Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effect of foliar application of nanosilicon on grain yield and some physiological traits of pinto bean under water limitation conditions

Ali Narimanzadeh[1], Parisa Sheikhzadeh[2*], Naser Zare[3], Mohammad Sedghi[4], Mitra Rostamihir[5]

1 M.Sc. Graduated of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. Email: alinarimanzadeh9@gmail.com
2 Corresponding Author, Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. Email: sheikhzadehmp@gmail.com
3 Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. Email: zarenasser@yahoo.com
4 Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. Email: m_sedghi@uma.ac.ir
5Assistant Professor of University of Applied Sciences and Technology, Ardabil, Iran. Email: mitrarosrami@ymail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-12-15
Accepted: 2024-8-31

Keywords:
Chlorophyll index
Drought stress
MDA
Pinto bean
silicon nanoparticles

ABSTRACT

Background and objectives: In arid and semi-arid regions, drought stress decreases crop growth and yield. There are several strategies to decrease the negative effects caused by environmental stresses on crop growth and yield. The Utilization of silicon is one of the most valuable and practical approaches for improving physiological and Agronomic characteristics and crop tolerance under drought stress conditions. Silicon as an essential micronutrient for biological systems plays a crucial physiological role in increasing tolerance to environmental stresses. Therefore, this study aimed to investigate the effect of foliar application of silicon nanoparticles on the physiological and agronomical characteristics of pinto beans including malondialdehyde (MDA) content, grain yield, and yield components under water deficit conditions.

Materials and methods: This experiment was performed to study the effect of foliar application of nanoSilicon on the physiological and agronomic characteristics of bean under drought stress at the end of the season, A split plot experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the crop year 2018-2019. The study treatments included irrigation levels (full irrigation as a control and irrigation cut off at the flowering stage) as the main plots and silicon nanoparticles foliar application in three levels (no foliar application as a control and foliar application of 1 and 3 mM silicon nanoparticles) as the sub-plots. The foliar application of silicon nanoparticles was replicated three times (6-8 leaves), 50% flowering stage, and 50% podding stage). The physiological traits including the chlorophyll index, the electrical conductivity of materials leaked from leaves, and MDA content and agronomical traits including the plant height, the number of branches, pods per plant and seeds per plant, biological yield, and seed yield and yield components were measured in control and treated plants.

Results: The results showed that plant height, number of sub-

branches, chlorophyll index, electrical conductivity, MDA content, seed yield, and biological at the probability level of 1% and number of seeds per plant became significant at the probability level of 5% influenced by irrigation and silicon nanoparticles treatments. Also, the effect of irrigation factors and nanosilicon on the traits of the number of pods per plant and the weight of 100 seeds were significant at the probability level of 5 and 1%, respectively. Drought stress at the end of the season remarkably increased the MDA content and electrical conductivity of the leaked material and reduced the leaf chlorophyll index (14.44%) and, grain yield (14.18%) in pinto bean plants. Under both control (full irrigation) and drought stress conditions, the foliar spraying of beans with 1 and 3 mM of silicon nanoparticles caused a significant improvement in leaf chlorophyll index, plant height, the number of sub-branches, seeds per plant and pods per plant. So. the highest leaf chlorophyll index, seed yield, and biological yield per unit area were obtained with the application of 3 mM silicon nanoparticles.

Conclusion: Under both favorable and unfavorable environmental conditions, foliar spraying of plants with silicon nanoparticles had a positive and significant effect on physiological and agronomic traits in pinto bean plants. It seems that silicon nanoparticles increases the yield of pinto beans under drought stress conditions by improving the chlorophyll index and some agricultural traits including plant height, number of sub-branches, number of seeds per plant, and number of pods per plant. Among the studied treatments, the greatest improvement in the physiological and yield traits of pinto beans under control and drought stress conditions was obtained with the 3 mM silicon nanoparticles foliar application. Therefore, the application of 3 mM silicon nanoparticles can be suggested as an effective approach for mitigating the impact of drought stress in pinto beans.

Cite this article: Narimanzadeh, A., Sheikhzadeh, P., Zare, N., Sedghi, M., rostamihir, M. 2024. Effect of foliar application of nanosilicon on grain yield and some physiological traits of pinto bean under water limitation conditions. *Crop Production Journal*, 17 (2), 53-70.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.21671.2600
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تاثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا چیتی تحت شرایط محدودیت آبی

علی نریمان‌زاده[۱]، پریسا شیخ‌زاده[۲*]، ناصر زارع[۳]، محمد صدقی[٤]، میترا رستمی هیر[٥]

[۱] دانش آموخته کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: alinarimanzadeh9@gmail.com

[۲] نویسنده مسئول، دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: sheikhzadehmp@gmail.com

[۳] استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: zarenasser@yahoo.com

[٤] استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: m_sedghi@uma.ac.ir

[٥] استادیار، دانشگاه جامع علمی – کاربردی، اردبیل، ایران، رایانامه: mitrarosrami@ymail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۹/۲٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/٦/۱۰

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
شاخص کلروفیل
لوبیا چیتی
مالون¬دی¬آلدهید
نانوسیلیکون

چکیده

سابقه و هدف: در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه زراعی می‌شود. چندین راه‌کار برای کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد. یکی از راه‌کارهای مناسب برای بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکردی و افزایش تحمل گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی، استفاده از سیلیکون است. سیلیکون با تاثیر بر فرایند فتوسنتز موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصول در شرایط نامساعد محیطی می‌شود. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد نانوسیلیکون بر عملکرد دانه، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا چیتی تحت شرایط خشکی انتهای فصل انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکردی لوبیاچیتی تحت تنش خشکی انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله ۵۰درصد گلدهی تا انتهای فصل رشدی) به‌عنوان کرت اصلی و غلظت‌های نانوسیلیکون در سه سطح (صفر (شاهد)، ۱ و ۳ میلی‌مولار) به‌عنوان کرت فرعی بودند. محلول‌پاشی با نانوسیلیکون در سه مرحله (٦ تا ۸ برگی، مرحله ۵۰ درصد گلدهی و مرحله ۵۰ درصد غلاف‌بندی) انجام شد. صفات شاخص کلروفیل برگ، هدایت الکتریکی مواد نشت یافته، محتوای مالون‌دی‌آلدهید، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن صددانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، شاخص کلروفیل، هدایت الکتریکی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در

