فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۹۳-۲۰۹
https://doi.org/10.22034/14.69.193

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنش خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف آب ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در ایرانشهر

عبدالناصر رییسی[۱]، محمد نبی ایلکایی*[۱]، خالد میری[۲]، فرزاد پاک‌نژاد[۱]، داود حبیبی[۱]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

[۲] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱)

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، برای کاهش اثرات تنش خشکی، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از مدیریت‌های ضروری کشت گیاهان زراعی است. بدین منظور در این پژوهش به بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کینوا به صورت اسپلیت پلات با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۵) در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی بلوچستان (ایرانشهر) انجام شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح (۵۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار) و عامل فرعی شامل هشت ژنوتیپ کینوا (Q12، Q18، Q21، Q26، Q29، Q31، Gizl و Red carina) در نظر گرفته شد. مطابق نتایج آزمایش اثر سال بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد. اثر تنش خشکی بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد سنبله در گل آذین و کارایی مصرف آب معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها، بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ Q12 مشاهده شد که عملکرد دانه در این ژنوتیپ ۱۲/۱۶ درصد و عملکرد بیولوژیک ۲۴/۲۲ درصد بیشتر از ژنوتیپ‌های Q18 و Q21 (کمترین مقادیر)، بود. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در پژوهش حاضر، با هم تفاوت معنی‌داری دارند. ژنوتیپ Q18 نیز کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت که می‌توان در شرایط کمبود آب از این ژنوتیپ بهره برد. بنابراین با توجه به نتایج حاضر، می‌توان جهت افزایش دستیابی به عملکرد مناسب و افزایش کارایی مصرف آب، ژنوتیپ‌های Q18 و Q12 را پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ Red carina، عملکرد بیولوژیک، کم آبیاری

مقدمه

به علت وقوع پدیده تغییر اقلیم، بسیاری از سامانه‌های محیط زیست طبیعی، مانند منابع آب تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، به طوری‌که بهره‌برداری از مخازن آب برای تولید گیاهان زراعی دچار دگرگونی شده‌اند (میرشکارنژاد و ایلکایی، ۱۳۹۹). تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را در سطح وسیع تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات نامطلوبی بر رشدونمو گیاه و سایر فرآیندهای متابولیکی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mn.ilkaee@iau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

می‌گذارد (Lum *et al*., 2014). میزان عملکرد در واحد سطح گیاهان زراعی تحت شرایط کم آبی محدود می‌شود. به‌طور متوسط بیش از ۵۰ درصد عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی بر اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Zlatev and Lidon, 2012).

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به عنوان یک گیاه زراعی تولیدکننده بذر (دولپه‌ای و متعلق به تیره تاج خروس) است (Fuentes *et al*., 2012). بذور کینوا و تا حدودی برگ‌های آن، از نظر تجاری برای دام و انسان مصرف شده و از لحاظ عناصر و ترکیبات مهم غذایی منحصر به فرد است. ارزش غذایی بذور کینوا معادل گوشت حیوانی بوده و از این‌رو، توسط سازمان سلامت جهانی توصیه شده است (Angeli *et al*., 2020). علاوه‌براین، گونه‌های سازگار به شرایط سخت، تحمل قابل توجه‌ای به عوامل تنش‌زا مانند خشکی نشان دادند که این امر کشت این گیاه را در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک میسر می‌کند (Ali *et al*., 2020). انعطاف‌پذیری فنولوژیکی، تنوع بالای فنوتیپی و ژنتیکی، همچنین توسعه مکانیزم‌های متحمل به تنش خشکی در کینوا موجب شد تا دامنه سازگاری این گیاه نسبت به شرایط خشکی و شوری بالا باشد و مورد علاقه بسیاری از مردم جهان است (Sezen *et al*., 2016). سازگاری بالای ارقام کینوا با شرایط دشوار محیطی و نیاز پایین آن به آب و عناصر غذایی باعث شده تا از این گیاه به‌عنوان جایگزین مناسب برنج برای مناطقی که میزان بارندگی سالانه کاهش یافته، جهت ممانعت از خسارات اقتصادی از لحاظ کمیت و کیفیت تولید دانه استفاده گردد (Ahmadi *et al*., 2019). کشت کینوا در ایران در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و به عنوان یک کشت جایگزین در برخی مناطق معرفی شده است. کینوا به دلیل مقاومت به خشکی و نیاز آبی کم، در مناطقی از ایران که با کمبود آب مواجه هستند، می‌تواند گزینه مناسبی باشد. با توجه به اینکه کینوا گیاهی با مقاومت بالا در شرایط اقلیمی دشوار است برای کشت در مناطق جنوبی ایران مناسب است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ فاضلی و همکاران، ۱۴۰۰). گزارش شده است که عملکرد دانه کینوا نسبت به تنش خشکی و دمایی واکنش متفاوتی داشته و تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، عملکرد کوانتومی، ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ داشته است (Yang *et al*., 2016). همچنین نتایج محققان در بررسی اثر دورهای مختلف آبیاری بر صفات مهم کینوا در کشور مصر نشان داد که کوتاه شدن دور آبیاری موجب افزایش شاخص برداشت، عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته شد (Algosaibi *et al*., 2017). طبق گزارش محققان اعمال تنش خشکی در بسیاری از تحقیقات منجر به کاهش رشد و عملکرد کینوا شد، اما پاسخ‌های فیزیولوژیکی وابسته به شدت تنش، نوع رقم و مرحله فنولوژیکی گیاه، با اثر بر افزایش رشد ریشه، شدت خسارت تنش را به مقدار معنی‌داری کاهش داد (Gamez *et al*., 2019). در پژوهشی دیگر، تعداد بوته، شاخص برداشت، وزن خوشه و وزن دانه کینوا در شرایط تنش آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با شرایط آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (Jbawi *et al*., 2018). با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از مساحت زمین‌های زراعی ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی کاهنده عملکرد گیاهان زراعی به حساب می‌آید. مدیریت گیاهان زراعی جایگزین با دارا بودن ویژگی‌های گیاهان وحشی مانند کینوا راهکاری برای جلوگیری از خسارت اقتصادی کشاورز در مناطق خشک و شور است. بنابراین با توجه به تغییرات اقلیمی و کمبود بارندگی در ایران و خسارت‌های حاصل از کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی، در این پژوهش به بررسی هشت ژنوتیپ مهم کینوا پرداخته شد که صفات مرفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی صفات فیزیولوژیکی تحت سه شرایط مختلف آبیاری طبیعی، تنش متوسط و تنش شدید قرار گرفت تا ارقام آن در برابر تنش خشکی در اقلیم گرم سیستان و بلوچستان، شهر ایرانشهر که محدودیت کشت سایر گیاهان زراعی دارد، ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

جدول ۱- شناسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کینوا

شناسه	منشاء	زمان رسیدگی
Red Carina	Holland, Dr.Cheraghi	متوسط رس
Giza1	مصر	زودرس
COLORADO USA, 2011 FAO (Q12)	FAO	متوسط رس
NAVLE-CHILE 2011-FAO (Q18)	FAO	زودرس تا متوسط رس
Bio-Bio_CHILE 2011_FAO (Q21)	FAO	زودرس تا متوسط رس
CHILE 2011 –FAO (Q31)	FAO	متوسط رس
CHILE 2011- FAO (Q26)	FAO	زودرس تا متوسط رس
CHILE 2011- FAO (Q29)	FAO	زودرس تا متوسط رس

