

Adaptability and yield stability of advanced quinoa lines in saline conditions

M. Salehi^{1*}, F. Deghani¹, Y. Hasheminegad², A. Karami³, S. Keshtkar⁴

1. National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

2. Agricultural and National Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

3. Agricultural and National Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

4. Agricultural and National Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bushehr, Iran

Received 8 June 2023; Accepted 23 September 2023

Extended abstract

Introduction

Quinoa is a dicotyledonous plant from the Amaranthaceae family. Due to the high nutritional value, several breeding programs have been started on quinoa in different parts of the world. The goals of the breeding programs are to increase yield, reduce sensitivity to day length, increase seed size, reduce seed saponin content, and resistance to powdery mildew and seed color. The purpose of this research is to select high-yielding and adapted quinoa lines using different parametric and non-parametric methods.

Materials and methods

The advance quinoa line NSRCQ8 (B), NSRCQ7 (C), Sadoq (D), NSRCQ9 (E) with the Titicaca as control (T) in five regions, Yazd (Sadoq Salinity Research Farm, National Salinity Research Center), Sabzevar (Sabzevar Research Station), Shiraz (Khorameh), Bushehr (Ahram) and Iranshahr (Bampur) were evaluated in the form of randomized complete block design during two years 2019-2019. Planting date in Sabzevar was August 15 with irrigation water salinity of 2.8 and soil saturated extract salinity of 4.5 dS m⁻¹, Yazd was 23th of August with irrigation water salinity of 12 and soil saturated extract salinity of 16.4 dS m⁻¹, Shiraz on August 20 and in the second year, August 25 with irrigation water salinity of 11.2 and soil saturated extract salinity of 8.5 dS m⁻¹ and Iranshahr on December 15 with irrigation water salinity of 2.8 and soil saturated extract salinity of 9 dS m⁻¹ and Bushehr 22nd of November and in the second year on the first day of January with the irrigation water salinity of 6 and the salinity of the saturated soil extract of 10 dS m⁻¹ and the planting date of the first year of Gorgan was the first of March without the need for irrigation. Yield and weight of 1000 seeds, saponin content and size of seeds were measured. The saponin content was determined using the method of Koziol, 1991. Bartlett's test was performed to check the uniformity of variance of environments and then statistical analysis was performed with SAS software. For the purpose of statistical analysis, line was defined as a fixed factor and year and place were defined as random factors, and the F test was performed according to the mathematical expectation of mean square of variation sources. Considering the significance of the interaction effect of genotype in year and place, stability analysis was done using different parametric and non-parametric methods with Stabilitysoft software.

* Corresponding author: Masoumeh Salehi; E-Mail: salehimasomeh@gmail.com



Results and discussion

The results of combined analysis showed that the interaction effect of place and year on grain yield and foam height was significant. The interaction effect of line and place in year on measured traits was significant. The interaction effect of year and location on grain yield and foam height was significant. The results of simple mean comparison showed that the highest grain yield belonged to line D. The thousand kernel weight of line D was 2.6 g on average and 40% of the seeds were placed in the large class. The lowest loss percentage related to D line was 9%. Stability analysis with GGEbiplot method showed that line D is located at the top of the polygon and showed a high private adaptability with all environments except Bushehr in the first year. According to Wricke (1962) (W_i^2) line D was ranked 1. According to Finlay and Wilkinson's index (b_i), number less than one is the least sensitive to environmental changes, and line D had the lowest (0.9). Eberhart and Russell index (s^2d_i) showed that line D was ranked 1. Line D is ranked 1 based on Shukla's index (σ^2_i). Total rank stability statistic (KR) as another measure to determine the stability of genotypes was presented by Kang. Based on this, the genotype with the lowest value is selected as the most stable. The lowest amount was observed in line D (2) and the highest amount was observed in line B (6). Based on the average of the total ranks, line D (1.44 ± 1.09) had the most stability and line B had the least stability based on parametric and non-parametric indicators of stability. Based on the results of GGEbiplot method and non-parametric and parametric methods, line D had the highest performance and stability.

Conclusion

Evaluating parametric and non-parametric methods and GGEbiplot method showed similar results and led to the selection of D line. In addition to stability, this line had a yield of 800 kg ha⁻¹ higher than Titicaca variety. The amount of seed saponin was half of that in Titicaca variety. Due to the stability and higher performance of this line, as well as the higher tolerance to salinity, this line was introduced and named as Sadoq variety. Also, in addition to the yield, thousand kernel weight and the amount of saponin were also affected by the environment.

Acknowledgments

This project has been carried out with the financial support of the Agricultural Research, Education and Promotion Organization. We appreciate all the provincial colleagues.

Keywords: Genotype × environment interaction, Quinoa, Salinity, Sadoq cultivar, Yield stability

سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش کینوا در شرایط شور

معصومه صالحی^{۱*}، فرهاد دهقانی^۱، یوسف هاشمی نژاد^۲، علیداد کرمی^۳، سردار کشتکار^۴

۱. مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد
۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد
۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز
۴. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پایداری عملکرد رقم صدوق شوری کینوا	به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و تعیین سازگاری و پایداری عملکرد دانه در لاین‌های کینوا، این مطالعه طی دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸) در ۵ منطقه (یزد، سبزوار، شیراز، بوشهر و ابرانشهر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ لاین و سه تکرار انجام شد. بعد از آزمون بارتلت تجزیه مرکب انجام شد و تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف پارامتریک و غیر پارامتریک انجام شد. علاوه بر عملکرد، وزن هزار دانه، سبزه دانه و میزان ساپونین نیز اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر متقابل سه‌جانبه سال، مکان و لاین بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ابرانشهر سال اول (۴۷۲ گرم در مترمربع) و سبزوار سال دوم (۹۹/۶ گرم در مترمربع) بود. در کلیه مناطق تیتیکاکا بیشترین ارتفاع کف (میزان ساپونین) را داشت و میزان ارتفاع کف لاین D نصف رقم تیتیکاکا بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به لاین D تعلق داشت. بر اساس میزان میانگین مجموع رتبه‌ها لاین D (۱/۴۴±۱/۰۹) بیشترین پایداری و لاین B کمترین پایداری را بر اساس شاخص‌های پارامتریک و غیر پارامتریک پایداری داشت. بر اساس نتایج روش GGEBiplot و روش‌های غیرپارامتریک و پارامتریک لاین D بیشترین عملکرد و پایداری را داشت. این لاین به نام رقم صدوق نام‌گذاری گردیده است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱	
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳	
۷۳۹-۷۵۵ (۴): ۱۷	

مقدمه

سلامت کفایت می‌کند (Graf et al., 2015). میزان بالای لیزین کینوا در با سایر غلات موجب برتری ارزش غذایی کینوا می‌گردد (Mota et al., 2016). علاوه بر آن کینوا تنها گیاهی است که می‌تواند کل اسیدهای آمینه ضروری بدن انسان را تأمین کند و میزان پروتئین دانه آن ۱۲/۵ تا ۱۴ درصد است (Cancino-Espinoza et al., 2018). کینوا دارای میزان بالایی ویتامین، ریوفلاوین، ویتامین B2 و آلفا توکفرول‌ها و ویتامین E است و برخلاف سایر غلات بدون

کینوا گیاه دولپه از خانواده آمارانتاسه است. گیاه بومی منطقه آند بوده و ۵۰۰۰ سال کشت می‌شده است. به دلیل ارزش غذایی بالای کینوا و توانایی رشد در شرایط اقلیمی متفاوت سازمان خواربار جهانی این گیاه را به‌عنوان یک گیاه پرتانسیل برای امنیت غذایی دنیا معرفی کرده است (Ruiz et al., 2014). میزان بالای لیزین نسبت به سایر غلات موجب برتری کینوا می‌گردد (Mota et al., 2016). مصرف روزانه ۴۰ گرم کینوا برای تأمین نیازهای ضروری بدن انسان و بهبود

ملی تحقیقات شوری آغاز گردید. در نهایت ۵ لاین برای ارزیابی سازگاری در اقلیم‌های مختلف کشور انتخاب گردیدند. کشت ارقام زودرس کینوا با تغییر تاریخ کاشت در اقلیم‌های مختلف کشور امکان‌پذیر است. به همین دلیل در هر منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی تاریخ کاشت مناسب تعیین شد.

