شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2026.373595.468

بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های امید بخش کینوا علوفه‌ای در مناطق دیم

معصومه صالحی[1*]، رضا امیری[2]، مهدی جمشید مقدم[3]، صادق شهبازی دورباش[4]، محمدهادی غفاریان مقرب[5]، حسین هداوند میرزائی[6]، محمد جواد ابرقویی[7]، امین خرمالی[8]، حسین بهلول[9]

۱- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.*
۲- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.*
۳- *معاونت سرارود، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.*
۴- *موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.*
۵- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.*
۶- *پژوهشگاه تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.*
۷- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران.*
۸- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران.*
۹- *مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.*

چکیده مبسوط

مقدمه: در دیمزارهای کشور، ۸۸ درصد محصولات کشاورزی شامل گندم و جو است. با توجه به وسعت دیمزارهای ایران، تنوع‌بخشی به محصولات زراعی ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر، بجز لگوم‌های علوفه‌ای و دانه‌ای، محصول دیگری برای قرار گرفتن در تناوب با گندم و جو دیم وجود ندارد؛ اگرچه در سال‌های اخیر ارقام گلرنگ و کلزا نیز برای کشت در دیمزارها معرفی شده‌اند. با توجه به محدودیت منابع آبی برای تولید علوفه، معرفی ارقام و گونه‌های علوفه‌ای برای مناطق دیم ضروری به نظر می‌رسد. کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی دو لپه‌ای است که کشت آن به‌منظور تولید دانه و علوفه مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به کیفیت مناسب علوفه کینوا، این گیاه به عنوان گزینه‌ای امیدبخش در مناطق دیم ارزیابی گردید.

روش‌شناسی پژوهش: به‌منظور ارزیابی لاین‌های علوفه‌ای کینوا در شرایط دیم، ۱۵ لاین به همراه رقم شاهد ترمه، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱–۱۴۰۲ و ۱۴۰۲–۱۴۰۳ در شش منطقه خرم‌آباد، مراغه، سرارود، گنبد، گرگان و زنجان ارزیابی شدند. عملکرد علوفه، ارتفاع بوته و درصد ماده

* نگارنده مسئول: salehimasomeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۷

خشک در مرحله گلدهی اندازه‌گیری و کیفیت علوفه لاین‌های برتر از نظر پروتئین، فیبر، ترکیبات فنولی و قابلیت هضم تعیین شد. تجزیه آماری پس از بررسی همگنی واریانس‌ها انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش: عملکرد علوفه خشک در مناطق مختلف و سال‌های آزمایش متفاوت بود و از ۲/۱ تا ۲۳ تن در هکتار متغیر بود. تجزیه مرکب، اثر معنی‌دار محیط و اثر متقابل لاین × محیط را نشان داد، درحالی‌که اختلاف بین لاین‌ها معنی‌دار نبود. بر اساس شاخص‌های پایداری، لاین‌های ۵ و ۷ به‌ترتیب با عملکرد ۷/۸ و ۷/۳ تن علوفه خشک در هکتار، عملکرد و پایداری مطلوبی داشتند. این لاین‌ها به‌ترتیب دارای ۱۴/۲ و ۱۴ درصد پروتئین و ارزش نسبی علوفه ۲۲۴ و ۱۴۷ بودند. لاین ۱۳ نیز با ۱۵ درصد پروتئین و ارزش نسبی علوفه ۲۰۰، پایداری متوسط و سازگاری مناسبی با محیط‌های نامطلوب نشان داد. عملکرد پروتئین لاین‌های ۵، ۷ و ۱۳ به‌ترتیب ۱۱۰۶، ۱۰۲۷ و ۱۰۲۴ کیلوگرم در هکتار بود. در مجموع، این سه لاین به دلیل عملکرد، کیفیت و پایداری مناسب، برای کشت در دیمزارها امیدبخش هستند.

کلمات کلیدی: کینوا، علوفه دیم، تنوع‌بخشی زراعی، پایداری عملکرد، کیفیت علوفه

مقدمه

بیشتر از ۵/۵ میلیون هکتار از سطح دیمزارهای کشور زیر کشت غلات گندم و جو (به‌ترتیب حدود ۷۳ و ۱۵ درصد) و نخود (۶ درصد) می‌باشد و سطح زیر کشت علوفه بسیار ناچیز است (۱ درصد) (Anynomus, 2024). با توجه به افزایش نیاز جامعه به تولیدات دامی، عوارض کشت تک‌محصولی و نیز بی‌استفاده ماندن اراضی مستعد در سال‌های آیش (بیش از ۲ میلیون هکتار)، ضروری است به توسعه کشت گیاهان علوفه‌ای جدید در اراضی دیم و همچنین معرفی ارقام مناسب برای اقلیم‌های مختلف کشور پرداخته شود (Alizadeh, 2019). گونه‌های لگوم علوفه‌ای که در شرایط دیم کشور تولید می‌شوند، نسبت به یونجه پروتئین بیشتری دارند و عملکرد آنها بین ۳-۲ تن در هکتار است (Alizadeh, 2019). رقم بهرنگ گلرنگ علوفه‌ای، با عملکرد علوفه تر ۱۸ تن در هکتار و علوفه خشک ۷ تن در هکتار، عملکرد قابل قبولی دارد. این رقم به صورت سیلاژی و علوفه خشک قابل استفاده است. میزان پروتئین این رقم حدود ۱۰ درصد و شاخص ارزش نسبی خوراک (RFV) این رقم ۱۶۰ است که نشان‌دهنده کیفیت بالای علوفه آن است (Pourdad et al., 2025). کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)، گونه‌ای یکساله از خانواده Amaranthaceae می‌باشد که منشأ آن منطقه آند[1] در آمریکای جنوبی است (Bazile *et al.*, 2015). این گیاه در برابر تنش‌های مختلف مانند شوری، خشکی و شرایط یخبندان تحمل بالایی دارد (González et al., 2009). تغییر اقلیم یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی است، در ایران با وجود کاهش بارش و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰، کینوا پایداری قابل قبولی در تولید خواهد داشت و با تنظیم تاریخ کاشت می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد و یک جایگزین مناسب برای مناطق مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک باشد (Yaghoubi et al., 2026). در بیشتر موارد، استفاده اصلی از کینوا به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالای دانه آن می‌باشد اما می‌توان از شاخ و برگ آن به عنوان علوفه نیز استفاده نمود. در برخی از مناطق توسعه‌یافته، علوفه تازه کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا به عنوان یک خوراک مکمل برای تغذیه دام‌ها استفاده می‌شود (Bazile *et al.*, 2015). مطالعه‌ای در چین نشان

[1] Ands

داده است که الیاف شوینده خنثی (NDF) ، الیاف شوینده اسیدی (ADF) و میزان پروتئین کینوا در مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیشتر از یولاف و یونجه است و می‌تواند علوفه با کیفیت مناسبی تولید کند. لاین‌هایی که دارای ساقه محکم، شاخه‌های فرعی بیشتر، ارتفاع متوسط و عملکرد بیوماس بالاتری باشند برای این منظور مناسب‌تر هستند (Shah *et al.*, 2020). بر همین اساس، کینوا به عنوان یک گیاه دومنظوره مورد توجه قرار گرفته است. در فلسطین اشغالی میزان علوفه تولید شده در کشت زودکاشت بهاره ۱۲-۱۱ تن در هکتار و در کشت پاییزه ۸-۵ تن در هکتار ماده خشک بود (Asher *et al.*, 2020). گزارشات متعدد نشان داده است که کیفیت علوفه، بقایا و دانه کینوا برای دام و طیور نیز مناسب می‌باشد (Asher *et al.*, 2020; Shah *et al.*, 2020). میزان پروتئین خام یونجه کمتر از کینوای برداشت شده در ۴۵، ۹۵ و ۱۲۵ روز بعد از کشت بود ولی برابر با کینوا ۱۴۵ روز بعد از کشت بود (Abarghuei *et al.*, 2025). ابرقویی و همکاران (Abarghuei *et al.*, 2025) ارزش نسبی علوفه کینوا را در زمان‌های مختلف بعد از برداشت بررسی نمودند و ارزش نسبی علوفه کینوا برداشت شده در تیمارهای کینوا ۴۵ و ۹۵ روز بعد از کشت بیشتر از یونجه بود ولی بین علوفه کینوا ۱۲۵روز بعد از برداشت و علوفه یونجه تفاوتی مشاهده نشد و با افزایش سن گیاه این شاخص کاهش یافت.

