J. Crop Prod. Process. 2025, 15(3), 103-120; DOI: 10.47176/jcpp.15.3.38521

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

The Effect of Humic Acid and Silicon on Morphological Traits, Yield and Water Use Efficiency of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under Different Irrigation Regimes

Masoud Vafapoor [1], Hooshang Farajee[2]*, Shahrokh Jahanbin[2] and Alireza Yadavi[2]

1 and 2. PhD. Student and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture ,Yasouj University, Yasouj, Iran.

Extended Abstract

Introduction : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a highly nutritious plant known for its tolerance to various abiotic stresses, including drought and salinity. This adaptability makes it an ideal candidate for cultivation in arid and semi-arid regions, where water scarcity poses a major challenge to agricultural productivity. Despite its resilience, drought stress negatively impacts physiological functions, morphological traits, and yield in quinoa, which requires effective strategies to mitigate these effects. Humic acid and silicon, both bio-stimulants, have been reported to enhance plant growth and stress tolerance by improving nutrient uptake and strengthening cell walls. However, the combined effect of these substances on quinoa under water-limited conditions remains insufficiently studied. This research aimed to evaluate the effects of foliar application of humic acid and soil application of silicon on the morphological characteristics, yield, and water use efficiency of quinoa under different irrigation regimes.

Materials and Methods: This study was conducted during the growing seasons of 2017–2018 and 2018–2019 at the research farm of Yasouj University, located in Yasouj, Iran (latitude 30°39′ N, longitude 51°33′ E). A split-plot factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was employed. The main factor consisted of three irrigation regimes: 100%, 70%, and 40% of the plant's water requirement, determined based on the Class A evaporation pan. The sub-factor consisted of the foliar application of humic acid at three concentrations (0, 300, and 600 mg/L) and the soil application of silicon at 20 kg/ha, applied in a factorial arrangement. Quinoa seeds (variety Titicaca) were planted manually with a planting depth of 2 cm, and each plot was irrigated according to the respective irrigation treatment. Water application was calculated using the formula Id=InETcI_d = \frac{I_n}{ET_c}, where IdI_d is the irrigation depth, InI_n is the amount of water applied in each irrigation cycle (in mm), and ETcET_c is the crop evapotranspiration. Various agronomic traits, including leaf area index, grain yield, and water use efficiency, were measured, and data were subjected to statistical analysis using SAS software.

Results and Discussion: The results demonstrated that irrigation regimes, humic acid, and silicon application significantly influenced quinoa's morphological traits, yield, and water use efficiency. The 100% irrigation treatment resulted in the highest grain yield (2340 kg/ha), while the 40% irrigation treatment produced the lowest (616 kg/ha). Silicon application significantly improved leaf area index and grain number per plant under drought stress conditions, with the greatest improvements observed in the 70% and 40% irrigation treatments. Foliar application of humic acid at 600 mg/L increased leaf area index, grain yield, and water use efficiency, particularly under water-limited conditions.

Received: Nov. 14, 2024; Revised: Jun. 01, 2025; Accepted: Jun. 03, 2025; Published Online: Sep 03, 2025.
* Corresponding Author: Hooshangfarajee@mail.yu.ac.ir

J. Crop Prod. Process. 2025, 15(3), 1-120; DOI: 10.47176/jcpp.15.3.38521

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

The interaction between irrigation and silicon application showed significant effects on the leaf area index and water use efficiency, with the highest efficiency observed in the 70% irrigation treatment combined with silicon application. Moreover, the combination of silicon and humic acid under 70% and 40% irrigation regimes resulted in improved stress tolerance by enhancing nutrient uptake and maintaining photosynthesis efficiency, ultimately leading to better performance in drought conditions. Water use efficiency was significantly enhanced by both silicon and humic acid, with the highest efficiency recorded in the silicon-treated plants under 70% irrigation (0.47 kg of grain per cubic meter of water). These findings are in line with previous studies, where silicon was shown to alleviate drought-induced oxidative stress by reducing hydrogen peroxide levels and improving cell wall integrity. Humic acid, through its chelating properties, improved nutrient availability, thereby enhancing plant growth and water retention during periods of water scarcity. This study highlights the importance of integrating these bio-stimulants into water-limited agricultural systems to optimize quinoa production in drought-prone regions.

Conclusions : The application of silicon and humic acid significantly mitigated the negative effects of drought stress on quinoa, enhancing morphological traits, yield, and water use efficiency. Combining these bio-stimulants with efficient irrigation practices can increase quinoa's resilience to water scarcity, offering a sustainable approach to improve productivity in arid regions.

Keywords: Irrigation levels, Nutrient uptake, Biological yield, Harvest index, Yield components, Leaf area index.

How to Cite: Vafapoor M., Farajee H., Jahanbin Sh., Yadavi A. The Effect of Humic Acid and Silicon on Morphological Traits, Yield and Water Use Efficiency of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under Different Irrigation Regimes. *J. Crop Prod. Process*. 2025, 15(3), 103-120. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.3.38521.

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۳، صص. ۱۲۰-۱۰۳، DOI: 10.47176/jcpp.15.3.38521

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر اسید هیومیک و سیلیکون بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مسعود وفاپور[۱]، هوشنگ فرجی*[۲]، شاهرخ جهانبین[۲] و علیرضا یدوی[۲]

چکیده– این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کاربرد هیومیک اسید و سیلیکون بر عملکرد و خصوصات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه کینوا در شرایط کم‌آبیاری در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل تامین ۱۰۰ ، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. سطوح فاکتوریل فرعی شامل ترکیب محلول‌پاشی هیومیک اسید و کاربرد خاکی سیلیکون بود. محلول‌پاشی هیومیک اسید در سه سطح (محلول‌پاشی صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم برلیتر) صورت گرفت و کاربرد خاکی سیلیکون شامل عدم استفاده از سیلیکون و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکون خالص (از منبع پتاسیم سیلیکات) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی اعمال شد، بودند. نتایج نشان داد که اثر آبیاری، هیومیک اسید و سیلیکون بر صفاتی مانند شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و برخی صفات کیفی مانند میزان پروتئین دانه، معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش آبیاری و سیلیکون بر شاخص سطح برگ، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و بیولوژیک و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۲۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد سیلیکون در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین عملکرد دانه (۶۱۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم کاربرد سیلیکون در ۴۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. کاربرد سیکیلون باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی شد؛ به‌طوری‌که کاربرد سیلیکون در تیمارهای ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب باعث بهبود ۳۰ و ۳۹ درصدی کارآیی مصرف آب شد. به‌طور کلی، در شرایط تنش خشکی کاربرد سیلیکون و محلول‌پاشی هیومیک اسید باعث کاهش آثار مخرب تنش خشکی شد. کاربرد هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیکی تاثیر معنی‌دار مثبت داشت، همچنین تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزاء عملکرد داشته ولی بر وزن هزار دانه تاثیر معنی‌داری نداشت. همچنین کاربرد هیومیک اسید در تمام سطوح باعث افزایش کارآیی مصرف آب در کینوا شد. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری در سطح برگ و عملکرد دانه در کینوا شد. کاربرد هیومیک اسید و سیلیکون به‌دلیل بهبود برخی شاخص‌های گیاهی مانند افزایش جذب مواد غذایی باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب شد.

