Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production Journal

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

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effect of *Mycorrhiza*, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of *triticale* under different intensities of drought stress

Zhila Nazari[1] | Raoof Seyed Sharifi[2*] | Hamed Narimani[3]

[1]MSc student in Crop Physiology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2]Professor, Department Plant production and genetics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com
[3]PhD student in Crop Physiology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/04/22
Revised: 2021/05/23
Accepted: 2021/06/23

Keywords:
Bio Fertilizers
Chlorophyll Index
Drought Stress
Electrical Conductivity

ABSTRACT

Background and objectives: Drought is the most severe abiotic stress factor limiting plant growth and crop production. Drought stress decreases the yield of many crops by inhibits plant photosynthesis and photosystem II efficiency. Mycorrhiza application is a strategy that can improve plant performance under stress environments and, consequently enhance plant growth through different mechanisms. The mechanisms used by mycorrhiza to enhance the water relations of host plants are not amply clear, however, this may occur by increasing water absorption by external hyphae, regulation of stomatal apparatus, increase in activity of antioxidant enzymes and absorption of nutrients particularly phosphorus. Also, vermicompost can directly increase plant production through increasing available plant nutrients and indirectly promote soil quality by improving soil structure and stimulating microbial activities, relative to conventional chemical fertilization. Silicon is an essential micronutrient for biological systems and plays a crucial physiological role in photosynthetic rate and chlorophyll content. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of *mycorrhiza*, vermicompost and silicon on some physiological and agronomic traits of *triticale* under different intensities of drought stress.

Materials and methods: An experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications with factorial arrangement in a research greenhouse of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabil during 2020. The experimental factors were included irrigation in three levels (normal irrigation as control; moderate water limitation or irrigation withholding at 50% of heading stage; severe water limitation or irrigation withholding at 50% of podding stage), application of organic and bio fertilizers in four levels (no application of bio fertilizers as control, application of vermicompost, *Mycorrhiza* application, both application vermicompost and *Mycorrhiza*), foliar application of Nano Silicon (foliar application with water as control and foliar application of 2 g L^{-1}).

Results: The results showed that 81 days after planting, both application of vermicompost with *Mycorrhiza* and nano silicon foliar application under normal irrigation conditions, increased maximum fluorescence (43.93%), variable fluorescence (97.41%), quantum yield (37.05%), chlorophyll index (60.62%), nitrogen index (42.75%) and relative water content of flag

leaf (84.27%) in comparison with no application of organic and bio fertilizers and nano silicon under irrigation withholding in podding stage. No application of organic and bio fertilizers and nano silicon under full irrigation increased electrical conductivity and minimum fluorescence of flag leaf. Also, both application of vermicompost with *Mycorrhiza* and nano silicon foliar application under normal irrigation conditions, increased grain yield (59.52%) in comparison with no application of organic and bio fertilizers and nano silicon under irrigation withholding in podding stage.

Conclusion: It seems that the application of organic and bio fertilizers and nano silicon can increase the grain yield of triticale under water limitation due to improve chlorophyll fluorescence and some physiological traits.

Cite this article: Nazari, Zh., 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. *Crop Production Journal*, 14 (4), 21-46.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.18925.2413
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
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

اثر مایکوریزا، ورمی کمپوست و نانوسیلیکون بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی

ژیلا نظری[۱] | رئوف سیدشریفی[۲*] | حامد نریمانی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد در رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. استاد، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: raouf_ssharifi@yahoo.com
۳. دانشجوی دکتری در رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
شاخص کلروفیل
کودهای زیستی
هدایت الکتریکی

چکیده

سابقه و هدف: خشکی شدیدترین عامل تنشی غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌کند. تنش خشکی عملکرد بسیاری از گیاهان زرعی را با مهار فتوسنتز و کارایی فتوسیتم II، کاهش می‌دهد. کاربرد مایکوریزا راه‌کاری است که می‌تواند عملکرد گیاه را در محیط‌های تنش‌زا بهبود بخشد و در نتیجه، رشد گیاه را از طریق مکانیسم‌های مختلف افزایش دهد. مکانیسم‌های مورد استفاده توسط مایکوریزا برای افزایش روابط آبی گیاهان میزبان، به‌طور کامل روشن نیستند. با این حال، ممکن است با افزایش جذب آب توسط هیف‌های خارجی، تنظیم حرکات روزنه‌ای، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جذب مواد مغذی به‌ویژه فسفر اتفاق بیفتد. همچنین، ورمی‌کمپوست می‌تواند از طریق افزایش مواد مغذی موجود گیاه مستقیماً موجب افزایش عملکرد گیاه شود و با بهبود ساختار خاک و تحریک فعالیت‌های میکروبی، نسبت به کود شیمیایی مرسوم، به‌طور غیرمستقیم کیفیت خاک را ارتقا دهد. سیلیکون یک ریز مغذی مکمل برای سیستم‌های بیولوژیکی است و نقش فیزیولوژیکی مهمی در میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل دارد. از این رو، هدف این مطالعه ارزیابی اثر مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و سیلیکون بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، محدودیت ملایم آبی یا قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله سنبله‌دهی، محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله غلاف رفتن)، کاربرد کودهای آلی و زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا، کاربرد توام ورمی‌کمپوست و مایکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در ۸۱ روز پس از کاشت کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل، فلورسانس حداکثر (۴۳/۹۳ درصد)، فلورسانس متغیر (۹۷/۴۱ درصد)، عملکرد کوانتومی (۳۷/۰۵ درصد)، شاخص کلروفیل (۶۰/۶۲ درصد)، شاخص نیتروژن (۴۲/۷۵ درصد) و محتوای آب نسبی برگ پرچم (۴۶/۴۱ درصد) نسبت به شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن

عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون افزایش داد. عدم کـاربرد کودهـای آلـی و زیسـتی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل برگ پرچم را افزایش داد. همچنین آبیاری کامل، کاربرد توام ورمـی‌کمپوسـت، مـایکوریزا و محلـول‌پاشـی نانوسیلیکون عملکرد دانه را ۵۹/۵۲ درصد نسبت به قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و عـدم کـاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون می‌تواند با بهبود فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد دانه تریتیکاله را در شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

استناد: نظری، ژ.، سیدشریفی، ر.، نریمانی، ح. (۱۴۰۰). اثر مایکوریزا، ورمی کمپوست و نانوسیلیکون بر صفات زراعـی و فیزیولـوژیکی تریتیکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴ (۴)، ۴۶-۲۱.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.18925.2413

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

تریتیکاله (*Triticale hexaploide* Lart.) از نظر مورفولوژیکی مابین گندم و چاودار ولی، از ارتفاع بوته و فعالیت فتوسنتزی بیش‌تری در مقایسه با آن‌ها برخوردار است (۴۰). تریتیکاله، گونه‌ای جدید و هیبرید در غلات، ساخته شده به‌دست بشر است. این گیاه در نتیجه تلاقی ژنوم‌های جنس گندم (*Triticum*) (والد ماده) و جنس چاودار (*Secal*) (والد نر) به‌وجود آمده است. اگر در تلاقی بین گندم و چاودار از گندم تتراپلوئید یا هگزاپلوئید استفاده شود، تریتیکاله حاصل به‌ترتیب هگزاپلوئید (6x=42) یا اکتاپلوئید (8x=56) خواهد بود. تریتیکاله اکتاپلوئید به‌دلیل عقیمی نسبی ناشی از تعداد کروموزم، چندان مطلوب نیست و به همین دلیل، پژوهش‌گران مطالعات خود را بر تریتیکاله‌های هگزاپلوئید که عملکرد بهتری دارند متمرکز کرده‌اند (۲۷). محدودیت آبی در طول دوره رشد زایشی از دلایل اصلی کاهش عملکرد این گیاه محسوب شده و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک و فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو را، تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۴). بارزترین واکنش‌های گیاهان به عوامل تنش‌زای محیطی، افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II است. در این راستا یکی از روش‌های ارزیابی اثر محدودیت آبی بر سیستم فتوسنتزی گیاه، استفاده از پارامترهای فلورسانس کلروفیل است که اطلاعاتی را در مورد عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و میزان کلی فتوسنتز در اختیار محقق قرار می‌دهد (۸). مولفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v/F_m (حداکثر کارایی یا عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) هستند (۲۴)، این شاخص‌ها در شرایط محدودیت آبی در طول دوره رشدی تریتیکاله با اختلال در سیستم فتوسنتزی گیاه، موجب کاهش عملکرد می‌شود (۱۵).