کردونی و همکاران (Kardooni *et al.*, 2020)، ارزش غذایی سه رقم کینوا (گیزا۱، روزادا و کیو ۱۰۲) را در سه مرحله از رشد گیاه در شرایط اقلیمی خوزستان ارزیابی کردند. این محققین گزارش کردند علوفه هر سه رقم به لحاظ انرژی قابل متابولیسم کیفیت مناسبی داشتند. از نظر پروتئین هم دو رقم گیزا ۱ و روزادا محتوی پروتئین بیشتری نسبت به رقم کیو ۱۰۲ داشتند. بنابراین ارقام گیزا۱ و روزادا را برای تأمین علوفه در منطقه خوزستان توصیه نمودند. در همین زمینه، شاکری و همکاران (Shakeri *et al.*, 2023) ویژگی‌های تغذیه‌ای و ارزش غذایی سیلویی علوفه کینوا را در سه رقم کینوا در کرمان بررسی کردند. این محققین گزارش کردند این نوع سیلاژ قابلیت جایگزینی با علوفه‌های رایج به خصوص از لحاظ پروتئین در جیره نشخوارکنندگان را دارد. استفاده از علوفه کینوا در جیره نشخوارکنندگان می‌تواند باعث کاهش تولید گاز متان و آمونیاک و مشکلات زیست محیطی شود و کینوا می‌تواند جایگزینی برای مشکلات اکولوژیکی در برخی مناطق باشد که گیاهان معمولی به دلیل شوری و خشکی خاک نمی‌توانند رشد کنند (Abarghuei et al., 2025). مجموعه مطالعات موجود در زمینه نیاز کشور به علوفه، لزوم تنوع بخشی به ارقام علوفه‌ای مناسب شرایط دیم کشور و کیفیت مناسب علوفه کینوا ضرورت بررسی و معرفی ارقام علوفه‌ای کینوا برای شرایط دیم را نشان داد. با این هدف لاین‌های امید بخش علوفه‌ای کینوا در شرایط دیم کشور ارزیابی شدند.

مواد و روش ها

به منظور بررسی مقدماتی لاین‌های کینوا، آزمایشی در قالب طرح آگمنت با ۴۳۵ لاین حاصل از خالص سازی اکسشن‌های دریافتی از IPK و USDA همراه با ۵ شاهد ارزیابی شدند. در سال دوم لاین‌ها بر اساس گروه رسیدگی (خیلی زودرس، زودرس، متوسط رس و دیررس) در طرح لاتیس دو تکراره ارزیابی و مقایسه شدند. لاین‌های خیلی زودرس و زودرس با توجه دوره رشد کوتاه با هدف کشت کینوا دانه‌ای و لاین‌های متوسط و دیررس با توجه به تولید زیست توده بالاتر با هدف تولید علوفه انتخاب شدند. با توجه به اینکه لاین‌های دیررس زیست‌توده بیشتری تولید می‌کنند و در مرحله گلدهی که حداکثر زیست‌توده و کیفیت را با توجه به مطالعات ابرقویی و همکاران (Abarghuei et al., 2025)

داشت با هدف علوفه انتخاب شدند. قبل از گزینش نهایی امکان تولید بذر در تاریخ کاشت مناسب نیز ارزیابی شد. لاین‌های منتخب (۱۰۰ لاین) در یک طرح لاتیس ۱۰×۱۰ دو تکراره کشت شدند و ۱۵ لاین برتر برای آزمایشات سازگاری انتخاب گردیدند. کینوا رقم ترمه به عنوان شاهد در این آزمایشات انتخاب گردید. این رقم در سال ۱۴۰۴ معرفی شد و با رنگ دانه قرمز و دومنظوره علوفه‌ای و دانه‌ای است (Salehi, 2026 a). میزان پروتئین دانه این رقم ۱۵/۵ -۱۴/۵ درصد که شامل کل اسیدهای آمینه ضروری مورد نیاز انسان بوده و یک پروتئین گیاهی کامل می‌باشد. کیفیت بقایای این رقم سه تا چهار برابر کاه غلات است. میزان پروتئین علوفه خشک این رقم ۱۶/۸ درصد می‌باشد. این رقم پتانسیل کشت در بهاره زودکاشت مناطق دیم و آبی با آب شور را دارد (Salehi, 2026 b).

به منظور ارزیابی لاین‌های علوفه‌ای کینوا در شرایط دیم، آزمایشی با ۱۵ لاین کینوا علوفه‌ای و رقم شاهد ترمه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی سال‌های ۰۲-۱۴۰۱ و ۰۳-۱۴۰۲ در گرگان، گنبد، سرارود و خرم آباد و سال‌های ۰۳-۱۴۰۲ و ۰۳-۱۴۰۴ در مراغه و ۳-۱۴۰۲ در زنجان اجرا شد. هر لاین در ۴ خط ۵ متری با فاصله ردیف کشت ۴۰ سانتی‌متر و یک خط نکاشت بین لاین‌ها کشت شد. در طول فصل رشد کلیه مراقبت‌های زراعی شامل تغذیه و مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. کود مصرفی ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم اوره بصورت سرک همزمان با بارندگی بود. در نهایت با حذف حاشیه‌ها دو خط وسط برداشت گردید. برداشت در مرحله اواسط تا انتهای گلدهی انجام گردید. صفات زراعی اندازه‌گیری شده شامل وزن تر، درصد ماده خشک و ارتفاع بوته بود. تاریخ کاشت، برداشت و داده‌های هواشناسی مناطق در طول فصل رشد گیاه در جدول ۱ آورده شده است.

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسیمرنوف و 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. در تجزیه مرکب لاین به عنوان فاکتور ثابت و محیط به عنوان فاکتور تصادفی تعریف شد و آزمون F با توجه به امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات، انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل لاین در محیط تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف پارامتریک و غیر پارامتریک با نرم افزار Stabilitysoft (Pour-Aboughadareh et al., 2019) انجام شد.

ارزش نسبی علوفه از محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) محاسبه می‌شود. مقدار ماده خشک مصرفی به عنوان درصدی از وزن بدن حیوان، بر اساس محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه تخمین زده می‌شود. همچنین قابلیت هضم ماده خشک از مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه تخمین زده می‌شود. اگر یک علوفه دارای مقدار ارزش نسبی بیشتر از ۱۰۰ باشد، دام‌ها ماده خشک قابل هضم بیشتری از آن علوفه دریافت می‌کنند.

ارزش نسبی علوفه از معادله زیر محاسبه می‌شود (Abarghuei et al., 2025):

$$RFV=\frac{Dry\ matter\ digestibility\ \% \times Dry\ matter\ inteke\ \%}{1.29}$$

$$\text{Dry matter inteke, \% of body weight} =\frac{120}{NDF}$$

$$\text{Dry matter digestibility \%} = 88.9 - (0.779\text{-ADF})$$

کیفیت علوفه‌ای لاین‌ها منتخب در آزمایشات سازگاری به آزمایشگاه موسسه تحقیقات علوم دامی

ارسال گردید و صفات کیفی علوفه تعیین شد. داده-
ها گزارش شده میانگین کیفیت علوفه مناطق می-
باشد.