۴ لاین برتر کینوا (NSRCQ8 (B), NSRCQ7 (C), Sadoq (D), NSRCQ9 (E) همراه با شاهد تیتیکاکا (T) در پنج منطقه یزد (مزرعه تحقیقات شوری صدوق مرکز ملی تحقیقات شوری)، سبزواری (ایستگاه تحقیقات سبزواری)، شیراز (خرامه)، بوشهر (اهرم) و ایرانشهر (بیمپور) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در طی دو سال ۹۸-۱۳۹۹ ارزیابی شدند. تاریخ کاشت در سبزواری ۱۵ مرداد با شوری آب آبیاری ۲/۸ و شوری عصاره اشباع خاک ۴/۵ دسی-زیمنس بر متر، یزد اول شهریور با شوری آب آبیاری ۱۲ و شوری عصاره اشباع خاک ۱۶/۴ دسی-زیمنس بر متر، شیراز ۲۰ مرداد و در سال دوم ۲۵ مرداد با شوری آب آبیاری ۱۱/۲ و شوری عصاره اشباع خاک ۸/۵ دسی-زیمنس بر متر و ایرانشهر ۱۵ آذرماه با شوری آب آبیاری ۲/۸ و شوری عصاره اشباع خاک ۹ دسی-زیمنس بر متر و بوشهر ۲۲ آبان و در سال دوم اول دی با شوری آب آبیاری ۶ و شوری عصاره اشباع خاک ۱۰ دسی-زیمنس بر متر و تاریخ کاشت سال اول گرگان اول اسفند بدون نیاز به آبیاری بود.

تاریخ برداشت در سبزواری ۸ آذر، یزد ۹ آذر، شیراز ۱۰ آذر، ایرانشهر ۱۰ فروردین و در بوشهر سال اول ۱۵ اسفند و در سال دوم ۱۰ فروردین و گرگان برداشت اواخر خردادماه انجام شد. ابعاد کرت‌ها ۵×۴ بود که بعد از حذف حاشیه برداشت انجام شد و عملکرد دانه اندازه‌گیری و ارتفاع کف که نشان‌دهنده درصد ساپونین است با استفاده از روش کوزیل (Koziol, 1991) انجام شد. به این منظور نیم گرم نمونه در لوله آزمایش ۱۶×۱۶ میلی‌متری ریخته و ۵ میلی‌متر آب مقطر اضافه گردید. به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت ۲۴۰ بار در دقیقه به صورت رفت و برگشتی تکان داده شد و بعد از نیم ساعت استراحت دو مرحله تکرار شد و ارتفاع کف نشان‌دهنده میزان ساپونین نمونه است. از آنجایی که کینوا دارای چند مدل گل است بذور با سایزهای مختلف تولید می‌کند به منظور بررسی درصد بذور در طبقه خیلی درشت (الک ۲ میلی‌متر)، درشت (الک ۱/۷ میلی‌متری)، متوسط (الک ۱/۴ میلی‌متری)

گلوتن است (Ruiz et al., 2014). به دلیل ارزش غذایی بالای کینوا برنامه‌های به نژادی متعددی در نقاط مختلف دنیا بر روی کینوا آغاز شد اهداف برنامه‌های به نژادی افزایش عملکرد، کاهش حساسیت به طول روز، افزایش سایز دانه، کاهش میزان ساپونین دانه، مقاومت به سفیدک و رنگ‌دانه بود (Böndel and Schmid, 2021). عملکرد کینوا در کشور پرو ۱۶۸۳ کیلوگرم در هکتار است. عملکرد دانه کینوا در کشور بسته به اقلیم و تاریخ کاشت از زیر یک تن تا ۵ تن در هکتار گزارش شده است و متوسط عملکرد در شرایط زارعین ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است که نزدیک به عملکرد کینوا در کشور مبدأ است (اطلاعات منتشر نشده). جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف اصلاحگران آزمایش‌های متعددی در محیط‌ها و مکان‌های مختلفی طراحی می‌کنند (Chokan, 2007). به منظور بررسی ارزیابی اثر ژنوتیپ و محیط دو گروه اصلی از روش‌های آماری وجود دارد. گروه اول روش پارامتریک مثل ضریب رگرسیون فانلی و ویلکسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، واریانس انحراف از رگرسیون آبراهام و راسل (Eberhart and Wricke, 1966)، شاخص اکواریانس ریک (Russell, 1966) این پارامترها برای پایداری ژنوتیپ‌ها (عملکرد، ارتفاع بوته، میزان روغن دانه) به شرایط محیطی (بارش، دما، تنش اسمزی و نوع خاک) استفاده می‌شود (Pour-Aboughadareh et al., 2019). گروه دوم آزمون‌های پایداری روش‌های غیر پارامتریک هستند (Huehn, 1990) و (Nassar and Huehn, 1987) (S1-6)، شاخص $NP^{(1-4)}$ (Thennarasu, 1995) و شاخص (Kang's rank-sum, (Kang, 1998) (KR) است. یکی از روش‌های نوین که در سال‌های اخیر ارائه شده است روش بای پلات بر اساس مدل‌های چند متغیره است. در روش GGEbiplot از منابع تغییرات لاین و برهمکنش لاین و محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل‌اعتمادی به دست آورد و بای پلات علاوه بر آن امکان تجزیه برهمکنش لاین و صفت را نیز دارد (Yan, 2001). هدف از این پژوهش گزینش لاین‌های پرمحصول و سازگار کینوا با کمک روش‌های پارامتریک و غیرپارامتریک است.

مواد و روش‌ها

با هدف گزینش و معرفی ارقام متحمل به تنش شوری، زودرس، افزایش عملکرد و سازگاری برنامه به نژادی در مرکز

وریز (الک ۱/۲ میلی متری) و بسیار ریز (افت محصول) (کمتر از ۱/۲ میلی متری) از دستگاه الک شیکر استفاده شد. نتایج گرگان به دلیل یکساله بودن در تجزیه مرکب استفاده نشد ولی در تجزیه پایداری استفاده گردید. در ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسپیرنوف با استفاده از نرم افزار SPSS ver 16 مورد بررسی قرار گرفت. آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام و سپس تجزیه آماری با نرم افزار SAS انجام گردید. به منظور تجزیه آماری لاین به عنوان فاکتور ثابت و سال و مکان به عنوان فاکتور تصادفی تعریف شد و آزمون F با توجه به امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات انجام شد. با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در سال و مکان تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف پارامتریک و غیر پارامتریک با نرم افزار Stabilitysoft انجام شد (Pour-Aboughadareh et al., 2019).

نتایج و بحث

داده‌های هواشناسی نشان داد که در بیشترین میزان بارندگی در طول فصل رشد کینوا در بوشهر و سپس ایران شهر بود

(جدول ۱). تاریخ کاشت در فلات مرکزی (یزد، شیراز و سبزووار) بر اساس دما روزانه تعیین می‌شود به صورتی که دمای مناسب در طول دوره گلدهی و پر شدن دانه اتفاق بیفتد. در بوشهر و ایران شهر که به صورت محصول زمستانه کشت می‌شود، دما در طول زمستان در بوشهر بالاتر از ایران شهر ولی دمای دوره گلدهی و پر شدن دانه مشابه بود. تجزیه واریانس ساده بین محیط‌ها نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها در بوشهر سال دوم (E1)، ایران شهر سال دوم (E3)، سبزووار سال اول (E4) و یزد سال دوم (E9) معنی دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین لاین‌ها در محیط‌های مختلف نشان داد که لاین D بیشترین عملکرد دانه را در کلیه محیط‌ها داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین بین محیط‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (بالای ۴۰۰ کیلوگرم در مترمربع) مربوط به بوشهر سال دوم (E1)، ایران شهر سال اول (E2) و یزد سال دوم (E9) بود. کمترین عملکرد دانه (۹۹ گرم در مترمربع) در سبزووار سال دوم (E5) مشاهده شد باین حال لاین D توانسته بیشترین عملکرد دانه را داشته باشد و میزان کاهش در آن ۴۰ درصد در مقایسه با تیتیکا که میزان کاهش ۷۸ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی و میزان بارندگی در مناطق (شیراز، بوشهر، سبزووار، یزد و ایران شهر)

Table 1. Meteorological data and rainfall in the regions (Shiraz, Busher, Sabzevar, Yazd and Iranshahr)