واژه‌های کلیدی: سطوح آبیاری، جذب عناصر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، اجزاء عملکرد، شاخص سطح برگ.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۴، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳، اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲

۱و۲– به‌ترتیب دانشجوی دکترای زراعت و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*: نویسنده مسئول، رایانامه: Hooshangfarajee@mail.yu.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) از طرف سازمان خواروبار جهانی به‌عنوان یک استراتژی برای امنیت غذایی دنیا معرفی شده است (۳۰). که ضمن دارا بودن پروتئین بالا نسبت به شرایط نامساعد محیطی متحمل بوده (٤) و امکان تولید اقتصادی در اراضی فقیر را خواهد داشت. کینوا گیاهی است که در شرایط بسیار سخت محیطی کشت می‌شود (۱۳) و به تنش‌های خشکی (٤٢) متحمل بوده و در بیشتر خاک‌ها از شنی تا رسی با اسیدیته ٤/٥ تا۹ ، (۱۳) و شوری بیش از ٤٠ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند رشد نماید (۱۳).

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر دنیا است. یکی از مهمترین اثراتی که تنش خشکی بر فتوسنتز می‌گذارد، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش دسترسی گیاه به CO_2 در مزوفیل برگ‌ها و درنتیجه کاهش میزان فتوسنتز گیاه است (٤٣). گنزالز و همکاران (۱٥) گزارش دادند که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک کل، سطح برگ و تعداد برگ‌ها در کینوا می‌شود. الوا و همکاران (۹) بیان کردند که اعمال تنش خشکی در کینوا باعث کاهش معنی‌داری در وزن اندام‌های هوایی، تولید دانه، میزان پروتئین کل و میزان کربوهیدرات‌ها در این گیاه شد. هیومیک‌اسید خاصیت کلات‌کنندگی عناصر غذایی مانند پتاسیم، منیزیم، روی، آهن و سایر عناصر غذایی را دارد و می‌تواند در تامین عناصر غذایی موثر باشد (١٤). در همین راستا سالیمون و همکاران (۳٥) بیان کردند که هیومیک اسید از طریق اثرات هورمونی سبب افزایش رشد گیاه می‌شود. کاربرد برگی یا خاکی هیومیک اسید باعث افزایش هورمون‌هایی مانند سایتوکنین، اکسین و جیبرلین در گیاه می‌شود (۱). مولکول‌های هیومیک اسید از طریق پیوند با مولکول‌های آب درون سلول‌ها تا حدود زیادی باعث جلوگیری از تبخیر آب در آن‌ها می‌شوند. مطالعات نشان داده است که استفاده از برخی عناصر مانند سیلیکون در شرایط کمبود آب می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی موثر بوده و زمینه‌ی سازگاری گیاه را فراهم کند (٣٤). جذب سیلیکون در خاک به‌صورت غیرانتخابی و غیرفعال بوده و از طریق ریشه و در جریان تعرق در آوندهای چوبی صورت می‌گیرد. گونز و همکاران (١٦) بیان کردند که افزودن سیلیکون به خاک باعث کاهش آسیب‌های غشایی ناشی از تنش خشکی در ریشه‌های آفتاب‌گردان از طریق کاهش سطوح پراکسید هیدروژن (H_2O_2) شد. سیلیکون به‌صورت اسید مونوسیکلیک در خاک وجود دارد و با از دست رفتن آب در اندام‌های هوایی این اسید غلیظ شده و به فرم ژل سیلیس تبدیل شده و درنهایت باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌شود (۸). حداد و حیدری (۱۷) گزارش کردند که محلول‌پاشی سیلیکون بر جو در شرایط تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سطح پروکسید هیدروژن (H_2O_2) شد. این تحقیق با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و کاربرد خاکی سیلیکون بر ویژگی‌های زراعی و مورفولوژیکی کینوا در شرایط تنش خشکی انجام شد. مطالعات نشان می دهد که تنش آبی می تواند عملکرد دانه در کینوا را کاهش دهد، و از آن‌جایی‌که از اثرات مفید موادی مانند اسید هیومیک و سیلیکون، جذب مواد مغذی و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی در برخی گیاهان گزارش شده است (٣٤)، اما از تاثیر این مواد در افزایش مقاومت کینوا به تنش خشکی گزارشات زیادی ارائه نشده است، بنابراین، تحقیق حاضر می‌تواند به شناسایی استراتژی‌های مؤثر برای کاهش تأثیر تنش خشکی بر کینوا، به‌عنوان یک محصول ارزشمند در مناطق مستعد کمبود آب است، کمک کند.

مواد و روش‌ها

مشخصات طرح و تیمارهای آزمایش: این پژوهش در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه‌ی شمالی، طول جغرافیایی ٥۱ درجه و ۳۳ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۱۸۱٦ متر از سطح دریا اجرا شد. بذر استفاده شده از شرکت توسعه تجارت سبز ایلیا در یزد تهیه شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک(عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

روی (میلی‌گرم /کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم /کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم /کیلوگرم)	مس (میلی‌گرم /کیلوگرم)	درصد اشباع خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس/متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم /کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم /کیلوگرم)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت
۱/۱	۵/۱	۷	/۵۸	۲۳/٦	۰/٤۵	۷/۹۳	۲/٤۱	۰/۱۲	۱۱/۱	۲۲۹	۲۹/۹	٤۵	۲۵/۱	رس -لوم

کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری، تامین ۱۰۰ ، ۷۰ و ٤۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه، با توجه به تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A بود. عوامل فرعی شامل ترکیب محلول‌پاشی هیومیک اسید تهیه شده از پودر هیومیک ۹۵ درصد با نام تجاری هیومکس حاوی ۸۰ درصد هیومیک و ۲۰ درصد فولیک اسید، در سه سطح (محلول‌پاشی با آب مقطر به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۳۰۰ و ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) که در دو مرحله‌ی ۳۰ و٦۰ روز پس از کشت و با حجم ۵٦۰ لیتر آب در هکتار صورت گرفت و کاربرد خاکی سیلیکون شامل عدم استفاده از سیلیکون به‌عنوان شاهد و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکون خالص (از منبع پتاسیم سیلیکات حاوی ۳۰ درصد پتاسیم و ۳۰ درصد سیلیسیوم) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی، که در مرحله آخر تهیه بستر به خاک اضافه می‌شود، بودند. عملیات کاشت در دوسال متوالی، ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در اول تیرماه، با عمق کاشت ۲ سانتی‌متر و به‌وسیله‌ی دست روی ردیف‌های کشت انجام شد. پس از انجام شخم بهاره مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۷۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم به خاک اضافه و سپس عملیات دیسک و تسطیح زمین انجام شد. رقم کینوای مورد استفاده تیتیکاکا بود.در کرت‌های فرعی پشته‌ها با فاصله‌ی ٤۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شدند. فاصله بوته‌ها بر روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. طول هر کرت فرعی ٤ متر و عرض آن ۲ متر و فاصله‌ی تکرارها از هم ۲ متر و فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی ۳ متر در نظر گرفته شد. آبیاری تمامی کرت‌های مورد آزمایش تا زمان شروع اعمال تیمارهای آبی به‌طور معمول انجام شد. از مرحله‌ی استقرار کامل گیاه به بعد تیمارهای آبیاری اعمال شد. جهت تعیین مقدار آب لازم برای آبیاری از فرمول زیر استفاده شد (۷):

$$Id = In / ETc$$

که در این فرمول، Id دور آبیاری (۷ روز)، In مقدار آبیاری در دور آبیاری (بر حسب میلی‌متر)، ETc میزان تبخیر و تعرق روزانه در دور آبیاری هستند. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن، جزء اقلیم‌های سردسیر با تابستان‌های معتدل و میانگین بلندمدت بارندگی ۸٦۵ میلی‌متر است.

برای مشخص کردن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای طرح از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شد. توصیه کودی بر اساس نتایج این آزمایش‌ها صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

تعیین نیاز آبی گیاه: به‌منظور اعمال سطوح مختلف تنش آبیاری، نیاز آبی گیاه از مدل نرم‌افزاری CROPWAT (۱۱ و

۳٦) و با استناد به روش پنمن و مانتیس محاسبه شد. داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه یاسوج اخذ و لحاظ شد.