سطح احتمال یک درصد وصفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال ۵ درصد، تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و نانوسیلیکون قرار گرفتند. همچنین تاثیر عامل‌های آبیاری و نانوسلیکون بر صفات تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و یک درصد معنی‌دار بودند. با اعمال تنش خشکی انتهای فصل، محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ و هدایت الکتریکی مواد نشت یافته به طور معنی‌داری افزایش و شاخص کلروفیل برگ (۱٤/٤٤ درصد)، صفات زراعی و عملکرد دانه (۱٤/۱۸ درصد) بوته‌های لوبیاچیتی به‌طور معنی‌داری کاهش یابد. در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با غلظت‌های ۱ و ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون سبب شد تا شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته‌ها، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یابد. بیشترین شاخص کلروفیل برگی و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح با کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در شرایط مساعد و نامساعد محیطی، محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با نانوسیلیکون تأثیر مثبت و معنی‌داری بر صفات فیزیولوژیک و زراعی در لوبیاچیتی داشت. نانوسیلیکون عملکرد دانه لوبیا چیتی را در شرایط تنش خشکی به‌واسطه‌ی بهبود شاخص کلروفیل و برخی صفات زراعی همچون ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته افزایش دهد. در بین تیمارهای مورد مطاله بیش‌ترین افزایش در صفات فیزیولوژیک و عملکردی لوبیاچیتی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون حاصل شد. از این رو می‌توان کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون را به‌عنوان راه‌کار مؤثر برای تعدیل اثرات تنش خشکی پیشنهاد کرد.

استناد: نریمان‌زاده، علی؛ شیخ‌زاده، پریسا؛ زارع، ناصر؛ صدقی، محمد؛ رستمی هیر، میترا. (۱٤۰۳). تاثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا چیتی تحت شرایط محدودیت آبی. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷(۲)، ۷۰-۵۳.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21671.2600

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی بوده که با ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی موجب کاهش قابل توجه عملکرد گیاهان زراعی و باغی می‌شود (۱). این تنش از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای کلروفیل موجب کاهش سرعت فتوسنتز گیاه شده که این موضوع بر اجزای عملکرد گیاه از جمله تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه تاثیر منفی گذاشته و در نهایت سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (۲). همچنین تنش خشکی موجب ایجاد تنش اکسیداتیو شده که با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از جمله پراکسید هیدروژن، به ترکیبات و بخش‌های مختلف گیاه مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و غشاء سلولی آسیب زده و این موضوع موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ می‌شود (۳).

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) گیاهی یک‌ساله از تیره Fabaceae است که به‌دلیل داشتن پروتئین بالا، فیبر، ویتامین‌های گروه B و ریزمغذی‌های متنوع و همچنین به‌دلیل بالا بودن هزینه تولید پروتئین حیوانی در بسیاری از مناطق دنیا، کشت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (٤ و٥). لوبیا چیتی در سراسر جهان به‌صورت گسترده کشت شده و به اشکال مختلف مانند دانه‌های فرآوری شده، محصولات کنسرو شده یا به‌عنوان جایگزین آرد گندم بدون گلوتن مورد استفاده قرار می‌گیرد (٦). اگرچه لوبیاچیتی گیاهی مقاوم در برابر خشکی نیست، اما به طور گسترده در مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود (۷). محدویت آب به ویژه در نواحی نیمه‌خشک، در مراحل انتهایی رشد گیاهان اتفاق می‌افتد و با ممانعت از توسعه و تقسیم سلولی، کاهش طول شدن ساقه، کاهش اندازه برگ، جلوگیری از توسعه و گسترش ریشه، تغییرات روزنه‌ای و کاهش جذب عناصر غذایی بر بسیاری از فرآیندهای گیاه موثر است (۸) تنش خشکی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد، سبب تخریب غشای سلولی، افزایش نشت مواد و تخریب کلروفیل شده و موجب کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (۹). کاهش سطح برگ، ارتفاع بوته و عمکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی، کاهش میزان کلروفیل و وزن دانه در لوبیای سفید و قرمز و افزایش نشت الکترولیت و کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در لوبیا چیتی گزارش شده است (۱۰،۱۱ و ۱۲).

امروزه یکی از راه‌کارهای مناسب برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی، استفاده از نانو ذرات است (۱۳). نانوذرات (NPs)، با توجه به ویژگی‌هایی مانند اندازه، بار سطحی، شکل، و تعامل بالقوه با گیاهان می‌تواند به کاهش اثرات تنش خشکی کمک کنند (١٤). در بین نانو ذرات مورد استفاده، نانوسیلیکون به‌دلیل سمیت کم، واکنش‌پذیری بالا و حذف رادیکال‌های آزاد مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۱۵). اگرچه، این عنصر برای گیاهان غیرضروری شناخته می‌شود، اما به‌دلیل بهبود فرآیند فتوسنتز، افزایش رشد و عملکرد محصول به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی، استفاده از آن برای گیاهان مفید و کاربردی گزارش شده است (١٦). سیلیکون از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حذف گونه‌های فعال اکسیژنی موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء (۱۷)، کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید و میزان هدایت الکتریکی مواد نشت‌یافته از برگ‌ها (۱۸) می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از طریق بهبود محتوای کلروفیل و افزایش سرعت فتوسنتز، موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه می‌شود (۱۹). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش نشت یونی، افزایش میزان کلروفیل و بهبود

پارامترهای عملکردی در جو و نخود سبز در شرایط تنش خشکی با کاربرد نانوسیلیکون گزارش شده است (۲۰ و ۲۱). اهمیت لوبیا چیتی به عنوان یکی از حبوبات مهم در تغذیه انسان، نقش نانوسیلیکون در بهبود عملکرد و کاهش اثرات منفی کمبود یا نبود آب در مراحل حساس رشدی گیاه و بررسی‌های محدود انجام شده در این زمینه، موجب شد تا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکردی لوبیا چیتی تحت تاثیر تنش خشکی انتهای فصل انجام گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد نانوسیلیکون بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، زراعی و بیوشیمیایی لوبیاچیتی تحت تنش خشکی انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹ در شهرستان سراب، روستای رازلیق (با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی، ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی عرض جغرافیایی و با ارتفاع ۱۷۹۰ متری از سطح دریا) اجرا شد. وضعیت خاک مزرعه آزمایشی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است.

عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا انتهای فصل رشدی) به‌عنوان کرت اصلی و غلظت‌های نانوسیلیکون در سه سطح (صفر (شاهد)، ۱ و ۳ میلی‌مولار) به‌عنوان کرت فرعی بودند. نانوسیلیکون (سایز ذرات: nm ۲۰-۳۰، خلوص: ۹۸ درصد، رنگ نانوذره: سفید و مساحت سطح ویژه نانو ذرات: ۱۸۰-۶۰۰ متر مربع بر گرم) مورد استفاده در این پژوهش از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شده بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical characteristics of the farm soil at the depth of 0-30 cm

بافت خاک Soil Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم K	فسفر P	کربن‌آلی Organic Carbon	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH
	درصد (%)			میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mg.Kg^{-1}$)		درصد (%)	دسی‌زیمنس بر متر ($dS.m^{-1}$)	
لومی Loam	22	42	36	242	9.1	2.67	0.85	7.82

زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۸ شخم زده شده بود. شخم مجدد و سایر عملیات تکمیلی تهیه زمین شامل دیسک‌زنی و ایجاد جوی و پشته در بهار سال ۱۳۹۹ انجام گرفت. به کمک فاروئر پشته‌هایی به عرض ۳۰ سانتی‌متر ایجاد شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت بذور، براساس آزمون خاک به میزان ۶۹ کیلوگرم در هکتار کود فسفره (P_2O_5) از منبع فسفات آمونیوم و ۲۳ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره جهت تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به زمین به‌صورت یکنواخت اضافه شد. هر واحد آزمایشی شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر بود.کاشت بذور لوبیاچیتی (رقم محلی سراب معروف به آق‌گین با تیپ رشدی ایستاده رشد نامحدود) در عمق ۸ سانتی‌متری خاک با فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین ردیف و ۴ سانتی‌متر روی ردیف‌های کاشت در راس

پشته‌ها با تراکم ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت دستی صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی نیز براساس نیاز گیاه و شرایط آب و هوایی منطقه انجام شد. کلیه تیمارها به‌طور یکنواخت و براساس عرف منطقه تا مرحله گلدهی آبیاری شدند.به‌منظور اعمال تیمار تنش خشکی انتهای فصل، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در کرت‌های مورد نظر انجام شد و در کرت‌هایی با تیمار آبیاری کامل تا انتهای دوره رشدی آبیاری بوته‌ها ادامه یافت؛ اما در تیمار آبیاری کامل، بعد از اعمال تنش خشکی تا زمان رسیدگی، دو بار آبیاری انجام شد. محلول‌پاشی با نانوسیلیکون در سه مرحله (مرحله رویشی (٦ تا ٨ برگی)، مرحله ۵۰ درصد گلدهی و مرحله ۵۰ درصد غلاف‌بندی) با استفاده از سم‌پاش پشتی به‌صورت دستی انجام شد. برای اعمال تیمار عدم کاربرد نانوسیلیکون (غلظت صفر)، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام پذیرفت. جهت افزایش میزان جذب نانوسیلیکون محلول‌پاشی در هر مرحله، به هنگام صبح حدود ساعت ۱۰-۸ قبل از ظهر انجام شد و محلول‌پاشی طوری انجام می‌شد که تمام قسمت‌های هوایی بوته‌های موجود به‌طور کامل مرطوب شوند. از ابتدای دوره آزمایش، عملیات وجین برای کنترل علف‌های هرز در چندین نوبت و به‌صورت دستی انجام شد. یک هفته بعد از انجام محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌بندی (نوبت سوم)، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن)، هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها (EC) توسط دستگاه EC متر و محتوای مالون‌دی‌آلدهید با استفاده از نمونه‌های آخرین برگ توسعه یافته، اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها (EC)، تعداد ۱۰ دیسک از هر نمونه، تهیه شد و در داخل ارلن‌های محتوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شده و درب آن‌ها برای جلوگیری از ورود گرد و غبار بسته شد. ارلن‌ها به مدت ٢٤ ساعت در انکوباتوری با دمای ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان آب موجود در ارلن‌ها به لوله آزمایش، منتقل و هدایت الکتریکی آن‌ها با استفاده از EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد (۲۲).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی براساس روش استوارت و بولی (۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۰/۵ گرم از نمونه برگ در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری کلرواستیک اسید همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به دو میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل، چهار میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربی‌تیوریک اسید اضافه شد. محلول حاصل را به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد، نگهداری و سپس در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. میزان مالون‌دی‌آلدهید بر اساس جذب ماده رویی در طول موج ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر محاسبه شد (۲۳).

جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، در هنگام رسیدگی محصول، از سطح موثر هر واحد آزمایشی بعد از حذف اثر حاشیه از ابتدا و انتهای هر کرت، ۱۰ بوته به گونه تصادفی برداشت شدند. صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صددانه تعیین شد. در زمان رسیدگی نهایی کامل، بعد از حذف ردیف‌های انتهایی و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان حاشیه، بوته‌های موجود در مساحتی به ابعاد یک مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تعیین و شاخص برداشت برای هر یک از واحدهای آزمایشی محاسبه

شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌های داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: ارتفاع بوته‌های لوبیاچیتی به‌گونه معنی‌داری تحت تاثیر سطوح آبیاری و نانوسیلیکون و برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون قرار گرفتند (جدول ۲). با قطع آبیاری در مرحله گلدهی، ارتفاع بوته‌های لوبیاچیتی به‌گونه معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، که میزان این کاهش در حدود ۱۰/٤۷ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۳). کاهش فشار تورژسانس و کاهش تقسیم سلولی، بسته شدن روزنه‌ها و جذب محدود دی‌اکسیدکربن و کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی از عوامل موثر در کاهش ارتفاع بوته می باشند (۲٤، ۲۵ و ۲٦).