Month	ماه	Location / محل					
		Bushehr / بوشهر		Sabzevar / سبزووار		Shiraz / شیراز	
		میانگین دما	میانگین دمای حداکثر	میانگین دما	میانگین دمای حداکثر	میانگین دما	میانگین دمای حداکثر
Mean Tem	Mean Max Tem.	Mean Tem	Mean Max Tem.	Mean Tem	Mean Max Tem.		
21 March-21 April	فروردین	23.7	29.5	18.4	19.5	18.5	22.1
21 April- 21 May	اردیبهشت	28.1	34.2	22.6	30.4	21.9	29.9
22 May-21 June	خرداد	31.0	37.7	27.4	33.0	28.1	33.5
22 June- 22 July	تیر	33.7	38.3	31.6	36.4	31.3	35.6
23 July- 22 Aug	مرداد	35.1	36.9	29.8	38.3	29.0	38.2
23 Aug- 22 Sep	شهریور	33.7	34.5	25.7	33.9	26.1	35.0
23 Sep- 22 Oct	مهر	30.0	31.5	22.1	28.8	21.4	28.0
23 Oct- 21 Nov	آبان	26.0	27.5	13.2	24.8	15.4	25.4
22 Nov-21 Dec	آذر	21.1	23.7	8.9	17.6	11.0	20.8
22 Dec- 20 Jan	دی	16.5	19.6	6.2	11.4	6.4	14.2
21 Jan-19 Feb	بهمن	16.3	19.0	6.1	10.9	7.9	11.9
20 Feb- 20 March	اسفند	20.4	25.0	12.7	15.3	14.2	19.2
Rainfall During growing season (mm)		144		0		0	
بارندگی در طول فصل رشد		144		0		0	

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

Month	ماه	Location محل			
		Bushehr بوشهر		Iranshahr ایرانشهر	
		میانگین دما Mean Tem	میانگین دمای حداکثر Mean Max Tem.	میانگین دما Mean Tem	میانگین دمای حداکثر Mean Max Tem.
21 March-21 April	فروردین	23.7	29.5	29.7	27.5
21 April- 21 May	اردیبهشت	28.1	34.2	33.8	34.5
22 May-21 June	خرداد	31.0	37.7	37.1	37.5
22 June- 22 July	تیر	33.7	38.3	37.0	35.5
23 July- 22 Aug	مرداد	35.1	36.9	36.2	37.5
23 Aug- 22 Sep	شهریور	33.7	34.5	''	40.0
23 Sep- 22 Oct	مهر	30.0	31.5	30.5	36.5
23 Oct- 21 Nov	آبان	26.0	27.5	25.9	32.5
22 Nov-21 Dec	آذر	21.1	23.7	18.7	25.5
22 Dec- 20 Jan	دی	16.5	19.6	17.0	15.5
21 Jan-19 Feb	بهمن	16.3	19.0	17.5	15.5
20 Feb- 20 March	اسفند	20.4	25.0	24.7	21.5
Rainfall during growing season (mm) بارندگی در طول فصل رشد		144		50	

جدول ۲. تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه لاین‌های کینوا در محیط‌های مختلف

Table 2. Analysis variance of quinoa lines seed yield in different environments

S.O.V	df	بوشهر	ایرانشهر	سبزوار	شیراز	یزد	بوشهر				
		Bushehr	Iranshar	Sabzevar	Shiraz	Yazd	Bushehr				
منابع تغییر	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال اول				
	year2	year1	year 2	year 1	year 2	year 1	year 2				
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7				
	E8	E9	E10								
تیمار	4	21831 ^{ns}	3681.3*	2385.3 ^{ns}	4972.2 ^{ns}	14243**	7368**	873**	65244**	11912 ^{ns}	29650**
بلوک	2	6954.4 ^{ns}	14313 ^{ns}	17.37 ^{ns}	7709.3*	1261.0 ^{ns}	34.5 ^{ns}	1071 ^{ns}	337.2 ^{ns}	48229*	751.04 ^{ns}
اشتباه	8	8332.6	7158	1494.4	1335.2	594.1	260.4	1129	3964.1	4921.3	5231.3
CV%		21.2	17.9	11.8	11.1	24.4	6.7	16.6	21.4	16.7	25.5

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**، * and ns significant in the 1 and 5 percent and non significant, respectively.

نشان می‌دهد واکنش لاین‌ها در سال‌های مختلف برای آن صفات یکسان بوده است (Acikgoz et al., 2009). اثر متقابل مکان در لاین بر عملکرد دانه و سایر صفات به‌جز اندازه بذور متوسط معنی‌دار بوده است. اثر سه‌جانبه لاین، مکان و سال بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود که نشان می‌دهد نوساناتی در ترتیب ژنوتیپ‌ها در هر یک از ترکیبات سال و مکان وجود داشته و بین لاین‌ها از محیطی به محیط دیگر تفاوت وجود دارد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر سه‌جانبه تجزیه واریانس و مقایسه میانگین کافی نبوده و نیاز است تجزیه پایداری انجام شود.

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر مکان بر کلیه صفات به‌غیر از اندازه بذور متوسط معنی‌دار است و اثر سال بر وزن هزار دانه، سایز بذور معنی‌دار بود و بر میزان ساپونین، سایز بذر متوسط و عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). بین لاین‌ها در کلیه صفات به‌جز صفت ارتفاع کف و سایز بذر متوسط اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل مکان در سال بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود که نشان می‌دهد که اثر سال‌ها بر روی مکان‌ها از سالی به سال دیگر متفاوت است. اثر متقابل سال در لاین به‌جز بر روی ارتفاع کف و سایز بذر متوسط بر سایر صفات معنی‌دار نبوده که

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین های کینوا در محیط های مختلف

Table 3. Mean comparison of quinoa lines seed yield in different environments.

لاین ها	بوشهر سال دوم	ایران شهر سال اول	ایران شهر سال دوم	سبزوار سال اول	سبزوار سال دوم
Lines	Bushehr year2	Iranshar year1	Iranshahr year 2	Sabzevar year 1	Sabzevar year 2
	E1	E2	E3	E4	E5
B	444.62 ^{ab}	390.67 ^{bc}	346.29 ^{ab}	372.02 ^a	95.69 ^b
C	286.37 ^b	519.63 ^{ab}	287.33 ^b	333.34 ^{ab}	93.46 ^b
D	506.45 ^a	615.27 ^a	361.25 ^a	358.63 ^a	214.58 ^a
E	479.19 ^a	334.92 ^c	325.02 ^{ab}	311.01 ^{ab}	36.56 ^c
T	431.4 ^{ab}	503.03 ^{ab}	319.19 ^{ab}	269.35 ^b	57.86 ^{bc}
Mean	429.60 A	472.70 A	327.82 B	328.87 B	99.63 E

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

لاین ها	شیراز سال اول	شیراز سال دوم	یزد سال اول	یزد سال دوم	بوشهر سال اول
Lines	Shiraz year 1	Shiraz year 2	Yazd year 1	Yazd year 2	Bushehr year 1
	E6	E7	E8	E9	E10
B	160.35 ^c	139.32 ^c	83.87 ^c	438.06 ^{ab}	355.7 ^a
C	275.16 ^a	224.59 ^a	221.47 ^b	492.85 ^a	256.2 ^{ab}
D	278.0 ^a	272.71 ^a	437.89 ^a	399.98 ^{ab}	357.7 ^a
E	222.85 ^b	158.53 ^{bc}	303.75 ^b	441.61 ^{ab}	324.1 ^a
T	262.52 ^a	218.58 ^{ab}	423.53 ^a	323.12 ^b	120.9 ^b
Mean	239.77 CD	202.75 D	294.1 BC	419.12 A	282.94 BC

حروف بزرگ مقایسه میانگین بین محیط ها و حروف کوچک مقایسه میانگین بین لاین ها در هر محیط است. حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است.

Capital letters for mean comparison among environments and small letters for mean comparison among lines in each environment. Same letters in each column indicate no significant difference.

جدول ۴. نتایج تجزیه مرکب صفات مورد بررسی کینوا در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸) در ۵ مکان (ایران شهر، یزد، سبزوار، بوشهر و شیراز)

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	بذر بسیار درشت	بذر درشت	بذر متوسط	بذر ریز	ارتفاع کف
S.O.V	df	Seed yield	Thousand kernel weight	Extra Large seed	Large seed	Medium seed	Small seed	Foam height
Location (A)	4	2121271**	2.16**	0.21**	17.88**	1.17 ^{ns}	12.87**	13.9**
Year (Y)	1	29176 ^{ns}	0.095*	0.31**	1.74*	0.33 ^{ns}	10.88**	0.29 ^{ns}
Year×Location	4	202812**	0.16*	0.7**	27.55**	9.34**	2.44**	31.6**
Error 1	20	8239	0.04	0.001	0.29	0.54	0.10	1.05
Line (L)	4	47674**	0.98**	0.03**	33.59**	6.06 ^{ns}	9.52**	6.63 ^{ns}
L×A	16	14610**	0.08 ^{ns}	0.045**	1.02**	1.55 ^{ns}	0.87**	3.75**
L×Y	4	7737 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.007**	0.31 ^{ns}	1.84 ^{ns}	0.24 ^{ns}	5.14**
L×A×Y	16	22232**	0.12**	0.05**	1.34**	1.23**	0.44**	1.18**
Error 2	80	3442	0.05	0.0004	0.21	0.63	0.11	0.29
CV%		18.9	8.7	13.9	17.9	14.9	22.1	16.8

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۱، ۵ و غیر معنی دار می باشد.