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش

صفات	واحد	سال اول	سال دوم
شن	درصد	۵۱/۱	۴۹/۷
سیلت	درصد	۲۶/۱	۲۶/۶
رس	درصد	۱۸/۲	۱۸/۱
بافت خاک	درصد	لوم رسی	لوم رسی
درصد اشباع	درصد	۳۰	۳۲
اسیدیته	درصد	۷/۸	۷/۷
هدایت الکتریکی	دسی‌زیمنس بر متر	۳/۳۱	۳/۲۸
فسفر قابل دسترس	میلی‌گرم در کیلوگرم	۳/۳۳	۳/۴۳
پتاسیم قابل استخراج	میلی‌گرم در کیلوگرم	۸۵	۸۸
مواد آلی	درصد	۰/۷۲	۰/۷۶
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۶	۰/۰۵

جدول ۳- خصوصیات کیفی آب آبیاری

هدایت الکتریکی	املاح محلول	اسیدیته	کربنات	بیکربنات	کلر	سولفات	آنیون‌ها	کلسیم+ منیزیم	سدیم	کاتیون‌ها	کلاس آب
			میلی‌اکی والان در لیتر								
<۲۰۰۰	<۴۵۰	۷–۷/۵	۰	<۳	<۱۲	<۱۰	–	<۸	<۱۲	–	-
۲۳۸۰	۱۵۲۳	۷/۹	۰	۲/۱	۱۱/۹	۹/۶	۲۳/۶	۱۰/۷	۱۲/۴	۲۳/۱	C4S1

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مرفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی صفات فیزیولوژیکی تحت ژنوتیپ‌های گیاه کینوا در ایرانشهر آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی (۹۷–۱۳۹۵) در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی بلوچستان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

(ایرانشهر) انجام شد. تاریخ کاشت ۲۴ آبان‌ماه در هر دو سال بود. عامل اصلی این آزمایش تنش خشکی شامل سه سطح ۵۰۰۰ (شاهد)، ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار و عامل فرعی شامل هشت ژنوتیپ Q12، Q18، Q21، Q26، Q29، Q31، Gizl و Red carina در نظر گرفته شد. شناسه ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ گزارش شد. در هر دو سال، نمونه‌برداری خاک مزرعه (جدول ۲)، و آب آبیاری (جدول ۳)، صورت گرفت و جهت بررسی صفات شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه ارسال شد.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق ۳۰ سانتی‌متر توسط گاوآهن برگرداندار بود. سپس دو دیسک عمود بر هم و توسط ماله تسطیح زمین انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک مقدار ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص و مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (در سه نوبت) از منبع اوره به زمین اضافه شد که ۴۰ کیلوگرم آن در مرحله قبل از کاشت توسط دیسک به زیر خاک انتقال یافت. همچنین ۴۰ کیلوگرم اوره در مرحله ساقه‌دهی و ۴۰ کیلوگرم در مرحله گلدهی به گیاهان داده شد. سپس توسط فاروئر پشته‌هایی با فواصل ۵۰ سانتی‌متر در طول زمین ایجاد شد. توسط نهرکن شرایط کرت‌های اصلی با فاصله ۲ متر برای اعمال تیمارهای مختلف آبیاری تهیه شد. بذور کینوا به طور یکنواخت در عمق ۳ سانتی‌متر کاشته و سپس عملیات آبیاری انجام شد. تراکم بوته در مترمربع بر اساس فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین بوته‌ها ۸ سانتی‌متر (۲۵ بوته در مترمربع) در نظر گرفته شد. در طی دوره رشد گیاهان، شاخص‌های هواشناسی شامل رطوبت نسبی و میانگین درجه حرارت و میزان بارندگی ثبت شد. بارندگی فقط در فصل زمستان رخ داد و به طور میانگین در هر دو سال ماهانه حدود ۵ میلی‌متر بارندگی ثبت شد (شکل ۱).

میزان آب آبیاری توسط کنتور اندازه‌گیری شد. تا مرحله فنولوژیکی شش برگی تمامی کرت‌ها به یک میزان آب دریافت کردند. پس از مرحله شش برگی مقدار آب آبیاری براساس تیمارهای آزمایش به مقادیر ۵۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار اعمال شد. براساس تعداد دفعات آبیاری مقدار حجم آب برای تیمارهای مختلف آبیاری محاسبه و براساس آن اعمال تیمار آبیاری انجام شد. در هر تیمار پس از انجام عملیات کشت بذر بلافاصله آبیاری تکرارها به صورت هم‌زمان انجام گرفت. نیاز آبی در شرایط آب و هوایی منطقه از یک سو و شرایط خاک مزرعه از نظر بافت فیزیکی از سوی دیگر موجب شد تا برنامه زمان‌بندی آبیاری مزرعه براساس رفع نیاز گیاه و جلوگیری از بروز تنش رطوبتی تنظیم گردید.

در این تحقیق برای محاسبه میزان آب آبیاری در هر نوبت، از روش اندازه‌گیری محتوای رطوبت خاک استفاده شد. بدین منظور قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک به وسیله دستگاه تی.دی.آر اندازه‌گیری شد و حجم آب مورد نیاز در تیمار آبیاری کامل، براساس اختلاف بین رطوبت خاک و حد ظرفیت زراعی برآورد گردید و با توجه به مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری در هر نوبت محاسبه شد. مقدار آب آبیاری لازم برای بازگرداندن رطوبت خاک به نقطه ظرفیت زراعی با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

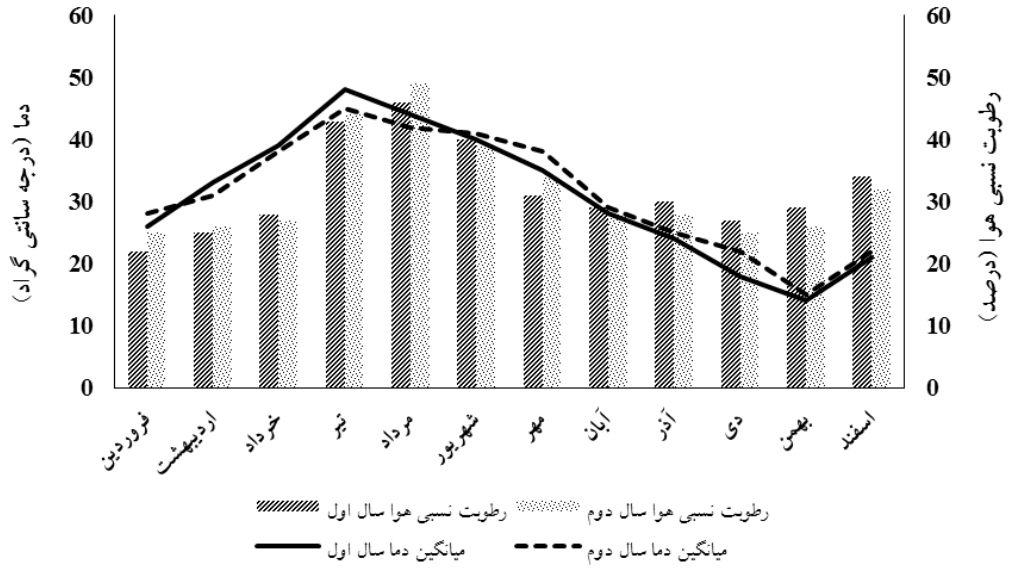
معادله (۱): $Vw=(\theta_{Fc}- \theta_i) \times D \times A$

که در آن Vw حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (بر حسب مترمکعب)، θ_{FC} محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (بر حسب درصد)، θi محتوای حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری (بر حسب درصد)، D عمق مؤثر عمودی ریشه (بر حسب متر) و A مساحت کرت (بر حسب مترمربع) است (Afshar *et al.*, 2014).