پس از رشد کامل گیاه و پس از حذف اثر حاشیه و انتخاب یک مترمربع از وسط هر کرت آزمایشی از صفات مورفولوژیکی گیاه از قبیل وزن خشک بوته‌ها قبل از رسیدگی (پنج بوته از سطح زمین تا زیر گل آذین) کامل نمونه‌گیری صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک نیز صفات زراعی چون تعداد دانه در بوته، طول سنبله، وزن سنبله‌ها، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و میزان عملکرد ماده خشک کل اندازه‌گیری شدند. اندازه گیری وزن خشک به روش قطع- توزین انجام شد. جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از وسط هر کرت سه بوته انتخاب، و برگ‌های آن‌ها کنده شده و بر روی یک سطح کاغذ سفید به‌صورت کاملا پوشیده شده قرار گرفته، سپس با دوربین از آن عکس تهیه کرده و تصویر حاصل به نرم افزار Image j منتقل شده و سطح برگ هر نمونه اندازه‌گیری شده و به کل نمونه‌ها تعمیم داده شد؛ که در زمان گلدهی کامل این اندازه‌گیری صورت گرفت.

محاسبه کارآیی مصرف آب: کارآیی مصرف آب از طریق رابطه ۱ محاسبه شد.

$$WUE = GY/Wap \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، WUE, GY و Wap به‌ترتیب کارآیی مصرف آب (Water Use Efficiency) ، کیلوگرم دانه تولید شده (Grain Yield) و مترمکعب آب مصرفی(Water Application) است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: در پایان تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. ابتدا آزمون بارتلت انجام شد و در صورت همگنی واریانس دو سال، تجزیه مرکب داده‌های دو سال آزمایش انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی بر اساس آزمون LSD انجام گرفت و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین به روش L.S.Means صورت گرفت. اشکال و نمودارهای مربوط به مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم شدند.

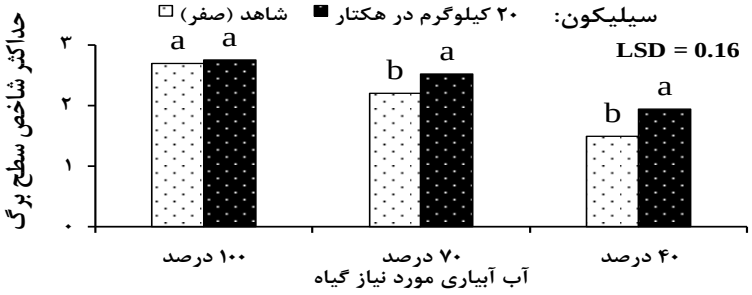
نتایج و بحث

طول پانیکول: اثرات اصلی آبیاری، سیلیکون و هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر طول پانیکول کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین (۲۱/۲ سانتی‌متر) و تیمار آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی کمترین طول پانیکول ۱۲/۲ سانتی متر) را داشتند (جدول ٤). مصرف کود سیلیکون نیز باعث افزایش طول پانیکول از ۱۵/۵ به ۱٦/۹ سانتی‌متر شد (جدول ٤). محلول‌پاشی هیومیک اسید به‌طور معنی‌داری باعث افزایش طول پانیکول شد، ولی بین سطوح ۳۰۰ و ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). جاکوبسن و همکاران (۱۹) گزارش دادند که، گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان آب، با سازوکارهای خاص خود، با تنش آبی مقابل می‌کند و در ابتدا روزنه‌های خود را می‌بندد تا موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول دوران خشکی شود. همچنین این گیاه برای مقابله با کم آبی در ناحیه توسعه ریشه، مبادرت به تولید آبسزیک اسید (عامل محدودکننده رشد گیاه) در طول خشک شدن خاک می‌کند و با این سازوکار، باعث تنظیم فعالیت روزنه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود. از این‌رو، کاهش در توسعه اندام‌های مختلف نظیر ارتفاع، قطر ساقه و طول گل آذین امری محتمل است (۱۸). جمالی و همکاران (۲۰)، گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش طول و عرض پانیکول در کینوا شد به‌طوری‌که بیشترین کاهش در تیمار تنش در مرحله‌ی رویشی و کمترین کاهش در تیمار تنش در مراحل گلدهی و دانه بستن اتفاق افتاد. از مهمترین دلایل افزایش رشد اندام‌های گیاه در زمان استفاده از هیومیک اسید تحت شرایط تنش خشکی، افزایش جذب مواد غذایی از جمله نیتروژن، کلسیم، منیزیم و

جدول ۲. میانگین مربعات تجزیه واریانس مرکب صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول پانیکول	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک کل	شاخص برداشت	شاخص سطح برگ	کارایی مصرف آب (برحسب عملکرد دانه)	کارایی مصرف آب (برحسب ماده خشک)
آبیاری	۲	۷۶۰**	۷۹۷۱۲۶۷**	۴/۹۴۵**	۲۲۵۵۸۹۵۴**	۱۴۹۹۲۷۴۱۰**	۱۱۳۱**	۹/۳**	۰/۲**	۰/۲۱**
خطای اصلی	۱۵	۱/۴	۲۴۵۷۶۹	۰/۱	۸۳۶۸۰۱	۵۵۰۷۰۷۷	۴۱/۴	1/6	۰/۰۵	۰/4
سیلیکون	۱	۵۴/۹**	۷۶۴۵۷۰**	۰/۳**	۱۶۵۴۴۱۳**	۱۶۲۹۶۰۲۱**	۸/۹ns	۲/۱ **	۰/۱۳**	۱/۴۴**
هیومیک اسید	۲	۱۴/۳**	۲۱۵۰۰۱**	۰/۰۸*	۶۵۹۰۹۱**	۳۹۳۶۰۵۵**	۲۰/۳*	۰/۳**	۰/۰۵**	۰/۳**
آبیاری × سیلیکون	۲	۳/۹ ns	۱۳۴۱۵۲**	۰/۰۶۱ns	۳۲۱۸۴۹**	۲۴۸۱۸۲۵**	۶/۰۰۹ns	۰/۴**	۰/۰۲**	۰/۳**
آبیاری × هیومیک اسید	۴	۰/۵ ns	۲۸۸۷۸ns	۰/۰۰۶ ns	۱۰۴۹۳۴**	۳۲۰۹۷۰ns	۷/۸ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۸**	۰/۰۵*
سیلیکون × هیومیک اسید	۲	۰/6 ns	۴۶۱۸ns	۰/۰۳ ns	۱۱۴۴۵۷*	۴۱۷۵۵۸ns	۶/۲ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۹**	۰/۰۳ns
آبیاری × سیلیکون × هیومیک اسید	۴	۰/۸ ns	۵۸۷۶ns	۰/۰۰۴ ns	۳۲۰۴۲ns	۵۷۵۱۵ns	۵/۹ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۵ ns
خطای فرعی	۷۵	۱/۴	۱۰۴۹۶	۰/۰۲	۲۶۵۰۲	۳۰۸۳۲۶	۶/۳	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۸
ضریب تغییرات (CV)		۷/۳۰	۸/۱۵	۶/۰۷	۱۰/۳۳	۹/۸۴	۹/۴۳	۱۰/۰۶	۹/۹۲	۹/۷۲

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، و غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای شاخص سطح برگ

در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

جدول ۳. تجزیه واریانس برش‌دهی سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای صفات مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کینوا

آبیاری	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک کل	شاخص سطح برگ	کارایی مصرف آب (برحسب عملکرد دانه)	کارایی مصرف آب (برحسب ماده خشک)
۱۰۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۱	۷۰۸٤^{ns}	۳۳٤۸۹^{ns}	۲۷۲۳۱۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}
۷۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۱	۵٦۷۰۰۹**	۱۷۳۵۳٦۷**	۱۱۵۷٤۷۳۸**	۰/۹٦ **	۰/۱۰**	۰/۷۱**
٤۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۱	٤۵۸۷۸۰**	۵۲۹۲۵٦**	۹٤۱۲٦۲٤**	۱/۸۷ **	۰/۰۷**	۱/۳۱**

^{ns} معنی‌دار نیست. ** و * به‌ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد، از لحاظ آماری معنی‌دار هستند.

