

Evaluation of Suitable Traits for Selecting Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Lines under Saline Conditions

Mahdi Khosrowshiri¹, Masoumeh Salehi^{2*}

¹ M.Sc. Graduate of Crop Physiology department of agrothnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. . Email: mahdikhosrowshiri@gmail.com

^{*2} Corresponding Author: Associate Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran. Email: salehimasomeh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
2025-10-01
2025-11-22

Keywords:

Early maturity
Genetic diversity
Grain yield
Panicle length
Panicle weight

ABSTRACT

Background and Objective: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), owing to its remarkable genetic diversity, broad ecological adaptability, high nutritional value, and considerable tolerance to various environmental stresses, has been recognized as a promising and strategic crop for enhancing food security and ensuring sustainable agricultural production in arid and semi-arid regions. Given the increasing challenges of water scarcity and the deterioration of irrigation water quality in Iran, the identification and characterization of salt-tolerant lines hold particular significance. Accordingly, this study was conducted to identify, evaluate, and determine the most influential agromorphological traits contributing to the selection of early-maturing, high-yielding, and salt-tolerant quinoa lines among a diverse set of germplasm accessions.

Materials and Methods: For this purpose, 49 quinoa lines were evaluated in a lattice design with two replications under saline irrigation water conditions in August 2022 at the Sadouq Salinity Research Station of the National Salinity Research Center in Yazd. Traits including plant height, panicle length and weight, grain yield, 1000-seed weight, biomass, and saponin content were measured. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), correlation analysis, clustering, and principal component analysis (PCA).

Findings: The results of the ANOVA revealed that the effect of lines was significant ($p < 0.01$) for all traits. Lines 47 and 49 had the highest grain yield (281.11 and 277.43 g m⁻², respectively), while lines 7 and 33 exhibited the highest 1000-seed weight (2.73 and 2.74 g, respectively). In contrast, line 3 showed the lowest grain yield and the highest saponin content (20.6%). Cluster analysis grouped the lines into six distinct clusters, with cluster III (lines 5, 47, and 49) demonstrating the highest yield and biomass. The first three principal components accounted for approximately 72% of the total data variance. Heritability results indicated that traits such as plant height, panicle weight, and grain yield were significantly under genetic control and possess high potential for improvement through selection.

Conclusion: Overall, this study confirmed the presence of considerable

genetic potential among early-maturing quinoa lines for cultivation under saline conditions. Traits associated with panicle and biomass were identified as key indicators for selecting high-yielding lines. Lines 47 and 49, due to their superior grain yield, desirable biomass, and low saponin content, are recommended as promising candidates for direct release or for use in hybridization programs aimed at developing salt-tolerant cultivars. The high heritability of the most important traits highlights the potential success of future breeding programs. Ultimately, these findings can contribute to the expansion of quinoa cultivation and improvement of food security in arid and saline regions of Iran.

Cite this article: Khosrowshiri, M., Salehi, M 2026. Evaluation of Suitable Traits for Selecting Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Lines under Saline Conditions. *Crop Production Journal*, 18 (4), 143-158.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2026.24164.2720](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24164.2720)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی صفات مناسب برای گزینش لاین‌های کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) در شرایط شور

مهدی خسروشیری^۱، معصومه صالحی^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

رایانامه: Mahdikhosrowshiri@gmail.com

^{۲*} دانشیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی - یزد - ایران. رایانامه: salehimasomah@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: کینوا به دلیل تنوع ژنتیکی بسیار بالا، سازگاری گسترده، ارزش تغذیه‌ای قابل توجه و متحمل بودن در برابر تنش‌های محیطی به‌عنوان یکی از گزینه‌های بالقوه و راهبردی برای تقویت امنیت غذایی و پایداری تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شناخته می‌شود. با توجه به بحران کم‌آبی و کاهش کیفیت منابع آبی در ایران، شناسایی لاین‌های متحمل به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، این پژوهش باهدف شناسایی، ارزیابی و معرفی صفات مؤثر در گزینش لاین‌های زودرس، پرمحصول و متحمل به شوری در بین ژرم‌پلاسماهای متنوع کینوا انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۸	مواد و روش‌ها: برای این منظور، ۴۹ لاین کینوا در مرداد سال ۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات شوری صدوق واقع در مرکز ملی تحقیقات شوری یزد، در قالب طرح لاتیس با دو تکرار و تحت شرایط شوری آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفتند. صفاتی از جمله ارتفاع بوته، طول و وزن پانیکول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست‌توده و محتوای ساپونین اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس، تحلیل همبستگی، خوشه‌بندی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفتند.
واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی زودرس طول پانیکول عملکرد دانه وزن پانیکول	یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر لاین‌ها بر تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. لاین‌های ۴۷ و ۴۹ بیشترین عملکرد دانه (به ترتیب ۲۸۱/۱۱ و ۲۷۷/۴۳ گرم بر مترمربع) و لاین‌های ۷ و ۳۳ بالاترین وزن هزار دانه را (به ترتیب ۷۳/۲ و ۷۴/۲ گرم) داشتند. در حالی که لاین ۳ پایین‌ترین عملکرد دانه و بیشترین ارتفاع کف ساپونین (۲۰/۶ سانتی‌متر) را داشت. تحلیل خوشه‌ای، لاین‌ها را در شش گروه متمایز قرار داد و خوشه سوم (لاین‌های ۵، ۴۷ و ۴۹) بیشترین عملکرد و زیست‌توده را نشان داد. سه مؤلفه اصلی اول حدود ۷۲ درصد از واریانس کل داده‌ها را تبیین کردند. نتایج وراثت‌پذیری نشان داد که صفات ارتفاع بوته، وزن پانیکول و عملکرد دانه به‌طور

قابل توجهی تحت کنترل ژنتیکی قرار داشته و دارای پتانسیل بالایی برای بهبود از طریق گزینش هستند.

نتیجه گیری: به طور کلی، این مطالعه وجود پتانسیل ژنتیکی قابل توجهی را در بین لاین های زودرس کینوا برای کشت در شرایط شور تأیید کرد. صفات مرتبط با پانیکول و زیست توده به عنوان شاخص های کلیدی برای گزینش لاین های پرمحصول معرفی شدند. لاین های ۴۷ و ۴۹ به دلیل دارا بودن بالاترین عملکرد، زیست توده مطلوب و محتوای ساپونین پایین، به عنوان ارقام برتر برای معرفی مستقیم یا استفاده در برنامه های دورگ گیری به منظور تولید ارقام متحمل به شوری پیشنهاد می گردند. وراثت پذیری بالای اکثر صفات مهم، موفقیت برنامه های اصلاحی را نوید می دهد. در نهایت، این یافته ها می تواند نقش مؤثری در توسعه کشت کینوا و افزایش امنیت غذایی در مناطق خشک و شور ایران ایفا کند.

استناد: خسرو شیری، مهدی؛ صالحی، معصومه. (۱۴۰۴). بررسی صفات مناسب برای گزینش لاین های کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در شرایط شور. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۴)، ۱۵۸-۱۴۳.