در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بوته‌های تیمار شده با نانوسیلیکون از ارتفاع بوته بیشتری نسبت به تیمار عدم کاربرد نانوسیلیکون برخوردار بودند. در شرایط آبیاری کامل افزایش غلظت نانوسیلیکون از ۱ به ۳ میلی‌مولار تاثیر معنی‌داری بر افزایش ارتفاع بوته‌های لوبیاچیتی داشت (جدول ۳). اما در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، اگرچه محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون (۱ و ۳ میلی‌مولار) به‌گونه معنی‌داری ارتفاع بوته‌ها را افزایش داده، اما تحت این شرایط افزایش غلظت نانوسیلیکون تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). سیلیکون از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای کلروفیل موجب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (۱۰). اختر و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش میزان رشد و ارتفاع بوته به‌واسطه کاربرد سیلیکون را به بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی نسبت دادند (۲۷). در این بررسی نیز محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی با بهبود شاخص کلروفیل برگ موجب افزایش ارتفاع بوته لوبیا چیتی شده است.

تعداد شاخه فرعی: در رابطه با صفت تعداد شاخه فرعی، تاثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار نبود (جدول ۲). تحت تاثیر تنش خشکی انتهای فصل، تعداد شاخه فرعی به‌گونه معنی‌داری کاهش یافت(جدول ٤)، به‌طوری که اعمال تنش خشکی موجب کاهش ۲۲/۹٤ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ٤).

در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش پایداری غشا، موجب کاهش فتوسنتز می‌شود که این موضوع می‌تواند بر میزان رشد رویشی و تعداد شاخه و برگ‌ها در گیاه تاثیر منفی بگذارد (۲۸). باریوس و همکاران (۲۰۰۵) نیز اظهار داشتند که تنش خشکی با کاهش طول دوره رشد گیاه و تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را کاهش می‌دهد (۲۹).

محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با غلظت‌های ۱ و ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون سبب شد تا تعداد شاخه فرعی در بوته‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یابد (جدول ٤). با کاربرد غلظت‌های ۱ و ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون، تعداد شاخه‌های فرعی در لوبیاچیتی

به‌ترتیب در حدود ۱۲/۴۷ و ۲۰/۰۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ٤).

کاربرد سیلیکون با تحریک فعالیت آمیلاز برای تجزیه نشاسته منجر به بیوسنتز و افزایش فعالیت اسیدهای آمینه‌ای می‌شود که به شدت در تنظیم پتانسیل اسمزی تحت تنش خشکی دخالت می کند که در نهایت موجب افزایش طول ساقه و تعداد شاخه فرعی می‌شود (۳۰ و ۳۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای آبیاری و نانوسیلیکون بر ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، هدایت الکتریکی، مالون‌دی‌آلدهید، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در لوبیاچیتی

Table 3. Comparison of means of the effect of irrigation and silicon nanoparticles (Nano-Si) treatments on plant height chlorophyll index, EC, MDA, number of pods per plant and Grain yield of pinto bean

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) EC (µS cm^{-1})	مالون‌دی‌آلدهید (میکروگرم بر گرم وزن تر) MDA (µmol g^{-1} Fw)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (Kg.ha^{-1})
آبیاری کامل Normal irrigation	شاهد Control	97.07^{c}	27.26^{c}	2.88^{c}	237.41^{c}	8.27^{b}	1295.81 ^{c}
	۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون 1mM Nano-Si	101.53^{b}	28.57^{b}	2.71^{c}	234.64^{d}	8.4^{b}	1381.42 ^{b}
	۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون 3 mM Nano-Si	108.03^{a}	31.22^{a}	1.55^{d}	231.38^{e}	9.53^{a}	1489.1 ^{a}
تنش خشکی Drought stress	شاهد Control	89.1^{e}	24.11^{e}	4.55^{a}	242.07^{ab}	7.6^{c}	1112.10 ^{f}
	۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون 1mM Nano-Si	92.67^{d}	24.62^{e}	3.58^{b}	242.48^{a}	7.73^{c}	1185.21 ^{e}
	۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون 3 mM Nano-Si	92.73^{d}	25.75^{d}	3.44^{b}	241.37^{b}	8.13^{b}	1213.37 ^{d}

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different based on LSD test ($p<0.05$)

شاخص کلروفیل برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر سطوح آبیاری، نانوسیلیکون و برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون قرار گرفت (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ‌های لوبیاچیتی شد. با اعمال تنش خشکی انتهای فصل میزان شاخص کلروفیل برگ‌های لوبیاچیتی در حدود ١٤/٤٤ درصد کاهش یافت (جدول ۳). از دلایل دیگر کاهش شاخص کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و واکنش آن‌ها با گروه‌های فعال اکسیژنی نسبت داد (۳۲).

جدول ٤- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، وزن صددانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در لوبیاچیتی تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و نانوسیلیکون

Table 4. Comparison of means of the number of branches, number of grains per plant, weight, biological yield and harvest index of pinto bean under irrigation and silicon nanoparticles (Nano-Si) treatments

تیمارها Treatments	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد دانه در بوته Number of grains per plant	وزن صد دانه (گرم) 100-grain weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم درهکتار) Biological yield (kg. ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index
آبیاری کامل Normal irrigation	5.42 a	28.05 a	31.6 a	5455.06 a	25.53 a
تنش خشکی Drought stress	4.18 b	19.05 b	28.5 b	4914.16 b	24 b
شاهد Control	4.33 c	21.93 b	28.92 c	4970.04 b	24.28 a
۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون 1mM Nano-Si	4.87 b	21.87 b	29.91 b	5216.02 ab	24.82 a
۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون 3 mM Nano-Si	5.2 a	26.85 a	31.33 a	5367.77 a	25.19 a

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different based on LSD test ($p<0.05$)

در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با نانوسیلیکون سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ‌ها شد. تاثیر غلظت نانوسیلیکون نیز بر افزایش میزان شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ در تیمار کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون مشاهده شد که با تیمار کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون و تیمار شاهد، اختلاف معنی‌دار داشت. (جدول ۳). محلول‌پاشی غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ١٤/٥٢ درصدی شاخص کلروفیل برگ نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). اگرچه تنش خشکی انتهای فصل سبب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ‌های لوبیاچیتی شد، اما محلول‌پاشی بوته‌ها با غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ‌ها شد. انجام محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون موجب شد تا بیش‌ترین شاخص کلروفیل در برگ‌های لوبیاچیتی مشاهده شود (جدول ۳). نانوسیلیکون از طریق افزایش پایداری غشا و کاهش میزان نشت یونی (جدول ۳)، میزان پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داده و مانع تخریب کلروفیل می‌شود که این موضوع به افزایش محتوای کلروفیل برگ منجر می‌شود. افزایش شاخص کلروفیل به‌واسطه کاربرد نانوسیلیکون در گوجه فرنگی و یونجه نیز گزارش شده است که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستاست (۲۸ و ۳۳).