مبارزه با علف‌های هرز در طول فصل رشد در مواقع لازم به‌صورت وجین دستی انجام شد. تاریخ برداشت بسته به تفاوت ژنوتیپ‌ها از اوایل تا اواخر فروردین ماه انجام شد. در این بررسی صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد پانیکول، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد سنبله در خوشه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب، میزان آب مصرفی، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بود. در زمان برداشت، پس از حذف اثرات حاشیه، ۱۰ نمونه گیاهی تصادفی از هر کرت برداشت و صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]



شکل ۱- روند تغییرات دما و رطوبت در سال‌های ۹۷-۱۳۹۵

اندازه‌گیری و شاخص برداشت محاسبه شد. پس از کامل شدن دوره رشد، عملیات برداشت بذور با مشاهده اولین علائم رسیدگی (۷۰ درصد سنبله‌ها زرد شده باشند و رطوبت دانه ۱۴٪ بود) صورت گرفت و ساقه‌های گلدار در آفتاب پهن شدند و پس از گذشت چند روز، و با خشک‌شدن کامل بوته‌ها جهت عملکرد بیولوژیک، بوته‌ها وزن شده و در نهایت عملکرد بیولوژیک در واحد سطح به‌دست آمد. همچنین ساقه‌ها کوبیده شدند و جداسازی و توزین، عملکرد دانه محاسبه شد. هنگامی که بوته‌ها خشک شدند، برگ‌ها ریخته یا آویزان شده و رنگ آن‌ها زرد یا قرمز کم رنگ می‌شود و دانه‌ها به راحتی از گل‌آذین خارج می‌شوند. برای اندازه‌گیری عملکرد پس از برداشت سنبله‌های هر ژنوتیپ روی زمین پهن شدند تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند، سپس کوبیده و دانه‌ها جدا و در پاکت‌های جداگانه ریخته و در آزمایشگاه توزین شدند. برای وزن هزار دانه نیز تعداد ۱۰۰ بذر شمرده شده و توزین گردید، سپس وزن هزار دانه تعیین شد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به بیولوژیک محاسبه شد. کارایی مصرف آب با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد.

معادله (۲):

$$WUE = \frac{GY}{CWR}$$

میزان محتوای رطوبت نسبی از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Ferrat and Loval, 1999).

معادله ۲:

$$RWC = \frac{FW\text{-}DW}{SW\text{-}DW} \times 100$$

که در رابطه فوق FW= وزن تر برگ، DW= وزن خشک برگ، SW= وزن اشباع برگ است.

شاخص ناپایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد و از طریق معادله ۳ محاسبه گردید (Bertin *et al.*, 1996).

معادله ۳:

۱۰۰× ((نشت ثانویه/نشت اولیه)-۱) = شاخص پایداری غشاء

شاخص کلروفیل آخرین برگ توسعه‌یافته در زمان نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Spad) اندازه‌گیری شد. برای کالیبره‌کردن دستگاه، یک بار آن را بدون قراردادن برگ در محفظه خوانده و سپس کار قرائت را از سه نقطه از هر برگ انجام و بعد میانگین سه نقطه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است نمونه‌برداری از روی رگبرگ‌ها انجام نشد (Minolta, 1989).

برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا نمونه‌ها را در آون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای اتاق) به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و میزان جذب رنگ را با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد (Bates *et al.*, 1973). برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

جدول ۴- نتایج آزمون بارتلت صفات مورد مطالعه کینوا

	ارتفاع بوته	تعداد پانیکول	قطر ساقه	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	کارایی مصرف آب	آب مصرفی	وزن هزاردانه	شاخص برداشت
مقدار P	۰/۸۲۱	۰/۳۹۴	۰/۶۵۷	۰/۲۳۶	۰/۴۵۳	۰/۵۸۳	۰/۳۷۴	۰/۸۶۷	۰/۲۵۷	۰/۶۲۸
توزیع کای -۲	۰/۷۴۲	۰/۵۳۶	۰/۲۲۶	۰/۶۵۹	۰/۲۶۸	۰/۷۵۱	۰/۴۵۶	۰/۶۵۳	۰/۵۳۶	۰/۷۳۹

تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد (جدول ۴). عملیات تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن با استفاده از مدل طرح آماری توسط نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. همچنین همبستگی داده‌ها به روش پیرسون و تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و براساس مربع فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه انجام گرفت که با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

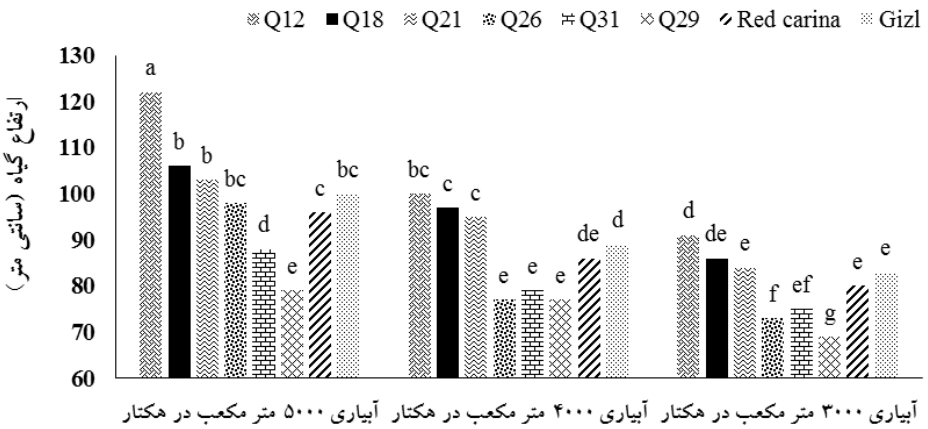
نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی، اثر ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج برهمکنش ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی حاکی از آن است که در تمامی ژنوتیپ‌ها، ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت و با افزایش مقدار تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش بیشتری را به همراه داشت. بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تنش آبی ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار در ژنوتیپ Q12 بود که ۷۶/۸۱ درصد نسبت به ژنوتیپ Q29 در تنش آبی ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار (کمترین مقدار)، افزایش داشت (شکل ۲). تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاه کینوا شد، خشکی می‌تواند عملکرد مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و جذب مواد غذایی از طریق ریشه، به دلیل کاهش حجم آب خاک و همچنین کاهش توزیع مواد غذایی در بافت خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، انتقال مواد غذایی از ریشه‌ها به بخش هوایی نیز کم می‌شود که همین امر کاهش ارتفاع گیاه را به همراه دارد (Fischer *et al*., 2017). تفاوت ارتفاع بوته بین ژنوتیپ‌ها را می‌توان به خصوصیات ژنتیکی ژنوتیپ‌ها و طول دوره رسیدن متفاوت ژنوتیپ‌ها نسبت داد. در ژنوتیپ‌های دیررس، به‌دلیل اینکه گیاه از عوامل محیطی شامل تشعشع، دما، رطوبت و عناصر غذایی در مدت زمان بیشتری بهره‌مند است، گیاه با فتوسنتز بیشتر، مواد پرورده بیشتری را به تقسیم سلولی و افزایش ارتفاع گیاه اختصاص می‌دهد (Toderich *et al.*, 2020). سایر محققان گزارش کردند که ارتفاع بوته با اعمال تنش خشکی در دو ژنوتیپ کینوا کاهش یافت (Gamez *et al.*, 2019).