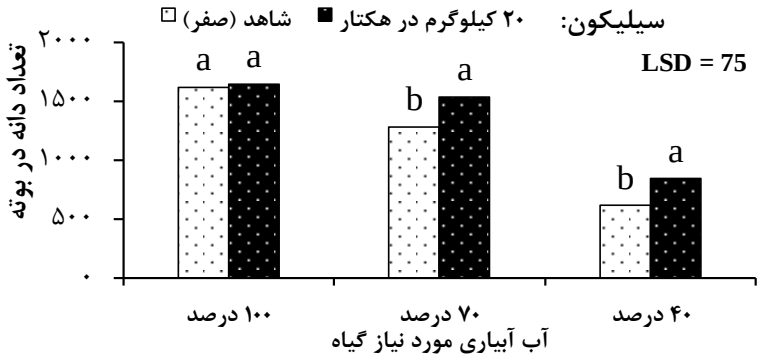
پتاسیم است (٤۰). کاربرد سیلیس باعث افزایش تعداد خوشه‌چه‌های هر پانیکول، افزایش گلچه‌ها و درنهایت افزایش طول پانیکول در برنج شده است (۲۲).

شاخص سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، اثر آبیاری، سیلیکون، هیومیک اسید و اثرمتقابل آبیاری در سیلیکون در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سطح برگ کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرمتقابل سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری نشان داد که اثر سیلیکون بر شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد معنی‌دار نبود ولی در تیمارهای تنش آبی ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای شاخص سطح برگ نشان داد که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون وجود نداشت ولی در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی، کاربرد سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد (شکل ۱). صرف‌نظر از فاکتورهای سیلیکون و هیومیک اسید، بیشترین شاخص سطح برگ با ۲/۷۲ در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن با شاخص سطح برگ ۱/۷۲ در تیمار آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ٤). محلول‌پاشی هیومیک اسید نیز به میزان ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ از ۲/۱٦ به ۲/۳٦ شد (جدول ٤). اولین مکانیسم گیاه برای مقابله

جدول ٤مقایسه میانگین اثرات اصلی سال، آبیاری، سیلیکون و هیومیک اسید برای صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در کینوا

عامل	طول پانیکول (سانتی‌متر)	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	شاخص سطح برگ	کارایی مصرف آب (کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب مصرفی)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی)
آبیاری									
۱۰۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۲۱/۲ a	۱٦۳۷ a	۲/۸ a	۲۳۰۹ a	۷۵۱٦ a	۳۰/٦a	۲/۷ a	۰/٤ a	۱/٤ b
۷۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۱۵/۲ b	۱٤۱۰b	۲/٤ b	۱٦۸۳b	٥٤٦۹b	۲۸b	۲/٤ b	۰/٤a	۱/٥a
٤۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۱۲/۲ c	۷۲۹c	۲/۰۸ c	۷۳۷c	۳٤٦۸c	۲۱/۱c	۱/۷ c	۰/۳b	۱/۳b
سیلیکون									
شاهد (صفر)	۱۵/٥ b	۱۱۷۳b	۲/٤ b	۱٤٥۲b	٥۲٥٥b	۲٦/۲a	۲/۱ b	۰/۳b	۱/۳b
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۱٦/۹ a	۱۳٤۱a	۲/٥ a	۱۷۰۰a	٦۰۳۲a	۲٦/۹a	۲/٤ a	۰/٤a	۱/٥a
هیومیک اسید									
شاهد (آب خالص)	۱٥/٦ b	۱۱۷٥c	۲/٤ b	۱٤۳۷c	٥۳۱۲c	۲٥/٦b	۲/۲ c	۰/۳c	۱/۳c
۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۱٦/۳ a	۱۲٦۷b	۲/٤ ab	۱٥۸٤b	٥٦٤٦b	۲٦/۷a	۲/۳ b	۰/٤b	۱/٤b
٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۱٦/۸ a	۱۳۲۹a	۲/٥ a	۱۷۰۸a	٥۹۷۳a	۲۷/۳a	۲/٤ a	۰/٤a	۱/٥a

در هر ستون و عامل آزمایشی میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.



شکل ۲. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای تعداد دانه در بوته

در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

با خشکی کاهش سطح برگ و کاهش تعرق است (۳۵). در شرایط خشکی برگ‌ها کوچکتر و تعداد آنها کمتر می‌شود. کاهش تعداد برگ می‌تواند به‌علت پیری زودرس عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودرس گیاه در شرایط تنش باشد (۲٦). نتایج این تحقیق با نتایج شریفان و همکاران (۳۷) بر روی گیاه کینوا رقم Sajama مطابقت داشت. رضا بیگی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که سیلیکون به‌دلیل سیلیسی کردن سلول‌های برگ در شرایط تنش خشکی دوام برگ و پایداری سلول‌های آن را افزایش داده و فتوسنتز بیشتر برگ را باعث می‌شود. محققان گزارش کردند که سیلیکون با کاهش تولید اتیلن و آبسیزیک اسید در شرایط خشکی، تعادل هورمونی گیاه را بهبود می‌بخشد واز کاهش رشد برگ‌ها جلوگیری می‌کند (٤۲).

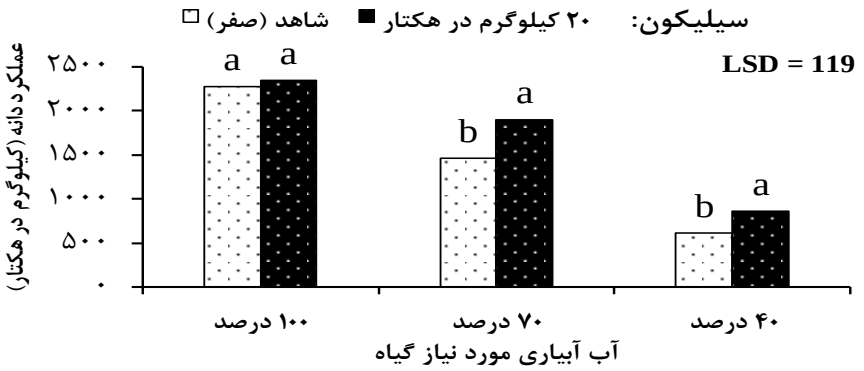
تعداد دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، سیلیکون، هیومیک اسید و برهم‌کنش آبیاری و سیلیکون بر تعداد دانه در بوته کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری نشان داد که اثر سیلیکون بر تعداد دانه در بوته در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد معنی‌دار نبود، ولی در تیمارهای تنش آبی ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای تعداد دانه در بوته نشان داد که فقط در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی کاربرد سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته شد (شکل ۲). صرف‌نظر از فاکتورهای سیلیکون و هیومیک اسید، تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین (۱٦۳۷ دانه) و تیمار آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی کمترین (۷۲۹ دانه) تعداد دانه در بوته را داشت (جدول ٤). همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید به میزان ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دارتعداد دانه از ۱۱۷۵ به ۱۳۲۹ دانه در بوته شد (جدول ٤). محققان دیگری نیز گزارش کردند که وقوع تنش آبی در مرحله گل‌دهی و دانه‌بندی موجب کاهش تعداد دانه می‌شود (۳). وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی موجب می‌شود تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند کاهش یابد و این تنش در مرحله دانه‌بندی موجب می‌شود که پر شدن دانه‌ها به‌طور کامل و درست انجام نشود. از طرفی این طور به‌نظر می‌رسد که هیومیک اسید غلظت هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد را در گیاه افزایش می‌دهد و همچنین تأمین عناصر غذایی و جذب آن‌ها را در گیاه ارتقاء می‌دهد و درنتیجه گیاه را به سمت تولید بیشتر هدایت می‌کند. در پژوهش دیگری گزارش شده است که اسید هیومیک با کلات کردن عناصر ضروری، جذب عناصر را ارتقا می‌دهند و درنهایت باروری و تولید در گیاهان را تا سطح معنی‌داری بالا می‌برند (۳۲). مقصودی و امام (۲۵) گزارش کردند که برگ‌پاشی کردند که برگ‌پاشی سیلیس در گندم باعث افزایش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی شد. از جمله مکانیسم‌هایی که در نقش بهبوددهندگی نانوذرات سیلیکون در شرایط تنش نقش دارند، می‌توان به فعال‌سازی دفاع