جدول ۱- میانگین دما، بارش، حداقل مطلق و دوره رشدی کینوا در مکان‌ها و سال‌های مختلف آزمایش کینوا علوفه‌ای
Table 1- Average temperature, precipitation, absolute minimum and quinoa growth period in different locations and years of the forage quinoa experiment

مکان	سال	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	دمای میانگین (درجه سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر)	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	طول دوره رشد (روز)
Location	Year	Sowing date	Harvesting date	Mean Temperature (ºC)	Rainfall (mm)	Min Temperature (ºC)	Growing period (day)
Gorgan گرگان	۱۴۰۲-۰۱ 2023	۱۴۰۱/۱۱/۱۸ 2023.2.7	۱۴۰۲/۴/۲۸ 2023.7.19	20	201	1	121
	۱۴۰۳-۰۲ 2024	۱۴۰۲/۱۱/۲۴ 2023.2.13	۱۴۰۳/۴/۲۸ 2024.7.19	18	228	-4	115
Gonbad گنبد	۱۴۰۲-۰۱ 2023	۱۴۰۱/۱۲/۹ 2023.3.3	۱۴۰۲/۴/۲ 2023.6.23	21	226	5	84
	۱۴۰۳-۰۲ 2024	۱۴۰۲/۱۲/۱۵ 2023.6.3	۱۴۰۳/۴/۵ 2024.6.25	20	304	0	87
Sararrud سرارود	۱۴۰۲-۰۱ 2023	۱۴۰۱/۱۲/۱ 2023.2.20	۱۴۰۲/۵/۵ 2023.7.27	18	314	-1	127
	۱۴۰۳-۰۲ 2024	۱۴۰۲/۱۱/۲۵ 2024.2.14	۱۴۰۳/۵/۵ 2024.7.27	17	423	-5	132
KhoramAbad خرم آباد	۱۴۰۲-۰۱ 2023	۱۴۰۱/۱۲/۱۴ 2023.3.5	۱۴۰۲/۴/۶ 2023.6.27	20	226	-1	83
	۱۴۰۳-۰۲ 2024	۱۴۰۲/۱۱/۲۵ 2023.2.14	۱۴۰۲/۳/۲۰ 2023.6.10	16	451	-5	85
Maraghe مراغه	۱۴۰۳ 2024	۱۴۰۳/۱/۱۵ 2024.4.3	۱۴۰۳/۳/۲۷ 2024.6.16	16	258	-1	74
	۱۴۰۴ 2025	۱۴۰۴/۰۱/۹ 2025.3.29	۱۴۰۴/۴/۹ 2025.6.30	16	103	-8	83
Zanjan زنجان	۱۴۰۳ 2024	۱۴۰۳/۰۱/۱۵ 2024.4.3	۱۴۰۳/۳/۳۰ 2025.6.20	15	107	1	77

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده کینوا علوفه‌ای در ۹ محیط
Table 2- Composite analysis of variance of measured traits of forage quinoa in 9 environments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	درصد ماده خشک Dry matter percent	ارتفاع بوته Plant height
محیط Enviroment	8	3377.5**	177.9**	2030.8**	9400.6**
اشتباه ۱ Error 1	18	125.7	3.94	66.5	445.5
لاین Line	15	74.5^{ns}	4.95^{ns}	41.5^{ns}	877.5**
لاین× محیط Line*Env	120	4411**	4.2**	31.96**	184.6*
اشتباه ۲ Error 2	270	24.9	2.36	16.3	137.6

ضریب تغییرات CV	20.5	21.8	13.4	13.7

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.
*significant at 5% level, **significant at 1% level and ns is not significant.

نتایج و بحث

به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها، آزمون بارتلت انجام شد. با توجه به معنی‌دار نبودن آزمون بارتلت امکان انجام تجزیه مرکب وجود داشت، ولی از آنجایی که نتایج بدست آمده از سال اول اجرای طرح در ایستگاه چالکی و سال دوم در ایستگاه مراغه به دلیل شرایط خاص اقلیمی این دو سال، متفاوت بود در تجزیه مرکب استفاده نشد. نتایج نشان داد اثر محیط بر کلیه صفات و اثر لاین‌ها بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود، اثر متقابل لاین در محیط بر کلیه صفات معنی‌دار بود و تجزیه پایداری انجام شد (جدول ۲). بدین منظور جدول تجزیه واریانس و میانگین عملکرد علوفه خشک لاین‌های مورد بررسی به تفکیک مناطق اجرا در جداول ۳ و۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها در گرگان، سرارود سال دوم، خرم آباد سال اول، مراغه و زنجان معنی‌دار بود. لاین‌های ۵ و ۷ در خرم آباد و مراغه برتر بودند. لاین ۱۳ در گرگان سال اول و سرارود سال اول برتر بودند و در سایر مناطق اختلاف معنی‌داری بین لاین‌ها مشاهده نشد (جدول ۴).

میانگین صفات اندازه‌گیری شده در محیط‌ها نشان داد که وزن تر و خشک بین ۲۷-۲۱ و ۷/۸۰ تا ۶ تن در هکتار بود. درصد ماده خشک ۳۲-۲۸ درصد و ارتفاع بوته ۹۳-۷۲ سانتی‌متر بود (جدول ۵). بطور میانگین لاین‌ها ۷ تن در هکتار ماده خشک با ۳۰ درصد ماده خشک و ارتفاع بوته ۸۵ سانتی‌متر در میانگین مناطق مورد بررسی تولید نمودند. بیشترین و کمترین ماده خشک را به ترتیب لاین ۵ و رقم ترمه تولید نمودند.

جهت بررسی پایداری لاین‌ها از روش‌های مختلف پایداری استفاده گردید. نتایج در جدول۶ و ۷ آمده است. بالاترین میانگین عملکرد (۷/۸ تن در هکتار علوفه خشک)، کمترین میزان شاخص ریک W_i^2 (۳/۱)، شاخص شوکا (۳۳/۰) $\sigma^2 i$، انحراف از رگرسیون s^2d_i (۰/۴۲) و واریانس محیطی CVi (۲۷/۵۹) مربوط به لاین ۵ است. لاین ۷ با عملکرد مناسب (۷/۳ تن در هکتار علوفه خشک)، W_i^2پایین (۱/۹۷)، (۱۷/۰) $\sigma^2 i$، s^2d_i (۰/۲۷)، CVi (۲۵/۹۵) لاینی پرمحصول و پایدار است. لاین ۱۳ دارای پایداری متوسط می‌باشد. لاین ۱۳ عملکرد متوسط تا خوب (رتبه ۷ از ۱۶) دارد که نشان‌دهنده توانایی تولید محصول قابل قبول در محیط‌های مختلف است. این لاین نسبت به تغییرات محیطی واکنش متعادل دارد. شیب رگرسیون (bi) کمتر از ۱ است که نشان می‌دهد لاین ۱۳ ممکن است در محیط‌های نامطلوب عملکرد بهتری داشته باشد و نسبت به محیط‌های مطلوب نیز حساسیت کمتری دارد و برای محیط‌هایی با شرایط متغیر یا نامطلوب که نیاز به لاینی با پایداری نسبی و عملکرد قابل قبول دارند، مناسب باشد. شاخص مجموع رتبه کانگ (۱۹۸۸) (KR) بر اساس رتبه عملکرد و واریانس پایداری تعریف میشود لاین‌های ۵، ۷، ۱ و ۱۳ انتخابی از آزمون‌های پارامتریک از لحاظ این شاخص، رتبه ۱، ۲، ۳ و ۸ داشتند (جدول ۸). میانگین مجموع رتبه‌ها و انحراف معیار لاین‌های ۵ ، ۱ ، ۷ و لاین ۱۳ به ترتیب (2.81±3.39) ، (3.50±3.61)، (3.00±3.63) و (8.56±2.92) بود.