تعداد پانیکول، قطر ساقه و تعداد شاخه جانبی: مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بر تعداد پانیکول معنی‌دار شد (جدول ۵). در میان ژنوتیپ‌ها، بیشترین تعداد پانیکول مربوط به ژنوتیپ Q12، Q18 و Q29 بود که تعداد پانیکول در این ژنوتیپ‌ها ۳۵ درصد نسبت به ژنوتیپ Gizl (کمترین مقدار)، افزایش یافت (جدول ۶). نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی و اثر ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بر قطر ساقه معنی‌دار شد (جدول ۵). قطر ساقه در ژنوتیپ Q12 ۱۱۴ درصد نسبت به ژنوتیپ Gizl (کمترین مقدار)، افزایش یافت (جدول ۶). تنش خشکی موجب کاهش قطر ساقه نسبت به شرایط نرمال شد و با افزایش مقدار تنش، قطر ساقه کاهش یافت. تیمار ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری سبب افزایش ۵۰ درصدی قطر ساقه نسبت به تیمار تنش خشکی ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد (جدول ۹). اثر تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد و اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر تعداد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]



شکل ۲- برهمکنش ژنوتیپ‌ها و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه کینوا

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد پانیکول	قطر ساقه	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
سال (A)	۱	۴۸/۶۷^{ns}	۱۹/۰۱^{ns}	۱/۳۵^{ns}	۱۵۵/۸۳^{ns}	۳۸۸۲۳۵/۹۶^{ns}	۳۹۳۹۶۵۴/۴^{ns}
تکرار (سال)	۴	۱۵۱۷/۱	۶۴/۴	۰/۲۳	۴۵/۳۲	۴۱۷۲۴۸۵/۷۱	۲۹۱۰۳۳۹۷۱۷/۶
تنش خشکی (B)	۲	۶۵۲۳/۶**	۱۵/۲۱^{ns}	۱/۱۸**	۲۷۵/۹۲*	۳۵۵۱۶۵۳/۲۳^{ns}	۲۳۶۲۳۸۲/۵^{ns}
(B) ×(A)	۲	۱۷/۲۵^{ns}	۱/۴۶^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۳/۴۸^{ns}	۲۱۶۶۸۲/۵۳^{ns}	۱۷۶۱۲۹۵/۴^{ns}
خطا	۸	۹۵/۶۸	۲/۹۸	۰/۰۱	۱/۸۷	۱۰۸۷۸۵/۲۵	۸۸۴۳۲۳/۸
ژنوتیپ (C)	۷	۲۴۵۸/۹۳**	۵۵/۰۴**	۰/۰۴**	۵۷/۷۸**	۵۹۰۶۴۶۲/۸۱**	۳۱۲۹۷۰۱/۵**
(C) ×(A)	۷	۲۷/۶۸^{ns}	۲/۰۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱/۶۳^{ns}	۱۶۵۴۱۵/۸۹^{ns}	۱۳۴۲۱۸۸/۳^{ns}
(B)×(C)	۱۴	۱۶۶/۲**	۲/۸۸^{ns}	۰/۰۳۱^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۱۲۶۱۸۴/۱۴^{ns}	۱۲۱۶۶۵۸/۳^{ns}
(C) ×(B) ×(A)	۱۴	۳۰/۷۵^{ns}	۲/۸۱^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۱/۲۱^{ns}	۱۳۴۶۵۵/۹۱^{ns}	۱۰۹۰۷۲۴/۴^{ns}
خطا	۸۴	۱۰۶/۰۷	۲/۶۸	۰/۰۱۲	۱/۳۴	۱۵۲۳۵۸/۸۳	۱۲۴۳۶۴۰/۵
ضریب تغییرات		۱۰/۸۳	۹/۷	۱۰/۸۳	۱۰/۰۳	۱۰/۶۴	۱۱/۳۶

**** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.**

شاخه جانبی معنی‌دار شد (جدول ۵). تنش خشکی کاهش تعداد شاخه جانبی را به همراه داشت و با افزایش مقدار تنش، تعداد شاخه جانبی کاهش یافت. تیمار آبیاری ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار موجب افزایش ۳۳ درصدی تعداد شاخه جانبی نسبت به تیمار تنش خشکی ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد (جدول ۹). ژنوتیپ Q26 بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۷/۶ شاخه) را داشت (جدول ۶). می‌توان اظهار داشت که فشار آماس در شرایط کمبود آب معمولاً منجر به کاهش انبساط سلولی و کاهش پارامترهای رشد گیاه از قبیل تعداد پانیکول، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک و عملکرد دانه می‌شود (Telahigue *et al.*, 2017). همراستا با نتایج به دست آمده گزارش شده است که با افزایش خشکی در گیاهی مانند کینوا که به تنش اسمزی مقاوم است، از رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی کاسته می‌شود، اما کاهش رشد اندام‌های زیرزمینی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

جدول ۶- اثر اصلی ژنوتیپ‌ها بر صفات مورد بررسی کینوا

ژنوتیپ‌ها	تعداد پانیکول	قطر ساقه (سانتی‌متر)	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
Q12	۱۹/۶۹^{a}	۱/۶۵^{a}	۱۵/۴^{c}	۴۶۰۷/۱۳^{a}	۱۲۰۸۰/۳۶^{a}
Q18	۱۹/۴۷^{a}	۱/۱^{d}	۱۳/۲^{d}	۴۱۰۷/۶۲^{d}	۹۷۲۶/۳۳^{d}
Q21	۱۹/۵۵^{a}	۱/۵۴^{b}	۱۵/۴^{c}	۴۱۰۶/۶۳^{d}	۹۷۲۴/۱۲^{d}
Q26	۱۷/۸۲^{c}	۱/۴۳^{c}	۱۷/۶^{a}	۴۴۸۷/۶۷^{b}	۱۰۰۵۳/۰۲^{c}
Q31	۱۸/۱۵^{b}	۱/۴۳^{c}	۱۶/۵^{b}	۴۲۷۷/۰۲^{c}	۱۱۴۰۸/۲۱^{b}
Q29	۱۹/۵۶^{a}	۱/۵۴^{b}	۱۳/۲^{d}	۴۲۳۲/۸^{c}	۱۱۵۳۰/۳۶^{b}
Red carina	۱۵/۷۳^{d}	۱/۱^{d}	۱۵/۴^{c}	۳۱۶۹/۵۴^{e}	۱۰۱۲۶/۳۲^{c}
Gizl	۱۴/۵۲^{e}	۰/۷۷^{e}	۱۳/۲^{d}	۴۴۹۵/۹۲^{b}	۱۱۶۴۰/۳۶^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

کمتر از اندام‌های هوایی است. به‌عبارت دیگر، در این گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، اختصاص کربوهیدرات‌ها به ریشه نسبت به ساقه اولویت دارد و به همین دلیل وزن ماده خشک به نسبت بیشتری دچار کاهش می‌شود (Hinojosa *et al.*, 2018). به‌طورکلی کاهش قطر ساقه در گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش تقسیم و توسعه سلولی نسبت داده شده است. گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، در بسیاری از ارقام کینوا، تجمع ماده خشک در اندام هوایی افزایش می‌یابد که محققان این امر را دلیل بر مقاومت نسبی این گیاه به تنش خشکی معرفی کردند و ارقامی که در شرایط تنش رطوبتی طول ساقه خود را افزایش دهند یا افت طول ساقه در آن‌ها با افزایش تنش کم باشد، احتمالاً ارقام متحمل‌تری در برابر تنش اسمزی به‌شمار می‌آیند (Du *et al.*, 2020). تفاوت بین ارقام در تعداد شاخه، مربوط به خصوصیات ژنتیکی و توانایی هر رقم در دریافت تشعشع خورشیدی است. پیرو نتایج حاصل از پژوهش حاضر سایر محققان گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش اندام هوایی کینوا نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد (Hinojosa *et al.*, 2018).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۵). ژنوتیپ Q12 عملکرد دانه را ۱۲ درصد و عملکرد بیولوژیک را ۲۴ درصد نسبت به ژنوتیپ‌های Q18 و Q21 (کمترین مقدار)، افزایش داد (جدول ۶). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بسته به واکنش‌های ارقام در یک محیط خاص، متفاوت است. عملکرد دانه تحت تأثیر اجزاء آن از جمله تعداد پانیکول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه است. به‌نظر می‌رسد تغییرات در عملکرد دانه حاصل تغییر در تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه باشد. خشکی در طی مرحله پر شدن دانه وزن هزاردانه را کاهش می‌دهد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها است. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرآیند فتوسنتز مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. پژوهشگران معتقدند که از مرحله گلدهی تا رسیدن دانه، ظرفیت فتوسنتزی به ویژگی‌هایی از قبیل سرعت فتوسنتز، کارایی آنزیم روبیسکو، غلظت کلروفیل و مساحت برگ بستگی دارد که در ارقام مختلف کینوا متفاوت است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Toderich *et al.*, 2020). اختلافات ژنتیکی در گیاهان و ارقام مختلف یک گونه، با تأثیر بر جذب نور، بر میزان فتوسنتز و عملکرد ارقام مختلف تأثیر دارد (Corraliza *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

al., 2019). از دلایل کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم آبی کوتاه شدن دوره رشد و تسریع پیری برگ‌ها است. البته کاهش سطح فتوسنترکننده، تولید اسیمیلات فتوسنتزی و نهایتاً رشد کمتر گیاه در شرایط تنش، می‌تواند به کاهش عملکرد دانه و متعاقب آن در کاهش شاخص برداشت مؤثر باشد (Fahad *et al.*, 2017).