**، * and ns significant in the 1 and 5 percent and non significant, respectively.

لاین 44 D درصد بذور در طبقه درشت قرار گرفتند و درصد افت بذور ۳ درصد بود. ارتفاع کف که نشان دهنده میزان ساپونین موجود بر روی پوسته بذر است در تیتیکاکا دو برابر

نتایج مقایسه عملکرد دانه تیمارهای مورد آزمایش نشان داد؛ در ایران شهر لاین D با عملکرد ۴۸۸ گرم در مترمربع برتر بود ولی تفاوت معنی داری با تیتیکاکا نداشت (جدول ۵). در

ویژگی‌ها در دانه‌های متوسط برای مصارف صنعتی، آرد، غذاهای کودک، ژله‌ها و پودینگ‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. در این راستا، دانه‌بندی اندازه دانه بسیار مهم است و باید مورد توجه شرکت‌های فعال در زمینه کینوا نیز قرار گیرد.

در سبزواری بیشترین عملکرد دانه و وزن هزار دانه مربوط به لاین D (۲۸۶ گرم در مترمربع) با وزن هزار دانه ۲/۹۸ گرم بود (جدول ۶). در لاین D، ۴۸ درصد بذور در طبقه درشت قرار می‌گیرد. در مقایسه با تیتیکاکا ۲۸ درصد در این طبقه قرار گرفتند (جدول ۶). درصد افت در لاین D، ۸ درصد و در تیتیکاکا ۱۲ درصد بود. از لحاظ درصد ساپونین اختلافی بین لاین D و تیتیکاکا مشاهده نشد.

در شیراز بیشترین عملکرد دانه مربوط به لاین D (۲۷۵ گرم در مترمربع) با وزن هزار دانه ۲/۵ گرم بود. درصد بذور درشت آن در حد تیتیکاکا بود ولی ساپونین نصف رقم تیتیکاکا بود (جدول ۷).

لاین D بود. صالحی و پورداد (Salehi and Pourdad, 2021) بیان کردند که صفت وزن هزار دانه رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه کینوا دارد. اطلاعات مربوط به سایز کینوا در مصرف آن در صنایع غذایی اهمیت زیادی دارد. دانه‌های کینوا درشت نسبت به اندازه‌های کوچک‌تر دارای محتوای نشاسته بالاتری هستند. نسبت جوانه به آندوسپرم در دانه‌های بزرگ‌تر کمتر است (Alcocer et al., 2017). نشاسته اساساً از آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است. دانه‌های درشت محتوای آمیلوز بیشتری دارند. آمیلوز محلول در آب نیست و این خاصیت باعث می‌شود دانه‌های کینوا پس از پختن شل باقی بمانند که باعث می‌شود برای مصارف خوراکی بسیار مورد توجه قرار گیرند (Dendy and Dobraszczyk, 2004). در غلات با اندازه متوسط، محتوای نشاسته کمتر است. نسبت جوانه (که حاوی چربی و پروتئین است) به آندوسپرم (که حاوی نشاسته است) نسبتاً پایین است و محتوای آمیلوپکتین بالاست (Liu et al., 2022). این

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین‌های کینوا در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹) در ایرانشهر با روش برش دهی فیزیکی برای مکان
Table 5. Mean comparison of seed yield of quinoa lines in two years (2019-2020) in Iranshahr with physical cutting method for location

لاین	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	بذر بسیار درشت	بذر درشت	بذر متوسط	بذر ریز	ارتفاع کف ساپونین
Line	Seed Yield	Thousand kernel weight	Extra Large seed	Large seed	Medium seed	Small seed	Foam height
	g.m ⁻²	g	-----%-----				cm
B	368.5 ^{ab}	2.41 ^b	0.5 ^a	10.6 ^b	65.2 ^a	8.9 ^a	1.6 ^b
C	403.5 ^{ab}	2.70 ^b	0.3 ^a	28.6 ^{ab}	61.0 ^a	5.7 ^{ab}	1.4 ^b
D	488.3 ^a	2.60 ^b	1.0 ^a	43.0 ^a	44.6 ^b	3.5 ^b	2.2 ^b
E	329.9 ^b	3.04 ^a	0.9 ^a	31.4 ^a	53.3 ^{ab}	8.5 ^a	2.5 ^b
T	411.1 ^{ab}	3.03 ^a	1.6 ^a	35.8 ^a	50.0 ^{ab}	4.9 ^b	4.4 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است. Same letters in each column indicate no significant difference.

جدول ۶. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین‌های کینوا در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹) در سبزواری با روش برش دهی فیزیکی برای مکان
Table 6. Mean comparison of seed yield of quinoa lines in two years (2019-2020) in Sabzevar with physical cutting method for location

لاین	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	بذر بسیار درشت	بذر درشت	بذر متوسط	بذر ریز	ارتفاع کف ساپونین
Line	Seed Yield	Thousand kernel weight	Extra Large seed	Large seed	Medium seed	Small seed	Foam height
	g.m ⁻²	g	-----%-----				cm
B	233.9 ^a	2.41 ^b	5.3 ^a	9.3 ^c	48.6 ^{ab}	26.8 ^a	4.3 ^a
C	213.4 ^a	2.64 ^{ab}	1.2 ^b	16.9 ^{bc}	59.8 ^a	20.3 ^{ab}	3.6 ^a
D	286.6 ^a	2.98 ^a	2.6 ^{ab}	46.0 ^a	40.9 ^b	8.3 ^c	4.0 ^a
E	173.8 ^a	2.76 ^{ab}	2.1 ^{ab}	27.8 ^b	50.7 ^{ab}	16.4 ^{bc}	4.3 ^a
T	163.6 ^a	2.80 ^a	3.6 ^{ab}	25.8 ^b	55.9 ^a	12.6 ^{bc}	3.7 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است. Same letters in each column indicate no significant difference.

نتایج مقایسه میانگین صفات در بوشهر نشان داد که لاین D با عملکرد ۴۳۲ گرم در مترمربع بیشترین عملکرد دانه را داشت. درحالی که عملکرد دانه تیتیکاکا ۲۷۶ گرم در مترمربع بود (جدول ۹). حدود ۴۶ درصد بذور در طبقه درشت قرار گرفتند درحالی که در تیتیکاکا ۴۰ درصد در طبقه درشت قرار داشتند. میزان ساپونین لاین D کمتر از تیتیکاکا بود.

در یزد بالاترین عملکرد دانه مربوط به لاین D (۴۱۹ گرم در مترمربع) بود در حالی که عملکرد دانه رقم تیتیکاکا ۳۷۳ گرم در مترمربع بود. در لاین D، ۳۷ درصد بذور در طبقه درشت قرار گرفتند و در حالی که در تیتیکاکا ۳۰ درصد بذور در این طبقه قرار داشتند و میزان ساپونین موجود در لاین D یک سوم میزان ساپونین موجود در تیتیکاکا بود (جدول ۸).

جدول ۷. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین های کینوا در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹) در شیراز با روش برش دهی فیزیکی برای مکان

Table 7. Mean comparison of seed yield of quinoa lines in two years (2019-2020) in Shiraz with physical cutting method for location

لاین	عملکرددانه Seed Yield	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	بذر بسیار درشت Extra Large seed	بذر درشت Large seed	بذر متوسط Medium seed	بذر ریز Small seed	ارتفاع کف ساپونین Foam height
Line	g.m ⁻²	g	% -----				cm
B	149.8 ^a	2.07 ^b	0.3 ^b	5.9 ^b	53.1 ^a	33.4 ^a	4.6 ^a
C	249.9 ^b	2.40 ^a	1.6 ^a	9.8 ^b	60.3 ^a	23.4 ^b	3.3 ^a
D	275.4 ^a	2.57 ^a	0.9 ^{ab}	22.4 ^a	55.7 ^a	15.4 ^b	2.7 ^a
E	190.7 ^c	2.48 ^a	1.2 ^b	15.2 ^{ab}	51.1 ^a	20.9 ^b	3.7 ^a
T	240.6 ^a	2.52 ^a	1.6 ^a	21.2 ^a	56.7 ^a	14.6 ^b	3.4 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است. Same letters in each column indicate no significant difference.