[10.22069/ejcp.2026.24164.2720](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24164.2720)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

کینوا^۱ یک شبه غله بومی منطقه آند^۲ در آمریکای جنوبی است که از دیرباز به عنوان منبع اصلی غذایی مورد استفاده قرار گرفته و دانه های آن برای تهیه آرد، سوپ، غلات صبحانه و محصولات متنوع دیگر به کار می رود (۱). این گیاه به دلیل مقاومت بالای خود در برابر حشرات، بیماری ها و شرایط محیطی نامساعد همچون خشکی، شوری و یخبندان، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (۲). دانه های کینوا سرشار از پروتئین (۱۲-۱۸ درصد) و دارای ترکیب متعادلی از لیزین و سایر اسیدهای آمینه ضروری اند و از این رو جایگزینی ارزشمند برای گوشت در رژیم های گیاه خوار به شمار می روند (۳). ویژگی های تغذیه ای، کارکردی و سازگاری شگفت انگیز این گیاه موجب شد که سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۳ را «سال بین المللی کینوا» نام گذاری کند و نقش آن را در ارتقای امنیت غذایی و مبارزه با فقر به رسمیت بشناسد (۴، ۵). در سال های اخیر به دلیل تقاضای بالای مصرف کنندگان برای محصولات سالم، مغذی و بدون گلوتن؛ تولید، تجارت و مصرف جهانی کینوا به سرعت افزایش یافته است؛ به طوری که تولید جهانی آن از حدود ۸۰ هزار تن در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۱۵۰ هزار تن در سال ۲۰۲۰ رسیده است (۶، ۷). با این حال، تولید کینوا همچنان عمدتاً در کشورهای پرو، بولیوی و اکوادور متمرکز است، به طوری که کشور پرو به تنهایی بیش از ۷۵ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص می دهد (۸). به دلیل تنوع ژنتیکی گسترده، انعطاف پذیری

فیزیولوژیکی و توانایی رشد در محیط های گوناگون، کینوا به گزینه ای راهبردی برای تقویت امنیت غذایی در برابر تغییرات اقلیمی غیرقابل پیش بینی تبدیل شده است (۹).

گرمایش جهانی، با ایجاد تغییرات در الگوهای بارش و افزایش دما، به طور فزاینده ای بر تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان تأثیر می گذارد و تنش هایی مانند خشکی و شوری خاک را تشدید می کند (۱۰، ۱۱، ۱۲). این شرایط نامطلوب، امنیت غذایی را تهدید می کند و ضرورت توسعه واریته های زودرس با عملکرد پایدار و سازگار با محیط را برجسته می سازد. تنوع ژنتیکی گسترده کینوا فرصت مناسبی برای انتخاب لاین هایی با ویژگی های بهبود یافته مانند مدت زمان رسیدگی کوتاه تر، ارتفاع گیاه کمتر و تحمل شوری فراهم می کند (۱۳). کشاورزان تمایل دارند از واریته هایی استفاده کنند که دارای عملکرد بالا، دوره رشد کوتاه و میزان ساپونین کمتری باشند؛ نیازی که می توان از طریق برآورد پارامترهای ژنتیکی کمی و اجرای برنامه های اصلاحی هدفمند برای توسعه لاین های مقاوم به شوری برآورده ساخت (۱۴، ۱۵).

کینوا تنوع قابل توجهی در ویژگی های مورفولوژیکی، زراعی و فیزیولوژیکی نشان می دهد که آن را بسیار سازگار با محیط های مختلف می سازد (۱۶). کینوا بر اساس ویژگی های ژنتیکی خود به پنج اکوتیپ اصلی تقسیم می شود که هر یک به طور خاص با شرایط محیطی متفاوت سازگار شده و در برابر تنش های غیرزیستی مقاومت دارند. مطالعات نشان می دهند که برخی لاین ها مقاومت بیشتری در برابر شوری خاک دارند و این ویژگی با صفاتی مانند وزن دانه، ارتفاع گیاه و عملکرد

^۱ . *Chenopodium quinoa* Willd.

^۲ . Andes

مطالعه شناسایی و گزینش صفات مناسب برای توسعه لاین‌های زودرس کینوا در شرایط شور است، به گونه‌ای که ارقام جدید بتوانند امنیت غذایی را در مناطق تحت‌تاثیر شوری تقویت کنند.

مواد و روش‌ها

آزمایش در تاریخ ۲۵ مرداد ۱۴۰۱ با ۴۹ لاین حاصل از گزینش در مرکز تحقیقات شوری، در قالب طرح لاتیس و در دو تکرار، در ایستگاه تحقیقات شوری صدوق واقع در مرکز ملی تحقیقات شوری یزد انجام شد. جزئیات مربوط به این لاین‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است. لاین‌های مورد استفاده حاصل چند نسل خودگشنی و انتخاب بوده و از نظر یکنواختی ژنتیکی در سطح مناسب برای انجام ارزیابی‌های پژوهشی قرار داشتند.

کلی مرتبط است (۱۷، ۱، ۱۹، ۱۰). علاوه بر این، زودرسی به‌عنوان یک صفت کلیدی، امکان فرار از تنش‌های محیطی را فراهم کرده و چرخه رشد کوتاه تری ایجاد می‌کند که در مناطقی با فصل رشد کوتاه، عملکرد دانه را افزایش و حساسیت به بیماری‌هایی مانند کپک پودری را کاهش می‌دهد. زودرسی همچنین با کاهش محتوای ساپونین همراه است که کیفیت غذایی و پذیرش مصرف‌کننده را بهبود می‌بخشد (۸). گزینش لاین‌های زودرس کینوا در شرایط شور مستلزم شناسایی صفاتی است که نه تنها تحمل شوری را افزایش دهند، بلکه عملکرد اقتصادی را نیز حفظ کنند. تحقیقات پیشین بر صفاتی مانند عملکرد دانه، زودرسی، وزن هزار دانه و نسبت پتاسیم به سدیم تأکید کرده‌اند که این صفات در شرایط تنش شوری بیشترین اهمیت را برای انتخاب دارند (۲۰). بنابراین، هدف این

جدول ۱- فهرست لاین های کینوا

Table 1. List of Quinoa Lines

شماره Number	لاین Line	شماره Number	لاین Line	شماره Number	لاین Line
1	VE-IC-99-1	17	VE-IC-99-17	33	VE-IC-99-33
2	VE-IC-99-2	18	VE-IC-99-18	34	VE-IC-99-34
3	VE-IC-99-3	19	VE-IC-99-19	35	VE-IC-99-35
4	VE-IC-99-4	20	VE-IC-99-20	36	VE-IC-99-36
5	VE-IC-99-5	21	VE-IC-99-21	37	VE-IC-99-37
6	VE-IC-99-6	22	VE-IC-99-22	38	VE-IC-99-38
7	VE-IC-99-7	23	VE-IC-99-23	39	VE-IC-99-39
8	VE-IC-99-8	24	VE-IC-99-24	40	VE-IC-99-40
9	VE-IC-99-9	25	VE-IC-99-25	41	VE-IC-99-41
10	VE-IC-99-10	26	VE-IC-99-26	42	VE-IC-99-42
11	VE-IC-99-11	27	VE-IC-99-27	43	VE-IC-99-43
12	VE-IC-99-12	28	VE-IC-99-28	44	VE-IC-99-44
13	VE-IC-99-13	29	VE-IC-99-29	45	VE-IC-99-45
14	VE-IC-99-14	30	VE-IC-99-30	46	VE-IC-99-46
15	VE-IC-99-15	31	VE-IC-99-31	47	VE-IC-99-47
16	VE-IC-99-16	32	VE-IC-99-32	48	VE-IC-99-48
				49	VE-IC-99-49

شوری آب مورد استفاده با مقدار اولیه ۱۹/۹۷ dS/m، از طریق اختلاط با آب شیرین به ۱۲ dS/m کاهش یافت و میانگین شوری عصاره اشباع خاک در منطقه توسعه ریشه باتوجه به سیستم آبیاری تیپ، در طول فصل رشد به ۲۹ dS/m رسید (جدول ۲).