کارایی مصرف آب و آب مصرفی: اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب و در سطح احتمال پنج درصد بر آب مصرفی معنی‌دار شد. اثر ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب و آب مصرفی معنی‌دار شد (جدول ۷). ژنوتیپ Q18 بیشترین کارایی مصرف آب را به همراه داشت و ۱۶ درصد نسبت به ژنوتیپ Q29 (کمترین مقدار)، کارایی مصرف آب را افزایش داد. علاوه بر این، ژنوتیپ Q12 بیشترین مقدار آب مصرفی را به همراه داشت که این ژنوتیپ ۲۴ درصد آب مصرفی را نسبت ژنوتیپ‌های Q18 و Q21 افزایش داد (جدول ۸). تنش خشکی ملایم (۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) موجب افزایش کارایی مصرف آب نسبت به سایر سطوح آبیاری شد. تیمار ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری ۲۰ درصد سبب افزایش کارایی مصرف آب نسبت به تیمار تنش خشکی ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد. تیمار ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار آب مصرفی را ۵۶ درصد نسبت به تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار افزایش داد (جدول ۹). کینوا گیاهی است که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط متنوع محیطی و رشدی را دارد. کینوا تحت تنش خشکی قادر به حفظ میزان هدایت روزنه‌ای، قابلیت نگهداری پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه‌ای است. تنش خشکی بطور مستقیم بر فتوسنتز و غیرمستقیم بر ورود دی‌اکسید کربن به درون روزنه‌ها اثر می‌گذارد، بطوری که منجر به محدودیت در عرضه فرآورده‌های فتوسنتزی شده و رشد گیاه و در پی آن عملکرد را کاهش می‌دهد. نسبت میزان فتوسنتز به میزان تعرق را می‌تواند تا دو برابر، حتی در مقادیر پایین پتانسیل آب برگ، بهبود بخشد که در ارقام مختلف کینوا این امر براساس تفاوت ژنتیکی گیاهان و عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌ها است (Corraliza *et al.*, 2019; Toderich *et al.*, 2020).

وزن هزار دانه و شاخص برداشت: اثر ارقام با احتمال خطای یک درصد بر وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۷). ژنوتیپ Q12 ۲۶ درصد وزن هزار دانه را نسبت به ژنوتیپ Gizl (کمترین مقدار)، افزایش داد. علاوه‌براین، ژنوتیپ Q26 ۴۲ درصد شاخص برداشت را نسبت به رقم Red carina (کمترین مقدار)، افزایش داد (جدول ۸). توان فتوسنتزی در هر رقم، تشعشع دریافتی نور خورشید توسط گیاه و توان مخزن در دریافت شیره پرورده از عوامل حائز اهمیت در افزایش وزن هزار دانه گیاهان است. طول دوره پرشدن دانه و شرایط محیطی موجود در مرحله پر شدن دانه، عامل مهمی در انتقال مواد فتوسنتزی از برگ و ساقه به سمت دانه و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه است. بنابراین با توجه به اینکه وزن هزار دانه تحت تأثیر شرایط محیطی و ژنتیکی می‌باشد، برای افزایش تولید، باید شرایط محیطی را به نحوی مدیریت نمود که گیاه بتواند با فتوسنتز مناسب و تسهیل انتقال مواد پرورده به دانه، وزن هزار دانه بیشتری تولید نماید (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Toderich *et al.*, 2020). شاخص برداشت معیاری است از نسبت وزن دانه به وزن کل گیاه و ارقام پرمحصول شاخص برداشت بالاتری نسبت به سایر ارقام دارند. شاخص برداشت بالا در صورتی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه گردد که عملکرد کل ماده خشک نیز در حدی قابل قبول باشد و در صورت پایین‌بودن مقدار تولید، وزن بالای دانه به توانایی گیاه در تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و توزیع کلی مواد فتوسنتزی در کل گیاه بستگی دارد (Gereen, 2015). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه کینوا مربوط به ژنوتیپ‌هایی بود که بیشترین وزن هزار دانه را داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های با طول دوره رشد طولانی‌تر، به‌دلیل وجود زمان بیشتر برای ذخیره مواد پرورده، از وزن هزار دانه و عملکرد دانه بیشتری نیز برخوردار هستند که نتایج با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت (Hirich *et al.*, 2014; Mohyuddin *et al.*, 2019).

رطوبت نسبی برگ و شاخص ناپایداری غشاء: اثر تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارایی مصرف آب	آب مصرفی	وزن هزار دانه	شاخص برداشت
سال (A)	۱	۰/۳^{ns}	۷۹۶۵/۱^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۰/۶۹^{ns}
تکرار (سال)	۴	۰/۶	۴۵/۹	۳/۹۲	۵۹۵/۵۶
تنش خشکی (B)	۲	۲/۰۸**	۸۹۳۲۵۶/۴^{ns}	۲/۶۷^{ns}	۶۳/۱۷^{ns}
(B) ×(A)	۲	۱/۴۸^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۵۱/۳۹^{ns}
خطا	۸	۰/۰۲	۸۷۶/۴۵	۰/۲	۴۱/۴۱
ژنوتیپ (C)	۷	۵/۳۸**	۷۹۶۸۵/۳**	۱/۷۸**	۴۵۰/۰۲**
(C) ×(A)	۷	۰/۴۸^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۳۶۵۹/۷^{ns}
(B)×(C)	۱۴	۰/۰۱^{ns}	۳۶۵۹/۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۵/۰۹^{ns}
(C) ×(B) ×(A)	۱۴	۰/۰۱^{ns}	۱۵/۰۹^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۱۹/۴۹^{ns}
خطا	۸۴	۰/۰۱	۱۷/۷	۰/۱۲	۲۰/۹۵
ضریب تغییرات		۱۶/۵	۱۳/۴	۱۰/۴۵	۱۰/۸۷

**** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.**

جدول ۸- اثر اصلی ژنوتیپ‌ها بر صفات مورد بررسی کینوا

ژنوتیپ‌ها	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	وزن هزاردانه (گرم)	شاخص برداشت
Q12	۰/۹۷۵^{c}	۳۷۴۳^{a}	۴/۱۸^{a}	۴۱/۹۵^{d}
Q18	۱/۰۸^{a}	۳۰۰۱^{d}	۳/۷۴^{c}	۴۶/۴۵^{b}
Q21	۱/۰۱^{b}	۳۰۰۶^{d}	۳/۷۴^{c}	۴۶/۲۸^{b}
Q26	۰/۹۵۱^{d}	۳۵۶۶^{b}	۳/۸۵^{b}	۴۹/۱۰^{a}
Q31	۰/۹۴۲^{e}	۳۵۹۹^{b}	۳/۷۴^{c}	۴۱/۲۳^{d}
Q29	۰/۹۳۹^{f}	۳۵۹۶^{b}	۳/۵۲^{d}	۴۰/۳۸^{e}
Red carina	۰/۹۵۹^{d}	۳۵۰۱^{b}	۳/۴۱^{e}	۳۴/۴۳^{f}
Gizl	۰/۹۸۹^{c}	۳۴۶۰^{c}	۳/۳^{f}	۴۳/۹۵^{c}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