جدول ۸. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین های کینوا در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹) در یزد با روش برش دهی فیزیکی برای مکان

Table 8. Mean comparison of seed yield of quinoa lines in two years (2019-2020) in Yazd with physical cutting method for location

لاین	عملکرد دانه Seed Yield	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	بذر بسیار درشت Extra Large seed	بذر درشت Large seed	بذر متوسط Medium seed	بذر ریز Small seed	ارتفاع کف ساپونین Foam height
Line	g.m ⁻²	g	% -----				cm
B	261.0 ^a	1.94 ^b	0.7 ^a	6.4 ^c	51.0 ^a	35.1 ^a	3.5 ^{ab}
C	357.2 ^{ab}	2.15 ^{ab}	2.2 ^a	18.4 ^{bc}	57.9 ^a	17.6 ^{bc}	3.7 ^{ab}
D	418.9 ^a	2.18 ^{ab}	1.8 ^a	35.4 ^a	47.7 ^a	12.1 ^c	1.3 ^c
E	327.7 ^{ab}	2.33 ^a	1.6 ^a	19.6 ^{bc}	55.5 ^a	20.7 ^b	2.7 ^b
T	373.3 ^{ab}	2.31 ^{ab}	1.8 ^a	28.5 ^{ab}	55.4 ^a	10.9 ^c	4.3 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است. Same letters in each column indicate no significant difference.

جدول ۹. مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین های کینوا در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹) در بوشهر با روش برش دهی فیزیکی برای مکان

Table 9. Mean comparison of seed yield of quinoa lines in two years (2019-2020) in Yazd with physical cutting method for location

لاین	عملکرددانه Seed Yield	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	بذر بسیار درشت Extra Large seed	بذر درشت Large seed	بذر متوسط Medium seed	بذر ریز Small seed	ارتفاع کف ساپونین Foam height
Line	g m ⁻²	g	% -----				cm
B	400.1 ^{ab}	2.61 ^b	1.3 ^a	19.5 ^c	63.0 ^a	12.4 ^a	3.5 ^a
C	271.2 ^b	2.61 ^b	0.6 ^a	28.2 ^{bc}	53.5 ^{ab}	13.0 ^a	2.7 ^a
D	432.1 ^a	2.98 ^a	1.0 ^a	45.4 ^a	45.3 ^b	6.6 ^b	2.0 ^a
E	401.6 ^a	2.93 ^a	0.9 ^a	43.5 ^a	45.9 ^b	7.4 ^b	2.3 ^a
T	276.1 ^b	2.90 ^a	1.9 ^a	39.1 ^{ab}	48.1 ^b	7.8 ^b	3.0 ^a

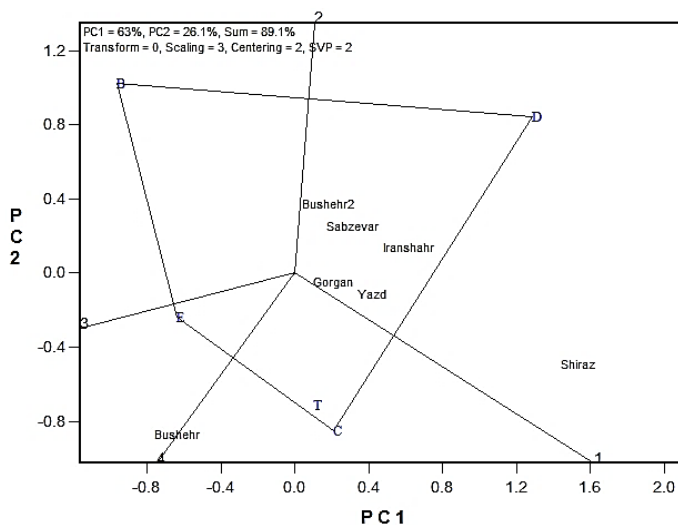
حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است. Same letters in each column indicate no significant difference.

موجب سنتز بیشتر ساپونین است (سبزوار، شیراز و یزد). البته نیاز است تأثیر دما و طول روز بر میزان ساپونین در شرایط کنترل‌شده بررسی گردند.

تجزیه پایداری مهم‌ترین روش ارزیابی برهمکنش لاین و محیط است و با استفاده از آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار عمومی و خصوصی آن‌ها را شناسایی کرد. یکی از روش‌های نوین که در سال‌های اخیر ارائه شده است روش بای پلات بر اساس مدل‌های چند متغیره است. در روش GGEbiplot از منابع تغییرات لاین و برهمکنش لاین و محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل‌اعتمادی به دست آورد و بای پلات علاوه بر آن امکان تجزیه برهمکنش لاین و صفت را نیز دارد (Yan et al., 2001). در این مطالعات به منظور بررسی سازگاری لاین‌ها به محیط‌های مختلف، تجزیه پایداری با نرم‌افزار GGEbiplot انجام شد. در شکل ۱ لاین D در رأس چندضلعی قرار گرفته و سازگاری خصوصی بالایی با کلیه محیط‌ها به جز بوشهر در سال اول نشان داد و میزان سازگاری آن با این محیط‌ها بیشتر از رقم تیتیکاکا بود (شکل ۱).

در کلیه مکان‌ها رقم تیتیکاکا (T) بیشترین ارتفاع کف را داشت. در اغلب گیاهان بیوسنتز ساپونین توسط جاسمونات انجام می‌شود و میزان بیوسنتز ساپونین تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و سرما افزایش می‌یابد (Fiallos-Jurado et al., 2016). ساپونین تری ترپینوئید یک متابولیت ثانویه است که در گیاهان دولپه دیده می‌شود تا کنون ۲۰ نوع مختلف ساپونین در کینوا شناخته شده است (Van Loo et al., 2016). میزان بالای ساپونین در بذر کینوا موجب ایجاد مزه تلخ شده و برای مصرف انسان مناسب نیست (Abugoch James, 2009).

میزان تجمع ساپونین در کینوا ۲۴ روز بعد از گرده‌افشانی به حداکثر می‌رسد و عوامل مختلفی در طول این مدت موجب بیان ژن سنتز ساپونین می‌شود ولی میزان آن فقط به وسیله یک ژن کنترل می‌شود (Jarvis et al., 2017). در بین محیط‌های مورد بررسی در محیط‌هایی که در انتهای فصل رشد دما بالاتر است (بوشهر و ایرانشهر) میزان تجمع ساپونین کمتر است. به نظر می‌رسد دمای پایین در طول این دوره



شکل ۱. نمودار چندضلعی GGEbiplot برای گروه‌بندی محیط (یزد، شیراز، ایرانشهر، گرگان، سبزوار، بوشهر سال اول (Bushehr) و بوشهر سال دوم (Bushehr 2))

Fig. 1. GGEbiplot polygonal diagram for environmental grouping (Yazd, Shiraz, Iranshahr, Gorgan, Sabzevar, Bushehr first year (Bushehr) and Bushehr second year (Bushehr 2))

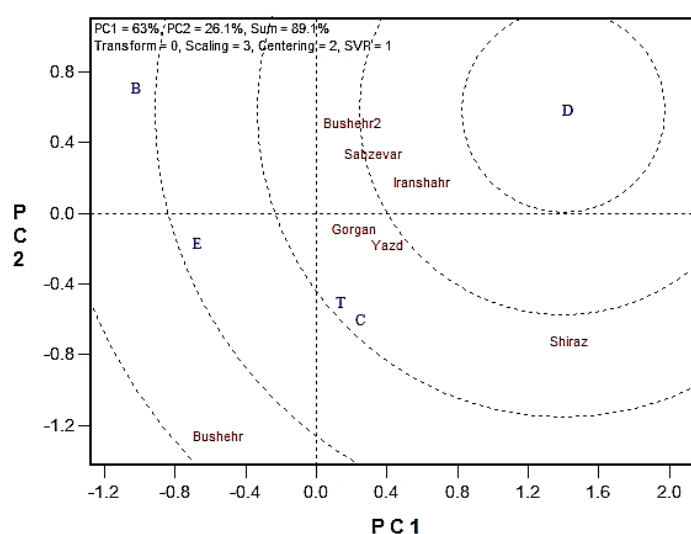
های همبستگی بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. هرچه زاویه کوچک‌تر، همبستگی بین دو محیط بیشتر خواهد بود. نتایج تجزیه نشان داد داده‌های حاصل از این محیط‌ها برای لاین-های بررسی شده یکسان است و در سال‌های آینده می‌توان محیط‌های مورد مطالعه را محدود کرد. زاویه بیشتر از ۹۰ درجه نشان‌دهنده عدم همبستگی معنی‌دار بین دو محیط

لاین D در کلیه محیط‌ها دارای عملکرد بالایی بود در صورتی که این لاین به‌عنوان یک لاین ایده‌آل در مرکز دایره قرار گیرد سایر لاین‌ها از این لاین فاصله زیادی دارند (شکل ۲).