قارچ‌های مایکوریزا شامل انواع مختلفی از قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار، اکتومیکوریزا، اریکوویید، آربوتویید، مونوتروپویید و میکوریزا ارکید است. این قارچ‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین انواع همزیستی، گسترش و تکامل گیاهان عالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. قارچ‌های مایکوریزایی از نظر اکولوژیک بسیار مهم هستند، زیرا می‌توانند در داخل و روی ریشه‌ی گیاهان میزبان ارتباط همزیستی برقرار کنند. گیاه میزبان منابع کربن محلول را برای قارچ فراهم می‌کند و قارچ موجب افزایش ظرفیت جذب آب و مواد غذایی از خاک توسط گیاه می‌شود. گسترش این همزیستی می‌تواند به حدی باشد که میکوریزاها و نه ریشه‌ها، اندام اصلی جذب عناصر غذایی خاک توسط گیاه به‌شمار می‌روند (۴۱). کاربرد مایکوریزا یکی از راه‌کارهایی است که می‌تواند اثر مخرب تنش خشکی در گیاه را تا حد زیادی تعدیل کرده و با جذب کارآمد برخی عناصر مانند فسفر که به‌عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتزی مطرح است، به افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز کمک کند (۴۷). به بیانی دیگر، وجود هیف‌های مایکوریزا و نفوذ آن در ذرات خاک، با افزایش سطح جذب از طریق هیف‌ها و کمک به حفظ پایداری جریان آب و مواد بین خاک و ریشه، امکان جذب یون‌های کم تحرک را حتی در شرایط محدودیت رطوبتی، افزایش می‌دهد. نقاش‌زاده (۲۰۱۴) اظهار داشت مایکوریزا با افزایش جذب مواد غذایی، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود وضعیت آبی گیاهان، موجب ثبات غشای سلولی ذرت شد (۳۲). خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند کاربرد مایکوریزا تحت شرایط خشکی با کاهش

هدایت الکتریکی برگ پرچم، موجب بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد (۱۵).

ورمی‌کمپوست نیز یکی‌دیگر از کودهای آلی است که طی یک فرآیند بیوتکنولوژی از کرم‌ها خاکی (*Eisenia fetida*) برای تبدیل مواد زائد به هوموس به‌کار گرفته می‌شوند. وجود اسیدهای آلی به‌علاوه ترشحات سیستم گوارشی و نیز مواد مترشحه در سطح بدن کرم‌ها، وجود آنزیم‌های متفاوت و هورمون‌های مختلف و بسیاری از دیگر ترکیبات ناشناخته موجب شده تا ورمی‌کمپوست نیز در ردیف مواد دارای خاصیت تحریک‌کننده رشد گیاهان (PGPs) قرار گیرد. ورمی‌کمپوست ضمن نداشتن بوی نامطبوع و هدایت الکتریکی کم، از محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب بالایی برخوردار است. اسیدهای آلی تولید شده در حین فرآوری ورمی‌کمپوست، اکثرا کلات کننده‌های آلی هستند که با جذب عناصر غذایی ریزمغذی از جمله روی، آهن و مس، به‌تدریج این عناصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (۴۵). حیدرپور و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط محدودیت آبی، با افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل، فلورسانس کلروفیل و کاهش نشت یونی برگ می‌تواند در افزایش عملکرد موثر باشد (۱۲). گلدانی و کمالی (۲۰۱۶) بیان کردند کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، منجر به افزایش پایداری غشا و محتوای نسبی آب و بهبود عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شد (۹).

سیلیکون (Si) یکی از عناصر مهم در تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و شوری و کمک به بهبود جذب عناصری مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان است (۵). سیلیکون فراوان‌ترین عنصر معدنی در پوسته زمین است و از این نظر بعد از اکسیژن قرار دارد. اگر چه سیلیکون به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نمی‌شود، ولی به‌عنوان یک عنصر معدنی موثر در رشد و عملکرد گیاهان زراعی (۳۴)، زراعت برنج و سایر غلات مطرح است (۴۶). سیلیکون نه تنها گیاهان را از اثر مخرب کم آبی محافظت می‌کند، بلکه بهره‌وری گیاه تحت شرایط تنش را نیز بهبود می‌بخشد (۴۶، ۴۴). این عنصر با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن، موجب کاهش تعرق از سطح برگ می‌شود، در نتیجه این عمل محتوای نسبی آب زیاد می‌شود، توسعه برگی و تولید ماده خشک نیز افزایش می‌یابد (۲۲). نباتی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که سیلیکون با رسوب در برگ و افزایش استحکام برگ‌ها، موجب افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ و افزایش توانایی گیاه برای استفاده موثرتر از نور می‌شود (۳۱). ساجد گلجه و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود شاخص سبزینگی، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت برگ، موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شد (۳۸).

اهمیت تریتیکاله به‌عنوان یکی از غلات دو منظوره (استفاده از علوفه و دانه) و نقش ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون در بهبود عملکرد و تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در این زمینه، از جمله عواملی بودند که موجب شد تا تاثیر کاربرد مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات

فیزیولوژیک تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی، آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل با کد ۴۳ و ۵۵ بر اساس مقیاس BBCH)، کاربرد کودهای آلی و زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و کاربرد توام ورمی‌کمپوست و مایکوریزا) و محلول-پاشی نانوسیلیکون در دو سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) با اندازه ذرات ۲۰ الی ۳۰ نانومتر محصول شرکت Nanomaterial US Research بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه گردید. محلول‌پاشی با آن در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌دهی (به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط و سطوح ذکر شده انجام شد. خاک هر گلدان حاوی یک قسمت ماسه بادی، دو قسمت خاک معمولی و یک قسمت کود دامی بود. پس از تهیه خاک یک‌دست، ۱۸ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ۴۰ سانتی‌متر تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان های آزمایشی.

Table 1- Physicochemical properties of soil used in experimental pots.

مشخصه Characteristic	پتاسیم K	فسفر P	روی Zn	نیتروژن N	کربن آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	عصاره اشباع Saturation	بافت Texture	pH
	میلی گرم بر کیلوگرم (mg/kg)					درصد (%)					
مقادیر Amount	255	27.3	1.02	0.04	0.72	38.5	42	19	47	Silt	7.8

جهت اعمال تیمار مایکوریزا از قارچ *Glomus moseae* استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود که از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به مقدار ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد. در هر گلدان ۵۰ بذر از تریتیکاله رقم سناباد برای رسیدن به تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع که مطلوب و توصیه شده برای این رقم است کشت شد. در طول دوره رشد علف‌های هرز به طریقه دستی کنترل شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. همچنین، مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش ۱۲۵/۶ گرم در گلدان بود که از شرکت گیلدا خریداری و مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه ورمی‌کمپوست شرکت گیلدا در آزمایشگاه آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی.