جدول ۲- کیفیت آب آبیاری ایستگاه تحقیقات شوری صدوق یزد

Table 2 - Irrigation Water Quality at the Sodough Salinity Research Station, Yazd

EC	pH	SAR	Na	Ca	Mg	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
هدایت الکتریکی	اسیدیته	نسبت جذب سدیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کربنات	بی کربنات	کلراید	سولفات
dS/m			Meq L ⁻¹						
دسی زیمنس بر متر			میلی اکی والان بر لیتر						
12	7.42	28.5	150.37	16.98	38.82	0	3.64	180	13.83

به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت ۲۴۰ دور در دقیقه توسط شیکر تکان داده شد. نمونه ها پس از ۳۰ دقیقه استراحت، مجدداً تحت شرایط مشابه تکرار گردیدند و در نهایت، مقدار ساپونین بر پایه ارتفاع کف تشکیل شده (به سانتی متر) اندازه گیری و ثبت شد. برای برآورد وراثت پذیری صفات، واریانس ژنتیکی از رابطه (۱)، واریانس فنوتیپی از رابطه (۲) و میزان وراثت پذیری از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\delta_g^2 = \frac{MST - MSE}{r} \quad (1)$$

$$\delta_p^2 = (\delta_g^2 + \delta_e^2) \quad (2)$$

$$H^2 = \frac{\delta_g^2}{\delta_p^2} \quad (3)$$

روش آماری

ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون آندرسون - دارلینگ مورد بررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس صفات بر اساس طرح لاتیس انجام شد. از آنجاکه اثر طرح لاتیس معنی دار نبود، تجزیه داده ها بر اساس طرح بلوک های کامل تصادفی انجام گرفت. مقایسه میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

آبیاری گیاهان بر پایه تبخیر و تعرق واقعی و ضریب گیاهی (Kc) به صورت دوره ای هر ۱۰ روز یکبار، همراه با تأمین نیاز آبی، انجام گرفت و در کل، در طی دوره رشد، ۴۳۶ میلی متر آب مصرف شد. عملیات زراعی شامل کنترل آفات (مانند لارو کارادرینا) در دو تا سه نوبت با استفاده از سموم سایپرمتین و آوانت، و همچنین تغذیه گیاهی بود. در این زمینه، ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در سه مرحله به صورت سرک و نیز ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل همزمان با عملیات شخم، به خاک افزوده گردید. بعد از ۹۰ روز پس از کاشت و در اوایل آذر ماه پس از حذف اثرات حاشیه ای، ویژگی هایی مانند ارتفاع بوته، عملکرد دانه، زیست توده، وزن هزار دانه، طول و عرض خوشه، وزن خوشه و مقدار ساپونین اندازه گیری شدند. وزن هزار دانه با کمک دستگاه شمارش دانه کانتادور^۱ ساخت شرکت پفیوفر^۲ تعیین گردید. مقدار ساپونین نیز بر اساس روش کوزیول (۲۱) ارزیابی شد؛ به این ترتیب که ۰/۵ گرم نمونه در لوله آزمایش قرار داده شده و پس از اضافه کردن ۵ میلی لیتر آب مقطر،

۱. Contador

۲. Pfeuffer

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر لاین‌ها بر ارتفاع بوته، وزن پانیکول، طول پانیکول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست توده و ارتفاع کف ساپونین معنی‌دار بود (جدول ۳).

همبستگی بین صفات با ضرایب پیرسون و اسپیرمن محاسبه شد. در ادامه، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای با روش وارد و فاصله مربع اقلیدسی انجام گردید. در نهایت، روابط بین صفات و لاین‌ها با نمودار بای‌پلات نمایش داده شد. کلیه تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۹ انجام شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات بررسی شده لاین‌های کینوا

Table 3. Analysis of Variance for the Evaluated Traits of Quinoa Lines

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	وزن پانیکول	طول پانیکول	عرض پانیکول	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	زیست توده	ارتفاع کف ساپونین
S.O.V	df	Height	Panicle Weight	Panicle Length	Panicle Width	Seed Yield	Thousand kernel Weight	Biomass	Foam height
تکرار	1	145.14	99.91	34.02	3.8	911.95	0.02	2.39	26.95
لاین	48	409.2**	11.51**	8.37**	0.57 ^{ns}	6024.06**	0.13**	0.15**	1.93*
خطا	48	35.16	1.96	4.06	0.40	1195.89	0.03	0.03	1.16
تغییرات (درصد)		8.25	22.04	12.87	18.82	24.52	8.83	19.96	20.9
CV									

** و * معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

است. در خصوص وزن پانیکول، لاین‌های ۳۸ و ۳۱ با میانگین‌های ۱۴/۴۲ و ۱۴/۳۱ گرم برتر بودند، در حالی که لاین ۳ با ۲/۵۵ گرم کمترین مقدار را داشت. طول پانیکول نیز در لاین ۱۳ (۲۰ سانتی‌متر) و لاین ۳۱ (۱۹/۸۳ سانتی‌متر) بیشینه بود، در حالی که لاین ۴۱ کمترین طول پانیکول (۱۱/۶۷ سانتی‌متر) را نشان داد. در بررسی عملکرد دانه، لاین ۴۷ (۲۸۱/۱۱ گرم) و لاین ۴۹ (۲۷۷/۴۳ گرم) بالاترین عملکرد را تولید کردند، در حالی که لاین ۳ پایین‌ترین عملکرد

نتایج مقایسه میانگین صفات بررسی شده در لاین‌های کینوا نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی میان لاین‌های مورد بررسی وجود دارد. این تنوع در اغلب صفات کلیدی از جمله ارتفاع بوته، وزن و طول پانیکول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست توده و ارتفاع کف ساپونین مشاهده شد (جدول ۳). از نظر ارتفاع بوته، بیشترین مقدار در لاین ۳۶ (۱۰۵/۲۸ سانتی‌متر) و کمترین در لاین ۳ (۴۲/۶۲ سانتی‌متر) ثبت گردید که بیانگر دامنه تغییرات وسیع میان لاین‌ها

گردید؛ به طوری که بیشترین مقدار در لاین ۳ (۶/۲۰ سانتی‌متر) و کمترین در لاین ۴۹ (۲/۲۵ سانتی‌متر) گزارش شد که می‌تواند در کیفیت تغذیه‌ای بذر اهمیت داشته باشد. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده در مطالعات پیشین نیز هم‌راستا بوده و تأییدکننده وجود دامنه بالای تنوع ژنتیکی در لاین‌های کینوا تحت شرایط مختلف محیطی است (۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵).

