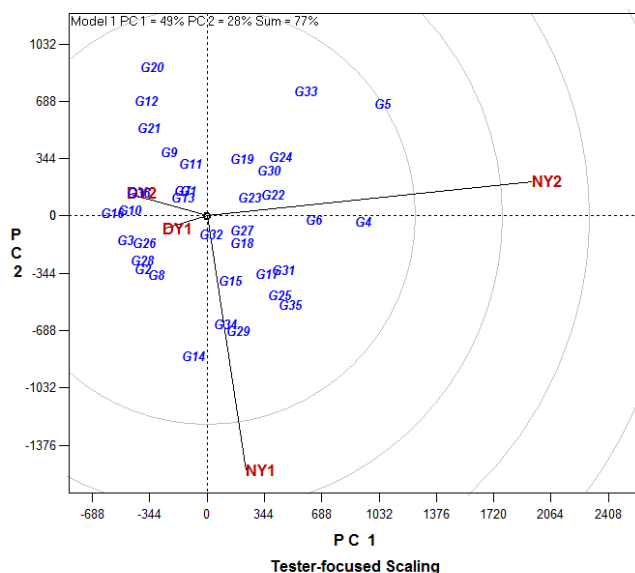
در پژوهش Taghizadeh *et al.* (2017) که بر روی چهار تاریخ کاشت مختلف بر روی هشت رقم گندم در منطقه گنبد کاووس انجام شد، استفاده از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات و بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ارقام با استفاده از بای‌پلات نشان داد که رقم گنبد، بالاترین عملکرد و بیشترین پایداری را در بین ارقام دارا بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، آن‌ها کشت این رقم را در تاریخ یک دی ماه برای شرایط آب و هوایی گنبد گزارش پیشنهاد کردند.

گراف ژنوتیپ ایده‌آل، یکی دیگر از گراف‌های قابل تفسیر در تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات است. این گراف، بر اساس تعیین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی رسم می‌شود. این ژنوتیپ فرضی ژنوتیپی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری است و از نظر مکانی، در مرکز دوایر متحدالمرکز بای‌پلات قرار می‌گیرد. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی باید دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و واجد بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا باشد. این ژنوتیپ ایده‌آل فرضی، با یک دایره کوچک به همراه یک پیکان، روی محور میانگین‌ها نشان داده می‌شود و به‌عنوان ژنوتیپ برخوردار از بالاترین عملکرد در تمامی محیط‌ها تعریف می‌شود. همچنین ژنوتیپ‌ها براساس فاصله آن‌ها با رقم ایده‌آل، رتبه‌بندی می‌شوند (Yan & Kang, 2003).

بر اساس اطلاعات شکل ۴، جمعیت‌های G35 (ایرلند) و G25 (فلسطین‌اشغالی)، نزدیکترین جمعیت‌ها به



شکل ۴- مقایسه کلیه جمعیت‌های فستوکا با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس پایداری و عملکرد با روش GGE بای‌پلات.  
Figure 4. Comparison of festuca populations based on stability and grain yield with the ideal genotype by GGE biplot method.



شکل ۵- بای‌پلات روابط متقابل بین محیط‌های مختلف جمعیت‌های فستوکا.  
Figure 5. Biplot of interrelationships among different festuca populations environments.

نتایج این تجزیه، جمعیت‌های G15 (توانکش)، G31 (استرالیا)، G11 (بروجن)، G25 (فلسطین‌اشغالی) و G35 (ایرلند)، دارای عملکرد نسبتاً بالا و پایداری بالا

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر، بیانگر اعتبار نسبتاً مطلوب تجزیه بای‌پلات در توجیه تغییرات مجموع "ژنوتیپ و اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط" بود. همچنین بر اساس

بودند و جمعیت‌های G35 (ایرلند) و G25 (فلسطین- اشغالی)، نزدیکترین جمعیت‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی شناسایی شدند. انتظار می‌رود که بتوان از نتایج حاصل، در برنامه‌های انتخاب و تهیه جمعیت‌های مطلوب اصلاحی در زمینه‌های مختلف به نژادی فستوکا بهره برد.