آنتی‌اکسیدانی و بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی از خاک را نام برد (٤۲). گزارش شده است که استفاده از سیلیکون پاسخ مثبتی به رشد، توسعه، بهبود زیست توده، گرده‌افشانی وافزایش تعداد دانه نشان می‌دهد (۲۲).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و سیلیکون در سطح احتمال یک درصد و اثر هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی با وزن هزار دانه ۲/۸۱ گرم بیشترین و تیمار آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی با وزن هزار دانه ۲/۰۸ گرم کمترین وزن هزار دانه را داشت (جدول ٤). کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکون باعث افزایش ۰/۱۱ گرمی وزن هزار دانه شد (جدول ٤). همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید باعث افزایش ۰/۱ گرمی وزن هزار دانه شد (جدول ٤). مصطفائی و همکاران (۲۸) گزارش کردند که بالاترین وزن هزار دانه درکینوا مربوط به تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به میزان ۱/۸۲ گرم بود و با افزایش تنش کم‌آبی به میزان ۵۰ و ۷۵ درصد تامین نیاز آبی به‌ترتیب ٦۲/۷ و ۱۹/٦ درصد از وزن هزار دانه کاسته شد. جمالی و همکاران (۲۰) با بررسی تنش کم‌آبیاری نیز چنین نتایجی را در کینوا رقم NSRCQ گزارش کردند. طی آزمایشی محققان نتیجه گرفتند مصرف سیلیکون باعث جهت‌گیری برگ‌ها در مقابل آفتاب و درنتیجه افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود (۱۰). در آزمایشی که محمدی و همکاران (۲۷) بر روی گندم انجام دادند، بیان کردند که که با افزایش مصرف سیلیکون وزن هزار دانه نیز افزایش می‌یابد. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که استفاده از کودهای سیلیسی باعث افزایش وزن هزار دانه برنج شده است، این افزایش بیشتر به خاطر جایگزینی این عنصر در پوشینه‌ها و لما بوده است (۲۲). سیلیکون با بهبود عملکرد فتوسنتز در شرایط تنش خشکی باعث افزایش تولید کربوهیدرات‌ها شده و به انتقال آنها به دانه‌ها کمک می‌کند، این امر می‌تواند وزن هزار دانه را افزایش دهد. عمدتاً استفاده از سیلیکون باعث افزایش طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در غلات معمولی می‌شود (٤۱).

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر آبیاری، سیلیکون، هیومیک اسید، اثرمتقابل آبیاری در سیلیکون و اثرمتقابل آبیاری در هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثرمتقابل سیلیکون در هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرمتقابل سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری نشان داد که اثر سیلیکون در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود ولی در تیمارهای تنش آبی ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی اثر سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای عملکرد دانه نشان داد که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون وجود نداشت ولی در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی کاربرد سیلیکون به‌ترتیب باعث افزایش ۳۰ و ۳۹ درصدی عملکرد دانه شد (شکل ۳). تیمار کاربرد سیلیکون در ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین (۲۳٤۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد عدم کاربرد سیلیکون در ٤۰ درصد نیاز آبی کمترین (٦۱٦ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را داشتند (شکل ٤). همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید به میزان ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه به میزان ۱۷۰۷ کیلوگرم و کمترین عملکرد دانه به میزان ۱٤۳۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار عدم محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ٤). صرف‌نظر از فاکتورهای سیلیکون و هیومیک اسید، کم‌آبیاری به‌صورت ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۷ و ٦۸ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ٤).

جمالی و همکاران (۲۰) اثر تنش دوره‌ای آبی بر روی کینوا در شرایط گلخانه‌ای نشان دادند که کاهش آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آب گیاه در دوره‌های رویشی، گل‌دهی، دانه بستن و کل دوره رشد به‌ترتیب منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد

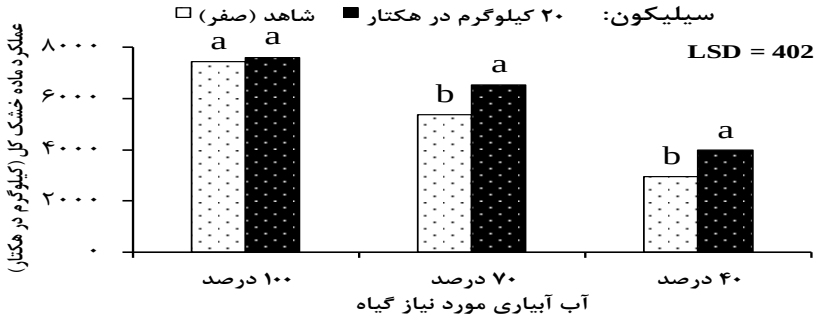


شکل ۳. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

دانه به میزان ۱۹/۳، ۱۱/۸، ۷/۵ و ۲۱/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش) شد. فرخی‌نیا و همکاران (۱۲) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک‌سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود. کاربرد سیلیکون به طور میانگین باعث بهبود ۱۷ درصدی عملکرد دانه و همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید به میزان ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار ۱۹ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ٤). اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی نقش شبه‌هورمونی دارد علاوه بر بهبود رشد گیاه و جذب مواد معدنی، باعث افزایش تحمل به خشکی نیز می‌شود (۳۰). همچنین لوسیانا و همکاران (٢٤) بیان کردند که کاربرد هیومیک اسید باعث افزایش طول ریشه و تعداد ریشه‌های مویین در ذرت می‌شود و می‌تواند باعث جذب آب بیشتری در زمان بروز تنش خشکی در خاک شود. اسید هیومیک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و نیز افزایش غلظت کلروفیل برگ باعث بهبود فتوسنتز و درنهایت افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (۳۰). مقصودی و امام (۲۵) گزارش کردند که کاربرد برگی سیلیس در گندم باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده که این افزایش در شرایط تنش خشکی بسیار بارزتر بود. سیلیس باعث افزایش تولید آنزیم ریبولاز بی فسفات کربوکسیلاز در برگ‌ها شده و سوخت و ساز دی اکسید کربن را تنظیم و کارآیی مصرف آن را بالا می‌برد، که درنهایت باعث بهبود فتوسنتز و تولید در گیاهان می‌شود (۳۹). کاربرد سیلیکون رشد گیاه، اجزای فیزیولوژیکی و پارامترهای موثر بر عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد (۲۹).