خشکی با احتمال خطای یک درصد بر رطوبت نسبی برگ و شاخص ناپایداری غشاء معنی‌دار شد (جدول ۱۰). کم آبیاری و افزایش مقدار آن موجب کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش شاخص ناپایداری غشاء نسبت به شرایط بدون تنش شد. تیمار آبیاری ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار موجب افزایش رطوبت نسبی برگ (۲۰/۹۰ درصد) و کاهش شاخص ناپایداری غشاء (۵۴/۱۶ درصد) نسبت به تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد (جدول ۹). رطوبت نسبی آب برگ صفت خوبی از وضعیت آب گیاه است و در برنامه‌های اصلاحی به‌عنوان شاخص مناسب و مهمی در انتخاب برای مقاومت به خشکی قرار می‌گیرد. کاهش رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کمبود آب از یک طرف به دلیل کاهش جذب آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

جدول ۹- اثر اصلی تنش خشکی بر صفات مرفولوژی و فیزیولوژی مورد بررسی

تیمارهای تنش خشکی	قطر ساقه (سانتی‌متر)	تعداد شاخه جانبی	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	رطوبت نسبی برگ (٪)	شاخص ناپایداری غشاء (٪)	شاخص کلروفیل	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار	۱/۵^{a}	۱۶^{a}	۰/۹۸۸^{a}	۳۷۴۴^{a}	۷۲/۳۵^{a}	۱۳/۴۶^{c}	۲۴/۳۵^{a}	۰/۱۵^{c}
۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار	۱/۳^{b}	۱۴^{b}	۱/۱۸^{b}	۳۳۶۰^{b}	۶۵/۴۴^{b}	۱۶/۹۳^{b}	۲۰/۶۷^{b}	۰/۲۴^{b}
۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار	۱^{c}	۱۲^{c}	۱/۰۷^{b}	۲۴۰۰^{c}	۵۹/۸۶^{c}	۲۰/۷۵^{a}	۱۷/۵۲^{c}	۰/۳۱^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		رطوبت نسبی برگ	شاخص ناپایداری غشاء	کلروفیل	پرولین
سال (A)	۱	۱۸/۲۴^{ns}	۲/۶۶^{ns}	۱۳/۵۴^{ns}	۱۸/۶۹^{ns}
تکرار (سال)	۴	۴۱/۳۹	۱۷/۸۶	۲۹/۱۶	۲۷/۷۳
تنش خشکی (B)	۲	۹۵۸/۴۳**	۲۰۹/۳۵**	۸۶۴/۱۴**	۶۸۵/۸۴**
(B) ×(A)	۲	۱۰/۲۶^{ns}	۱۸/۲۷^{ns}	۳/۸۱^{ns}	۲۹/۶۷^{ns}
خطا	۸	۲۴۸/۷۲	۱۶/۱۲	۷/۲۲^{ns}	۱۵/۴۸
ژنوتیپ (C)	۷	۶۸/۵۴^{ns}	۴/۶۲^{ns}	۶/۳۷^{ns}	۳/۷۲^{ns}
(C) ×(A)	۷	۴۲/۲۷^{ns}	۷/۰۶^{ns}	۴/۵۲^{ns}	۶/۳۵^{ns}
(B)×(C)	۱۴	۳۵/۷۹^{ns}	۳/۷۲^{ns}	۹/۴۸^{ns}	۸/۲۹^{ns}
(C) ×(B) ×(A)	۱۴	۲۹/۴۸^{ns}	۵/۲۴^{ns}	۸/۳۴^{ns}	۱۰/۱۳^{ns}
خطا	۸۴	۸۴/۳۵	۱۲/۳۵	۱۶/۲۵	۲۹/۳۴
ضریب تغییرات		۱۲/۸۳	۸/۴۴	۱۰/۷۱	۶/۱۷

**** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.**

توسط ریشه و از طرف دیگر افزایش تعرق آب از طریق برگ‌ها است که در نهایت منجر به بسته‌شدن روزنه‌های برگ می‌شود و نشان‌دهنده کاهش آماس سلولی است که موجب کاهش آب مورد نیاز جهت فرآیندهای مورفوفیزیولوژیکی همچون بازشدن روزنه‌ها، طویل شدن سلولی و فتوسنتز است. اگر میزان محتوای نسبی آب برگ بالا باشد بدین معنی است که گیاه در وضعیت مناسبی قرار دارد و آماس سلولی خود را حفظ می‌کند و رشد آن تداوم می‌یابد؛ ولی با کاهش مقدار آب آبیاری و کاهش آماس سلولی از محتوای نسبی آب برگ نیز کاسته می‌شود. رطوبت نسبی برگ همواره رابطه عکس با شاخص ناپایداری غشاء دارد. گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کنند و سبب پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پایداری غشاء شده و در نتیجه مواد سیتوپلاسمی از آن به بیرون نشت کرده و افزایش هدایت الکتریکی را به دنبال دارد. انباشت یون‌ها در شرایط کم آبیاری سبب اختلال در عملکرد گیاه و باز و بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود و ورود دی‌اکسید کربن به داخل گیاه را محدود می‌کند (Chaouachi *et al.*, 2023; Chaudhari *et al.*, 2017). در همین راستا گزارش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

شده است که تنش خشکی موجب کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش شاخص ناپایداری غشاء در ارقام گندم شد (Chaudhari *et al*., 2017).

شاخص کلروفیل: اثر تنش خشکی با احتمال خطای یک درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار شد (جدول ۱۰). کم آبیاری و افزایش مقدار آن موجب کاهش شاخص کلروفیل نسبت به شرایط بدون تنش شد. تیمار آبیاری ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار موجب افزایش شاخص کلروفیل (۳۸/۹۸ درصد) نسبت به تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد (جدول ۹). یکی از اثرات تنش خشکی کاهش تقسیم سلولی و کاهش اندازه سلول است. برخی گیاهان در طول تنش خشکی میزان کلروفیل خود را حفظ می‌کنند و در برخی دیگر میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. با کاهش مقدار کلروفیل فتوسنتز گیاه کاهش یافته و در نتیجه عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. کاهش کلروفیل در شرایط تنش را می‌توان به علت از بین رفتن آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین القای تجزیه‌شدن یا مهار سنتز آن‌ها در شرایط تنش نسبت داد. آنزیم گلوتامات لیگاز از جمله این آنزیم‌ها است که نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد و کاهش سنتز کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز است (Dalal and Tripathy, 2012).