فرانسیس و کنبرگ (Francis and Kenberg, 1978) با استفاده از میانگین عملکرد و ضریب تغییرات، محل قرار گرفتن لاین‌ها روی محور مختصات را به

صورت نقاط نشان دادند و سپس بر این اساس لاین-ها را به چهار گروه تقسیم بندی نمودند. خطوط عمودی که جدا کننده مناطق از یکدیگر است، بر اساس میانگین ضریب تغییرات و میانگین عملکرد رسم می‌گردد. گروه ۱ دارای عملکرد بالا و ضریب تغییرات کم است که لاین‌های ۳، ۷، ۱، ۱۳، ۱۴ و ۵ در این گروه قرار گرفت. همچنین لاین‌های برتر در این گروه قرار دارند. گروه ۲ عملکرد بالا و تغییرات زیاد دارد که لاین ۱۵، ۹ و ۶ در این گروه قرار گرفت. گروه ۳ دارای ضریب تغییرات و عملکرد پایین است که لاین ۱۶ و ۲ در این گروه قرار گرفت. در گروه ۴ تغییرات زیاد و عملکرد پایین است که لاین‌های ۴، ۱۰، ۸، ۱۲ و ۱۱ در این گروه قرار گرفتند (شکل ۱). لاین‌های ۹ و ۱۵ دارای رگرسیون بزرگتر از یک هستند و سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد دارند (شکل ۲). لاین‌های ۵ و سپس ۶، ۷، ۱ و ۱۳ دارای سازگاری عمومی خوبی هستند. لاین‌های ۱۴ و ۳ دارای سازگاری عمومی متوسط و بقیه لاین‌ها دارای سازگاری عمومی کمتر از متوسط هستند. معیار سوم برای ارزیابی پایداری، انحراف از رگرسیون است که باید صفر یا حداقل باشد. نمودار دو طرفه انحراف از رگرسیون و ضریب رگرسیون (شکل ۳) نشان داد که لاین ۵ با توجه به برتر بودن شاخص‌های پایداری و عملکرد گزینش می‌گردد و لاین ۶ میزان انحراف زیادی از رگرسیون دارد و ارزیابی و گزینش نهایی برای پایداری لاین برتر دوم باید بین لاین‌های ۱، ۷ و ۱۳ انجام شود. لاین برتر نهایی بر اساس کیفیت علوفه تعیین شد.

کیفیت علوفه لاین‌های برتر: ترکیبات شیمیایی گیاه وابسته به عواملی مانند رقم گیاه، شرایط آب و هوایی در طول کاشت، داشت و برداشت، زمان برداشت، شرایط تغذیه (مقدار و زمان کوددهی) و شرایط ذخیره گیاه است (Ayasan, 2020; Üke *et al.*, 2017). میزان ماده خشک در علوفه‌های مورد بررسی دامنه‌ای بین ۹۵/۵۵ تا ۹۶/۱۰ درصد ماده خشک داشت، بیشترین مقدار ماده خشک در لاین ۵ مشاهده شد. بیشترین مقدار پروتئین خام در لاین ۱۰ (۱۶/۹۲ درصد ماده خشک) و کمترین برای لاین ۱۴ (۱۳/۹۳ درصد ماده خشک) تعیین گردید. مقدار خاکستر خام علوفه کینوا، بین ۲۳/۲۴ تا ۲۹/۲۴ درصد ماده خشک بود که بسیار بیشتر از علوفه‌هایی مانند یونجه می‌باشد (جدول ۸). غلظت عصاره اتری موجود در لاین‌ها متفاوت بود و بیشترین مقدار در لاین ۱۳ و کمترین مقدار در لاین ۱ مشاهده شد. مقادیر فیبر خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و لیگنین در لاین‌های کینوا مورد بررسی نیز متفاوت بود. مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی ترکیبی از کربوهیدرات‌های ساختاری مانند سلولز، همی-سلولز و لیگنین است و همچنین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ترکیبی از کربوهیدرات-های ساختاری مانند سلولز و لیگنین است و رابطه مهمی با نسبت ساقه به برگ در گیاهان دارند (Temel *et al.*, 2022). مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از صفات مهم کیفی علوفه هستند. مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی به عنوان معیار شکم پرکن نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام است. مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی رابطه نزدیکی با گوارش‌پذیری دارد و با افزایش این ترکیب گوارش‌پذیری کاهش می‌یابد (Van Soest, 1994).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده عملکرد علوفه خشک لاین‌ها به تفکیک در ۱۱ محیط

Table 3- Analysis of variance of measured traits of dry forage yield of lines separately in 11 environments

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	گرگان ۰۲- ۱۴۰۱ Gorgan 2023	گرگان ۰۲- ۱۴۰۳ Gorgan 2024	گنبد ۰۲- ۱۴۰۱ Gonbad 2023	گنبد ۰۲- ۱۴۰۳ Gonbad 2024	سرارود ۰۲- ۱۴۰۱ Sararud 2023	سرارود ۰۳- ۱۴۰۲ Sararud 2024	خرم آباد ۰۲- ۱۴۰۱ Khoramabad 2023	خرم آباد ۰۳- ۱۴۰۲ Khoramabad 2024	زنجان ۰۳- ۱۴۰۲ Zanjan 2024	مراغه ۱۴۰۳ Maragheh 2024	مراغه ۱۴۰۴ Maragheh 2025
تیمار Treatment	15	159.28*	12.6**	3.65ns	9.4ns	4.57ns	1.83**	1.56**	2.1ns	0.75**	13.86*	0.5*
تکرار Replication	2	158.5ns	9.0ns	0.91ns	1.21ns	11.2*	0.56ns	2.23**	3.2ns	0.063ns	242.04**	0.7ns
اشتباه Error	30	69.20	3.2	4.84	7.02	2.8	0.45	0.32	1.6	0.09	5.8	0.2
ضریب تغییرات CV		15.52	23.8	26.4	25.9	22.7	12.13	8.51	15.6	5.38	9.3	26

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.

*significant at 5% level, **significant at 1% level and ns is not significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) لاین‌های علوفه‌ای کینوا در ۱۱ محیط

Table 4- Comparison of average dry forage yield (tons per hectare) of quinoa forage lines in 11 environments

لاین Line	گرگان ۰۲- ۱۴۰۱ Gorgan 2023	گرگان ۰۲- ۱۴۰۳ Gorgan 2024	گنبـد ۰۲- ۱۴۰۱ Gonbad 2023	گنبد ۰۲- ۱۴۰۳ Gonbad 2024	سرارود ۰۲- ۱۴۰۱ Sararud 2023	سرارود ۰۳-۱۴۰۲ Sararud 2024	خرم آباد ۰۲-۱۴۰۱ Khoramabad 2023	خرم آباد ۰۳-۱۴۰۲ Khoramabad 2024	زنجان ۰۳- ۱۴۰۲ Zanjan 2024	مراغه ۱۴۰۳ Maragheh 2024	مراغه ۱۴۰۴ Maragheh 2025
1	16.1	7.5	8.35	10.1	7.87	6.53	6.1	9.2	5.5	4.58	2.09
2	18.1	5.1	7.37	8.8	7.79	5.93	6.6	8.1	6.5	4.83	1.44
3	13.8	9.2	7.37	8.9	5.73	5.40	7.7	8.0	6.7	3.30	2.07
4	18.9	7.5	9.07	10.8	7.53	6.78	5.8	6.7	5.9	2.82	2.24
5	17.4	9.2	8.90	10.6	9.35	5.56	7.3	9.1	6.0	4.18	2.01
6	13.8	11.3	9.23	11.1	5.55	5.41	7.8	7.5	5.5	3.91	1.75
7	13.7	7.3	9.05	11.0	7.49	5.56	6.4	8.2	6.1	4.85	1.60
8	19.6	5.5	8.71	10.4	6.37	6.51	6.8	8.0	5.4	3.63	2.29
9	23.8	7.2	10.55	12.6	6.33	5.15	5.9	9.3	5.3	3.23	1.94
10	20.4	4.7	8.29	10.3	8.35	5.77	7.2	7.8	5.3	2.68	2.21
11	25.7	4.5	7.77	9.0	9.17	4.69	7.7	7.5	5.7	3.81	1.27
12	23.1	6.1	7.42	8.9	7.96	4.31	6.5	9.4	5.4	3.13	1.74
13	22.3	9.7	7.52	9.0	9.31	6.61	6.5	6.9	5.8	3.67	1.84
14	22.9	9.6	7.61	9.1	6.52	5.79	5.9	8.7	5.6	3.62	2.70
15	14.7	9.7	9.92	14.9	7.16	4.37	5.5	8.5	4.6	2.20	1.16
Termeh	17.8	6.7	6.26	7.5	6.19	4.83	6.9	7.6	5.9	2.44	1.47
LSD 0.05	6.3	3.0		4.4		1.12	0.95	1.5	0.51	1.47	0.81