عملکرد ماده خشک کل: اثر آبیاری، سیلیکون، هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثرمتقابل آبیاری در سیلیکون در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد ماده خشک کل کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرمتقابل سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری نشان داد که اثر سیلیکون در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد بر عملکرد ماده خشک کل معنی‌دار نبود ولی در تیمارهای تنش آبی ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی اثر سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای عملکرد ماده خشک کل نشان داد که در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی کاربرد سیلیکون به‌ترتیب باعث افزایش ۲۱ و ۳۵ درصدی و معنی‌دار عملکرد ماده خشک کل شد (شکل ٤). صرف‌نظر از فاکتورهای سیلیکون و هیومیک اسید، تیمار کم آبیاری به صورت ٤۰ درصد نیاز آبی با ۳٤٦۸ کیلوگرم در هکتار کمترین و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۷۵۱٦ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد ماده خشک کل را داشتند (جدول ٤).

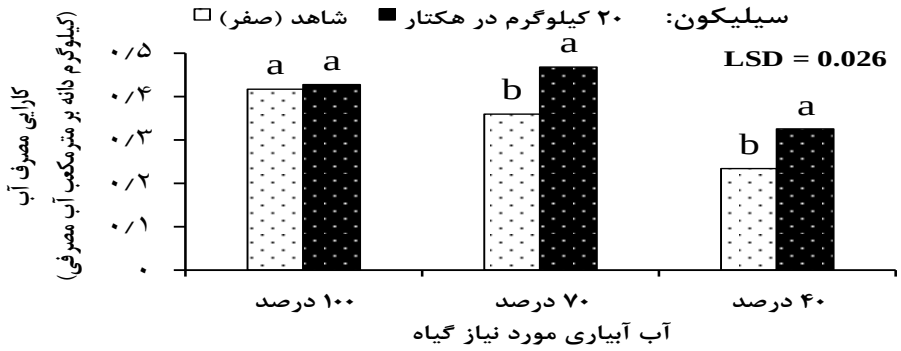


شکل ٤. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای عملکرد ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار) در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

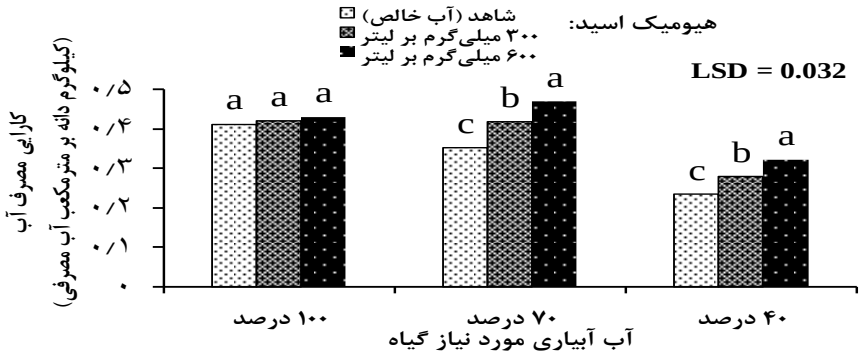
کم‌آبی، مانع از آن می‌شود که عملکرد بیولوژیک گیاه به مقدار خود برسد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل اثر منفی کم‌آبی بر فتوسنتز باشد. تنش خشکی و کاهش میزان آب قابل‌دسترس گیاه باعث افت وزن تازه و خشک گیاهان زراعی می‌شود (۷). پاک گوهر و همکاران (۳۱) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری درعملکرد کینوا شد. یکی از مهمترین دلایل افت وزن خشک بوته کینوا می‌تواند ناشی از تلفات برگ آن باشد. مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که کاربرد سیلیکون به‌طور میانگین باعث بهبود ۱۵ درصدی عملکرد ماده خشک کل شده است. همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک کل شد (جدول٤). سعادتمند و انتشاری (۳۹) به تأثیر غلظت مناسب سیلیکون (۰/۲ میلی‌مولار) و طول تیمار بلندمدت (۳۰ روز) با سیلیکون در افزایش وزن خشک در گیاه گاوزبان ایرانی اشاره نمودند. دورسان (۸) نشان دادند کاربرد اسید هیومیک به‌صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی قادر است عملکرد گیاه گوجه فرنگی را به طور معنی‌داری افزایش دهد. همچنین هیومیک اسید از طریق افزایش در محتوای نیتروژن گیاه سبب افزایش رشد، ارتفاع و به تبع آن عملکرد بیولوژیکی اسفناج می‌شود.

شاخص برداشت: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت کینوا فقط تحت تاثیر آبیاری و هیومیک اسید قرار گرفت و سایر اثرات معنی‌دار نبود (جدول ۲). تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با شاخص برداشت ۳۰/٦ درصد بیشترین و تیمار ٤۰ درصد نیاز آبی با ۲۱/۱ درصد کمترین شاخص برداشت را داشتند (جدول ٤). مقایسه میانگین سطوح فاکتور هیومیک اسید نشان داد که محلول‌پاشی هیومیک اسید باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شد ولی بین سطوح ۳۰۰ و ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). شاخص برداشت یکی از مولفه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی کارآیی تقسیم ماده خشک گیاه زراعی بین قسمت‌های مختلف گیاه است. مواد هیومیکی به‌عنوان محرک رشد گیاهان شناخته شده‌اند، به‌طوری‌که کاربرد این مواد در شرایط تنش خشکی بر پارامترهای رشدی گیاه موثر خواهد بود. این تاثیر می‌تواند به‌دلیل اثر هیومیک اسید بر تنفس، میزان قندها، اسیدهای آمینه و متابولیت نیترات باشد (۷). پاک گوهر و همکاران (۳۱) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری در شاخص برداشت کینوا شد.

کارایی مصرف آب: نتایج نشان داد که اثر آبیاری، سیلیکون، هیومیک اسید و اثرمتقابل آبیاری در سیلیکون در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب کینوا برحسب دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). برش‌دهی اثرمتقابل سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری نشان داد که اثر سیلیکون بر کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد معنی‌دار نبود ولی در تیمارهای تنش آبی ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای کارایی مصرف آب نشان داد که کاربرد سیکیلون باعث



شکل ۵. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون در هر سطح آبیاری برای کارایی مصرف آب برحسب عملکرد دانه (کیلوگرم برمتر مکعب آب) در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند



شکل ٦. مقایسه میانگین سطوح هیومیک اسید در هر سطح آبیاری برای کارایی مصرف آب برحسب عملکرد دانه (کیلو گرم بر متر مکعب آب). در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

کاهش اثرات منفی تنش خشکی شد به‌طوری‌که کاربرد سیلیکون در تیمارهای ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب باعث بهبود ۳، ۳۰ و ۳۹ درصدی کارایی مصرف آب شد (شکل ۵). همچنین تیمار کاربرد سیلیکون در ۷۰ درصد نیاز آبی بیشترین و تیمار شاهد عدم کاربرد سیلیکون در ٤۰ درصد نیاز آبی کمترین کارایی مصرف آب را داشتند (شکل ۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرمتقابل آبیاری در هیومیک اسید در سطح احتمال یک‌درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که اثر هیومیک اسید در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نبود ولی در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی اثر هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین سطوح هیومیک اسید در هر آبیاری نشان داد که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بین سطوح تیمار هیومیک اسید اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی در تیمارهای ۷۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی، بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار محلول‌پاشی ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید و کمترین آن در تیمار محلول‌پاشی آب خالص بود (شکل ٦). بیشترین کارایی مصرف آب (۰/٤۷ کیلوگرم دانه بر مترمکعب) در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید مشاهده شد و کمترین آن (۰/۲۳ کیلوگرم دانه بر مترمکعب) به تیمار ٤۰ درصد نیاز آبی و عدم مصرف هیومیک اسید تعلق داشت (شکل ٦). با بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف دنیا می‌توان نتیجه گرفت که با وجود اینکه کارآیی مصرف آب در کینوا بالاست، تنش آبی می‌تواند باعث کاهش عملکرد دانه در این گیاه شود، ولی محلول‌پاشی موادی مانند هیومیک اسید و کاربرد سیلیکون می‌تواند باعث بهبود جذب عناصر غذایی شده و اثرات تنش خشکی را در این گیاه کاهش