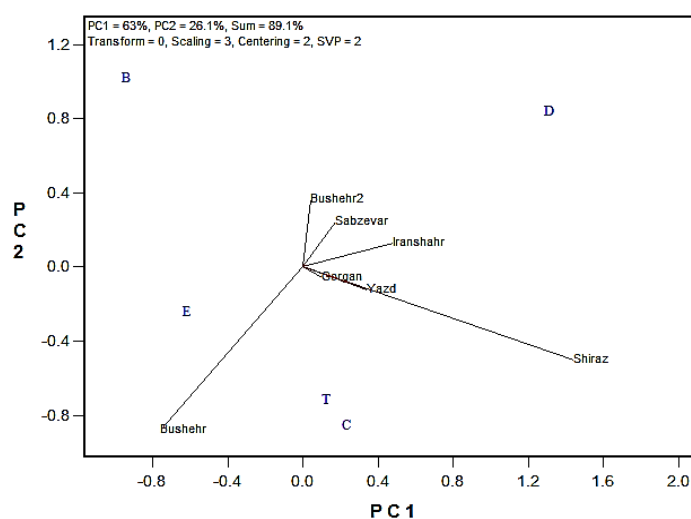
برای بررسی رابطه بین محیط‌ها، بردار از مبدأ بای پلات رسم گردید و کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط،

خدارحمی و همکاران (Khodarahmi et al., 2021) از این روش برای جدا کردن محیطها استفاده کردند. نمودار شکل ۴ دارای دو محور افقی و عمودی برای هر مکان است. هرچه لاینها به نوک پیکان نزدیکتر باشند و فاصله کمتری از محور داشته باشند بیشترین عملکرد و پایداری را دارند. در ایرانشهر، شیراز، سبزووار و یزد لاین D بیشترین عملکرد و پایداری را داشت. در بوشهر (سال دوم) لاین B و D دارای پایداری و عملکرد بیشتر بود (شکل ۴). پایداری لاین D در ایرانشهر بیشتر از سایر مکانها بود. در گرگان همچنان تیتیکاکا برتر از لاین D بود.

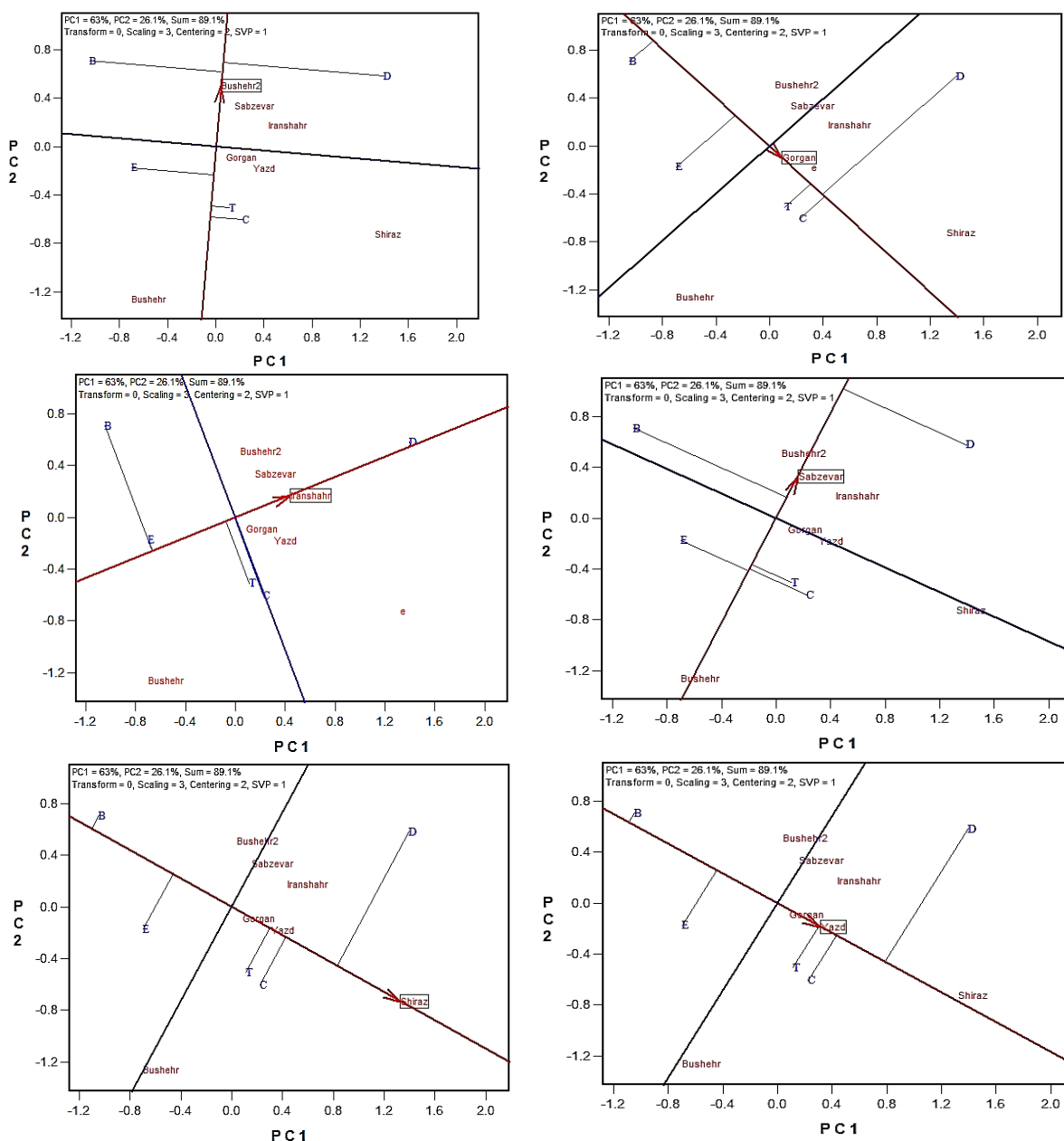
است (Jafari and Farshadfar, 2018). بیشترین همبستگی بین دو محیط یزد و شیراز مشاهده شد. کلیه محیطها به جز بوشهر سال اول همبستگی داشتند و لاین D در کلیه این محیطها عملکرد بالاتری داشت. طول بردار هر محیط نشاندهنده قدرت تمایز محیط برای لاینها موردبررسی است. در محیطهای موردبررسی بیشترین قدرت تمایز در بوشهر (سال اول) و شیراز و کمترین در گرگان مشاهده شد. قدرت تمایز در سایر محیطها مشابه بود (شکل ۳).



شکل ۲. بای پلات برای مقایسه لاینها با لاین ایده آل (لاین D)
 Fig. 2. Biplot to compare the lines with the ideal line (line D)



شکل ۳. بای پلات بررسی بین محیطها (یزد، شیراز، ایرانشهر، گرگان، سبزووار، بوشهر سال اول (Bushehr) و بوشهر سال دوم (Bushehr2))
 Fig. 3. Bi-plot to investigate between environments Yazd, Shiraz, Iranshahr, Gorgan, Sabzevar, Bushehr first year (Bushehr) and Bushehr second year (Bushehr 2)



شکل ۴. گزینش همزمان پایداری و عملکرد دانه لاین‌ها در مکان‌ها (بوشهر (a)، گرگان (b)، ایرانشهر (c)، سبزوار (d)، شیراز (e) و یزد (f)).
Fig. 4. Simultaneous selection of stability and performance of grain lines in different locations. Bushehr (a), Gorgan (b), Iranshahr (c), Sabzevar (d), Shiraz (e) and Yazd (f)

را دارد و لاین D کمترین میزان را داشت (۰/۹). شاخص ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966) (s^2d_i) نشان داد لاین D در رتبه ۱ قرار داشت. لاین D بر اساس شاخص شوکا (Shukla, 1972) (σ^2_i) در رتبه ۱ قرار گرفته است. روستایی و همکاران (Roustaie et al., 1996) بیان کردند که معیار اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکا برای انتخاب ارقام پرمحصول و پایدار جو در دیم‌زارهای کشور مناسب است. تأکید این دو روش بر بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط استوار است به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام

روش‌های پارامتریک و غیر پارامتریک برای ارزیابی پایداری مورد استفاده قرار می‌گیرند بر اساس روش‌های پارامتریک لاین D بر اساس شاخص (θ_i) (Plaisted and Peterson, 1959) در رتبه اول بود. بر اساس شاخص $(\theta_{(i)})$ هرچه عدد بیشتر پایداری بیشتر است لاین D در رتبه ۵ قرار گرفت (جدول ۱۱). بر اساس شاخص ریک (Wricke, 1962) (W_i^2) لاین D در رتبه ۱ بود. بر اساس شاخص فینلی و ویلکسون (Finlay and Wilkinson, 1963) (b_i) هر چه عدد کمتر از یک باشد کمترین حساسیت به تغییرات محیطی