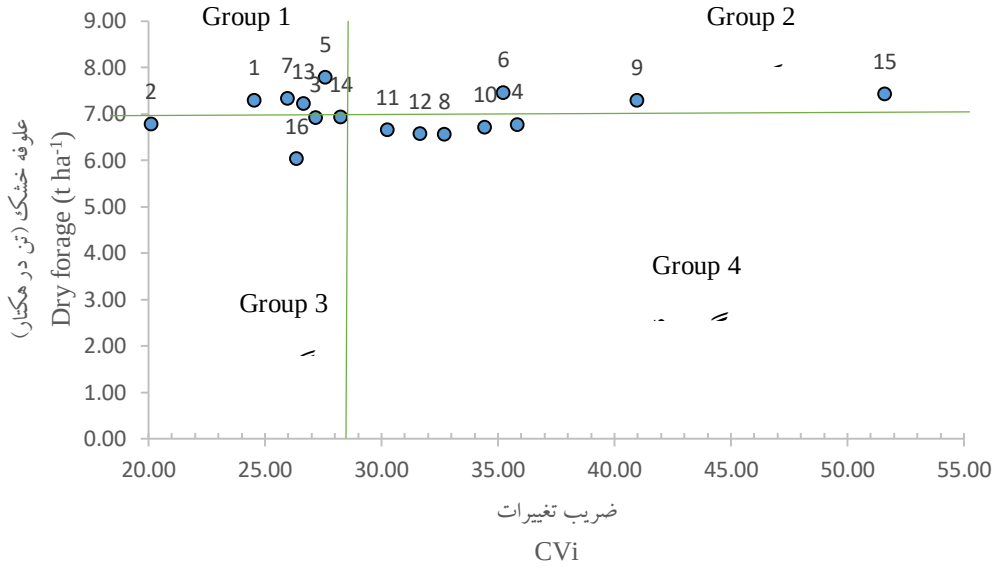
جدول ۵- میانگین صفات اندازه گیری شده کینوا علوفه‌ای در شرایط دیم ۹ محیط

Table 5- Average measured traits of forage quinoa under rainfed conditions in 9 environments

لاین Lines	عملکرد وزن تر (تن در هکتار) Fresh weight yield (t ha^{-1})	عملکرد وزن خشک (تن در هکتار) Dry weight yield (t ha^{-1})	درصد ماده خشک Dry matter percentage	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height
1	24.32	7.30	31.7	93.8a
2	25.71	6.79	28.6	88.8ab
3	24.98	6.96	28.4	89.8a
4	23.56	7.00	30.9	84.6ab
5	27.20	7.80	30.4	82.2abc
6	25.41	7.48	30.3	86.0ab
7	25.70	7.34	29.8	83.1abc
8	23.79	6.82	30.5	77.3bc
9	27.58	7.30	27.8	93.6a
10	23.18	6.73	30.6	84.9ab
11	22.81	6.66	30.8	72.2c
12	22.35	6.58	32.2	84.1abc
13	23.64	7.22	31.0	88.7ab
14	24.73	6.94	28.8	81.9abc
15	24.83	7.44	30.5	84.2abc
Termeh	21.30	6.04	31.1	91.2a
Maxحداکثر	27.6	7.8	32.2	93.8
Min حداقل	21.3	6.0	27.8	72.2
Mean میانگین	24.4	7.0	30.2	85.4

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

Common letters in each column indicate no significant difference.



شکل ۱- پراکنش دو طرفه ۱۶ لاین کینوا علوفه‌ای بر اساس ضریب تغییرات و عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) (داده‌های میانگین ۹ محیط است).

Figure 1- Two-way scatter of 16 forage quinoa lines based on coefficient of variation and dry forage yield (t ha^{-1}) (data are averages of 9 environments).

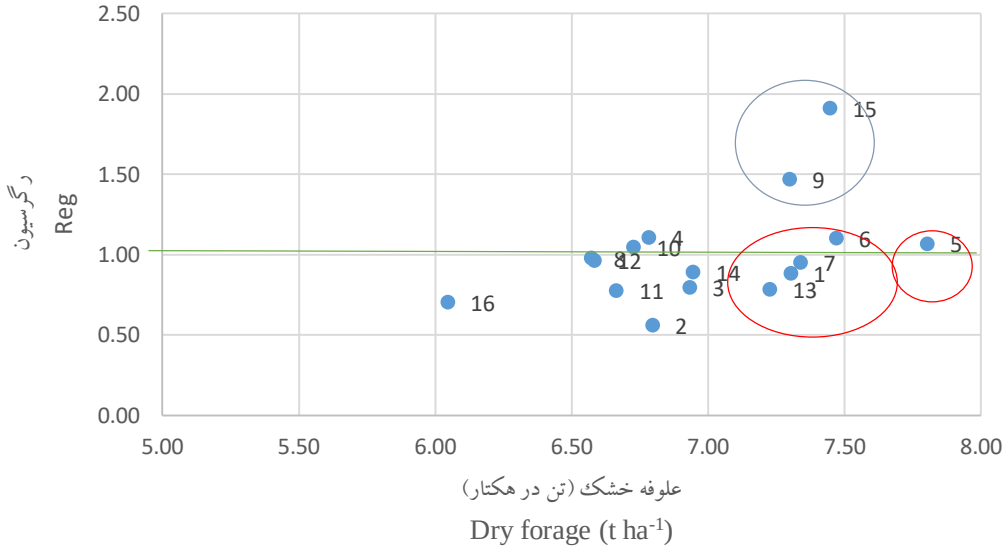
جدول ۶- روش‌های پارامتری و غیر پارامتری تجزیه پایداری برای عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) برای ۱۶ لاین کینوا در ۹ محیط

Table 6: Parametric and nonparametric methods of stability analysis for dry forage yield (t ha-1) for 16 quinoa lines in 9 environments

لاین Lines	عملکرد تن در هکتار Yield (t ha^{-1})	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	b_i	CVi	$\theta_{(i)}$	θ_i	*K*R
1	7.30	2.66	0.27	0.32	0.88	24.53	1.55	0.97	7
2	6.80	11.25	1.50	0.79	0.56	20.10	1.47	1.54	21
3	6.93	10.73	1.43	1.35	0.79	27.17	1.47	1.50	18
4	6.78	10.95	1.46	1.52	1.11	35.83	1.47	1.52	21
5	7.80	3.11	0.34	0.42	1.07	27.59	1.55	1.00	4
6	7.47	19.38	2.66	2.72	1.10	35.22	1.39	2.08	17
7	7.34	1.98	0.18	0.27	0.95	25.95	1.56	0.92	5
8	6.57	8.33	1.08	1.19	0.98	32.69	1.50	1.34	22
9	7.30	13.45	1.82	0.97	1.47	40.97	1.45	1.68	19
10	6.73	10.11	1.34	1.43	1.05	34.43	1.48	1.46	20
11	6.66	16.01	2.18	2.07	0.78	30.24	1.42	1.86	27
12	6.58	6.95	0.89	0.99	0.96	31.65	1.51	1.25	18
13	7.23	12.61	1.70	1.60	0.78	26.64	1.46	1.63	19
14	6.94	7.32	0.94	1.00	0.89	28.25	1.51	1.28	13
15	7.44	33.53	4.68	1.24	1.91	51.58	1.26	3.02	19
Termeh	6.04	8.11	1.05	0.78	0.70	26.35	1.50	1.33	22