(۵۶/۸۱ گرم) را داشت. این اختلاف عملکرد بیانگر وجود پتانسیل ژنتیکی متفاوت در لاین‌ها برای افزایش تولید دانه است. در ارتباط با وزن هزار دانه، بیشترین مقدار در لاین ۷ (۲/۷۳ گرم) و لاین ۳۳ (۲/۷۴ گرم) مشاهده شد که از نظر اقتصادی و کیفیت بذر اهمیت دارد. در خصوص زیست توده، دامنه تغییرات از ۰/۴۶ تا ۱/۵۷ کیلوگرم در متر مربع بود که لاین ۳۶ بیشترین و لاین‌های ۳ و ۴ کمترین مقادیر را داشتند. همچنین، اختلاف معنی دار در ارتفاع کف ساپونین نیز مشاهده

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات زراعی کینوا تحت تاثیر لاین

Table 4. Comparison of the Mean Quinoa Agronomic Traits Affected by Line

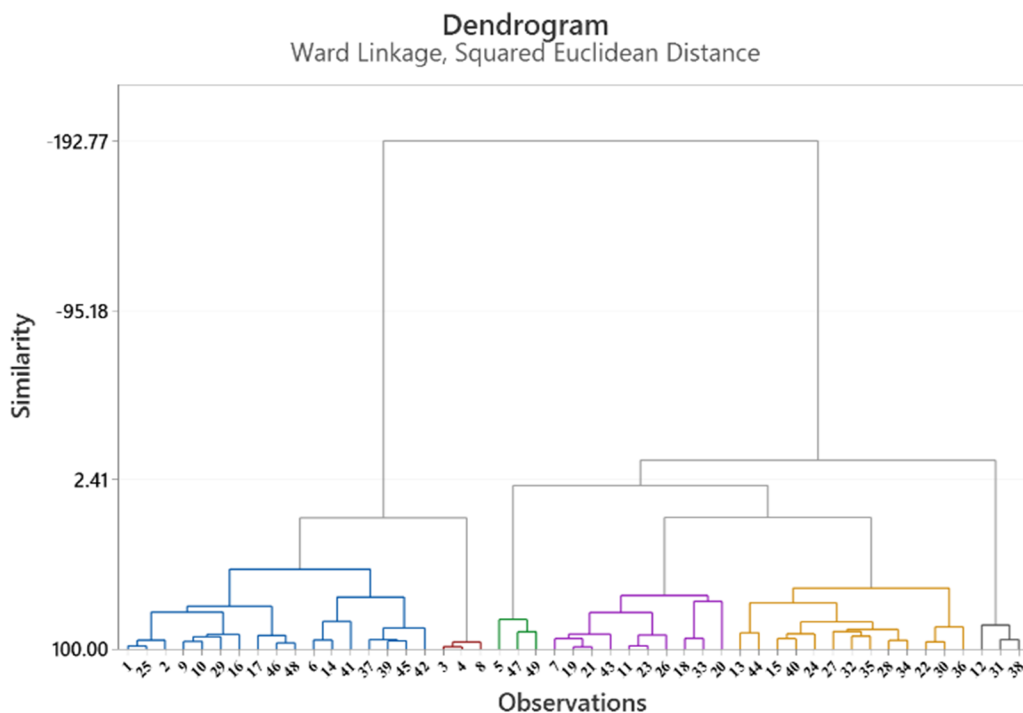
لاین Line	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن پانیکول (گرم) Panicle Weight (gr)	طول پانیکول (سانتی‌متر) Panicle Length (cm)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed Yield (gr/m ²)	وزن هزار دانه (گرم) Thousand kernel Weight (gr)	زیست توده (کیلوگرم در مترمربع) Biomass (Kg/m ²)	ارتفاع کف ساپونین (سانتی‌متر) Foam height (cm)
1	69.15 ^{h-p}	3.68 ^{klm}	15.33 ^{c-l}	73.80 ^{p-s}	1.8 ^k	1.02 ^{c-i}	4.55 ^{a-f}
2	64.94 ^{i-r}	3.98 ^{i-m}	15 ^{d-l}	99.62 ^{k-s}	1.9 ^{ijk}	0.87 ^{c-m}	3.65 ^{d-g}
3	42.62 ^v	2.55 ^m	13.5 ^{g-l}	56.81 ^s	2.4 ^{a-e}	0.50 ⁿ	6.20 ^{ab}
4	47.0 ^{uv}	3.50 ^{lm}	14.5 ^{d-l}	71.03 ^{qrs}	2.29 ^{a-g}	0.46 ⁿ	6.50 ^a
5	60.45 ^{o-t}	5.84 ^{c-l}	18 ^{a-e}	240.02 ^{a-d}	1.95 ^{g-k}	1.23 ^{a-e}	3.00 ^{fg}
6	55.61 ^{r-u}	6.92 ^{c-g}	17.67 ^{a-f}	115.60 ^{h-s}	1.84 ^{jk}	0.53 ^{mn}	5.25 ^{a-e}
7	58.33 ^{p-t}	6.78 ^{c-g}	15.17 ^{d-l}	157.90 ^{e-m}	2.73 ^a	0.91 ^{c-l}	5.50 ^{a-e}
8	56.16 ^{r-u}	3.70 ^{klm}	12.17 ^{jkl}	62.92 ^{rs}	2.2 ^{b-i}	0.47 ⁿ	6.50 ^a
9	63.37 ^{l-r}	3.7 ^{klm}	11.92 ^{kl}	86.74 ^{n-s}	1.84 ^{jk}	0.66 ^{r-n}	5.75 ^{a-d}
10	56.31 ^{r-u}	4.23 ^{g-m}	13.5 ^{g-l}	128.33 ^{e-r}	2.15 ^{c-j}	0.74 ^{h-n}	5.75 ^{a-d}
11	75.61 ^{d-k}	7.63 ^{e-f}	16.33 ^{a-i}	89.21 ^{l-s}	2.33 ^{a-f}	0.76 ^{g-n}	6.00 ^{abc}
12	71.03 ^{h-o}	11.92 ^{ab}	19.33 ^{abc}	184.48 ^{e-h}	2.25 ^{b-h}	1.40 ^{ab}	5.50 ^{a-e}
13	70.78 ^{h-o}	6.01 ^{c-k}	20 ^a	186.31 ^{b-g}	2.4 ^{a-e}	0.93 ^{d-k}	5.75 ^{a-d}
14	51.98 ^{s-v}	7.4 ^{c-f}	15.17 ^{d-l}	153.62 ^{e-n}	2.04 ^{e-k}	0.60 ^{k-n}	4.50 ^{a-f}
15	84.65 ^{c-g}	5.59 ^{c-l}	17.17 ^{a-h}	112.22 ^{r-s}	2.0 ^{f-k}	1.01 ^{e-j}	4.75 ^{a-f}
16	64.39 ^{j-r}	5.97 ^{c-l}	14.25 ^{e-l}	77.80 ^{o-s}	1.85 ^{jk}	0.47 ⁿ	6.25 ^{ab}
17	47.31 ^{uv}	4.09 ^{h-m}	13.17 ^{h-l}	122.21 ^{g-s}	1.94 ^{g-k}	0.56 ^{lmn}	3.70 ^{d-g}
18	84.33 ^{c-g}	7.80 ^{ode}	16.5 ^{a-i}	126.03 ^{e-s}	2.34 ^{a-f}	0.76 ^{r-n}	4.00 ^{c-g}
19	62.83 ^{m-r}	6.32 ^{c-j}	14.84 ^{d-l}	175.54 ^{d-j}	2.49 ^{a-d}	0.67 ^{l-n}	5.95 ^{abc}
20	51.61 ^{tuv}	8.28 ^{cd}	15.84 ^{b-k}	252.91 ^{abc}	2.55 ^{abc}	1.00 ^{e-j}	5.50 ^{a-e}
21	64.08 ^{k-r}	7.37 ^{c-f}	15.5 ^{c-l}	153.87 ^{e-n}	2.39 ^{a-e}	0.73 ^{h-n}	6.10 ^{abc}
22	92.56 ^{abc}	3.82 ^{j-m}	14.5 ^{d-l}	120.92 ^{g-s}	2.3 ^{a-g}	0.94 ^{d-k}	5.75 ^{a-d}
23	74.66 ^{e-l}	6.3 ^{c-j}	15.17 ^{d-l}	92.74 ^{l-s}	2.24 ^{b-i}	0.63 ^{k-n}	6.20 ^{ab}
24	101.49 ^{ab}	6.13 ^{c-k}	18.5 ^{a-d}	117.89 ^{g-s}	2.34 ^{a-f}	1.11 ^{b-g}	6.00 ^{abc}
25	74.16 ^{f-m}	3.85 ^{j-m}	15.33 ^{c-l}	90.64 ^{l-s}	1.78 ^k	0.93 ^{d-k}	5.40 ^{a-e}
26	57.79 ^{q-t}	8.35 ^{bcd}	18.33 ^{a-d}	88.40 ^{m-s}	2.34 ^{a-f}	0.75 ^{h-n}	5.40 ^{a-e}
27	70.0 ^{h-o}	5 ^{e-l}	16.83 ^{a-i}	110.07 ^{j-s}	2.24 ^{b-h}	1.22 ^{a-e}	6.30 ^{ab}
28	72.53 ^{g-n}	6.66 ^{c-h}	18 ^{a-e}	122.59 ^{f-s}	2.41 ^{a-e}	1.40 ^{ab}	5.20 ^{a-e}
29	68.15 ^{h-q}	3.84 ^{j-m}	14.17 ^{e-l}	104.48 ^{k-s}	2.1 ^{d-k}	0.94 ^{d-k}	5.30 ^{a-e}
30	92.17 ^{abc}	5.18 ^{e-l}	14.67 ^{d-l}	141.16 ^{e-p}	2.6 ^{ab}	1.08 ^{b-h}	6.25 ^{ab}