هدایت الکتریکی مواد نشت‌یافته از برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تاثیر تیمارهای آبیاری و نانوسیلیکون و برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون بر هدایت الکتریکی مواد نشت‌یافته از برگ معنی‌دار بود. با اعمال تنش خشکی آخر فصل میزان هدایت الکتریکی مواد نشت‌یافته از برگ‌های لوبیاچیتی به‌گونه معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت (جدول ۳). در شرایط تنش، تولیدگونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تغییر در

نفوذپذیری غشاء (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌شوند که در نتیجه‌ی آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یون به بیرون از سلول می‌شود (۳٤).

محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل،موجب کاهش معنی‌دار میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها شد (جدول ۳). در این شرایط با افزایش غلظت نانوسیلیکون نیز میزان نشت‌الکترولیت‌ها به‌گونه معنی‌داری کاهش یافت. کم‌ترین میزان نشت الکترولیت‌ها مربوط به کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون بود. در تمام سطوح آبیاری، بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ در تیمار عدم محلول‌پاشی با نانوسیلیکون (شاهد) مشاهده شد که به‌گونه معنی‌داری بیشتر از تیمارهای محلول‌پاشی شده بود (جدول ۳). سیلیکون می‌تواند به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، خسارت ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش داده و با افزایش پایداری غشاء، موجب کاهش نشت یونی شود (۳۵). همچنین سیلیکون پس از رسوب در داخل سلول به‌صورت ژل پلیمر شده در می‌آید و به استحکام و پایداری غشاء کمک می‌کند (۱۷). کاهش نشت یونی در اثر کاربرد نانوسیلیکون در جو و توت فرنگی نیز گزارش شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است (۲۰ و ۳٦).

محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ: نتایج نشان داد که محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ به‌گونه معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی با نانوسیلیکون، آبیاری و برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون قرار گرفت (جدول ۲). اعمال تنش خشکی انتهای فصل موجب افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ‌های لوبیاچیتی به میزان ٦۱/۹۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۳). با ایجاد تنش اکسیداتیو در اثر وجود تنش خشکی، گونه‌های فعال اکسیژن همانند پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) در سلول افزایش می‌یابد. پراکسیدهیدروژن منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه آسیب به غشاء می‌شود (۳۷). یکی از معیارهای سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدهید است (۳۸). افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ در شرایط تنش خشکی در گوجه فرنگی، یونجه، گاوزبان ایرانی گزارش شده است (۲۸، ۳۳ و ۳۹). کاربرد غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون هم در شرایط آبیاری کامل و هم تنش خشکی، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ لوبیاچیتی شد. کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌های لوبیاچیتی با کاربرد ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن در تیمار عدم کاربرد نانوسیلیکون وشرایط تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ لوبیاچیتی را در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به‌ترتیب در حدود ٤٦/۲۸ درصد و ۲٤/٤٥درصد کاهش داد (جدول ۳). سیلیکون با تقویت مکانیسم‌های مقاومتی مثل ترشح اسیدهای آلی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی گیاه موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (۳۹). مطابق با پژوهش حاضر، منگ و همکاران (۲۰۲۰) در یونجه و خان و همکاران (۲۰۲۰) در گوجه فرنگی نیز کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در اثر کاربرد سیلیکون گزارش نمودند (۳۳ و ۲۸).

تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، صفات تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته به‌گونه معنی‌داری تحت تاثیر سطوح آبیاری و نانوسیلیکون قرار گرفت. برهمکنش آبیاری ×

نانوسیلیکون بر تعداد غلاف، معنی‌دار بود ولی بر روی صفت تعداد دانه در بوته تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول‌های ۳ و ٤). نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب شد تا تعداد دانه در بوته‌های لوبیاچیتی در حدود ۳۲/۰۸ درصد و تعداد غلاف در بوته در حدود ۸/۱۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش داشته باشند (جدول ۳ و ٤). کاهش تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی را می‌توان به ریزش گل‌ها، عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال ماده ذخیره شده به دانه‌ها و در نتیجه عدم تشکیل دانه نسبت داد (٤٠ و ٤١). محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با نانوسیلیکون در تمام سطوح آبیاری، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته را افزایش داد. در این شرایط بیش‌ترین تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته با کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. اگرچه از نظر تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته بین تیمار شاهد و کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما کاربرد این غلظت از نانوسیلیکون هم موجب افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته شد (جدول‌های ۳ و ٤). کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون سبب شد تا تعداد غلاف در بوته‌های لوبیاچیتی در شرایط آبیاری کامل در حدود ۱۵/۲۳ درصد و در شرایط تنش خشکی در حدود ٦/۹۷ درصد افزایش داشته باشد (جدول ۳). کاربرد نانوسیلیکون تحت شرایط تنش خشکی از طریق افزایش شاخص کلروفیل، سبب افزایش میزان فتوسنتز و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام زایشی شده که در نهایت منجر به افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود (٤٢). حسینی چالشتری و همکاران (۱۳۹٦) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون با کاهش اثرات ناشی از کمبود آب و حفاظت گیاه در برابر تنش خشکی موجب افزایش تعداد غلاف در بوته گیاه سویا شد (٤۳).