جدول ۵. تجزیه واریانس برش‌دهی سطوح هیومیک اسید در هر سطح آبیاری برای صفات کارایی مصرف آب کینوا

آبیاری	درجه آزادی	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب (برحسب عملکرد دانه)	کارایی مصرف آب (برحسب ماده خشک)
۱۰۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۲	۳٤۳٤۷ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۸ ns
۷۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۲	٦۷۳۸۳۰**	۰/۰٤۲ **	۰/۱٤ **
٤۰ درصد آب آبیاری مورد نیاز گیاه	۲	۱٦۰۷۸٤**	۰/۰۲۳ **	۰/۲۸ **

ns معنی‌دار نیست. ** در سطوح احتمال یک درصد، از لحاظ آماری معنی‌دار هستند.

جدول ٦. تجزیه واریانس برش‌دهی سطوح هیومیک اسید در هر سطح سیلیکون برای کارایی مصرف آب کینوا

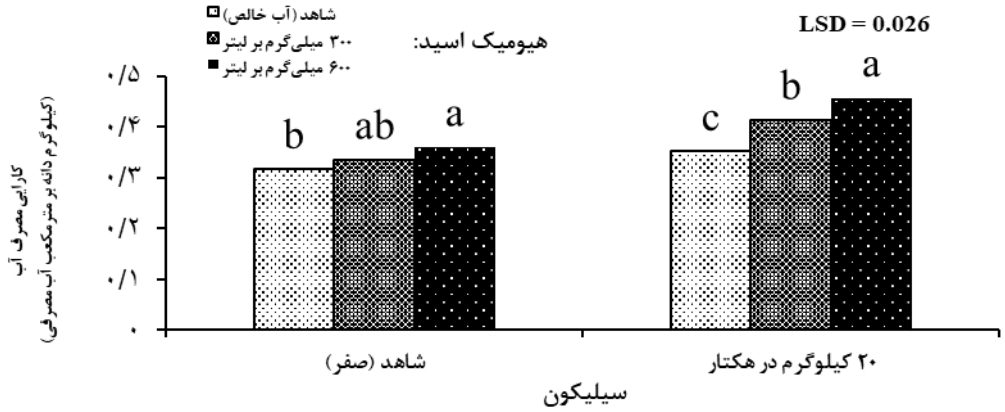
سیلیکون	درجه آزادی	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب (برحسب عملکرد دانه)
شاهد (صفر)	۲	۱۱٦۰۷٤*	۰/۰۰۹ **
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۲	٦٥۷٤۷٤**	۰/۰٥ **

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

داده و موجب افزایش تحمل این گیاه به تنش خشکی و افزایش کارآیی مصرف آب در آن می‌شود. نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که اثرمتقابل سیلیکون در هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که اثر هیومیک اسید در تیمار عدم مصرف سیلیکون و کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ٤ و ٥). مقایسه میانگین سطوح هیومیک اسید در هر سطح از سیلیکون نشان داد که محلول‌پاشی ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید نسبت به شاهد به‌ترتیب در تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد سیلیکون باعث افزایش ۱٤ و ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب شد (شکل ۷). کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث رشد و توسعه‌ی بیشتر ریشه‌های کینوا و درنتیجه جذب آب بیشتر و افزایش کارآیی مصرف آب شد (۳۸). لی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که کاربرد هیومیک اسید باعث افزایش کارآیی مصرف آب در شرایط تنش های محیطی مانند شوری در ذرت شد. صرف‌نظر از فاکتورهای سیلیکون و هیومیک اسید، تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین کارایی مصرف آب (۰/٤۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود که با تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٦). کمترین کارایی مصرف آب (۰/۲۸ کیلوگرم دانه بر مترمکعب) نیز متعلق به تیمار آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ٤). محلول‌پاشی هیومیک اسید به میزان ٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ۲٤ درصدی کارایی مصرف آب شد (جدول ٦).

نتیجه‌گیری کلی

افزایش جمعیت و نیاز به غذای بیشتر، باعث تغییرات آب و هوایی، کاهش سطح اراضی به‌دلیل فرسایش خاک، تغییرات محیط زیستی و افزایش فشار بر منابع آبی و اکوسیستم‌های زراعی شده است. یکی از گیاهانی که امروزه به‌دلیل سازگاری بیشتر با تغییرات شرایط آب و هوایی مورد توجه قرار گرفته،



شکل ۷. مقایسه میانگین سطوح هیومیک اسید در هر سطح سیلیکون برای کارایی مصرف آب برحسب عملکرد دانه (کیلوگرم بر متر مکعب آب). در هر سطح آبیاری ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند

گیاه زراعی کینوا است. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر مختلف آبی تاثیر متفاوتی بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد کینوا می‌گذارد و این‌که با وجود مقاومت کینوا به خشکی این صفات به طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، این تاثیر بیشتر به‌دلیل کاهش جذب مواد غذایی و کاهش سطح برگ در زمان مواجهه با تنش خشکی است. این نتایج نشان داد که اثرات سه‌گانه سیلیکون × هیومیک اسید × تنش خشکی باعث افزایش سطح برگ، ارتفاع گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد شد، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد در زمان استفاده هم‌زمان هیومیک اسید و سیلیکون با آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد. تاثیر مثبت این مواد عمدتا بر افزایش جذب مواد غذایی، افزایش تداوم فتوسنتز به‌واسطه تداوم سطح برگ و افزایش تعادل آبی و کارآیی مصرف آب در زمان وقوع تنش خشکی بود. بنابراین، جهت افزایش پایداری تولید کینوا در شرایط کم‌آبی، مدیریت دقیق آبیاری به همراه استفاده از ترکیبات بهبوددهنده جذب مواد مغذی مانند سیلیکون و هیومیک اسید ضروری است. این روش‌ها می‌توانند موجب افزایش سطح برگ، حفظ تداوم فتوسنتز، و بهینه‌سازی مصرف آب شوند، در نتیجه کینوا قادر خواهد بود حتی در شرایط تنش شدید، محصول اقتصادی قابل قبولی تولید کند.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های معنوی و راهنمایی‌های جناب آقایان دکتر هوشنگ فرجی، دکتر علیرضا یدوی، دکتر شاهرخ جهانبین و سایر اساتید گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه یاسوج تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1- Abdel-Mawgoud, A. M. R., N. H. M. El-Greadly, Y. I. Helmy and S. M. Singer. 2007. Responses of tomato plants to different rates of humic based Fertilizer and NPK Fertilization. *Journal of Applied Sciences Research* 3(2): 169-174.

2- Allen, R. G., L. S. Raes and D. M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *Irrigation and Drainage Paper* 56: 1-300.

3- Amiri Deh Ahmadi, S. R., P. Rezvani Moghaddam and H. R. Ehyaee. 2012. The effects of drought stress on morphological traits and yield of three medicinal plants (*Coriandrum sativum*, *Foeniculum vulgare* and *Anethum graveolens*) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(1): 116-124. (In Farsi).