تولید گیاهان زراعی، دوره ۱۸، شماره ۴، ۱۴۰۴

حروف مشابه در هر	31	90.93 ^{bc}	14.31 ^a	19.83 ^{ab}	107.25 ^{j's}	2.59 ^{ab}	1.13 ^{b'e}	6.10 ^{abc}
	32	66.02 ^{h-r}	7.40 ^{c-f}	16 ^{a-j}	121.54 ^{g's}	2.14 ^{c-j}	1.23 ^{a'e}	4.50 ^{a'f}
ستون نشان دهنده عدم	33	87.50 ^{cd}	7.45 ^{c-f}	18.33 ^{a-d}	143.19 ^{e'p}	2.74 ^a	0.92 ^{d'k}	4.50 ^{a'f}
	34	86.54 ^{c-f}	6.35 ^{c-j}	18 ^{a-e}	192.29 ^{b'e}	2.59 ^{ab}	1.28 ^{a'd}	5.00 ^{a'f}
اختلاف معنی دار است.	35	68.66 ^{h-q}	6.21 ^{c-k}	16.5 ^{a-i}	194.58 ^{b'e}	2.3 ^{a-g}	1.16 ^{b'e}	6.00 ^{abc}
	36	105.28 ^a	4.85 ^{f-l}	15.5 ^{c-l}	180.10 ^{d'r}	2.54 ^{abc}	1.57 ^a	5.50 ^{a'e}
	37	86.06 ^{c-f}	5.37 ^{d-l}	14.5 ^{d-l}	122.57 ^{i's}	2.1 ^{d-k}	0.71 ⁱ⁻ⁿ	5.60 ^{a'd}
خوشه متمایز بود. هر	38	76.66 ^{d-i}	14.42 ^a	18.5 ^{a-d}	146.78 ^{c'o}	2.6 ^{ab}	0.91 ^{e'l}	5.50 ^{a'e}
	39	75.97 ^{d-j}	7.12 ^{c-f}	14.67 ^{d-l}	135.36 ^{e'q}	1.98 ^{f'k}	0.77 ^{i'n}	4.35 ^{a'g}
یک از این خوشه ها بر	40	87.14 ^{cde}	7.55 ^{c-f}	17.17 ^{a-h}	191.86 ^{b'f}	2.14 ^{c-j}	1.11 ^{b'g}	5.25 ^{a'e}
	41	64.59 ^{i-r}	6.58 ^{c-i}	11.67 ^l	93.18 ^{l's}	1.95 ^{g-k}	0.56 ^{lmn}	5.50 ^{a'e}
اساس تفاوت‌های	42	90.93 ^{bc}	8.48 ^{bc}	15.67 ^{c-l}	140.72 ^{e'p}	2.05 ^{e-k}	0.70 ⁱ⁻ⁿ	3.35 ^{efg}
	43	77.56 ^{d-h}	6.35 ^{c-j}	14.75 ^{d-l}	164.53 ^{c'k}	2.4 ^{a-e}	0.66 ^{j'n}	4.80 ^{a'f}
قابل توجه در صفات	44	72.315 ^{g-n}	5.73 ^{c-l}	17.5 ^{a-g}	255.35 ^{ab}	2.14 ^{c-j}	1.34 ^{abc}	6.00 ^{abc}
	45	76.971 ^{d-h}	5.95 ^{c-l}	12.83 ^{i-l}	103.31 ^{k's}	2.03 ^{e-k}	0.69 ⁱ⁻ⁿ	4.25 ^{b'g}
مورد بررسی، از	46	62.246 ^{n-s}	4.22 ^{g-m}	13.33 ^{h-l}	182.55 ^{d'h}	2.0 ^{f'k}	0.75 ^{g'n}	4.25 ^{b'g}
	47	77.649 ^{d-h}	5.05 ^{e-l}	15 ^{d-l}	281.11 ^a	2.05 ^{e-k}	1.12 ^{b'f}	4.25 ^{b'g}
یکدیگر قابل تمایز	48	72.315 ^{g-n}	5.37 ^{d-l}	14.67 ^{d-l}	158.60 ^{e'l}	1.9 ^{h-k}	0.60 ^{k'n}	3.70 ^{d'g}
هستند. خوشه ۱ با ۱۷	49	85.829 ^{c-f}	6.50 ^{c-i}	13.83 ^{f'l}	277.43 ^a	2.34 ^{a-f}	1.22 ^{a'e}	2.25 ^g