Table 2- Result of vermicompost analysis of Gilda corporation in water and soil laboratory under ministry of Agriculture-Jahad

pH	کادمیوم Cd	سرب Pb	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	آهن Fe	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC dS/m^{-1}	مشخصه Characteristic
	میلی‌گرم بر کیلوگرم (mg/kg)							
	1	19	110	20	275	5000	1.12	مقادیر Amount
7.64	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	OC	OM	مشخصه Characteristic
	درصد (%)							
	0.95	2.73	0.4	0.4	1.55	32.9	56.8	مقادیر Amount

اندازه‌گیری روند تغییرت برخی صفات از ۵۷ روز بعد از کاشت (در مرحله ۵۰ درصد سنبله‌دهی معادل با کد ۵۵ بر اساس مقیاس BBCH) شروع شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ پرچم شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) بود که هر چهار روز یک‌بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (OS-30p) از هر واحد آزمایشی (گلدان) به‌طور تصادفی شش برگ پرچم توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0، F_m، F_v و F_v/F_m اندازه‌گیری شد (۱۶). شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی چهار روز یک‌بار اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن برگ از همان برگ‌هایی که شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شده بود، بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (۳۹).

رابطه ۱:

$$N= ۰/۰۱۷۳۳۲ + ۰/۰۰۱۶۳۲۲ \times SPAD$$

برای اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب برگ پرچم بین ساعت ۱۲-۱۰ روز، از هر گلدان چهار برگ پرچم توسعه یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی کوستوپلو و همکاران (۲۰۱۰) اندازه‌گیری شد (۱۸).

به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار نمونه‌های برگ پرچم را در بشرهای محتوای ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم، سعی شد نمونه‌های برگی از ابعاد یکسانی برخوردار باشد.

در زمان رسیدگی هشت بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه که به‌طور تصادفی در هر گلدان مشخص شده بود برداشت شد، سپس عملکرد تک بوته در این بوته‌ها اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (۲۰۰۳) استفاده

شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ پرچم: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر هر سه فاکتور مورد بررسی (کودهای آلی و زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی) در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج بررسی روند شاخص کلروفیل برگ پرچم در سطوح مختلف آبیاری (جدول ۵) نشان می‌دهد که این شاخص در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، به‌طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اول نمونه‌برداری بالا بود، ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و هم‌چنین پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت (جدول ۵). البته در اثر کاربرد مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون، روند تغییرات شاخص کلروفیل نوسان کم‌تری نشان داد، به‌طوری‌که در تمامی تیمارهای مورد آزمایش حداکثر شاخص کلروفیل برگ پرچم (۴۰/۸) در کاربرد توام مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۵)، که این ترکیب تیماری از افزایش۶۰/۶۲ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن در ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH) برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد این روند کاهشی در شرایط محدودیت آبی را می‌توان به از بین رفتن آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی همانند آنزیم گلوتامات لیگاز و همچنین القای تجزیه شدن یا مهار سنتز آن‌ها در شرایط تنش (۴)، تخریب ساختمان کلروپلاست، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و واکنش آن‌ها با اکسیژن فعال نسبت داد (۳۳). افزایش شاخص کلروفیل در کاربرد مایکوریزا می‌تواند ناشی از جذب کارآمد برخی عناصری مانند فسفر باشد که به‌عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است (۴۷) و یا ناشی از تاثیر مایکوریزا در تسهیل روند جذب برخی عناصری مانند نیتروژن و منیزیم باشد که جزء اصلی ساختار مولکولی کلروفیل به حساب می‌آیند (۳۰). به‌نظر می‌رسد وجود عناصر غذایی موثر در سنتز کلروفیل مانند نیتروژن، آهن و منیزیم در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۲) از دیگر دلایل افزایش شاخص سبزینگی است. کاربرد سیلیکون نیز با جلوگیری از آسیب فراساختار کلروپلاست‌ها در شرایط تنش (۲۱) بر افزایش کلروفیل موثر است. در این راستا ارزیابی شاخص نیتروژن (جدول ۵) نیز بیان‌گر آن است که در همان ترکیب تیماری که شاخص کلروفیل حداکثر شده بود شاخص نیتروژن نیز از مقادیر بالایی برخوردار بود. رشتبری و علیخانی (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست با افزایش میزان نیتروژن برگ موجب افزایش شاخص کلروفیل شد (۳۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر شاخص کلروفیل تریتیکاله.

Table 3- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on chlorophyll index of triticale.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		شاخص کلروفیل (روز پس از کاشت) Chlorophyll Index (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	2792.4**	2408.8**	1906.3**	1488.6**	1366.5**	1177.4**	1118.4**
آبیاری (I) Irrigation	2	318**	472.2**	592.6**	138.9**	431.7**	370.7**	356.1**
کود (B) Fertilizers	3	322.4**	357.2**	569.7**	363.3**	468.1**	355.6**	332.2**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	283.2**	176.7**	213.2**	140.2**	211.1**	125.6**	115.5**
I×B	6	13.7**	14.5**	25.6**	2.5*	17.6**	8.9**	17.7**
I×N	2	10.9**	1.5^{ns}	3.7^{ns}	3.2*	5.3*	3.2*	1.1^{ns}
B×N	3	12.8**	3.09*	6.5*	2.2*	1.9^{ns}	6.2**	8.9**
I×B×N	6	7.9**	3.8*	5.08*	6.05**	9.9**	4.8**	4.8**
خطا Error	46	1.2	1.6	1.9	0.9	1.5	1.1	1.1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

شاخص نیتروژن برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توام کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، سطوح آبیاری در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر شاخص نیتروژن برگ پرچم در سطح احتمال یک و پنج معنی‌دار بود (جدول ۴). روند تغییرات این شاخص در سطوح مختلف آبیاری نشان می‌دهد که این تغییرات در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتا مشابهی داشت (جدول ۵)، به‌طوری که در مراحل اول نمونه‌برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به‌دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین، با کاهش شاخص کلروفیل برگ (جدول ۵) و پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. در تمامی سطوح آبیاری با کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا، نانوسیلیکون، روند تغییرات شاخص نیتروژن نوسان کم‌تری نشان داد (جدول ۵). طوری‌که ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH)، شاخص نیتروژن برگ پرچم در کاربرد توام مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل از افزایش ۴۲/۹۳ درصد نسبت به عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۵). عدد SPAD همبستگی بالایی با کلروفیل و نیتروژن برگ دارد (۳۹). طوری‌که در همان ترکیب تیماری که مقدار نیتروژن کم‌تر بود شاخص کلروفیل نیز از عدد کم‌تری برخوردار بود (جدول ۵).

به‌نظر می‌رسد مایکوریزا مانند ورمی‌کمپوست با فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی، و از طرفی به‌دلیل گسترش هیف‌ها و تماس بیش‌تر آن‌ها با خاک ضمن افزایش جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر (۱۰) و کمک به جذب آب و بهبود روابط آبی گیاه، به افزایش توان فتوسنتزی گیاه و میزان نیتروژن برگ کمک می‌کند (۶). سیلیکون نیز در شرایطی که قابلیت دسترسی نیترات کم باشد، جذب آن را افزایش می‌دهد و اگر غلظت نیترات در گیاه کافی باشد، به‌منظور پیش‌گیری از بروز سمیت، تجمع نیترات را کاهش می‌دهد. از این‌رو، موجب افزایش سنتز نیتروژن از آمینواسیدها و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار می‌شود (۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر شاخص نیتروژن تریتیکاله.