وزن صد دانه: در رابطه با صفت وزن صد دانه، نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر آبیاری و نانوسیلیکون بر وزن صد دانه لوبیاچیتی معنی‌دار بود، ولی برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

در شرایط تنش خشکی، وزن صد دانه لوبیاچیتی نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش معنی‌داری در حدود ۹/۸۰ درصد داشت (جدول ٤). تنش خشکی به‌دلیل کاهش محتوای کلروفیل و کاهش تولید و انتقال مواد غذایی به دانه شده (٤٤) و همچنین به‌دلیل کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی که موجب کوتاه شدن طول دوره موثر پر شدن دانه می‌شود، سبب کاهش وزن دانه می‌گردد (٤٥). کاربرد غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون موجب افزایش معنی‌دار وزن صد دانه لوبیاچیتی نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی (شاهد) شد. بیش‌ترین وزن صد دانه در لوبیاچیتی زمانی به‌دست آمد که بوته‌ها با استفاده از تیمار ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون محلول‌پاشی شدند که به‌گونه معنی‌داری بیشتر از تیمار کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار نانوسیلیکون و آن هم بیشتر تیمار شاهد بود (جدول ٤). در بین تیمارهای مورد بررسی، کمترین وزن صددانه مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوسیلیکون) بود. محلول‌پاشی غلظت‌های ۱ و ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون موجب افزایش ۳/٤۲ و ۸/۳۳ درصدی وزن صد دانه لوبیاچیتی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون (شاهد) شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد نانوسیلیکون با به تاخیر انداختن پیری برگ و بهبود شاخص کلروفیل موجب افزایش سطح فتوسنتز کننده در بوته‌های لوبیاچیتی شده که این

موضوع به افزایش وزن صد دانه منجر شده است (٤٦).

عملکرد دانه در واحد سطح: نتایج نشان داد اثر اصلی سطوح آبیاری، محلول‌پاشی با نانوسیلیکون و برهمکنش آبیاری × محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). قطع آبیاری در مرحله گلدهی موجب کاهش ١٤/١٨ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی از طریق کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و کاهش وزن دانه موجب کاهش عملکرد دانه در کلزا شد (٤٧).

کاربرد نانوسیلیکون هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در واحد سطح شد. در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی غلظت ۱ و ۳ میلی-مولار نانوسیلیکون عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ٦/٦ و ١٤/٩٢ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و این افزایش در شرایط قطع آبیاری به ترتیب به میزان ٦/٥٧ و ۹/۱۱ درصد بود (جدول۳). افزایش در عملکرد می‌تواند ناشی از تاثیر مثبت نانوسیلیکون در افزایش تعداد غلاف در بوته ، تعداد دانه غلاف (جدول۳) و وزن صددانه (جدول٤) باشد. مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش عملکرد دانه در اثر محلول‌پاشی نانوسیلیکون در کلزا و گلرنگ نیز مشاهده شد (٤٨ و ٤٩).

عملکرد بیولوژیک در واحد سطح: تاثیر سطوح آبیاری و نانوسیلیکون بر عملکرد بیولوژیک لوبیاچیتی معنی‌دار بود، ولی برهمکنش آبیاری × نانوسیلیکون بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد، به‌طوری که موجب کاهش ۹/۹۱ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ٤).

رشد سلولی مهم‌ترین فرآیندی است که تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. با کاهش فشار تورژسانس در اثر کمبود آب، رشد سلولی کاهش می‌یابد که این موضوع موجب کاهش رشد اندام‌ها و برگ‌ها شده و در نهایت به کاهش عملکرد بیولوژیک منجر می‌شود (٥٠). بر اساس گزارش فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) تنش خشکی از یک طرف با کاهش آب برگ موجب بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز می‌گردد و از طرف دیگر با اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه فتوسنتز، موجب افت عملکرد بیولوژیک می‌شود (٥١). محلول‌پاشی غلظت‌های ۱ و ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون موجب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک لوبیاچیتی نسبت به تیمار شاهد شد. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوته‌هایی بود که با نانوسیلیکون محلول‌پاشی نشده بودند (جدول ٤).

سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس، سبب افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و کاهش تعرق از سطح برگ می‌گردد (٥٢). کاهش تعرق با افزایش محتوی آب برگ، سبب بهبود شاخص کلروفیل، افزایش فتوسنتز و افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (٥٣). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد نانوسیلیکون در تریتیکاله و گوجه فرنگی نیز گزارش شده است (٥٤ و ٥٥).

شاخص برداشت: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، فقط تاثیر تیمار آبیاری بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود؛ ولی محلول‌پاشی نانوسیلیکون و برهمکنش

آبیاری × نانوسیلیکون تاثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت. در شرایط تنش خشکی شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری و به میزان ۵/۹ درصد کاهش یافت (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد وقوع تنش خشکی، جذب آب و عناصر غذایی را کاهش داده که ضمن کاهش شاخص کلروفیل و ایجاد اختلال در اختصاص مواد فتوسنتزی، موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود (٥٦). برخی پژوهشگران بر این باورند که تنش خشکی به‌طور یکسانی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بنابراین شاخص برداشت کم‌تر تحت تاثیر محیط افزایش یا کاهش می‌یابد. از دلایل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی می‌توان به کاهش دسترسی به مواد پرورده جاری طی پرشدن دانه و حساسیت بیشتر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی اشاره کرد (٥٧ و ٥٨). مطابق با نتایج این پژوهش کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی در کلزا و بادام زمینی نیز مشاهده شد (٤٧ و ٥٩).