لاین، بزرگ‌ترین و متنوع‌ترین گروه است، اما میانگین‌های آن در اکثر صفات در رده‌های متوسط تا پایین قرار گرفتند (جدول ۵). این خوشه برای برنامه‌های اصلاحی که هدف آن افزایش تنوع ژنتیکی یا ارتقای سازگاری در شرایطی که منابع محدود است، مناسب می‌باشد؛ اما به دلیل عملکرد پایین دانه، برای تولید مستقیم تجاری کمتر مطلوب است.

برای بررسی بهتر شباهت‌ها و تفاوت‌های لاین‌های کینوا بر اساس صفات مورد مطالعه، از ترکیب روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی استفاده گردید. دندروگرام حاصل، که در شکل ۱ نمایش داده شده است، لاین‌ها را بر پایه صفات استاندارد شده نشان می‌دهد. این خوشه‌بندی با روش وارد و معیار فاصله مربع اقلیدسی انجام شد و نتیجه آن شناسایی شش



شکل ۱- خوشه‌بندی ۴۹ لاین کینوا بر اساس صفات اندازه‌گیری شده به روش وارد
Figure 1. Clustering of 49 Quinoa Lines Based on Measured Traits Using the Ward Method

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین ۶ خوشه برای صفات مطالعه شده

Table 5 – Comparison of Means Among the Three Clusters for the Studied Traits

خوشه Cluster	لاین Line	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن پانیکول (گرم) Panicle Weight (gr)	طول پانیکول (سانتی‌متر) Panicle Length (cm)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed Yield (gr/m ²)	وزن هزار دانه (گرم) Thousand kernel Weight (gr)	زیست‌توده (کیلوگرم در مترمربع) Biomass (Kgr/m ²)	ارتفاع کف ساپونین (سانتی‌متر) Foam height (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
1	1-25-2-9-10-29-16-17-46-48-6-14-41-37-39-45-42	66.46 ^c	5.40 ^{cd}	14.25 ^c	3.24 ^b	113.42 ^c	1.95 ^c	0.7 ^b	4.85 ^b
2	3-4-8	49.97 ^d	3.84 ^d	12.76 ^c	2.68 ^b	77.19 ^d	2.41 ^{ab}	0.48 ^c	6.47 ^a
3	5-47-49	76.44 ^{abc}	6.59 ^{bc}	14.9 ^{bc}	3.34 ^{ab}	323.75 ^a	2.18 ^b	1.2 ^a	3.38 ^c
4	7-19-21-43-11-23-26-18-33-20	73.49 ^{bc}	7.85 ^b	16 ^b	3.69 ^a	153.08 ^b	2.48 ^a	0.76 ^b	5.24 ^b
5	13-44-15-40-24-27-32-35-28-34-22-30-36	84.51 ^a	6.16 ^c	16.87 ^{ab}	3.18 ^b	163.13 ^b	2.33 ^{ab}	1.17 ^a	5.35 ^b
6	12-31-38	81.93 ^{ab}	14.17 ^a	18.48 ^a	4.14 ^a	173.95 ^b	2.61 ^a	1.14 ^a	5.77 ^{ab}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

بر تولید ارقام پرمحصول با دانه‌های بزرگ، مناسب و ایده‌آل‌اند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که سه مؤلفه اول به‌طور مجموع حدود ۷۲ درصد از واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند (مؤلفه اول ۳۸ درصد، مؤلفه دوم ۱۹ درصد و مؤلفه سوم ۱۵ درصد). مؤلفه اول با طول پانیکول (۰/۴۶)، وزن پانیکول (۰/۴۳) و زیست‌توده (۰/۴۲) همبستگی مثبت و با ارتفاع بوته (۰/۳۲-) و عملکرد دانه (۰/۳۰-) همبستگی منفی داشت و نمایانگر گرایان پتانسیل تولیدی و رشد رویشی است. مؤلفه دوم تحت‌تاثیر ارتفاع کف ساپونین (۰/۶۳) با همبستگی منفی برخی صفات عملکردی مانند عملکرد دانه (۰/۵۰-) بوده و گرایان تفاوت‌های کیفی و شیمیایی دانه را نشان می‌دهد. مؤلفه سوم با عرض پانیکول (۰/۵۴) همبستگی مثبت و با برخی صفات عملکردی مانند ارتفاع بوته و وزن هزار دانه همبستگی منفی داشت و تعادل بین مورفولوژی پانیکول و عملکرد دانه را برجسته می‌کند. این نتایج امکان کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی صفات کلیدی در تمایز لاین‌های کینوا را فراهم می‌آورد. مقادیر ویژه، درصد واریانس توضیح داده‌شده توسط هر مؤلفه و واریانس تجمعی در جدول ۶ ارائه شده است.

خوشه ۲ کوچک‌ترین خوشه با تنها ۳ لاین، ضعیف‌ترین عملکرد را داشت و لاین‌های این خوشه تنها بیشترین ارتفاع کف ساپونین را از خود نشان دادند که آن را برای کاربردهای کیفی، مانند استخراج ساپونین برای مصارف دارویی یا صنعتی، مناسب می‌کند. خوشه ۳ شامل سه لاین بود که بالاترین عملکرد دانه و بالاترین زیست‌توده را نشان می‌دهند. این خوشه به‌عنوان شاخه‌ای متمایز با عملکرد بالا و ساپونین پایین دیده می‌شود. این لاین‌ها برای برنامه‌های اصلاحی متمرکز بر افزایش حداکثر تولید دانه، ایده‌آل هستند. آن‌ها می‌توانند برای انتخاب مستقیم یا به‌عنوان والدین در برنامه‌های به‌نژادی، اولویت داشته باشند. خوشه ۴ با ۱۰ لاین عملکردی متعادل داشت. لاین‌های این خوشه می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی دو منظوره (علوفه و دانه) مورد استفاده قرار گیرند. خوشه ۵، شامل ۱۲ لاین، رشد رویشی قوی را نشان دادند که برای تولید علوفه و سوخت زیستی مناسب هستند. این خوشه برای استفاده‌های چندمنظوره نیز ایده‌آل به‌شمار می‌رود. خوشه ۶ شامل سه لاین بود که در صفات مرتبط با پانیکول از سایر لاین‌ها برتر هستند و این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که این لاین‌ها برای برنامه‌های اصلاحی متمرکز