بر اساس شاخص‌های غیر پارامتریک (Huhn's, 1990) و (Nasser and Huhn's, 1987) لاین D رتبه ۱ را داشت. بر اساس شاخص (NP⁽¹⁻⁴⁾) (Thennarasu, 1995) این رقم رتبه ۲ را داشت. آماره پایداری مجموع رتبه (KR) به‌عنوان معیار دیگری جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها توسط کانگ (Kang, 1988) ارائه شده است. بر اساس آماره ژنوتیپ با کمترین مقدار به‌عنوان پایدارترین انتخاب می‌گردد. کمترین مقدار آن در لاین D (۲) و بیشترین مقدار آن در لاین B (۶) مشاهده شد (جدول ۱۰). صباغ نیا و همکاران (Sabaghnia et al., 2013) مجموع رتبه کانگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش غیرپارامتری در تعیین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا و پایدار عدس معرفی کردند. روستایی و همکاران (Roustaie et al., 2003) نیز اعلام کردند که روش مجموع رتبه در شرایط دیم بهتر از سایر روش‌ها در گزینش ارقام پرمحصول و پایدار به نژادگران را یاری می‌کند.

پایدار و پرمحصول می‌شوند و از آن برای گزینش ارقام در شرایط دیم مورد استفاده قرار داد.

شاخص فرنکوویسی و کانبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) ضریب تغییرات (CVi) هر ژنوتیپ در محیط‌ها را برای تعیین میزان پایداری ارقام معرفی کردند و ژنوتیپ‌های بالاتر از میانگین و ضریب تغییرات کمتر را به‌عنوان رقم با عملکرد پایدار تشخیص دادند. این شاخص بر اساس کمترین ضریب تغییرات، کمترین واریانس محیطی و میانگین بالای عملکرد است. بر اساس این شاخص برترین ژنوتیپ، لاین D بود. سوقی و همکاران (Soughi et al., 2009) و واعظی و احمدی (Vaezi and Ahmadi, 2010) از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کردند و بیان نمودند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک هستند و به دلیل وراثت پذیر بودن می‌توانند به‌عنوان معیار مناسب برای انتخاب ارقام پایدار استفاده شوند.

جدول ۱۰. روش‌های پارامتریک و غیر پارامتریک تجزیه پایداری برای عملکرد دانه (گرم در مترمربع) برای ۵ لاین کینوا در ۱۰ محیط (یزد، ابرانشهر، سبزوار، شیراز در طی دو سال (۱۳۹۸-۹۹) و گرگان ۹۶-۱۳۹۵ و بوشهر سال ۱۳۹۹).

Table 10. Parametric and non-parametric methods of stability analysis for grain yield (g m⁻²) for five quinoa lines in ten environments (Yazd, Iranshahr, Sabzevar, Shiraz during two years (2019-2020) and Gorgan 2016-2017 and Bushehr in 2019).

لاین Lines	عملکرد دانه Seed Yield (g m ⁻²)	S ⁽¹⁾	Z ₁	S ⁽²⁾	Z ₂	S ⁽³⁾	S ⁽⁶⁾	NP ⁽¹⁾	NP ⁽²⁾	NP ⁽³⁾	NP ⁽⁴⁾
B	258.13	1.69	0.11	2.04	0.01	7.08	4.62	1.30	0.56	0.56	0.65
C	283.68	1.73	0.25	2.18	0.09	7.00	4.43	1.30	0.43	0.51	0.62
D	361.24	1.02	4.65	1.16	1.93	2.36	1.91	1.20	0.40	0.32	0.23
E	282.02	1.58	0.01	1.79	0.12	5.96	4.07	1.10	0.44	0.54	0.58
T	300.28	1.27	1.55	1.17	1.88	4.20	3.60	1.10	0.36	0.52	0.51

Table 10. Continued

جدول ۱۰. ادامه

لاین Lines	عملکرد دانه Seed Yield (g m ⁻²)	W _i ²	W _i ² (%)	σ _i ²	s ² d _i	b _i	CV _i	θ _(i)	θ _i	KR
B	258.13	51277	28.69	7840	7204	1.08	58.85	4246	6870	10
C	283.68	37572	21.02	5302	5359	1.02	49.62	4880	5919	7
D	361.24	26815	15.00	3310	3829	0.99	36.88	5378	5172	2
E	282.02	28866	16.15	3690	4102	0.97	46.53	5283	5314	6
T	300.28	34207	19.14	4679	4820	0.94	43.48	5036	5685	5

θ_i = mean variance component; θ_(i) = GE variance component; W_i² = Wricke's ecovalence stability index; W_i² (%) = Wricke's ecovalence stability index percent; b_i = regression coefficient; S²d_i = deviation from regression; σ_i² = Shukla's stability variance; CV_i = environmental coefficient of variance; S⁽¹⁾ and S⁽²⁾ = Nasser and Huhn's non-parametric statistics; S⁽³⁾ and S⁽⁶⁾ = Huhn's non-parametric statistics; NP⁽¹⁻⁴⁾ = Thennarasu's non-parametric statistics; KR = Kang's rank-sum; Y = yield.

را بر اساس شاخص‌های پارامتریک و غیر پارامتریک پایداری داشت (جدول ۱۱). بر اساس نتایج روش GGEbiplot و

بر اساس میزان میانگین مجموع رتبه‌ها لاین D بیشترین پایداری و لاین B کمترین پایداری (۱/۴۴±۱/۰۹)

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی روش‌های پارامتریک و غیر پارامتریک و روش GGEbiplot نتایج مشابهی را نشان داد و موجب گزینش لاین D گردید. این لاین علاوه بر پایداری دارای عملکرد به میزان ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بالاتر از رقم تیتیکاکا بود. میزان ساپونین دانه نیز نصف مقدار آن در رقم تیتیکاکا بود. با توجه به پایداری و عملکرد بالاتر این لاین و همچنین تحمل بالاتر به شوری (Salehi and Dehghani, 2024) این لاین با نام رقم صدوق معرفی و نام‌گذاری گردید. همچنین علاوه بر عملکرد، وزن هزار دانه و میزان ساپونین نیز تحت تأثیر محیط قرار گرفت.

روش‌های غیرپارامتریک و پارامتریک لاین D بیشترین عملکرد و پایداری را داشت. جمشیدی مقدم و پورداد (Jamshidmoghaddam and Pordad, 2013) نیز در ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره با استفاده از روش‌های غیرپارامتریک و GGEbiplot بیان کردند که نتایج گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس هر دو روش مشابه است. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نشان دادند که همبستگی بالایی بین رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس روش GGEbiplot و روش گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری وجود دارد و این آماره می‌تواند جایگزین روش GGEbiplot باشد.

جدول ۱۱. رتبه بندی روش‌های پارامتریک و غیر پارامتریک تجزیه پایداری برای عملکرد دانه (گرم در مترمربع) برای ۵ لاین کینوا در ۱۰ محیط (یزد، ابرانشهر، سبزواری، شیراز در طی دو سال (۹۹-۱۳۹۸) و گرگان ۹۶-۱۳۹۵ و بوشهر سال ۱۳۹۹).

Table 11. Ranking of Parametric and non-parametric methods of stability analysis for grain yield (g m⁻²) for five quinoa lines in ten environments (Yazd, Iranshahr, Sabzevar, Shiraz during two years (2019-2020) and Gorgan 2016-2017 and Bushehr in 2019).

لاین Lines	عملکرد دانه Seed Yield (g m ⁻²)	S ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁶⁾	NP ⁽¹⁾	NP ⁽²⁾	NP ⁽³⁾	NP ⁽⁴⁾	W _i ²
B	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5
C	3	5	5	4	4	4	3	2	4	4
D	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1
E	4	3	3	3	3	1	4	4	3	2
T	2	2	2	2	2	1	1	3	2	3

Table 11. Continued

جدول ۱۱. ادامه

لاین Lines	عملکرد دانه Seed Yield (g m ⁻²)	σ ² _i	s ² _{d_i}	CV _i	KR	θ _(i)	θ _i	SR	AR	SD
B	5	5	5	5	5	5	1	73	4.56	1.03
C	3	4	4	4	4	4	2	60	3.75	0.86
D	1	1	1	1	1	1	5	23	1.44	1.09
E	4	2	2	3	3	2	4	46	2.88	0.89
T	2	3	3	2	2	3	3	36	2.25	0.68

θ_i = mean variance component; θ_(i) = GE variance component; W_i² = Wricke's ecovalence stability index; b_i = regression coefficient; S_{d_i}² = deviation from regression; σ_i² = Shukla's stability variance; CV_i = environmental coefficient of variance; S⁽¹⁾ and S⁽²⁾ = Nassar and Huhn's non-parametric statistics; S⁽³⁾ and S⁽⁶⁾ = Huhn's non-parametric statistics; NP⁽¹⁻⁴⁾ = Thenarasu's non-parametric statistics; SR = sum ranks; AR = average of the sum ranks; Y = yield.