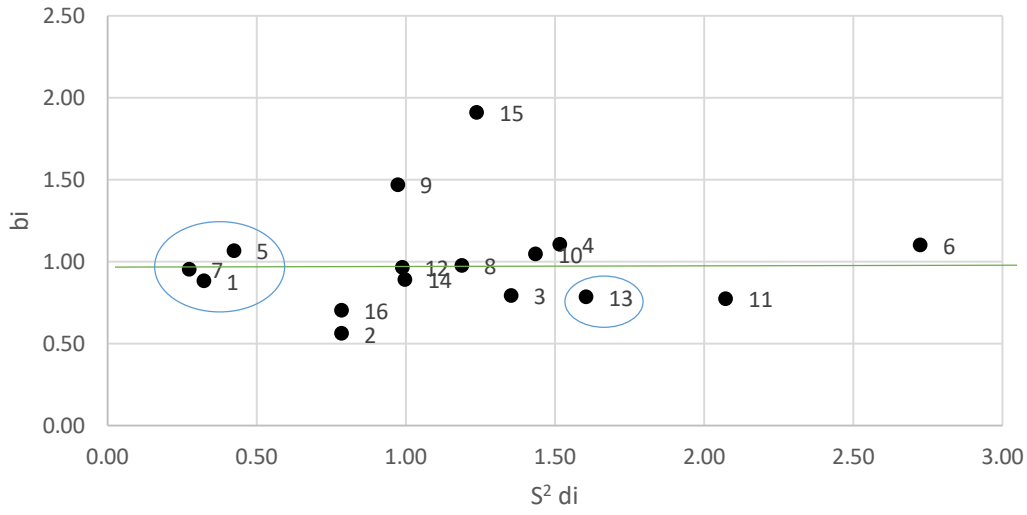
θi = mean variance component; θ(i) = GE variance component; Wi 2 = Wricke's ecovalence stability index; W_i^2 (%)=Wricke's ecovalence stability index percent; bi = regression coefficient; Sdi 2 = deviation from regression; σi 2 = Shukla's stability variance; CVi = environmental coefficient of variance, KR = Kang's rank-sum; Y = yield.

θi=میانگین مؤلفه واریانس؛ θ(i)=مؤلفه واریانسGE ؛ Wi2 =شاخص پایداری اکووالانس ریک؛ W_i^2 (%) =درصد شاخص پایداری اکووالانس ریک؛ bi =ضریب رگرسیون؛ Sdi2 =انحراف از رگرسیون؛ σi2 =واریانس پایداری شوکلا؛ CVi =ضریب واریانس محیطی، KR =مجموع رتبه‌های کانگ؛ Y =عملکرد.



شکل ۲- پراکنش دو طرفه ۱۶ لاین کینوا علوفه‌ای بر اساس رگرسیون و عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) (داده‌های میانگین ۹ محیط است).

Figure 2 - Two-way scatter of 16 forage quinoa lines based on regression and dry forage yield (tons per hectare) (data are average of 9 environments).



شکل ۳- پراکنش دو طرفه ۱۶ لاین کینوا علوفه‌ای بر اساس شیب رگرسیون و انحراف از رگرسیون

Figure 3 - Two-way scatter of 16 forage quinoa lines based on regression slope and regression deviation

کربوهیدرات‌های مورد استفاده در دام به دو دسته کربوهیدرات‌های ساختاری (فیبری) و ذخیره‌ای (غیرفیبری) تقسیم می‌شوند. قندها و مواد نشاسته‌ای و دیگر کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای، به دلیل خصوصیات هضمی متفاوت در زمان تخمیر شکمبه‌ای، ترکیبات مختلفی از اسیدهای آلی را تولید می‌نمایند که اثرات متفاوتی بر اسیدیته شکمبه و تولید پروتئین میکروبی و گوارش‌پذیری دارند (Van Soest, 1994). در تحقیق حاضر مقادیر کربوهیدرات‌های غیرفیبری بین ۳۹/۴۴ تا ۴۱/۹۸ درصد ماده خشک برآورد گردید که بین لاین‌های مختلف تفاوتهای زیادی مشاهده نشد.

ارزش نسبی علوفه، تخمینی از کیفیت کلی علوفه است و از میزان جذب و گوارش‌پذیری ماده خشک محاسبه می‌شود و مقدار مرجع آن ۱۰۰ است که مربوط به یونجه در مرحله گلدهی کامل است (Atis *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2020). در یونجه (با پروتئین خام ۱۵ و الیاف نامحلول در شوینده خنثی ۵۱ درصد ماده خشک)، مقدار ارزش نسبی علوفه به‌طور متوسط ۱۵۰ واحد گزارش شده است که کمتر از ارزش نسبی محاسبه شده در تحقیق حاضر (دامنه بین ۱۴۴/۶۷ تا ۲۲۴/۷۱) بود. رقم گلرنگ بهرنگ دارای ارزش نسبی علوفه ۱۶۰ رقم علوفه‌ای مناسب شرایط دیم می‌باشد (Pourdad *et al.*, 2025). این شاخص با مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی رابطه منفی دارد و بنابراین افزایش مقادیر این ترکیبات در علوفه، سبب کاهش این شاخص خواهد شد (Abarghuei *et al.*, 2025). بنابراین بیشترین بودن این شاخص در لاین‌های ۵ و ۱۳ احتمالاً در نتیجه کمتر بودن مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی است. در پژوهشی، ارزش نسبی علوفه ارقام مختلف کینوا برداشت شده در مرحله رسیدگی دانه، بین ۱۳۴/۱۴۷-۳۶/۶۰ محاسبه شد (Kaya *et al.*, 2020).

تخمین گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی در علوفه خشک کینوا نشان داد که این پارامتر در لاین‌های مختلف به ترتیب دامنه‌ای بین ۷۹/۶۰ تا ۸۹/۹۶ و ۷۲/۸۰ تا ۸۶/۰۳ درصد ماده خشک را داشت. عواملی که بر گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی مؤثر هستند، شامل نسبت برگ به ساقه، ترکیبات مغذی مانند پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، لیگنین و وجود ترکیبات ثانویه گیاهی می‌باشند (Abarghuei *et al.*, 2025; Van Soest, 1994). بیشترین و کمترین مقدار گوارش‌پذیری به ترتیب در لاین ۱۳ و ۱ مشاهده شد که احتمالاً در نتیجه مقدار کمتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی لاین ۱۳ و مقدار بیشتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی لاین ۱ است. همچنین عامل موثر بعدی می‌تواند مقادیر کمتر ترکیبات فنولیک و تانن در لاین ۱۳ در مقایسه با لاین ۱ باشد. نتایج این تحقیق، مطابق با چندین گزارش است که نشان از کیفیت بالای علوفه کینوا بوده، زیرا دارای مقادیر زیادی پروتئین است و بسیار قابل‌هضم می‌باشد (Asher *et al.*, 2020; Peiretti *et al.*, 2013). در تحقیقی توسط باروس رودریگورز و همکاران (Barros-Rodríguez *et al.*, 2018) مقدار گوارش‌پذیری ماده خشک علوفه کینوا برداشت شده در مرحله رسیدگی دانه ۵۸۳/۲ گرم در کیلوگرم ماده خشک برآورد گردید که کمتر از نتایج تحقیق حاضر بود. پیریپی و همکاران (Peiretti *et al.*, 2013) مقادیر گوارش‌پذیری ماده خشک علوفه کینوا برداشت شده در مراحل مختلف رشد را بین ۷۱-۹۲ درصد ماده خشک برآورد و گزارش کردند که گوارش‌پذیری، با افزایش بلوغ گیاه کینوا کاهش یافت. گوارش‌پذیری ماده خشک علوفه ۶ رقم کینوآ در ترکیه ۶۵/۱۴ تا ۶۷/۱۷ درصد تعیین شده است

(Kaya *et al.*, 2020)، که با نتایج آزمایش اخیر مطابقت دارد، در حالی که پاتان و همکاران (Pathan *et al.*, 2025) مقادیر بالاتری از گوارش-پذیری آزمایشگاهی را در علوفه کینوآ مشاهده کردند. این محققین میانگین گوارش‌پذیری ماده خشک در ۸ رقم کینوآ در سال (۲۰۱۵) را ۸۱ درصد و میانگین گوارش‌پذیری ماده خشک را در همان ارقام ۶۸ درصد در سال (۲۰۱۶) گزارش کردند. این اختلافات بین نتایج تحقیقات، به دلیل فصل، شرایط آب‌وهوایی، بلوغ گیاه (به دلیل اعمال تغییرات بر اجزای دیواره سلولی و پروتئین)، مرحله برداشت و وجود ترکیبات فعال گیاهی (که بر مقدار تجزیه-پذیری و گوارش‌پذیری خوراک مؤثر هستند) می-باشد (Meza-Bone *et al.*, 2022).