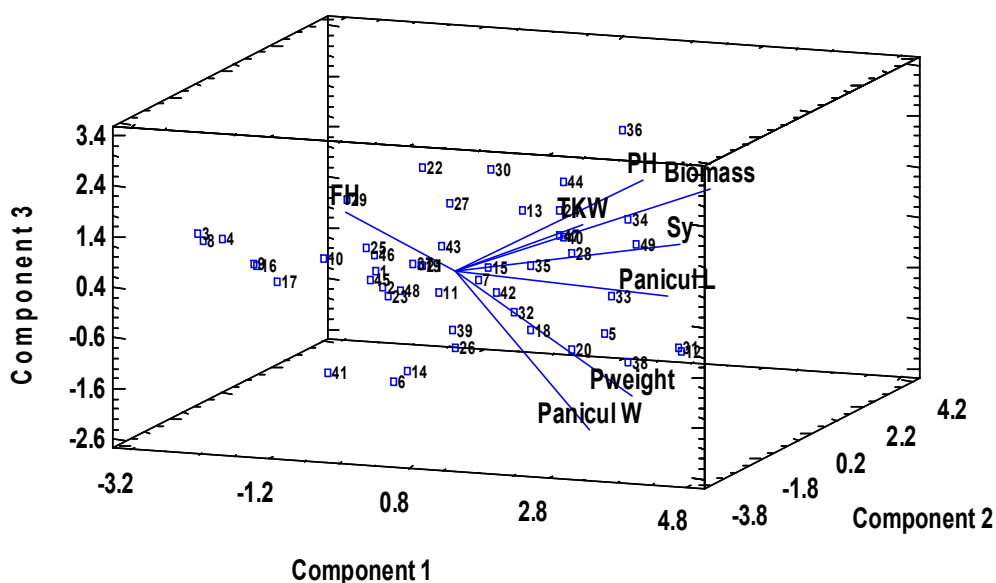
جدول ۶- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات مطالعه شده لاین‌های کینوا

Table 6- Principal Component Analysis (PCA) of the Studied Traits in Quinoa Lines

Traits	صفات	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه سوم Third component
Plant Height	ارتفاع بوته	0.32	-0.20	-0.37
Panicle Weight	وزن پانیکول	0.43	0.25	0.38
Panicle Length	طول پانیکول	0.46	0.12	0.00
Panicle Width	عرض پانیکول	0.34	0.25	0.54
Seed Yield (gr)	عملکرد دانه	0.30	-0.50	0.01
Thousand kernel Weight	وزن هزار دانه	0.35	0.30	-0.35
Biomass	زیست‌توده	0.42	-0.30	-0.31
Foam height	ارتفاع کف ساپونین	-0.03	0.63	-0.46
Eigenvalue	مقادیر ویژه	3.05	1.52	1.16
Cumulative Variance percent	درصد واریانس تجمعی	0.38	0.57	0.72

ساپونین دارد. همچنین مؤلفه سوم بیانگر نقش همزمان صفات مربوط به ساپونین و وزن هزار دانه است. این الگوها در نمودار بای‌پلات، تمایز لاین‌ها بر اساس ویژگی‌های رشدی، عملکردی و کیفی را به صورت بصری نمایش می‌دهند.

در نمودار بای‌پلات (شکل ۲)، پراکنش لاین‌ها در فضای سه مؤلفه اصلی به خوبی نشان داده شده است. همان‌گونه که در جهت‌گیری بردارها مشخص است، مؤلفه اول بیشتر با صفات مرتبط با زیست‌توده هم‌راستا بوده و مؤلفه دوم ارتباط نزدیکی با عملکرد دانه در تضاد با میزان



شکل ۲- نمایش بای‌پلات پراکنش لاین‌های زودرس کینوا بر اساس سه عامل مؤثر بر عملکرد دانه

Figure 2. Biplot illustrating the distribution of early-maturing quinoa lines based on three factors influencing grain yield

نتایج برآورد وراثت‌پذیری صفات موردبررسی نشان داد که میزان کنترل ژنتیکی در میان صفات متفاوت است (جدول ۷).

جدول ۷- توارث‌پذیری صفات اندازه‌گیری شده کینوا
Table 7- Heritability of measured traits of quinoa

صفات	Traits	واریانس ژنتیکی (σ^2_g)	واریانس فنوتیپی (σ^2_p)	توارث‌پذیری (H^2)
ارتفاع بوته	Plant Height	187.01	222.17	84.1
وزن پانیکول	Panicle Weight	4.77	6.73	70.9
طول پانیکول	Panicle Length	2.15	6.21	34.7
عرض پانیکول	Panicle Width	0.08	0.48	17.5
عملکرد دانه	Seed Yield	2414.09	3609.98	66.9
وزن هزار دانه	Thousand kernel Weight	0.05	0.08	62.5
زیست‌توده	Biomass	0.063	0.095	66.7
ارتفاع کف ساپونین	Foam height	0.39	1.55	24.9

نشان می‌دهد که مدیریت زراعی و تنظیم محیط رشد نقش مهمی در پایداری این صفات دارد. در مجموع، صفاتی با وراثت‌پذیری بالا (ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن پانیکول و زیست‌توده) بیشترین پتانسیل را برای پیشرفت ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرکز اصلاح‌گران بر صفات مذکور می‌تواند موجب بهبود سریع عملکرد و تحمل به شوری در لاین‌های زودرس کینوا شود. با این حال، انجام مطالعات تکمیلی برای افزایش دقت انتخاب و پایداری عملکرد در مناطق مختلف توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که صفات مرتبط با پانیکول از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه در شرایط شوری هستند. وراثت‌پذیری بالا در صفاتی مانند ارتفاع بوته، وزن پانیکول، زیست‌توده و عملکرد دانه بیانگر نقش ژنتیکی قوی در کنترل این صفات و

بیشترین وراثت‌پذیری مربوط به ارتفاع بوته (۸۴/۱٪) و وزن پانیکول (۷۰/۹٪) بود که نشان‌دهنده تأثیر عوامل ژنتیکی و پایداری نسبی این صفات در برابر تغییرات محیطی است. عملکرد دانه نیز با وراثت‌پذیری نسبتاً بالا (۶۶/۹٪) همراه بود که هم‌راستا با گزارش‌های پیشین درباره‌ی کنترل ژنتیکی قوی این صفت در کینوا است (۲۶، ۲۷). همچنین، زیست‌توده (۶۶/۷٪) و وزن هزار دانه (۶۲/۵٪) نیز وراثت‌پذیری بالایی نشان دادند و از این‌رو می‌توانند به‌عنوان صفات مؤثر در انتخاب لاین‌های برتر و بهبود عملکرد و کیفیت دانه در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند (۲۸). در مقابل، صفاتی مانند طول و عرض پانیکول، ارتفاع کف ساپونین و وراثت‌پذیری پایین‌تری (به ترتیب ۳۴/۷٪، ۱۷/۵٪ و ۲۴/۹٪) داشتند که احتمالاً ناشی از حساسیت زیاد این صفات به شرایط محیطی مانند دما، تغذیه و شدت تنش شوری است (۲۹). این موضوع

به‌عنوان والدین مناسب برای تولید ارقام زودرس، پرمحصول و متحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرند. در مجموع، یافته‌های این تحقیق می‌تواند به عنوان راهنمایی مؤثر برای اصلاحگران گیاهی در جهت انتخاب صفات کلیدی و توسعه لاین‌های بهینه کینوا با تحمل بالا به شوری و سازگاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد استفاده قرار گیرد.