Table 4- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on nitrogen index of triticale.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		شاخص نیتروژن (روز پس از کاشت) Nitrogen Index (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	0.01^{**}	0.009^{**}	0.0077^{**}	0.0063^{**}	0.0059^{**}	0.0053^{**}	0.0051^{**}
آبیاری (I) Irrigation	2	0.0008^{**}	0.001^{**}	0.0015^{**}	0.00037^{**}	0.0011^{**}	0.00098^{**}	0.00094^{**}
کود (B) Fertilizers	3	0.0008^{**}	0.0009^{**}	0.0015^{**}	0.00096^{**}	0.0012^{**}	0.00094^{**}	0.00088^{**}
نانوسیلیکون Nano (N) silicon	1	0.0007^{**}	0.0004^{**}	0.0005**	0.00037^{**}	0.0005^{**}	0.00033^{**}	0.0003^{**}
I×B	6	0.00003^{**}	0.00003^{**}	0.00006^{**}	0.000006^{*}	0.00004^{**}	0.000023^{**}	0.00004^{**}
I×N	2	0.00002^{**}	0.000004^{ns}	0.000009^{ns}	0.000008^{*}	0.000014^{*}	0.000008^{*}	0.000003^{ns}
B×N	3	0.00003^{**}	0.000008^{*}	0.000017^{*}	0.000005^{*}	0.000005^{ns}	0.000016^{**}	0.00002^{**}
I×B×N	6	0.00002^{**}	0.00001^{*}	0.000013^{*}	0.00001^{**}	0.00002^{**}	0.000013^{**}	0.00001^{**}
خطا Error	46	0.000003	0.0000035	0.0000051	0.000002	0.0000041	0.000003	0.000003

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تاثیر برهم‌کنش توام کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محدودیت آبی در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). تاثیر محدودیت آبی بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در طول فصل رشد از الگوی نسبتا یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد. تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن میزان این کاهش نسبت به قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبیاری کامل بسیار بارزتر بود (جدول ۸). کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل در ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH) موجب افزایش ۴۶/۴۱ درصد محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۸). یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ بقای گیاه در شرایط تنش، توانایی گیاه درحفظ آب سلولی از طریق افزایش محتوای نسبی آب است. به‌نظر می‌رسد که مایکوریزا از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سامانه ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق هیف‌ها، میزان آب بیش‌تری جذب کرده و موجب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود (۱). گائو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ریشه‌های تلقیح شده با قارچ مایکوریزا می‌توانند در حجم وسیعی از خاک پراکنده شوند و این قارچ‌ها با کمک هیف‌های خود ضمن بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک، به افزایش محتوای نسبی آب کمک کنند (۱۱). خیری‌زاده (۲۰۱۶) نیز گزارش کرد که کاربرد مایکوریزا تحت شرایط محدودیت آبی با افزایش وزن و حجم ریشه، منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله شد (۱۴).

شادکام و مهاجری (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست تحت شرایط تنش خشکی با بهبود ساختار خاک و کمک به حفظ رطوبت، موجب بهبود رشد و افزایش محتوای نسبی آب برگ به‌لیمو شد (۴۲). ما و یاماجی (۲۰۰۶) اظهار داشتند که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی برگ و افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن، موجب کاهش تعرق از سطح برگ می‌شود، در نتیجه این عمل محتوای نسبی آب افزایش می‌یابد (۲۲). نتایج مشابهی نیز توسط ساجد گلجه و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر اینکه نانوسیلیکون در شرایط محدودیت آبی موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ کلزا شد گزارش شده است (۳۸).

جدول ۶- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر محتوای نسبی آب تریتیکاله.

Table 6- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on relative water content of triticale.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		محتوای نسبی آب (روز پس از کاشت) Relative Water Content (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	6462.9**	5810.7**	5566.2**	4731.4**	4103.9**	3760.006**	3578.9**
آبیاری (I) Irrigation	2	110.6**	292.8**	650.3**	997.9**	501.03**	1064.08**	939.6**
کود (B) Fertilizers	3	326.4**	425.8**	382.2**	887.9**	554.5**	501.8**	768.01**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	214.2**	248.6**	187.2**	396.2**	237.6**	335.4**	310**
I×B	6	9.1**	3.2*	12.6**	30.04**	18.2**	18.4**	35.7**
I×N	2	6.4**	18.1**	3.8^{ns}	31.8**	8.7*	9.09*	26.3**
B×N	3	24.8**	7.2**	3.2^{ns}	12.3*	2.3^{ns}	9.2*	6.3^{ns}
I×B×N	6	10.1**	7.3**	6.2**	9.8*	10.5**	13.2**	30.9**
خطا Error	46	0.9	1,2	1.6	3.1	1.7	2.4	2.8

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ پرچم: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۷، ۹، ۱۰ و ۱۲) نشان داد که اثر هر سه فاکتور مورد بررسی (کودهای آلی و زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی) در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ۷، ۹، ۱۰ و ۱۲). روند تغییرات کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در پاسخ به کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی از الگوی نسبتا یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی موجب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده است. در واقع این تیمارها توانسته‌اند حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را ثابت نگه دارند. کارایی فتوسنتزی در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به‌شدت روند کاهشی داشت، به‌طوری که کاربرد توام مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل در ۸۱ روز پس از کاشت (معادل

کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH)، موجب افزایش ۳۷/۰۵ درصد عملکرد کوانتومی برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۸). همچنین، نتایج نشان داد با گذشت زمان فلورسانس متغیر (F_v) برگ پرچم در تمامی ترکیبات تیماری از روند نزولی برخوردار بود (جدول ۱۱). کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۹۷/۴۱ درصد فلورسانس متغیر (F_v) برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۱۱). فلورسانس متغیر نشان‌گر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (QA) است. بدین صورت که وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت احیای کامل باشند، فلورسانس کلروفیل زیاد است. بنابراین، فلورسانس متغیر نیز زیاد است، اما وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید هستند، مقدار فلورسانس حداقل است و مقدار فلورسانس متغیر نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه در شرایط تنش خشکی QA در حالت اکسید شدن است. در پژوهش حاضر میزان فلورسانس متغیر در تمامی سطوح تنش کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به‌دلیل مهار الکترون و جلوگیری از انتقال آن از سمت دهنده فتوسیستم II به محل پذیرش الکترون توسط مولکول‌های کوئینون (QA و QC) و ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II باشد (۲۶).

کارایی افت غیر شیمیایی فلورسانس نیز به عوامل بیرونی و درونی زیادی وابسته بوده و در تغییر F_m با فلورسانس حداکثر منعکس می‌گردد (۲۴). نتایج اندازه‌گیری فلورسانس حداکثر (F_m) برگ پرچم نیز نشان می‌دهد که در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن کاهش قابل توجهی در فلورسانس حداکثر و در تخریب فتوشیمیایی نسبت به شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱۱). نتایج نشان داد ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ براساس مقیاس BBCH) بیش‌ترین میزان فلورسانس حداکثر برگ پرچم (۶۶۵) مربوط به کاربرد توام ورمی کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۱۱)، که این ترکیب تیماری موجب افزایش ۴۳/۹۳ درصد فلورسانس حداکثر نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۱۱). پژوهش‌گران اظهار داشتند که پس از قرار گرفتن برگ در مقابل نور تابانده شده توسط دستگاه، مراکز احیای فتوسیستم II به‌تدریج بسته می‌شوند. به‌همین دلیل، در اولین ثانیه تابش نور به برگ، عملکرد فلورسانس کلروفیل افزایش یافته، فلورسانس از مقدار F_0 به حداکثر مقدار خود یعنی F_m افزایش می‌یابد. این افزایش نشان‌دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است (۲). همچنین، بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F_0) برگ پرچم در پاسخ به کاربرد کودهای آلی و زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی در طول فصل رشد (جدول ۱۴) نشان داد که فلورسانس حداقل همواره در شرایط آبیاری کامل کم‌تر از شرایط قطع آبیاری در مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی بود که به‌نظر می‌رسد علت آن می‌تواند ناشی از افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۵) به‌دلیل کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون باشد که موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است (جدول ۱۴). به‌طوری‌که ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH)، عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت

شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن موجب افزایش ۱۱/۱۱ درصد فلورسانس حداقل نسبت به شرایط کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۱۴). فلورسانس حداقل بیانگر سطحی از فلورسانس در زمانی است که پذیرنده کوئینونآ (QA) در بالاترین مقدار شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مرکز فتوسیستم II باز هستند). در حقیقت فلورسانس حداقل هر چقدر کم‌تر باشد، بدین معناست که فعالیت‌های فتوسنتزی به نحو مطلوب‌تری در جریان هستند و تثبیت کربن یا به عبارتی انتقال الکترون سریع‌تر آغاز شده است. این در حالی است که مقدار فلورسانس حداقل بالاتر، نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت QA و عدم اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II دارد (۴۸)، بنابراین، ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن، آسیب بیش‌تری در فتوسیستم II خود تجربه کرده است. افزایش در میزان فلورسانس حداقل، نشان‌دهنده بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت بازسازی آنزیم روبیسکو، کاهش فراهمی دی‌اکسیدکربن از روزنه‌ها، کاهش سرعت انتقال الکترون و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌شود (۴۳). در شرایط تنش خشکی تجمع کوئینون ب (Quinine b) غیر احیا افزایش می‌یابد که این موضوع نشان‌دهنده عدم انتقال الکترون از کوئینون آ (Quinine a) احیا به کوئینون ب است، در چنین شرایطی تجمع کوئینون آ نیز افزایش می‌یابد. علت این موضوع به‌طور کامل مشخص نیست، ولی ممکن است کاهش آسیمیلاسیون CO_2 در اثر بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، منجر به مصرف نشدن محصولات حاصل از زنجیره انتقال الکترون NADPH و ATP شده و از این طریق میزان فرودوکسین احیا افزایش یافته و به‌دنبال افزایش فرودوکسین احیا شده، تولید رادیکال‌های فعال افزایش یافته و از طریق، تغییر و یا تخریب پروتئین‌های غشای تیلاکوئید صورت گیرد.

جدول ۷- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر عملکرد کوانتومی تریتیکاله.

Table 7- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on quantum yield of triticale

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		عملکرد کوانتومی (روز پس از کاشت) Quantum Yield (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	0.53**	0.49**	0.46**	0.44**	0.42**	0.39**	0.34**
آبیاری (I) Irrigation	2	0.0057**	0.0085**	0.0067**	0.021**	0.027**	0.029**	0.048**
کود (B) Fertilizers	3	0.012**	0.0054**	0.0091**	0.016**	0.02**	0.043**	0.034**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	0.00087**	0.0055**	0.0029**	0.0041**	0.0045**	0.0053**	0.015**
I×B	6	0.001**	0.00061**	0.001**	0.0013**	0.0025**	0.0052**	0.00092**
I×N	2	0.00074**	0.00033**	0.000016^{ns}	0.00004^{ns}	0.00044**	0.0001**	0.00028^{ns}
B×N	3	0.00039**	0.000041^{ns}	0.00013*	0.00067**	0.00072**	0.002**	0.000072^{ns}
I×B×N	6	0.00053**	0.00051**	0.0007**	0.00033**	0.0005**	0.0009**	0.00054**
خطا Error	46	0.00003	0.00002	0.00003	0.00006	0.000083	0.00013	0.00013

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

بنابراین، تخریب پروتئین‌های غشای تلاکوئید، مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم II می‌شود و این موضوع موجب کاهش سرعت انتقال الکترون، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستم II می‌شود (۳۶). ملکوتی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که با بسته شدن روزنه‌ها به علت تنش خشکی یا دمای زیاد، دی‌اکسیدکربن قابل دسترس کاهش می‌یابد و به‌دنبال کاهش تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش‌های نوری فتوسنتز، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند (۲۳).

در واقع آنچه دستگاه فلورومتر نشان می‌دهد، نسبت F_v/F_m و منحنی مربوط به آن است که F_v/F_m نشان‌دهنده‌ی بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II و معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است، طوری‌که، مقدار این پارامتر برای اکثر گونه‌های گیاهی در شرایط محیطی عادی ۰/۸۳ است. زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود، این مقدار کاهش پیدا می‌کند (۸). به بیانی دیگر، هر گونه تنشی که موجب شود انتقال الکترون در خلال واکنش‌های مرحله نوری فتوسنتز مختل شود موجب هدر رفت الکترون شده و به‌تبع آن کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II ($\varphi PsII$) کاهش می‌یابد (۱۷). افتاده فدافن و همکاران (۲۰۱۸) نیز کاربرد ورمی‌کمپوست با افزایش محتوای کلروفیل از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز تدارک جذب بیش‌تر عناصر غذایی، تاثیر جزئی در کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و پتانسیل عملکرد کوانتومی داشت (۳۵). گلدانی و کمالی (۲۰۱۶) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکی شیمیایی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک منجر به افزایش پایداری غشا و محتوای نسبی آب و در نتیجه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شد (۹). به‌نظر می‌رسد که کاربرد سیلیکون با بهبود کارایی فتوسیستم II و کاهش فلورسانس کلروفیل منجر به افزایش نسبت F_v/F_m شده است. مهربان جوبنی و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که کاربرد نانوسیلیکون با بهبود رشد رویشی، محتوای آب نسبی برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی موجب بهبود فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II برگ برنج شد (۲۵). ساجد گلجه و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود شاخص سبزینگی، محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت برگ موجب حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II برگ کلزا شد (۳۸). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۵)، محتوای نسبی آب برگ (جدول ۸) و کاهش هدایت الکریکی برگ پرچم (جدول ۱۴)، موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم (جدول ۸، ۱۱ و ۱۴) شد.

جدول ۹- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فلورسانس متغیر تریتیکاله.

Table 9- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on variable fluorescence triticale

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس متغیر (روز پس از کاشت) Variable Fluorescence (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	324384**	270173**	214552.8**	182387.5**	161769.8**	136262.9**	111493.4**
آبیاری (I) Irrigation	2	22346.3**	47488.8**	31927.8**	64060.1**	58930.8**	63916.1**	77322.8**
کود (B) Fertilizers	3	59219.7**	42754.3**	28360.8**	45069.4**	40238.6**	60666.8**	55102.7**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	10011.1**	19208**	11400.5**	11476.1**	11552**	15138**	23220.1**
I×B	6	1198.5**	467.2*	1193.2**	2700.9**	1648.4**	3701.4**	1733.04**
I×N	2	531.1*	1554.8**	244.6*	55.1^{ns}	491.3*	49.8^{ns}	457.6^{ns}
B×N	3	351.4*	309.6^{ns}	68.1^{ns}	1044.4**	199.3^{ns}	1743**	103.1^{ns}
I×B×N	6	689.9**	1168.5**	510.2**	532.9*	586.2**	504.8*	1003.1**
خطا Error	46	142.4	148.5	99.2	172.4	153.6	206.1	209.1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

جدول ۱۰- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فلورسانس حداکثر تریتیکاله.

Table 10- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on maximum fluorescence triticale

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس حداکثر (روز پس از کاشت) Maximum Fluorescence (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	557902.7**	517734.3**	442599.3**	393830.6**	357557.6**	32322.4**	305101.5**
آبیاری (I) Irrigation	2	15508.5**	41698.5**	31097.6**	54834**	45222.8**	56404.5**	66550.8**
کود (B) Fertilizers	3	43340.4**	45299.4**	21634.3**	36426.3**	28954.4**	38249.8**	47848.5**
نانوسیلیکون Nano (N) silicon	1	10153.1**	13203.1**	10224.5**	9112.5**	973.1**	15488**	18818**
I×B	6	350.8**	852.8**	846.9**	206.8**	479.7**	1788.8**	2216.8**
I×N	2	31.5^{ns}	1221.5**	795.1**	136.5^{ns}	406.1^{ns}	1044.5**	283.6^{ns}
B×N	3	421.1*	388.4*	40.8^{ns}	716.1**	2.4^{ns}	883.3**	218.6^{ns}
I×B×N	6	297.5*	712.8**	440.4**	346.6*	487.9**	613.8**	1160.2**
خطا Error	46	102.2	142.3	85.07	141.9	112.2	36345.8	183.7

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر **فلورسانس متغیر و حداکثر تریتیکاله.**

Table 11- Means comparison of effects of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on variable fluorescence and maximum fluorescence triticale