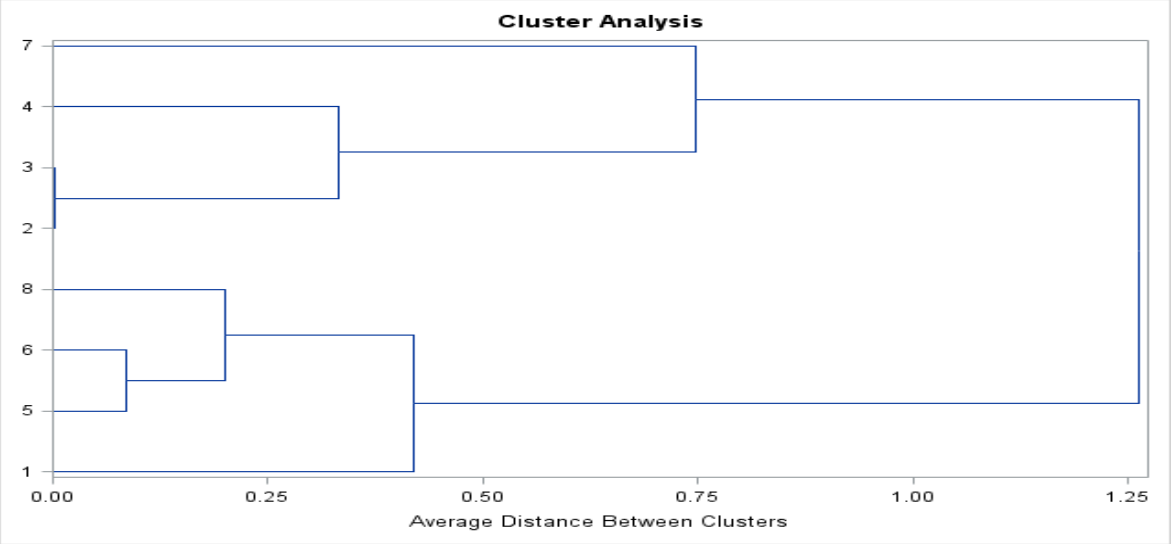
محتوای پرولین: اثر تنش خشکی با احتمال خطای یک درصد بر محتوای پرولین معنی‌دار شد (جدول ۱۰). کم آبیاری و افزایش مقدار آن موجب افزایش محتوای پرولین نسبت به شرایط بدون تنش شد. تیمار آبیاری ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار موجب کاهش محتوای پرولین (۱۰۶/۶۶ درصد) نسبت به تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار شد (جدول ۹). یکی از واکنش‌هایی که گیاهان به پتانسیل‌های پایین آبی محیطی نشان می‌دهند ساخت و تجمع اسیدهای آمینه غیرضروری مانند پرولین است که توسط آن پتانسیل آبی خود را نسبت به محیط منفی‌تر ساخته و می‌توانند از محیط آب جذب نمایند. تنش خشکی باعث تجزیه و کاهش غلظت پروتئین‌ها در برگ‌های بالغ و در نتیجه اسیدهای آمینه‌های آزاد مانند پرولین افزایش می‌یابد. افزایش پرولین در گیاهان در شرایط تنش خشکی ارتباط مستقیمی با افزایش مقاومت به اغلب تنش‌ها دارد (Moreno-Galvan *et al*., 2020). سایر محققان اظهار داشتند که خشکی موجب افزایش محتوای پرولین در برنج شده است (Hanif *et al*., 2021).

تجزیه خوشه‌ای: دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را به چهار خوشه تقسیم کرد. ژنوتیپ Q12 و ژنوتیپ Gizl هر کدام به تنهایی یک خوشه را تشکیل دادند. ژنوتیپ‌های Q18 و Q21 در یک گروه و همچنین ژنوتیپ‌های Q31، Q29 نیز در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳). ژنوتیپ Q12 بیشترین تعداد پانیکول، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه را به همراه داشت، که در تجزیه خوشه‌ای نیز به تنهایی یک خوشه را تشکیل داد. تجزیه خوشه‌ای از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره است که جهت بررسی رابطه خویشاوندی بین ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، باتوجه به نوع ژنوتیپ‌های قرار گرفته در یک خوشه، می‌توان گفت ژنوتیپ‌های موجود در یک خوشه از نظر ویژگی‌های مورد بررسی شباهت زیادی به هم داشتند و ژنوتیپ Q12 و رقم Gizl که هر کدام به تنهایی یک کلاستر را شامل شدند، متفاوت از سایر ارقام بودند.

همبستگی صفات: نتایج همبستگی صفات مورد بررسی نشان داد که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد بیولوژیک داشت. پس از آن بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه به ترتیب با تعداد پانیکول شاخص برداشت، تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه مشاهده شد. بین عملکرد دانه و قطر ساقه همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد. علاوه‌براین، ارتفاع گیاه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک با تمامی صفات بررسی شده همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۱۱). همبستگی مثبت بین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه جانبی را می‌توان به این دلیل نسبت داد که این صفات به طور مستقیم بر بهره‌وری کلی گیاه تأثیر مثبت دارند. بوته گیاه کینوا با شاخه‌های جانبی بیشتر، ظرفیت بالاتری برای فتوسنتز دارد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]



شکل ۳- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های کینوا (شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ به‌ترتیب ژنوتیپ‌های Q12، Q18،Q21، Q26، Q31، Q29، Red carina و Gizl است).

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های کینوا

	ارتفاع بوته	تعداد پانیکول	قطر ساقه	تعداد شاخه جانبی	عملکرد بیولوژیک	وزن هزاردانه	شاخص برداشت	عملکرد دانه
ارتفاع بوته		۰/۹۲**	۰/۸۷**	۰/۸۴**	۰/۸۷**	۰/۷۹**	۰/۹۰**	۰/۷۹**
تعداد پانیکول			۰/۷۳ns	۰/۵۱ns	۰/۹۴**	۰/۸۴**	۰/۹۱**	۰/۸۴**
قطر ساقه				۰/۶۲ns	۰/۹۶**	۰/۶۱ns	۰/۸۴**	۰/۶۲ns
تعداد شاخه جانبی					۰/۸۹**	۰/۵۴ns	۰/۸۶**	۰/۸۹**
عملکرد بیولوژیک						۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۶**
وزن هزاردانه							۰/۹۴**	۰/۸۲**
شاخص برداشت								۰/۹۱**
عملکرد دانه								

****: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: فاقد اثر معنی‌دار.**

منجر به افزایش تولید زیست‌توده و در نهایت عملکرد بیشتر دانه می‌شود. نتایج مطالعه دیگری بیانگر آن است که عملکرد دانه کینوا، بیشترین همبستگی را با تعداد پانیکول و تعداد شاخه جانبی در بوته داشت (فاضلی و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌های با تعداد پانیکول بیشتر، دارای ارتفاع بوته بالاتری نیز بودند و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و تعداد پانیکول مشاهده شد. آزمایش دیگری نیز وجود همبستگی مثبت و معنیداری را بین تعداد خوشه در بوته و ارتفاع بوته در کینوا گزارش کرد (Kia *et al.*, 2022). همچنین گزارش شد که بین صفات وزن هزار دانه، شاخص برداشت، طول پانیکول و تعداد پانیکول در بوته با عملکرد دانه کینوا همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشته است (Souri Laki *et al.*, 2022).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر بیانگر آن است که تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا تأثیر متفاوتی داشت. با توجه به کمبود آب و کاهش ذخایر آب در ایران انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل خشکی در این آزمایش که عملکرد بیشتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی داشتند، می‌تواند در افزایش سطح زیرکشت و پایداری عملکرد کینوا مؤثر باشد. علاوه‌براین، ژنوتیپ Q18 بیشترین کارایی مصرف آب را به همراه داشت که موجب افزایش این شاخص به مقدار ۱۶/۱۲ درصد نسبت به ژنوتیپ Q29 (کمترین مقدار)، شد. در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ Q12 و ژنوتیپ Gizl هرکدام به تنهایی یک خوشه را تشکیل دادند. ژنوتیپ Q12 بیشترین تعداد پانیکول، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه را به همراه داشت، که در تجزیه خوشه‌ای نیز به تنهایی یک خوشه را تشکیل داد. بنابراین، با توجه به بیشترین کارایی مصرف آب و بیشترین عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های Q12 و Q18 کینوا قابل توصیه به کشاورزان برای کشت در منطقه ایرانشهر است.

منابع

حیدری، فائزه، جلیلیان، جلال، و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۳۹۹). نقش برگ‌پاشی نانوکودها در تعدیل اثرات منفی تنش شوری در کینوا. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲ (۴)، ۶۰۰-۵۸۷.

فاضلی، فرزانه، اکبری، غلام‌علی، اکبری، غلام عباس، نادری عارفی، علی، و بناکاشانی، فاطمه (۱۴۰۰). پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa*) به تاریخ کاشت از نظر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در شهرستان گرمسار. *نشریه علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۲(۲)، ۴۹-۴۱.