قابلیت بالای آن‌ها برای به‌کارگیری در برنامه‌های اصلاحی است. در مقابل، صفات طول و عرض پانیکول وراثت‌پذیری پایین‌تری نشان دادند و بیش از سایر صفات تحت‌تاثیر شرایط محیطی قرار گرفتند. لاین‌های ۴۷ و ۴۹ به دلیل دارا بودن عملکرد بالا، زیست‌توده بالا و ویژگی‌های مطلوب پانیکول، به‌عنوان لاین‌های برتر شناسایی شدند و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی آینده

References

- Peterson, A.J., & Murphy, K.M. (2015). Quinoa cultivation for temperate North America: Considerations and areas for investigation. *Quinoa: Improvement and sustainable production*, 17, 173-192. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch10>
- Vita, F., Ghignone, S., Bazihizina, N., Rasouli, F., Sabbatini, L., Kiani-Pouya, A., Kiferle, C., Shabala, S., Balestrini, R., & Mancuso, S. (2021). Early responses to salt stress in quinoa genotypes with opposite behavior. *Physiologia Plantarum*, 173(4), 1392–1420. <https://doi.org/10.1111/ppl.13425>
- Melini, V., & Melini, F. (2021). Functional components and anti-nutritional factors in gluten-free grains: A focus on quinoa seeds. *Foods*, 10(2), 351. <https://doi.org/10.3390/foods10020351>
- Akram, M.Z., Libutti, A., & Rivelli, A.R. (2023). Evaluation of vegetative development of quinoa under water stress by applying different organic amendments. *Agronomy*, 13(5), 1412. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051412>
- FAO. (2013). Home-International Year of Quinoa 2013. <https://www.fao.org/quinoa/en/>
- Alandia, G., Rodriguez, J.P., Jacobsen, S.E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- FAO. (2020). Quinoa: Worldwide promotion and cultivation challenges. FAO Reports.
- Emrani, N., Maldonado-Taïpe, N., Hasler, M., Patiranage, D.S., & Jung, C. (2024). Early flowering and maturity promote the successful adaptation and high yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in temperate regions. *Plants*, 13(20), 2919. <https://doi.org/10.3390/plants13202919>
- Matías, J., Rodríguez, M.J., Carrillo-Vico, A., Casals, J., Fondevilla, S., Haros, C.M., & Reguera, M. (2024). From 'farm to fork': Exploring the potential of nutrient-rich and stress-resilient emergent crops for sustainable and healthy food in the Mediterranean region in the face of climate change challenges. *Plants*, 13(14), 1914. <https://doi.org/10.3390/plants13141914>
- Ruiz, K.E.F. (2013). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>
- Flubacher, M., Sedlmeier, K., Lechthaler, F., Rohrer, M., Cristobal, L., & Vinogradova, A. (2017, April). Socio-economic vulnerability, adaptation to agro-climatic risk and the potential of user-tailored climate services for the Andean Highlands: The case of quinoa production in the region of Puno. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 17580).
- Hasegawa, T., Sakurai, G., Fujimori, S., Takahashi, K., Hijioaka, Y., & Masui, T. (2021). Extreme climate events increase risk of global food insecurity and adaptation needs. *Nature Food*, 2(8), 587-595. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00335-4>
- Bazile, D., Jacobsen, S.E., & Verniau, A. (2016). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Bertero, H.D., De la Vega, A.J., Correa, G., Jacobsen, S.E., & Mujica, A. (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research*, 89(2-3), 299-318. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.006>
- Gamboa, C., Van den Broeck, G., & Maertens, M. (2018). Smallholders' preferences for improved quinoa varieties in the Peruvian Andes. *Sustainability*, 10(10), 3735. <https://doi.org/10.3390/su10103735>

16. Thiam, E., Allaoui, A., & Benlhabib, O. (2021). Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. *Plants*, 10(4), 714. <https://doi.org/10.3390/plants10040714>
17. Mizuno, N., Toyoshima, M., Fujita, M., Fukuda, S., Kobayashi, Y., Ueno, M., & Fujita, Y. (2020). The genotype-dependent phenotypic landscape of quinoa in salt tolerance and key growth traits. *DNA Research*, 27(4), dsaa022. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsaa022>
18. Fuentes, F.F., Bazile, D., Bhargava, A., & Martinez, E.A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science*, 150(6), 702-716. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000056>
19. Jacobsen, S.E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 167-177. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
20. Salehi, M., Dehghany, F., Soltani Gerdfarmarzi, V., & Besharat, N. (2021). Identify the effective traits for the selection of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) lines in spring cultivation under saline condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(4), 1041-1054. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3287.1837> [In Persian, with English abstract]
21. 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(2), 211-219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540206>
22. Hussain, M.I., Al-Dakheel, A.J., & Reigosa, M.J. (2018). Genotypic differences in agro-physiological, biochemical and isotopic responses to salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants: Prospects for salinity tolerance and yield stability. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 411-420. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.023>
23. Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K., & Tavakoli, A. (2024). Effects of salinity stress on some morpho-physiological traits and grain yield of quinoa cultivars under greenhouse conditions. *Plant Productions*, 47(2), 213-227. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46220.2145> [In Persian, with English abstract]
24. Adolf, V. I., Shabala, S., Andersen, M.N., Razzaghi, F., & Jacobsen, S.E. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil*, 357(1), 117-129. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1133-7>
25. Khosroshiri, M., Kafi, M., Salehi, M., & Ebrahimi, S. H. (2024). Comparison of yield and fodder quality of six genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in different stages of harvesting and irrigation with saline water. *Journal of Crop Production*, 17(4), 107-124. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23034.2653> [In Persian, with English abstract]
26. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 101(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>
27. Benlhabib, O., Boujartani, N., Maughan, P.J., Jacobsen, S.E., & Jellen, E.N. (2016). Elevated genetic diversity in an F2:6 population of quinoa (*Chenopodium quinoa* wild.) developed through an inter-ecotype cross. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1222. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01222>
28. Naim, J., Khatun, S.M., Das, B., Mim, M.H., Akter, S., Shakil, M.R., Islam, M.A., Hossain, M.A., (2024). Phenotyping of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes for morphological, yield and nutritional quality traits. *Phyton*, 93(12). <http://dx.doi.org/10.32604/phyton.2024.058786>
29. Maldonado-Taïpe, N., Barbier, F., Schmid, K., Jung, C., & Emrani, N. (2022). High-density mapping of quantitative trait loci controlling agronomically important traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Frontiers in Plant Science*, 13, 916067. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916067>