تیمار Treatments	Variable Fluorescence فلورسانس متغیر							Maximum Fluorescence فلورسانس حداکثر						
	Day after planting روز پس از کاشت							Day after planting روز پس از کاشت						
	57	61	65	69	73	77	81	57	61	65	69	73	77	81
$I_1 \times B_1 \times N_1$	530^{ijk}	488^{hijk}	447^{ghi}	417^{i}	379^{f}	339^{gh}	316^{ijk}	729^{hi}	693^{nop}	660^{kl}	621^{ij}	594^{ef}	542^{jk}	543^{hi}
$I_1 \times B_2 \times N_1$	552^{fgh}	511^{efg}	474^{e}	452^{f}	431^{cd}	406^{de}	352^{h}	755^{f}	729^{jkl}	703^{g}	659^{g}	611^{de}	594^{efg}	577^{f}
$I_1 \times B_3 \times N_1$	609^{de}	570^{cd}	534^{bc}	502^{cd}	485^{ab}	443^{c}	419^{bcd}	811^{d}	783^{def}	728^{bcd}	695^{def}	670^{b}	628^{c}	638^{b}
$I_1 \times B_4 \times N_1$	638^{b}	640^{a}	542^{abc}	532^{a}	493^{a}	477^{a}	432^{bc}	832^{c}	821^{a}	742^{ab}	728^{ab}	692^{a}	674^{ab}	645^{ab}
$I_1 \times B_1 \times N_2$	540^{ghij}	553^{d}	465^{ef}	426^{ghi}	440^{c}	356^{fg}	383^{fg}	743^{fgh}	756^{ghi}	687^{hi}	644^{lmn}	634^{c}	567^{hi}	611^{de}
$I_1 \times B_2 \times N_2$	557^{fg}	602^{b}	501^{d}	528^{ab}	481^{ab}	473^{ab}	414^{cde}	778^{e}	801^{bcd}	704^{g}	725^{abc}	665^{b}	680^{a}	635^{k}
$I_1 \times B_3 \times N_2$	644^{b}	615^{b}	549^{ab}	524^{ab}	497^{a}	485^{a}	439^{ab}	835^{bc}	819^{ab}	742^{ab}	711^{bcd}	697^{a}	687^{a}	649^{ab}
$I_1 \times B_4 \times N_2$	695^{a}	644^{a}	554^{a}	537^{a}	501^{a}	478^{a}	458^{a}	858^{a}	823^{a}	744^{a}	733^{a}	701^{a}	682^{a}	665^{a}
$I_2 \times B_1 \times N_1$	521^{jklm}	466^{lmn}	411^{lm}	358^{lm}	334^{hij}	294^{ijk}	252^{lmn}	721^{ij}	664^{rs}	620^{op}	570^{mno}	550^{ijk}	517^{lmn}	479^{klm}
$I_2 \times B_2 \times N_1$	545^{ghi}	483^{ijkl}	436^{hij}	383^{jk}	349^{gh}	316^{hi}	262^{lm}	746^{fg}	684^{opq}	640^{mn}	595^{kl}	563^{ghij}	537^{jkl}	491^{k}
$I_2 \times B_3 \times N_1$	592^{e}	524^{e}	460^{efg}	446^{fg}	407^{e}	365^{f}	331^{hi}	785^{e}	747^{hij}	678^{ij}	652^{g}	602^{de}	574^{gh}	552^{gh}
$I_2 \times B_4 \times N_1$	688^{a}	577^{c}	531^{c}	486^{cde}	466^{b}	439^{c}	406^{def}	849^{ab}	792^{cde}	721^{cde}	691^{ef}	643^{c}	620^{cd}	632^{bcd}
$I_2 \times B_1 \times N_2$	549^{fghi}	474^{klm}	440^{hij}	367^{jklm}	370^{f}	302^{ijk}	297^{k}	750^{f}	666^{qrs}	642^{hi}	577^{lmn}	573^{gh}	526^{klm}	519^{j}
$I_2 \times B_2 \times N_2$	597^{de}	501^{fghi}	469^{e}	421^{hi}	374^{f}	351^{fg}	302^{jk}	785^{e}	711^{lmn}	696^{gh}	625^{hi}	577^{fg}	563^{hi}	522^{ij}
$I_2 \times B_3 \times N_2$	633^{bc}	558^{cd}	512^{d}	481^{de}	435^{c}	428^{cd}	377^{g}	820^{cd}	765^{fgh}	719^{def}	687^{f}	616^{d}	597^{ef}	601^{e}
$I_2 \times B_4 \times N_2$	691^{a}	609^{b}	538^{abc}	507^{bc}	489^{a}	450^{bc}	425^{bcd}	851^{ab}	810^{abc}	735^{abc}	707^{cde}	674^{b}	654^{b}	641^{b}
$I_3 \times B_1 \times N_1$	503^{m}	446^{n}	402^{m}	348^{m}	315^{j}	279^{k}	232^{n}	685^{k}	644^{t}	602^{q}	556^{o}	529^{l}	495^{o}	462^{m}
$I_3 \times B_2 \times N_1$	518^{klm}	452^{n}	406^{m}	351^{lm}	339^{hi}	291^{jk}	256^{lm}	717^{ij}	653^{st}	611^{pq}	561^{no}	554^{ij}	507^{mno}	483^{klm}
$I_3 \times B_3 \times N_1$	536^{hijk}	495^{ghij}	427^{jkl}	364^{klm}	365^{fg}	297^{ijk}	269^{l}	732^{ghi}	702^{mno}	631^{no}	574^{mno}	569^{ghi}	521^{lmn}	495^{k}
$I_3 \times B_4 \times N_1$	602^{de}	518^{ef}	452^{fgh}	440^{fgh}	411^{de}	401^{e}	347^{h}	806^{d}	738^{ijk}	669^{jk}	649^{g}	607^{de}	578^{fgh}	574^{fg}
$I_3 \times B_1 \times N_2$	506^{lm}	458^{mn}	415^{klm}	355^{lm}	321^{ij}	284^{k}	239^{mn}	712^{j}	655^{st}	629no	566^{mno}	533^{kl}	502^{no}	467^{j}
$I_3 \times B_2 \times N_2$	525^{jkl}	478^{jklm}	431^{ijk}	372^{jkl}	343^{h}	309^{ij}	258^{lm}	725^{ij}	675^{pqr}	631^{no}	581^{lm}	558^{hij}	530^{jkl}	487^{kl}
$I_3 \times B_3 \times N_2$	565^{f}	506^{efgh}	444^{ghi}	387^{j}	384^{f}	345^{fg}	322^{ij}	781^{e}	720^{klm}	651^{lm}	602^{jk}	597^{e}	548^{ij}	548^{h}
$I_3 \times B_4 \times N_2$	615	564	506	477	443	434	391	815	774	711	663	638	603	614

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و غلاف رفتن. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، مایکوریزا و کاربرد توام ورمی کمپوست و مایکوریزا.

N_1 و N_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر نانو سیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3 are normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at podding stage respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Mycorrhiza* and both application vermicompost and *Mycorrhiza* respectively. N_1 and N2 no foliar application, foliar application Nano silicon respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

جدول ۱۲- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فلورسانس حداقل تریتیکاله.