با توجه به مقادیر ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم، لاین ۱۶ برتر از همه است. چون ۱۶/۸۹درصد پروتئین و ۸۶/۵ درصد ماده خشک قابلیت هضم دارد. مقدار NDF کمی بیشتر از سایرین است ولی لیگنین کمتری دارد. این لاین یک لاین دو منظوره در دست معرفی می‌باشد که به عنوان شاهد در این آزمایش استفاده شده است.

با توجه به مقادیر ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم، پس از لاین ۱۶ لاین ۱۳ برتر از همه است. چون تقریبا ۱۵ درصد پروتئین دارد و قابلیت هضم نزدیک ۹۰ درصد ماده خشک دارد. مقدار NDF قابل قبول دارد و ارزش نسبی علوفه ۲۰۰ بود. بعد از لاین ۱۳ لاین ۵ دارای پروتئین ۱۴/۲ درصد و قابلیت هضم ۸۴ درصد ماده خشک و ارزش نسبی علوفه ۲۲۴ می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۷- رتبه بندی روش‌های پارامتری و غیر پارامتری تجزیه پایداری برای عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) برای ۱۶ لاین کینوا در ۹ محیط

Table 7 - Ranking of parametric and non-parametric methods of stability analysis for dry forage yield (t ha^{-1}) for 16 quinoa lines in 9 environments

Linesلاین	Y	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	CVi	*K*R	$\theta_{(i)}$	θ_i	SR	AR	SD
1	5	2	2	2	2	3	2	15	56	3.50	3.16
2	10	11	11	5	1	12	11	6	138	8.63	2.87
3	9	9	9	11	6	6	9	8	162	10.13	2.63
4	11	11	10	13	14	12	10	7	184	11.50	1.97
5	1	3	3	3	7	1	3	14	45	2.81	3.39
6	2	15	15	16	13	5	15	2	162	10.13	5.10
7	4	1	1	1	3	2	1	16	48	3.00	3.63
8	15	7	7	9	11	14	7	10	133	8.31	3.24
9	6	13	13	6	15	8	13	4	184	11.50	3.50
10	12	8	8	12	12	11	8	9	130	8.13	2.45
11	13	14	14	15	9	16	14	3	178	11.13	3.38
12	14	4	4	7	10	6	4	13	154	9.63	4.11
13	7	12	12	14	5	8	12	5	137	8.56	2.92
14	8	5	5	8	8	4	5	12	85	5.31	2.55
15	3	16	16	10	16	8	16	1	207	12.94	5.04
Termeh	16	6	6	4	4	14	6	11	159	9.94	4.60

θi = mean variance component; θ(i) = GE variance component; Wi 2 = Wricke's ecovalence stability index; bi = regression coefficient; Sdi 2 = deviation from regression; σi 2 = Shukla's stability variance; CVi = environmental coefficient of varianceSR= sum ranks ; AR = average of the sum ranks; Y = yield.

θi=میانگین مؤلفه واریانس؛ θ(i)=مؤلفه واریانسGE ؛ Wi2= شاخص پایداری اکووالانس ریک؛ W_i^2 (%)= درصد شاخص پایداری اکووالانس ریک؛ bi= ضریب رگرسیون؛ Sdi2= انحراف از رگرسیون؛ σi2= واریانس پایداری شوکلا؛ CVi= ضریب واریانس محیطی، KR= مجموع رتبه‌های کانگ؛ Y= عملکرد.

جدول ۸- کیفیت علوفه برخی لاین‌های انتخاب شده کینوا

Table 8- Forage quality of selected quinoa lines

ترکیب شیمیایی	Chemical Composition	علوفه کینواQuinoa Forage						کاه	
		NSRCQ 1	NSRCQ 5	NSRCQ 7	NSRCQ10	NSRCQ13	NSRC 14 Q	Termeh	گندم Wheat Straw[1]	یونجه Alfalfa[1]
ماده خشک	Dry matter	95.55	96.10	97.31	95.88	96.03	95.58	96.01	91.7	90.8
پروتئین خام	Crude protein	14.07	14.18	14.17	16.92	14.94	13.93	16.89	3.70	16.5
چربی خام	Crude fat	1.30	1.90	1.27	2.10	3.69	2.09	2.96	0.80	1.2
فیبر خام	Crude fiber	19.11	13.52	23.52	15.78	12.87	12.91	14.36	36.0	25.4
الیاف محلول در شوینده خنثی	Insoluble fibers in neutral detergent	48.37	32.63	43.99	43.95	37.8	43.57	42.46	72.0	42.1
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	Acid detergent insoluble fibers	17.56	12.93	25.03	15.46	11.63	14.79	14.94	46.4	30.5
لگنین	Lignin	5.56	5.7	5.76	4.95	6.07	5.75	5.26	8.4	8.3
تانن	Tannin	0.869	0.045	-	0.182	0.327	0.145	0.393	38.0	22.2
ترکیبات فنولی	Phenolic compounds	2.255	1.961	-	2.353	2.003	2.028	2.464	25.6	11.6
کربوهیدراتها ی غیر فیبری	Non-fibrous carbohydrates	41.98	41.16	-	39.44	40.70	41.59	41.62	0.3	1.6
کربوهیدارت کل	Total carbohydrates	61.09	54.68	-	55.22	53.57	57.50	55.98	0.07	0.27
خاکستر خام	Raw ash	23.55	29.24	23.24	25.76	27.80	26.47	24.14	7.2	11.1
ارزش نسبی علوفه	Relative value of fodder	144.7	224.7	146.8	162.6	200.3	165.2	169.3	68	144
قابلیت هضم ماده آلی در ماده خشک	Digestibility of organic matter in dry matter	53.8	55.89	-	58.0	60.61	54.85	59.0	–	68.5
قابلیت هضم ماده خشک	Dry matter digestibility	79.6	84.1	70.8	82.7	89.96	81.8	86.5	–	73.3
قابلیت هضم ماده آلی	Digestibility of organic matter	72.8	78.06	62.3	44.23	86.03	74.58	81.6	-	-
عملکرد پروتئین (تن در هکتار)	Protein yield (t ha^{-1})	1.03	1.11	1.04	1.13	1.08	0.966	1.02	-	-

(FEDNA 2010)[1]

نتیجه گیری کلی

انتخاب علوفه و یا لاین برتر بستگی به میزان زیست‌توده تولیدی و کیفیت علوفه‌ای آن دارد، براساس این دو صفت لاین‌های برتر انتخاب شدند. لاین ۵ پرمحصول و پایدار و دارای ۱۴/۲ درصد پروتئین و ارزش نسبی علوفه ۲۲۴ است. لاین ۷ هم پرمحصول و پایدار است و ۱۴ درصد پروتئین با ارزش نسبی علوفه ۱۴۶ است. لاین ۱۳ دارای پایداری متوسط است. مناسب برای محیط‌هایی با شرایط متغیر یا نامطلوب که نیاز به لاینی با پایداری نسبی و عملکرد قابل قبول دارند. میزان پروتئین این

لاین حدود ۱۵ درصد، گوارش پذیری بالا (۹۰) و ارزش نسبی علوفه ۲۰۰ است. در صورتی عملکرد پروتئین در هکتار این سه لاین محاسبه گردد، به ترتیب ۱۱۰۶، ۱۰۲۷ و ۱۰۲۴ کیلوگرم در هکتار برای لاین ۵، ۷ و ۱۳ به دست می‌آید. با توجه به کیفیت علوفه، بررسی پارامترهای سازگاری و عملکرد علوفه خشک لاین‌های ۵، ۷ و ۱۳ برای معرفی در شرایط دیم انتخاب گردیدند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل اجرای طرح تحقیقاتی با کد ۰۲۰۳۶۹-۰۰۸-۲۳۱۳-۲۳-۳ است. نویسندگان بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در تأمین امکانات و زمینه‌سازی اجرای این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌کنند.

منابع

Abarghuei MJ, Karimi A, Agah MJ. 2025. The effect of harvesting stage and different levels of nitrogen fertilizer on chemical compounds, in vitro fermentation parameters and ch4 production of quinoa forage in ruminant. Journal of Ruminant Research, 13(2):49-76.

Alizadeh Kh. 2019. Annual forage plants under dryland conditions - a review article. Iranian Dryland Agriculture, 8(1):95-113. [In Persian]

Anonymous. 2024. Agricultural statistics of the Ministry of Agricultural Jihad. [In Persian]

Asher A, Galili S, Whitney T, Rubinovich L. 2020. The potential of quinoa (Chenopodium quinoa) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed. Scientia Horticulturae, 272:109534.

Atis I, Konuskan O, Duru M, Gozubenli H, Yilmaz S. 2012. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. International Journal of Agriculture & Biology, 14:879-886.

Ayasan T. 2020. Determination of nutritional value of some quinoa varieties. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 44(4):950-954.

Barros-Rodríguez M, Cajas-Naranjo M, Núñez-Torres O, Mera-Andrade R, Artieda-Rojas J, Sandoval-Castro C, Solorio-Sánchez J. 2018. In situ rumen degradation kinetics and in vitro gas production of seed, whole plant and stover of Chenopodium quinoa. Journal of Animal and Plant Sciences, 28(1):327-331.

Bazile D, Bertero HD, Nieto C. 2015. State of the art report on quinoa around the world in 2013. FAO.

FEDNA (Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal), De Blas C, Mateos GG, Rebollar PG (Eds.). 2010. Normas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.). Fund. Esp. Desarr. Nutr. Anim., Madrid, Spain.

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(4):1029-1034.

González JA, Rosa M, Parrado MF, Hilal M, Prado FE. 2009. Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species (Chenopodium quinoa Willd.) growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 96(2):144-151.

Kardooni A, Tavoosi M, Mahdavimajd J, Taheri Dezfuli B, Anafjeh Z. 2020. Determination of nutritional value of three cultivars of quinoa (Giza1, Rosada and Q102) at three harvesting stages. Animal Husbandry Sciences and Techniques, 9(36):3-12.

Kaya E, Aydemir SK. 2020. Determining the forage yield, quality and nutritional element contents of quinoa cultivars and correlation analysis on these parameters. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 57(2):311-317.

Kang M. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 16(1/2):113-115.

Meza-Bone G, Meza-Bone C, Avellaneda-Cevallos J, Cabezas-Congo R, Villamar-Torres R, Cabanilla-Campos M, ... Barros-Rodríguez M. 2022. Rumen fermentation profile and greenhouse gas mitigation of three forage species from agroforestry systems in dry and rainy seasons. Fermentation, 8(11):630.

Pathan S, Ndunguru G, Patra AK, Ayele A, Johora FT, Arifuzzaman M. 2025. Quinoa whole plant: A promising nutrient-rich alternative forage in the U.S. Midwest. Agronomy, 15(11):2618.

Peiretti PG, Gai F, Tassone S. 2013. Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) seeds and plants at different growth stages. Animal Feed Science and Technology, 183(1-2):56-61. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.012.

Pour-Aboughadareh A, Yousefian M, Moradkhani H, Poczai P, Siddique KH. 2019. Stabilitysoft: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1):e01211.

Pourdad SS, Jamshid Moghaddam M, Khamisabadi H, Alizadeh K, Shariati A, Alipour S, Hadavand Mirzaee H. 2025. Behrang, the first forage safflower variety suitable for cold and moderate rainfed conditions of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 14(1):121-143. [In Persian with English abstract]

Shah SS, Shi L, Li Z, Ren G, Zhou B, Qin P. 2020. Yield, agronomic and forage quality traits of different quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) genotypes in northeast China. Agronomy, 10(12):1908.

Salehi M. 2026a. Screening of quinoa germplasm to identify compatible genotypes tolerant to salinity with different maturity periods. Agricultural Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Final Report No. 69017. [In Persian with English abstract]

Salehi M. 2026b. Introduction of a new red seed and dual-purpose quinoa line. Agricultural Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Final Report No. 67990. [In Persian with English abstract]

Shakeri P, Najafi Neghad H, Aghashahi A, Shakeri A. 2023. Investigation of quinoa forage silage characteristics. Research Journal of Livestock Science, 36(138):3-18. [In Persian with English abstract]

Temel S, Keskin B, Güner Z. 2022. Change in forage quality of whole plant, leaf and stem according to sowing and harvesting periods in Atriplex nitens Schkuhr grown without fertilizer. Turkish Journal of Field Crops, 27(2):208-216.

Üke Ö, Kale H, Kaplan M, Kamalak A. 2017. Effects of maturity stages on hay yield and quality, gas and methane production of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Kahramanmaras Sutcu Imam University Journal of Natural Sciences, 20(1):42-46.

Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.). Cornell University Press, Ithaca, NY, USA. 488 p.

Yaghoubi F, Bannayan M. 2026. Toward climate-resilient agriculture in Iran: Modeling quinoa viability under future climate scenarios. Agricultural Systems, 231:104551

DOI: 10.22092/idaj.2026.373595.468

Evaluation of Adaptability and Yield Stability of Promising Forage Quinoa Lines across Dryland Regions

Masoumeh Salehi[1*], Reza Amiri[2], Mehdi Jamshid Moghadam[3], Sadegh Shahbazi Dorbash[4], Mohammad Hadi Ghaffarian Moqrab[5], Hossein Hadavand Mirzaei[6], Mohammad Javad Abarghoii[7], Amin Khormali[8] and Hossien Bohlol[9]

1. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Yazd, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
2. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Kermanshah, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
3. Sararoood Sub-Station, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
4. Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
5. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Zanjan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
6. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
7. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran.
8. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran.
9. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: In Iran, wheat and barley account for approximately 88% of crop production in dryland areas. Given the extensive area devoted to rainfed agriculture, diversification of cropping systems is essential. Currently, forage and grain legumes are the main alternative crops used in rotation with dryland wheat and barley, although safflower and canola cultivars have recently been introduced for dryland cultivation. Considering water limitations for forage production, the introduction of suitable forage species and cultivars for dryland regions is necessary. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a dicotyledonous plant cultivated for both grain and forage, has attracted attention due to its promising forage quality. Therefore, its potential for forage production under dryland conditions was evaluated.

Materials and Methods: Fifteen forage quinoa lines, along with the check cultivar 'Terme', were evaluated using a randomized complete block design with three replications during the 2022–2023 and 2023–2024 growing seasons across six locations: Khorramabad, Maragheh, Sararood, Gonbad, Chalaki (Gorgan), and Zanjan. Forage yield, plant height, and dry matter percentage were measured at the flowering stage. Forage quality of the superior lines was assessed based on protein, fiber, phenolic compounds, and digestibility. Statistical analyses were performed after testing variance homogeneity.

Results: Dry forage yield varied considerably across locations and growing seasons, ranging from 1.2 to 23 t ha^{-1}. Combined analysis revealed significant effects of environment and line × environment interaction, whereas differences among lines were not significant. Based on various stability indices, lines 5 and 7 exhibited desirable yield and stability, with mean dry forage yields of 8.7 and 7.3 t ha^{-1}, respectively. These lines contained 14.2% and 14.0% crude protein and had relative forage values of 224 and 147, respectively. Line 13, with 15% crude protein and a relative forage value of 200, showed moderate stability and better adaptation to unfavorable environments. Protein yields of lines 5, 7, and 13 were 1,106, 1,027, and 1,024 kg ha^{-1}, respectively. Overall, these three lines are promising candidates for rainfed cultivation due to their desirable forage yield, quality, and stability.

Keywords: Quinoa, Dryland forage, Crop diversification, Yield stability, Forage quality

* Corresponding author: salehimasomeh@gmail.com
Submit date: 2026/07/17 Accept date: 2026/09/18