## REFERENCES

1. Amini, F. (2015). General combining ability of half-sib families of tall fescue (*Festuca arundinaceum* Schreb). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 23, 215-225. (In Persian)
2. Azarnivand, H. & Javadi, M. R. (2003). The effect of water stress on seed germination of two agropyron species. *Desert*, 8, 192-205. (In Persian).
3. Cooper, M. & DeLacy, I. H. (1994). Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics*, 88, 561-572.
4. Cornelius, P. L. & Crossa, J. (1999). Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. *Crop Science*, 39, 998-1009.
5. Dadras, A. R., Samizadeh, H. & Sabouri, H. (2017). Evaluation of soybean varieties and advanced Lines Yield under drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Breeding*, 9, 18-26. (In Persian).
6. Ervin, E. H. (1995). *Performance of Kentucky blugrass, tall fescue and buffalo-grass under lime source irrigation*, M.Sc. Thesis. Colorado State University- Fort Collins, CO, USA.
7. Falconer, D. S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. (3th ed.) Longman, New New York. 415 p.
8. Farshadfar, M., Jafai, A. A., Rezaie, I., Farshadfar, E. A., Moradi, F. & Safari, H. (2013). Drought resistance evaluation based on forage yield in accessions of *Festuca arundinacea* using drought resistance indices. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20, 182-189.
9. Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453-467.
10. Garwood, E. A. & Sinclair, J. (1979). Use of water by six grass species. 2. Root distribution and use of soil water. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 93, 25-35.
11. Heidari Shariabad, H. & Dorry, M. (2003). *Forage Grasses*. Research Institute Forests Rangelands Press, Tehran, Iran. Pp: 311.
12. Kaya, Y., Akcura, M. & Taner, S. (2006). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *J. Agric. Forestry*, 30, 325-337.
13. Kempton, R. A. (1984). The use of bi-plots in interpreting variety-by-environment interactions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 103, 123-135.
14. Manavalan, L. P., Guttikonda, S. K., Tran, L. S. P. & Nguyen, H. T. (2009). Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*, 50, 1260-1276.
15. Moghaddam, M., Safari, P. & Danyali. S. F. (2012). *GGE Biplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists*. First Edition. Parivar Publication. Pp: 375. (by Weikiai Yan & Manjit S. Kang).
16. Mohammadi, R., Amri, A. & Ansari. Y. (2009). Biplot analysis of rain-fed barley multi-environment trials in Iran. *Agronomy Journal*, 101, 789-796.
17. Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. & Ceccarelli. S. (2010). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61, 92-101.
18. Paymani-Fard, B., Malekpour, B. & Faezipour, M. (1985). *Guide to dry farming of the most important range plant species in Iran*. Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, 79 p. (In Persian).
19. Perkins, J. M. & Jinks, J. L. (1971). Specificity of the interaction of genotypes with contrasting environments. *Heredity*, 26, 203-209.
20. Pourdad, S.S. & Moghaddam, J. M. (2013). Study on genotype×environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5, 1-14. (In Persian).
21. Reed, T. K. F. M. (1996). Improving the adaptation of perennial ryegrass, tall fescue, phalaris and cocksfoot for Australia. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39, 457-464.

22. Rohollahi, I., Kafi, M., Khoshkholghsima, N. A. & Liaghat, A. (2015). Evaluation of drought resistance and turf quality in some selected tall fescue collected from different places of Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46, 358-366. (In Persian).
23. Samonte, P. B., Wilson, L. T., McClung, A. M. & Medley, J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45, 2414-2424.
24. Sharifi Tehrani, M., Mardi, M., Sahebi, J., Catalán, P. & Díaz-Pérez, A. (2009). Genetic diversity and structure among Iranian tall fescue populations based on genomic-SSR and EST-SSR marker analysis. *Plant Systematic and Evolution*, 282, 57-70.
25. Shiri, M., Valizadeh, M., Magjidi, E., Sanjari, A. & Gharib-Eshghi, A. (2010). Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. *Electronic Journal of Crop Production*, 3, 153-171. (In Persian).
26. Shiri, M. R. & Bahrapour, T. (2015). Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in rain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5, 83-94. (In Persian).
27. Taghizadeh, Z., Sabouri, H., Fallahi, H.A., Dadras, A.R. & Taghizadeh, A. R. (2017). The effect of planting date on yield and yield components of wheat cultivars base GGE biplot in Gonbad. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 13, 63-76. (In Persian).
28. Volence, Y. Y. & Cherney, J. H. (1990). Yield components, morphology and forage quality in four genotypes of *Festuca arundinacea*. *Crop Science*, 30, 1224-1234.
29. Wilman, D., Gao, Y. & Leitch, M. H. (1998). Some differences between eight grasses within the *Lolium-Festuca* complex when grown in conditions of serve water shortage. *Grass and Forage Science*, 53, 57-65.
30. Yan, W. & Hunt, L. A. (2002). Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*, 42, 21-30.
31. Yan, W. & Tinker, N. A. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. *Crop Science*, 45, 1004-1016.
32. Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q. & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
33. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*, 47, 643-655.
34. Zobel, R. W., Wright, M. J. & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80: 388-393.