نتیجه‌گیری کلی

وقوع تنش خشکی، سیستم دفاعی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و تداوم شرایط تنش موجب اختلال در کارکردهای سلولی و فرآیندهای تولید می‌شود. در این شرایط پیدا کردن راهکارهایی که بتواند اثرات سوء تنش خشکی را تعدیل نماید، بسیار مفید و ضروری می باشد. براساس نتایج این پژوهش اگرچه اعمال تنش خشکی باعث کاهش صفات مورد بررسی شد، اما محلول‌پاشی نانوسیلیکون تأثیرمثبتی بر بهبود صفات مورد بررسی هم در شرایط کم‌آبیاری و هم در شرایط آبیاری کامل داشت. اعمال تنش خشکی انتهای فصل با کاهش شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و اجزای عملکرد سبب کاهش میزان عملکرد دانه لوبیاچیتی شد. محلول‌پاشی نانوسیلیکون هم درشرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط قطع آبیاری منجر به افزایش میزان عملکرد دانه شد و تا حدودی از اثرات منفی تنش خشکی کاست. نانوسیلیکون با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش پایداری غشاء، مانع تخریب کلروفیل و افزایش شاخص کلروفیل لوبیاچیتی شد و با بهبود صفات فیزیولوژیکی و زراعی باعث افزایش عملکرد شد. اگرچه محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی در هر دو غلظت (۱ و ۳ میلی‌مولار) از نانوسیلیکون در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی موثر بود، ولی بیش‌ترین تاثیر در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون مشاهده شد محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳ میلی‌مولار ضمن جبران اثرات تنش خشکی، در افزایش عملکرد دانه لوبیاچیتی در شرایط آبیاری کامل موثرتر بود. از این رو می‌توان کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار نانوسیلیکون را به عنوان یک راهکار مناسب جهت کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی انتهای فصل به کشاورزان توصیه کرد.

References

1. Ansari, W. A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A. K., Singh, B. & Pandey, S. (2019). Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *16*(4), 697-709.
2. Yeganehpoor, F., Zehtab-Salmasi, S., Shafagh-Kelvanagh, J. & Ghassemi Golezani, K. (2015). Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum L.*). *Crop Production*, *9*(4), 37-55. (In Persian)
3. Ahmad, S., Muhammad, I., Wang, G. Y., Zeeshan, M. Yang, L., Ali, I. & Zhou, X. B. (2021). Ameliorative effect

of melatonin improves drought tolerance by regulating growth, photosynthetic traits and leaf ultrastructure of maize seedlings. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 368-384.

4. Wondimu, W. G. & Tana, T. (2017). Yield response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers at Mechara, Eastern Ethiopia. *Journal of Plant Biology and Soil Health*, *4*(2),1-7.
5. Mehrpouyan, M., Noormohamadi, G., Mirhadi, M.J., Heidari Sharifabad, H. & Shirani Rad, A.H. (2011). Effect of some inoculants containing *Rhizobium legominosarium* bv. *Phaseoli* on nutrients elements uptake in three cultivars of common bean. *Iranian Journal Pulses Research*, *1*(2), 1-10. (In Persian)
6. Mitchell, D. C., Lawrence, F. R., Hartman, T. J. & Curran, J. M. (2009). Consumption of dry beans, peas, and lentils could improve diet quality in the US population. *Journal of the American dietetic association*, *109*(5), 909-913.
7. Gholami, A., Sharafi, S., Sharafi, A. & Ghasemi, S. (2009). Germination of different seed size of pinto bean cultivars as affected by salinity and drought stress. Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7*(2), 555-558.
8. Kaushal, M. & Wani, S. P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, *66*, 35-42.
9. Rostamihir, M., sheikhzadeh, P., Khomari, S. & Zare, N. (2023). Investigating the effect of nanoselenium in improving the physiological, biochemical and agronomic characteristics of spring rapeseed under water deficit stress at the end of the season. *Journal of Crop Production, 16*(3), 69-90. (In Persian)
10. Davoudi, A., Sadeghipour, O. & Tohidi Moghadam, H.R. (2018). Cowpea response to ascorbic acid application under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, *10*(3), 251-264. (In Persian)
11. Davoodi, S. H., Rahemi-karizaki, A., Nakhzari-moghadam, A. & Gholamalipour alamdari, E. (2018). The Effect of Deficit Irrigation on Yield and Physiological Traits of Bean Cultivars. *Plant Production, Technology, 10*(1), 83-95. (In Persian)
12. Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M. & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal Pulses Research*, *10*(1), 114-125. (In Persian)
13. Nazari, Z., Seyed Sharifi, R. & Narimani, H. 2022. Effect of *Mycorrhiza*, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of triticale under different intensities of drought stress. *Journal of Crop Production*,14(4), 21-46. (In Persian)
14. Tarafdar, J. C., Xiong, Y., Wang, W. N., Quinl, D. & Biswas, P. (2012). Standardization of size, shape and concentration of nanoparticle for plant application. *Applied Biological Research*, *14*(2), 138-144.
15. Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Faisal, M. & Al Sahli, A. A. (2014). Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on Cucurbita pepo L. *Environmental toxicology and chemistry*, *3*(11), 2429-2437.
16. Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q. & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in plant science*, *7*, 1-7.
17. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants- a review. *Environmental pollution*, *147*(2), 422-428.
18. AlKahtani, M. D. F., Hafez, Y. M., Attia, K., Rashwan, E., Al Husnain, L., AlGwaiz, H. I. M. & Abdelaal, K. A. A. (2021). Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery

in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants*, *10*(3), 398-410.