Table 12- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on minimum fluorescence triticale

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت) Minimum Fluorescence (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	36348.1**	39902.4**	40837.5**	40196.5**	38320.04**	36755.7**	47722**
آبیاری (I) Irrigation	2	1281.1**	237.37**	10.5^{ns}	428.62**	1239.87**	270.37**	408.87**
کود (B) Fertilizers	3	1691.5**	537.12**	521.5**	460.45**	969.79**	2695.6**	260.79**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	0.50^{ns}	561.12**	32*	136.12**	78.125**	2^{ns}	231.12**
I×B	6	761.62**	719.37**	572**	181.45**	656.04**	1057.04**	77.54**
I×N	2	457.62**	60.12**	158**	22.87**	136.62**	694.62**	30.87**
B×N	3	363.5**	25.79*	93.66**	183.12**	225.4**	460.33**	21.79**
I×B×N	6	321.1**	169.79**	390.1**	125.37**	158.45**	414.95**	33.54**
خطا Error	46	9.35	4.74	4.63	2.788	6.552	11.72	1.52

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

هدایت‌الکتریکی الکترولیت برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توام کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محدودیت آبی در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر هدایت الکترولیت برگ پرچم در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). بررسی روند هدایت الکتریکی الکترولیت برگ پرچم در پاسخ به سطوح آبی در طول فصل رشد نشان داد که هدایت الکتریکی الکترولیت برگ پرچم در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و آبیاری کامل نسبت به شاهد در اکثر مراحل کاهش یافت (جدول ۱۴). به‌طوری‌که ۸۱ روز پس از کاشت (معادل با کد ۷۱ بر اساس مقیاس BBCH)، عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن موجب افزایش۵۹/۷۲ درصد هدایت الکتریکی برگ پرچم نسبت به شرایط کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۱۴). دلیل افزایش هدایت الکتریکی الکترولیت در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از آسیب وارده بر غشای سلولی و کاهش مقاومت و یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه‌ی آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (۲۸). اولین و همکاران (۲۰۱۲) کاهش میزان نشت الکترولیت در برگ گیاهان مایکوریزی را به تغییرات القا شده در اثر تغذیه فسفری این گیاهان نسبت دادند که آثار آن در سطح فسفولیپیدهای غشا و تغییر در خواص نفوذپذیری غشا نمایان می‌شود (۷). نقاش‌زاده (۲۰۱۴) بیان داشت کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش جذب مواد غذایی، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود وضعیت آبی گیاهان موجب ثبات غشای سلولی در

گیاه ذرت می‌شود (۳۲). خیری‌زاده (۲۰۱۶) گزارش کرد که کاربرد مایکوریزا تحت شرایط تنش خشکی و شوری با بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و شاخص‌های فلورسانس برگ پرچم، موجب هدایت کاهش الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله شد (۱۴).

حیدرپور و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست تحت شرایط تنش خشکی با افزایش محتوای نسبی آب موجب بهبود محتوای کلروفیل و فلورسانس کلروفیل و در نهایت کاهش نشت یونی برگ مرزه شد (۱۲). سیلیکون درون گیاه یک عنصر غیر متحرک است و پس از رسوب در داخل سلول به صورت ژل پلیمر شده در می‌آید و دیگر برای گیاه غیرقابل استفاده می‌شود و تنها نقش استحکام و پایداری را خواهد داشت، و از این طریق میزان نشت الکترولیت را در گیاه کاهش می‌دهد (۲۰). سیلیکون همچنین می‌تواند به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه خسارت ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین‌ترتیب پایداری غشا افزایش و نشت یونی کاهش یابد (۲۹).

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر هدایت الکترولیت تریتیکاله.

Table 13- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on electrical conductivity of triticale

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت) Minimum Fluorescence (Day after planting)						
		57	61	65	69	73	77	81
تکرار Replication	2	6912.8**	10665.6**	13709.04**	16994.2**	17991.9**	24473.7**	28373.1**
آبیاری (I) Irrigation	2	1439.5**	3857.7**	2240.05**	7865.7**	10600.8**	5299.4**	11777.2**
کود (B) Fertilizers	3	2613.5**	10013.3**	5428.2**	7861.05**	10091.4**	4616.3**	4739.9**
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	3288.6**	4209.3**	2291.6**	2933.7**	7490.8**	4176.9**	9828.2**
I×B	6	144.04**	82.3**	75.03**	175.8**	329.5**	177.2**	931.8**
I×N	2	183.5**	50.8^{ns}	23.6^{ns}	33.8^{ns}	162.2*	53.7^{ns}	837.7**
B×N	3	87.5**	44.6^{ns}	93.01**	127.4**	345.3**	190.3**	517.9**
I×B×N	6	133.5**	154.6**	93.4**	68.9*	381.2**	125.2**	426.09**
خطا Error	46	9.4	25.2	14.1	25.6	37.4	18.03	34.1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانو سیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توام این سه عامل بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۵). بیش‌ترین عملکرد دانه (۴/۰۲ گرم در بوته) در ترکیب تیماری کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱۶)، که این ترکیب تیماری از افزایش ۵۹/۵۲ درصد عملکرد دانه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۱۶).

جدول ۱۴- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر **فلورسانس حداقل و هدایت الکتریکی تریتیکاله.**

Table 14- Means comparison of effects of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on minimum fluorescence and electrical conductivity of triticale