4- Benlhabib, O., M. Atifi, E. N. Jellen and S. E. Jacobsen. 2004. The introduction of a new Peruvian crop "quinoa" to a rural community in Morocco. In: Proceedings of the 8th ESA Congress. European Agriculture in a Global Context. Copenhagen, Denmark. 11–15 October 2004, pp. 1-5.
5- Berman, M. E. and T. M. Dejong. 1996. Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Journal of Tree Physiology* 16: 859-864.
6- Boehem, M., J. Schevtschenko and I. Pinker. 2005. Iron supply of cucumbers in substrate culture with humate. *Acta Horticulturae* 697: 329-335.
7- Chaichi, M. R., P. Nurre, J. Slaven and M. Rostamza. 2015. Surfactant application onyield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. *CropScience Journal* 55: 386-393.
8- Dursun, A., I. Guvenc and M. Turan. 2002. Effects of different levels of humic acid on seeding growth and macro and micronutrient contents of tomato eggplant ". *ActoAgrobotanica* 56: 81-88.
9- Elewa, T. A., M. S. Sadek and M. G. Dawood. 2017. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment *of trehalose. International Agricultural of Engineering Journal* Special Issue: 245-254.
10- Epstein, E. and A. Bloom. 2005. Effect of silicon (Si) application on *Phoenix dactylifera* L. growth under drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) in vitro mineral nutrition of plants: principles and perspectives. *American Journal of Plant Sciences* 162(12): 1380-1381.
11- FAO. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper .No. 26.
12- Farokhinia, M., M. Rushdi, B. Pasban Islam and R. Sasan Dost. 2019. Investigating some physiological characteristics and performance of *spring safflower* under water shortage stress. *Iranian Crop Science Journal* 3(42): 545-553. (In Farsi).
13- Geert, S., D. Raes, M. Garcia, C. Taboada, R. Miranda and J. Cusicanqui. 2009. Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management* 96(11): 1652-1658.
14- Ghorbani, S., H. R. Khazaei, M. Kafi and A. M. Banayan. 2008. The effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of corn. *Journal of Agricultural Ecology* 1(2): 111-118. (In Farsi).
15- Gonzalez, J. A., M. Gallardo, M. B.Hilal. M. D. Rosa and F. E. Prado. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50: 35-42.
16- Gunes, A., D. J. Pilbeam, A. Inal and S. Coban. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I :growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 1885-1903.
17- Haddad, R. and R. Haydari. 2014. Investigating the effect of silicon on changes in hydrogen peroxide levels in barley plants. In: Proceeding of 1th international biotechnology conference of the Islamic Republic of Iran. Tehran, Iran. 24-26 May, 2015. (In Farsi).
18- Jacobsen, S. E., A. Mujica and C. R. Jensen. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99-109.
19- Jacobsen, S. E., C. Monteros, J. L. Christiansen, L. A. Bravo, L. J. Corcuera and A. Mujica. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22: 131-139.
20- Jamali, S., M. Goldani and S. Zeinaldin. 2018. Investigating the effect of periodic water stress on yield and water consumption efficiency of quinoa plant (NSRCQ number*). Iranian Irrigation and Drainage Journal* 13(6): 1687-1697. (In Farsi).
21- Kim, Y. H., A. L. Khan, M. Hamayun and S. M. Kang. 2011. Influeence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. *Biological Trace Element Research* 144: 1175-1185.
22- Korndörfer, G. H. and I. Lepsch. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. *Plant Science* 8: 133-147.
23- Li, G., Y. Shan, W. Nie, Y. Sun, L. Su, W. Mu, Z. Qu and T. Yang. 2025. Humic acid improves water retention, maize growth, water use efficiency and economic benefits in coastal saline-alkali soils. *Agricultural Water Management* 309: 1-15.
24- Luciano, P., L. O. Ca., L. Fabio, A. Anna, F. Okorokova and R. F. Arnoldo. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H-ATP ase activity in maize roots. *American Society of Plant Biologists* 130: 1-7.
25- Maqsoodi, K. and Y. Imam. 2015. Response of bread wheat cultivars to foliar application of silica under drought stress conditions after flowering. *Production and processing of agricultural and horticultural products* 6(19): 1-12. (In Farsi).

26- Matichenkov, V. V. 2008. Silicon eficiency and functionality in soils, crops and Food. In: Proceeding of 2th International Conference on Soil and Compost Eco-Biology. Puerto de la Cruz, Tenerife. November 26-29.
27- Mohammadi, S., A. M. Sepehri, A. Abu Talibian and C. Hamzaei. 2010. The effect of silicon on wheat yield under drought stress conditions at the end of the growth period. In: Proceeding of 6th Conference of New Ideas in Agriculture. Khorasgan Islamic Azad University, Khorasgan, Iran. (In Farsi).
28- Mostafai, M., M. Jami-al-Ahmadi, M. Salehi and A. Shahidi. 2003. Investigating the physiological and functional characteristics of quinoa plant under the influence of different levels of irrigation and plant density. *Journal of Agricultural Research of Iran* 21(1): 29-46. (In Farsi).
29- Mukhtar, A., M. Asif and A. Goyal. 2012. Silicon the non-essential beneficial plant nutrient to enhanced drought tolerance in wheat crop plant. *Crop Plant* 1: 31-48.
30- Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34(11): 1527-1536.
31- Pakgohar, N., A. A. Maghsoudi Mood, H. Farahbakhsh and A. Pasandi Pour. 2025. Effect of brassinosteroid and melatonin foliar application on biochemical characteristics and growth indices of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 22(4): 475-493.(In Faersi).
32- Rezabigi, S., A. Bijanzadeh, A. Behpuri and V. Brati. 2019. The effect of foliar application of silicon on biochemical traits and yield of two wheat cultivars under drought stress conditions at the end of the season. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 13(3). 829-843. (In Farsi).
33- Sabzevari, S., H. R. Khazaie and M. Kafi. 2009. Effect of humic acid on root and shoot growth of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Water Soil* 23(2): 87-94.
34- Sadeghipour, O. and M. Aghaei. 2012. Influence of silicon on growth and water use efficiency of mung bean under water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 43(2): 201-210. (In Farsi).
35- Salimon, J., N. Salih and E. Yousif. 2012 Biolubricant base stocks from chemically modified ricinoleic acid. *Journal of King Saudi University* 24: 11-17
36- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A and Zhao, C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies* 331: 215-225.
37- Sharifan, H., P, Jamali and F, Sajjadi. 2017. Investigating the effect of different salinity levels on some morphological characteristics of quinoa plant *(Chenopodium quinoa* Willd). Under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Sciences*. 22: 27-15. (In Farsi).
38- Smith, M. D. and Kivumbi. 2004. Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. joint FAO/IAEA division. FAO deficit irrigation practices. *Water Reports* 22: 17-27.
39- Soadatmand, M. and S. Ethashi. 2016. The effect of pretreatment time with silicon on salinity tolerance in Iranian borage plant (*Echium amoenum* Fisch and C.A. mey). *Scientific-Research Journal of Soil-Plant Relations* 3(4): 45-57. (In Farsi).
40- Sonobe, K., T. Hattori, P. An, W. Tsuji, A. E. Eneji, S. Kobayashi, Y. Kawamura, K. Tanaka and S. Inanaga. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition* 34: 71-82.
41- Tripathi, D. K., S. Singh, V. P. Singh, S. M. Prasad, N. K. Dubey and D. K. Chauhan. 2017. Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 110: 70-81.
42- White, B., B. S. Tubana, T. Babu, H. Mascagni, F. Agostinho, L. E. Datnoff and S. Harrison. 2017. Effect of silicate slag application on wheat grown under two nitrogen rates. *Plants* 6(4): 40- 47.
43- Yordanov, I., T. Tsonko, V. Velikova, K. Georgieva, P. Ivanov, N. Tsenov and T. Petrova. 2001. Change in CO2 assimilation, transpiration and stomatal resistance to different wheat cultivars expressing drought under field conditions. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 27: 20-33.