19. Hatami, M., Kariman, K. & Ghorbanpour, M. (2016). Engineered nanomaterial-mediated changes in the metabolism of terrestrial plants. *Science of the total environment, 571*, 275-291.
20. Ghorbanpour, M., Mohammadi, H. & Kariman, K. (2020). Nanosilicon-based recovery of barley (*Hordeum vulgare*) plants subjected to drought stress. *Environmental Science: Nano*, *7*(2), 443-461.
21. Sutulienė, R., Ragelienė, L., Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Urbutis, M. & Miliauskienė, J. (2021). The response of antioxidant system of drought-stressed green pea (*Pisum sativum* L.) affected by watering and foliar spray with silica nanoparticles. *Horticulturae, 8*(1), 35-50.
22. ISTA. (2017). International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
23. Stewart, R. R. & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant physiology*, *65*(2), 245-248.
24. Li, Y., Zhao, H., Duan, B., Korpelainen, H. & Li, C. (2011). Effect of drought and ABA on growth, photosynthesis and antioxidant system of Cotinus coggygria seedlings under two different light conditions. *Environmental and Experimental Botany*, *71*(1), 107-113.
25. McKersie, B. D. & Lesheim, Y. (2013). Stress and stress coping in cultivated plants. Springer Science & Business Media, 256 p.
26. Behdani, M. A. & Jami Al-Ahmadi, M. (2010). Response of spring safflower cultivars to irrigation intervals in birjand condition. *Iranian Journal of Field Crops Research, 8*(2), 315-323. [In Persian]
27. Akhtar, N., Ilyas, N., Hayat, R., Yasmin, H., Noureldeen, A. & Ahmad, P. (2021). Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nano-particles for amelioration of drought stress in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, *166*, 160-176.
28. Khan, A. Khan, A.L., Imran, M., Asaf, S., Kim, Y., Bilal, S., Numan, M., Al-Rawahi, A. & Lee, I. (2020). Silicon-induced thermotolerance in Solanum lycopersicum L. via activation of antioxidant system, heat shock proteins, and endogenous phytohormones. *BMC plant biology*, *20*,1-1 8.
29. Barrios, A.N., Hoogenboom, G. & Nesmith, D.S. (2005). Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricol, 62*(1),18-22.
30. Kamenidou, S., Cavins, T. J. & Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulturae*, *123*(3), 390-394.
31. Toscano, S. & Romano, D. (2021). Morphological, physiological, and biochemical responses of zinnia to drought stress. *Horticulturae*, *7*(10), 362.
32. Naghavi, M.R., Toorchi, M., Moghaddam, M. & Shakiba, M. R. (2015). Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. *Notulae Scientia Biologicae*, *7*(3), 73. 349-354.
33. Meng, Y., Yin, Q., Yan, Z., Wang, Y., Niu, J., Zhang, J. & Fan, K. (2020). Exogenous silicon enhanced salt resistance by maintaining K+/Na+ homeostasis and antioxidant performance in alfalfa leaves. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 1183.
34. Mohammadkhani, N. & Heidari, R. (2007). Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *10*(21), 3835-3840.
35. Moussa, H. R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, *8*(3), 293-297.
36. Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M. & Byrt, C.S. (2019).

Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Agronomy, 9*(5), 246-263.

37. Mousavi Dehmordy, Z., Gholami, M. & Baninasab, B. (2018). Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of Olive (*Olea europaea* L. cv. Zard). *Journal of Plant Process and Function, 7*(23), 1-18. (In Persian)
38. Zarooshan, M., Abdilzade, A., Sadeghipour, H. R. & Mehrabanjoubani, P. (2020). Comparison of the effect of silicon and nano-silicon on some biochemical and photosynthetic traits of Zea mays L. under salinity stress. Journal of Plant Environmental Physiology, 15(57), 23-38. (In Persian)
39. Saadatmand, M. & Enteshari, S. (2013). The effects of pretreatment duration with silicon on salt stress in Iranian borage (Echium amoenum Fisch & CA mey). *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *3*(4), 45-57. (In Persian)
40. Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S. J. & Bahamin, S. (2016). Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). *Scientia Agriculturae*, *14*(2), 234-238.
41. Majidi, M. M. (2015). Effect of drought stress on yield and some physiological traits in Canola varieties. *Journal of Plant Process and Function*, *3*(9), 59-70. (In Persian)
42. Raza, M. A. S., Zulfiqar, B., Iqbal, R., Muzamil, M. N., Aslam, M. U., Muhammad, F. & Habib-ur-Rahman, M. (2023). Morpho-physiological and biochemical response of wheat to various treatments of silicon nano-particles under drought stress conditions. *Scientific Reports*, *13*(1), 2700.
43. Hosseini Chalontari, S.A., Atardi Kechoui, M. & Hashemi Jezi, S.M. (2016). The effect of silicon on yield and yield components of two soybea n cultivars *Glycine max* L. under water deficit stress conditions. The second international conference of new horizons in agricultural sciences, natural resources and environment. December 23 Tehran. (In Persian)
44. Harris, N. S. & Taylor, G. J. (2013). Cadmium uptake and partitioning in durum wheat during grain filling. *BMC plant biology*, *13*, 1-16.
45. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., Nezami, A. & Ganjeali, A. (2010). The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, *1*(2), 69-84. (In Persian)
46. Khajeh, M., Mousavu Nik, S. M., Sirousmehr, A.R., Yadollahi Dehchecsme, P. & Amiri, A. (2015). Effect of drought stress and foliar application of silicon on grain yield and photosynthetic pigments of wheat under Sistan conditions. *Crop Physiology Journal*, 7(26). 5-19. (In Persian)
47. Rostami Hir, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S. & Zare, N. (2021). The effects of molybdenum oxide nanoparticles on some physiological and agronomic characteristics of oilseed rape under drought stress. *Journal of Crop Production*, 14(3), 43-64. (In Persian)
48. Bybordi, A. (2016). Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(7), 832-850.
49. Amiri, A., Bagheri, A., Khajeh, M., Najafabadi pour, F. & Yadollahi, P. (2014). Effect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of Crop Production Research*, *5*(4), 361-372. (In Persian)
50. Chen, W., Yao, X., Cai, K. & Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological trace element research*, *142*, 67-76.

51. Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam B. & Sasandoost, R. (2011). Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. *Iranian Journal Field Crop Science*, 42(3), 545-553. (In Persian)
52. Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in plant science*, *11*(8), 392-397.
53. Kimiaei, M. R., Sirousmehr, A. & Fakheri, B. A. (2022). The effect of silicon on quantitative and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) under irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement, 24*(2), 631- 643. (In Persian)
54. Barati, M., Sirous Mehr, A., Khatami, S. S., Mousavi, S. R. & Najafi, F. (2016). Effects of foliar application of nano-silicon on some physiological parameters and yield of purslane (*Portulaca oleracea*) under water deficiency stress. *Journal* of *Applied* Research of *Plant Ecophysiology*, 3(1), 105-118. (In Persian)
55. Al-aghabary, K., Zhu, Z. & Shi, Q. (2005). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *27*(12), 2101-2115.
56. Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Marvaneh, H., Kheiri, N. & Amiri, A. (2017). The effects of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(1), 65-76. (In Persian)
57. Emam, Y. (2011). Cereal Production. Shiraz University Press, Shiraz, 190p. (Translated in Persian)
58. Pandey, R.K., Maranville, J.W., & Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management, 46*(1), 1- 13.
59. Ahmadi Sharif, R., Zakerin, H. R., Mostafavi Rad, M., sayfzadeh, S. & Valadabadi, S. A. (2023). Growth and grain yield changes in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) as affected by different irrigation regimes and foliar application of ethanol. *Journal of Crop Production, 16*(1), 135-152. (In Persian)