منابع

- Abugoch James, L.E., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. In: Steve, L.T. (ed.), *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press. p. 1-31. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Acikgoz, E., Ustun, A., Gul, I., Anlarsal, E., Tekeli, A.S., Nizam, I., Avcioglu, R., Geren, H., Cakmakci, S., Aydinoglu, B., 2009. Genotype x environment interaction and stability analysis for dry matter and seed yield in field pea (*Pisum sativum* L.). *Spanish Journal*

- of Agricultural Research. 7, 96-1062171-9292. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-402>
- Alcocer, E., Choquecallata, S., López G. & Marca, F., 2017. Development of Quinoa and Corn Extrusions. In: Records of the Scientific and Technological Symposium on Sustainable Production of Quinoa and Related Species [Memoria de la Jornada Científica y Tecnológica de la Producción Sostenible de Quinoa y Especies Afines], pp. 130-132. CIQ, Bolivia. Available at: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FCircular%252520Letters%252FCL%2525202020-25%252FCL2019-92-CPL_Comments_CompilationFRENCH.pdf
- Böndel, K.B., Schmid, K.J., 2021. Quinoa Diversity and Its Implications for Breeding. In: S. M. Schmöckel, editor The Quinoa Genome. Springer International Publishing, Cham. p. 107-118. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65237-1_7
- Cancino-Espinoza, E., Vázquez-Rowe, I., Quispe, I., 2018. Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using Life Cycle Assessment. Science of the Total Environment. 637, 221-2320048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Chokan, R., 2007. Genetic analysis methods Quantitative traits in plant breeding Seed and plant breeding Institute, Karaj-Iran. [In Persian].
- Dendy, D.A., Dobraszczyk, B.J., 2004. Cereales y productos derivados, Química y tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 403-421. ISBN: 978-84-200-1022-9
- Eberhart, S.T., Russell, W., 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. Crop Science. 6, 36-400011-183X. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Fiallos-Jurado, J., Pollier, J., Moses, T., Arendt, P., Barriga-Medina, N., Morillo, E., Arahana, V., de Lourdes Torres, M., Goossens, A., Leon-Reyes, A., 2016. Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves. Plant Science. 250, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.015>
- Finlay, K., Wilkinson, G., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research. 14, 742-754. <http://doi.org/10.1071/AR9630742>
- Francis, T., Kannenberg, L., 1978. Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science. 58, 1029-1034. <https://doi.org/10.4141/cjps78-157>
- Graf, B.L., Rojas- Silva, P., Rojo, L.E., Delatorre- Herrera, J., Baldeón, M.E., Raskin, I., 2015. Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 14, 431-445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>
- Huehn, M., 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. Euphytica. 47, 189-194. <https://doi.org/10.1007/BF00024241>
- Jafari, T., Farshadfar, E., 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. Cereal Research. 8, 199-208. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22124/c.2018.6232.1243>
- Jamshidmoghaddam, M., Pourdard, S., 2013. Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 29, 2008-6954. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111142>
- Jarvis, D.E., Ho, Y.S., Lightfoot, D.J., Schmöckel, S.M., Li, B., Borm, T.J., Ohyanagi, H., Mineta, K., Michell, C.T., Saber, N., 2017. The genome of *Chenopodium quinoa*. Nature. 542, 307-312. <https://doi.org/10.1038/nature21370>
- Kang, M., 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications. 16, 113-115. <https://www.jstor.org/stable/23782771>
- Khodarahmi, M., Soughi, H., Jafarby, J., Khavarinejad, M.S., 2021. Stability Analysis of Bread Wheat Genotypes by using GGE Biplot Method in Caspian Sea Regions. Journal of Crop Breeding. 13, 83-90. [In Persian with

- English summary].
<https://doi.org/10.52547/jcb.13.40.83>
- Koziol, M.J., 1991. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Journal of the Science of Food and Agriculture. 54, 211-219.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540206>
- Liu, C., Ma, R., Tian, Y., 2022. An overview of the nutritional profile, processing technologies, and health benefits of quinoa with an emphasis on impacts of processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 13, 1-18.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2155796>
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., Ceccarelli, S., 2009. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. Crop and Pasture Science. 61, 92-101. <https://doi.org/10.1071/CP09151>
- Mota, C., Santos, M., Mauro, R., Samman, N., Matos, A.S., Torres, D., Castanheira, I., 2016. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. Food Chemistry. 193, 55-61.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.043>
- Nassar, R., Huehn, M., 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics. 43, 45-53.
<https://doi.org/10.2307/2531947>
- Plaisted, R., Peterson, L., 1959. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal. 36, 381-385.
<https://doi.org/10.1007/BF02852735>
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., Siddique, K.H., 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences. 7,1-6.
<https://doi.org/10.1002/aps3.1211>
- Roustaie, M., Moghaddam, M., Mahfouzi, S., Mohammadi, A., 1996. Comparison of stability of grain yield in wheat and barley cultivars in dry lands. Proceeding of the 4 th Iranian Crop Sci Congress. Isfahan. University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian].
- Roustaie, M., Sadeghzadeh Ahari, D., Hesami, A., Soleymani, K., Pashapour, H., Nader Mahmoudi, K., Pour Siah Bidi, M., Ahmadi, M., Hassanpour Hosni, M., Abediasl, G., 2003. Study Of Adaptability And Stability Of Grain Yield Of Bread Wheat Genotypes In Cold And Moderate-Cold dryland Areas. Seed and Plant Journal. 19, 263-275. [In Persian with English summary]. <https://sid.ir/paper/357880/en>
- Ruiz, K.B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I.S., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E.A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., 2014. Quinoa biodiversity & sustainability for food security under climate change. A review. Agronomy for sustainable development. 34, 349-359. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>
- Sabaghnia, N., Mohammadi, M., Karimizadeh, R., 2013. Interpreting genotype× environment interaction of beard wheat genotypes using different nonparametric stability statistics. Agriculture and Forestry, Poljoprivreda i Sumarstvo. 59, 21-35. UDC (UDK) UDK 633.11
- Salehi, M., Dehghani, F., 2024. Determination of salinity stress tolerance threshold of quinoa genotypes under field conditions. Environmental Stresses in Crop Science. 16 (4), 1123-1137. [In Persian with English summary].
<https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.5309.2138>
- Salehi, M., Pourdard, S.S., 2021. Preliminary evaluation of the quinoa seed yield under rainfed spring cropping in warm and temperate regions. Iranian Dryland Agronomy Journal. 10, 23-39. [In Persian with English summary].
<https://doi.org/10.22092/idaj.2021.342612.302>
- Shukla, G., 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. Heredity. 29, 237-245. <https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87>
- Soughi, H., Vahabzadeh, M., Arabi, M.K., Jafarby, J., Khavarinejad, S., Ghasemi, M., Fallahi, H., Amini, A., 2009. Study on grain yield stability of some promising bread wheat lines in northern warm and humid climate of Iran. Seed and Plant Improvement Journal. 25, 211-222. [In Persian with English summary].
<https://doi.org/10.22092/spij.2017.111023>
- Thennarasu, K., 1995. On Certain Non-parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Inertactions and Yield Stability. IARI, Division of Agricultural Statistics, New Delhi. Corpus ID: 202933464

- Vaezi, B., Ahmadi, J., 2010. Assessment of genotype× environment interaction and stability of yield in advanced barley lines in rain fed conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 41, 395-402. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/20.1001.1.20084811.1389.41.2.18.9>
- Van Loo, E., Trindade, I.L.L., Borm, T.T., 2016. Marker Development for Bitter-Tasting-Saponin Gene in Quinoa (*Chenopodium quinoa*). <https://edepot.wur.nl/394421>
- Wricke, G., 1962. Uber eine Methode zur Erfassung der okologischen Streubreite in Feldversuchen. Z. pflanzenzuchtg. 47, 92-96. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2658333](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2658333)
- Yan, W., 2001. GGEbiplot—A Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal. 93, 1111-1118. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351111x>