میرشکارنژاد، بابک، و ایلکایی، محمدنبی (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات فصلی عامل‌های جوی در بوم نظام اقلیم- زراعی کرج با استفاده از مدل گردش عمومی GCM-HadCM3. *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۵(۱)، ۲۳۷۷-۲۳۷۰.

Afshar, R. K., Jovini, M. A., Chaichi, M. R., & Hashemi, M. (2014). Grain sorghum response to arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilizer under deficit irrigation. *Agronomy Journal*, *4*, 1212-1218.

Ahmadi, S. H., Solgi, S., & Sepaskhah, A. R. (2019). Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. *Agricultural Water Management*, *225*, 105784. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105784

Ali, S., Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Iqbal, B., & Amin, M. Z. (2020). Growth, biomass production, and yield potential of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting techniques under irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*, *14*, 427-441. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00094-5

Algosaibi, A. M., Badran, A. E., Almadini, A. M., & El-Garawany, M. M. (2017). The effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. *Journal of Agricultural Science*, *9*, 182-191. DOI:10.5539/JAS.V9N9P182

Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Honninger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the "Golden Grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, *9*, 216. https://doi.org/10.3390/foods9020216

Bates, I. S., Waldern, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free praline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Bertin, P., Bouharmont, J., & Kinet, J. M. (1996). Soma clonal variation and improvement in chilling tolerance in rice. *Plant Breed*, *115*, 268-273.

Chaudhari, S. K., Arshad, M., & Ilyas, N. (2017). Physiological and biochemical responses of hexaploid wheat cultivars to drought stress. *Pure and Applied Biology*, *6*, 60-71.

Chaouachi, L., Marin-Sanz, M., Kthiri, Z., Boukef, S., Harbaoui, K., & Francisco Barro Karmous, C. (2023). The opportunity of using durum wheat landraces to tolerate drought stress: Screening morpho-physiological components, *AoB Plants*, *15*(3), 1-17. https://doi.org/10.1093/aobpla/plad022

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

Corraliza, M. G., Rplp, V., Lopez, M. L., & Moreno, G. (2019). Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions. *Nature Scientific Reports, 9*, 9547. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46027-9

Dalal, V. K, & Tripathy, B. C. (2012). Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis", *Plant, Cell and Environment*, *35*(9), 1685-1703.

Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Zhang, W., Zhang, B., & Xie, F. (2020). Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *146*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.003

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M. Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., & Huang, J. (2017) Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 1147. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147

Ferrat, I. L, & Loval, C. J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *P. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Crop Science*, *39*, 467-474.

Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., Aranda, M., Valdivia, W., Bustamante, L., Graf, F., & Obal, I. (2017). Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. *Industrial Crops and Products*, *107*, 558-564. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.035

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. *Journal of Agricultural Science*, *150*, 702-716.

Gamez, A. L., Soba, D., Zamarreno, A. M., Garcia-Mina, J. M., Aranjuelo, I., & Morales, F. (2019). Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, *8*(6), 173. https://doi.org/10.3390/plants8060173

Gereen, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(1), 59-64.

Hanif, S., Saleem, M. F., Sarwar, M. Irshad, M., Shakoor, A., Ashfaq Wahid, M., & Zaman Khan, H. (2021). Biochemically triggered heat and drought stress tolerance in rice by proline application. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*, 305-312. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10095-3

Hinojosa, L., Gonzalez, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, *7*(4), 106. https://doi.org/10.3390/plants7040106

Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa in morocco–effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *200*(5), 371-377.

Jbawi, E. A., Danoura, R., & Yaacoub, A. (2018). Effect of deficit irrigation and manure fertilizer on improving growth and yield of quinoa in syria. *Journal of Agricultural Research*, *2*, 1-7.

Kia, M., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, M. (2022). Investigation of morphological and genotypic characteristics of quinoa in Gorgan region. *Journal of Crop Breeding*, *14*(43), 145-154.

Lum, M. S., Hanafi, M. M., Rafii, Y. M., & Akmar, A. S. N. (2014). Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *24*, 1487-1493.

Minolta, M. (1989). Manual for Chlorophyll Meter SPAD-502. Minolta camera Co., Ltd., Japan.

Mohyuddin, S., Riaz, A., Qamar, A., Ali, S., Hu, C., Wu, L., & Ju, X. (2019). Quinoa is beneficial to the comprehensive nutritional value of potential health. *Pakistan Journal of Science*, *70*(2), 69-74.

Moreno-Galvan, A. E., Cortes-Patino, S., Romero-Perdomo, F., Uribe-Velez, D., Bashan, Y., & Bonilla, R. R. (2020). Proline accumulation and glutathione reductase activity induced by drought-tolerant rhizobacteria as potential mechanisms to alleviate drought stress in Guinea grass. *Applied Soil Ecology*, *147*, 103367.

Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., & Yildiz, M. (2016). Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. In Proceedings of 2nd World Irrigation Forum (WIF2).

Souri Laki, E., Rabiei, B., Jokarfard, V., Marashi, H., & Börner, A. (2022). Evaluation of importantagronomic traits related to yield and identification of superior quinoa genotypes. *Cereal Research*, *12*(1), 99-114. doi: 10.22124/cr.2023.23299.1745

Telahigue, D., Yahia, L. B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Science of Food and Agriculture*, *1*, 222-232.

Toderich, K. N., Mamadrahimov, A. A., Khaitov, B. B., Karimov, A. A., Soliev, A. A., Nanduri, K. R., & Shuyskaya, E. V. (2020). Differential impact of salinity stress on seeds minerals, storage proteins, fatty acids, and squalene composition of new quinoa genotype, grown in hyper-arid desert environments. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 1-15. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607102

Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S., & Jacobsen, S. E. (2016). Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*(6), 445-453.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

Zlatev, Z, & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *24*, 57-72.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]

Evaluation of drought stress on yield and water use efficiency of different quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) in Iranshahr

Abdolnaser Raeesi[1], Mohammad Nabi Ilkaee[1], Khaled Miri[2], Farzad Paknejad[1], Davoud Habibi[1]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka.C. Islamic Azad University, Karaj, Iran
[2] Baluchistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Iranshahr, Iran
(Received: 2025/03/12, Accepted: 2025/07/22)

Abstract

Considering the climate changes and Iran's location in arid and semi-arid regions, selecting drought-tolerant genotypes to reduce the effects of drought stress is an essential management of crop cultivation. For this purpose, in this study, the effect of drought stress on the yield and yield components of different quinoa genotypes was investigated in a split plot with 3 replications in a randomized complete block design in two crop years (2016-2018) at the Balochistan Agricultural and Natural Resources Research Station (Iranshahr). The main factor included drought stress at 3 levels (5000, 4000 and 3000 m^3/ha), and the secondary factor included 8 quinoa genotypes (Q12, Q18, Q21, Q26, Q29, Q31, Gizl and Red Carina). According to the results of the experiment, the effect of year on all the studied traits was not significant. The effect of drought stress on the traits of plant height, stem diameter, number of lateral branches per plant, number of spikes in inflorescence, and water use efficiency was significant. Also, the effect of genotype on all the studied traits showed a significant difference. Based on the results of the comparison of the means, the Q12 genotype increased the grain yield (12.16%) and the biological yield (24.22%) compared to the Q18 and Q21 genotypes (the lowest value). Based on the results of comparing the average genotypes, the highest grain yield was observed in the Q12 genotype, which had a grain yield of 12.16 percent and a biological yield of 24.22 percent higher than the Q18 and Q21 genotypes (the lowest values). The results showed that the different quinoa genotypes in the present study differed significantly. The Q18 genotype also had a higher water use efficiency than other genotypes, which can be used in water shortage conditions. Therefore, according to the present results, the Q18 and Q12 genotypes can be recommended to increase the achievement of appropriate yield and increase water use efficiency.

Keywords: Biological yield, Cluster analysis, Deficit irrigation, Plant height, Red carina

Corresponding author, Email: mn.ilkaee@iau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.193]