تیمار Treatments	فلورسانس حداقل Minimum Fluorescence							شاخص هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر متر) Electrical Conductivity (µS m-1)						
	روز پس از کاشت Day after planting							روز پس از کاشت Day after planting						
	57	61	65	69	73	77	81	57	61	65	69	73	77	81
$I_1 \times B_1 \times N_1$	199^{cde}	205^{gh}	213^{e}	204^{j}	215^{a}	203^{g}	227^{bcd}	99.1^{a}	127.7^{cd}	136.1^{de}	137^{f}	152.8^{fg}	177.3^{cd}	192.7^{e}
$I_1 \times B_2 \times N_1$	203^{bc}	218^{bc}	229^{a}	207^{fgh}	180^{hi}	188^{i}	225^{def}	90.4^{fg}	115.1^{ef}	127^{fg}	125.3^{hi}	142.2^{hi}	162.8^{jh}	170.5^{hi}
$I_1 \times B_3 \times N_1$	202^{bc}	213^{de}	194^{kl}	193^{l}	185^{g}	185^{ij}	219^{j}	81.2^{ijk}	92.1^{jk}	106.7^{lm}	117.8^{ijk}	100.1^{n}	137.4^{mn}	138.5^{m}
$I_1 \times B_4 \times N_1$	194^{ef}	181^{m}	200^{ij}	196^{k}	199^{cde}	197^{h}	213^{l}	67.4^{opq}	66.4^{o}	92.8^{p}	98.4^{l}	99.8^{n}	130.7^{no}	138^{m}
$I_1 \times B_1 \times N_2$	203^{bc}	203^{hi}	222^{b}	218^{a}	194^{f}	211^{de}	228^{abc}	90.4^{fg}	102.1^{hi}	113.5^{jk}	135.1^{f}	121.2^{kl}	151.7^{jk}	150.1^{kl}
$I_1 \times B_2 \times N_2$	221^{a}	199^{ijk}	203^{hi}	197^{k}	184^{gh}	207^{efg}	221^{hij}	76.8^{klm}	83.7^{lm}	103.6^{mn}	110.5^{k}	99.9^{n}	130.9^{no}	138.2^{m}
$I_1 \times B_3 \times N_2$	191^{fgh}	204^{ghi}	193^{lm}	187^{m}	200^{bcd}	202^{h}	210^{m}	67.4^{opq}	74.9^{n}	96.4^{op}	97.4^{l}	99.7^{n}	130.5^{no}	138.2^{m}
$I_1 \times B_4 \times N_2$	163^{j}	179^{m}	190^{m}	196^{k}	200^{bcd}	204^{fg}	207^{n}	61.5^{r}	66.2^{o}	95.2^{op}	95.4^{l}	99.5^{n}	130.3^{o}	137.8^{m}
$I_2 \times B_1 \times N_1$	200^{cd}	198^{jk}	209^{f}	212^{c}	216^{a}	223^{ab}	227^{bcd}	106.1^{abc}	140.4^{ab}	144.3^{bc}	167.2^{bc}	172.9^{cd}	188.6^{a}	208.6^{bc}
$I_2 \times B_2 \times N_1$	201^{bc}	201^{ij}	204^{gh}	212^{c}	214^{a}	221^{abc}	229^{ab}	102.2^{cd}	132.2^{bc}	138.6^{cd}	156.9^{de}	172.8^{cd}	181.2^{bc}	197.1^{de}
$I_2 \times B_3 \times N_1$	193^{def}	223^{a}	218^{c}	206^{ghi}	195^{ef}	209^{ef}	221^{hij}	83.4^{hij}	106.8^{gh}	120.3^{hi}	126.5^{gh}	132.9^{ij}	169.9^{ef}	161.4^{ij}
$I_2 \times B_4 \times N_1$	161^{j}	215^{cd}	190^{m}	205^{hi}	177^{i}	181^{jk}	226^{cde}	74.5^{lmn}	87.7^{kl}	103^{mn}	112.7^{jk}	115.1^{lm}	141.8^{lm}	143.9^{lm}
$I_2 \times B_1 \times N_2$	201^{bcd}	192^{l}	202^{hi}	210^{cde}	203^{bc}	224^{a}	222^{ghi}	65.1^{pqr}	132.2^{bc}	138.4^{cd}	152.4^{e}	162.5^{ef}	170.1^{ef}	188.7^{ef}
$I_2 \times B_2 \times N_2$	188^{gh}	210^{ef}	227^{a}	204^{i}	203^{bc}	212^{de}	220^{j}	88^{fgh}	123.9^{d}	129.8^{f}	134.6^{fg}	147.2^{gh}	158.7^{hi}	176.4^{gh}
$I_2 \times B_3 \times N_2$	187^{hi}	207^{fg}	207^{fg}	206^{ghi}	181^{ghi}	169^{l}	224^{efg}	69.7^{nop}	87.7^{kl}	103.4^{mn}	120.5^{hi}	115.3^{lm}	148.7^{jkl}	144.3^{lm}
$I_2 \times B_4 \times N_2$	160^{j}	201^{ij}	197^{jk}	200^{j}	185^{g}	204^{fg}	216^{k}	63.8^{qr}	70.8^{no}	96.2^{op}	99.1^{l}	103.5^{n}	133.5^{no}	143.7^{lm}
$I_3 \times B_1 \times N_1$	182^{i}	198^{jk}	200^{ij}	208^{efg}	214^{a}	216^{cd}	230^{a}	110.4^{a}	144.2^{a}	151.9^{a}	178.9^{a}	183.2^{ab}	191.5^{a}	220.1^{a}
$I_3 \times B_2 \times N_1$	199^{cde}	201^{ij}	205^{gh}	210^{cde}	215^{a}	216^{cd}	227^{bcd}	108.3^{ab}	136.3^{ab}	147.5^{ab}	175.5^{ab}	188.4^{a}	185.5^{ab}	215^{ab}
$I_3 \times B_3 \times N_1$	196^{def}	207^{fg}	204^{gh}	210^{cde}	204^{b}	224^{a}	226^{cde}	97.4^{de}	110.9^{fg}	123.4^{gh}	153.6^{e}	167.2^{de}	185.3^{ab}	214.8^{ab}
$I_3 \times B_4 \times N_1$	204^{bc}	220^{ab}	217^{cd}	209^{def}	196^{def}	177^{k}	227^{bcd}	79^{jkl}	96.8^{ij}	110.1^{kl}	123.4^{hi}	137.8^{hi}	155.4^{ij}	202.6^{cd}
$I_3 \times B_1 \times N_2$	206^{b}	197^{k}	214^{de}	211^{cd}	212^{a}	218^{bc}	228^{abc}	104.5^{bc}	136.1^{ab}	141.3^{cd}	165^{cd}	178.2^{bc}	185.3^{ab}	165.7^{i}
$I_3 \times B_2 \times N_2$	200^{cd}	197^{k}	200^{ij}	209^{def}	215^{a}	221^{abc}	229^{ab}	92.4^{ef}	119.5^{de}	132.2^{ef}	155.3^{e}	157.2^{efg}	173.8^{de}	202.4^{cd}
$I_3 \times B_3 \times N_2$	216^{a}	214^{d}	207^{fg}	215^{b}	213^{a}	203^{g}	226^{cde}	85.6^{ghi}	97^{ij}	117.1^{ij}	135.5^{f}	127.1^{jk}	166.2^{fg}	182.1^{fg}
$I_3 \times B_4 \times N_2$	200^{cd}	210^{ef}	205^{gh}	186^{m}	195^{ef}	169^{l}	223^{fgh}	72^{mno}	79^{mn}	99.2^{no}	119.2^{hij}	109.1^{mn}	144.9^{kl}	155.2^{jk}

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و غلاف رفتن. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، مایکوریزا و کاربرد توام ورمی کمپوست و مایکوریزا.

N_1 و N_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر نانو سیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3 are normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at podding stage respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Mycorrhiza* and both application vermicompost and *Mycorrhiza* respectively. N_1 and N2 no foliar application, foliar application Nano silicon respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

جدول ۱۵- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر عملکرد دانه.

Table 15- Analysis of variance of the effect of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on grain yield

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean Square
S.O.V	df	عملکرد دانه Grain Yield
تکرار Replication	2	10.3^{**}
آبیاری (I) Irrigation	2	2.5^{**}
کود (B) Fertilizers	3	3.08^{**}
نانوسیلیکون (N) Nano silicon	1	1.9^{**}
I×B	6	0.039^{**}
I×N	2	0.0017^{ns}
B×N	3	0.053^{**}
I×B×N	6	0.057^{**}
خطا Error	46	0.0099

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۱۶- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر عملکرد دانه.

Table 16- Means comparison of effects of organic and bio fertilizers, foliar application of Nano silicon and water limitation on grain yield

تیمار Treatments		عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain Yield (g per plant)			
		سطوح کودهای آلی و زیستی Organic and bio fertilizers Levels			
		B_1	B_2	B_3	B_4
I_1	N_1	2.94^{jk}	3.16^{hi}	3.6^{de}	4.02^{a}
	N_2	3.47^{ef}	3.79^{bc}	4.01^{a}	4.02^{a}
I_2	N_1	2.6^{mn}	2.75^{lm}	3.28^{gh}	3.7^{cd}
	N_2	3.03^{ij}	3.04^{ij}	3.51^{ef}	3.9^{ab}
I_3	N_1	2.52^{n}	2.55^{n}	2.84^{kl}	3.38^{fg}
	N_2	2.66^{mn}	2.84^{kl}	3.37^{fg}	3.69^{cd}

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و غلاف رفتن.

B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، مایکوریزا و کاربرد توام ورمی کمپوست و مایکوریزا.

N_1 و N_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر نانو سیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3 normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at podding stage respectively.

B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Mycorrhiza* and both application vermicompost and *Mycorrhiza* respectively.

N_1 and N2 no foliar application, foliar application Nano silicon respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

بخشی از افزایش عملکرد دانه در محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از اثر این عنصر بر بهبود شاخص سبزینگی (جدول ۵)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (جدول ۸) و محتوای نسبی آب برگ (جدول ۸) باشد. نتایج مشابهی نیز توسط ساجد گلجه و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. آنان اظهار داشتند که نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود شاخص سبزینگی، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و محتوای نسبی آب و کاهش نشت

الکترولیت برگ موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شد (۳۸). بخشی از افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط هیف‌های مایکوریزا باشد که موجب می‌شود فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول و قابل جذب ریشه در آید و یا از طریق جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز شده و بهبود عملکرد دانه شود (۱۳). خیری‌زاده (۲۰۱۶) گزارش کرد که کاربرد مایکوریزا تحت شرایط تنش‌های محیطی (تنش خشکی و شوری) با کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم موجب بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و شاخص‌های فلورسانس برگ پرچم و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد (۱۴). استفاده از ورمی‌کمپوست احتمالا به‌دلیل مقادیر نسبتا بالاتر عناصر غذایی (جدول ۲) اثر مثبتی بر عملکرد دانه دارد. کومار و همکاران (۲۰۱۱) افزایش عملکرد را به افزایش مقدار ورمی‌کمپوست و عناصر غذایی موجود در آن نسبت دادند (۱۹).

نتیجه‌گیری کلی

عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن موجب کاهش محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی برگ پرچم تریتیکاله شد، که کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل با کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم موجب بهبود شاخص کلروفیل، شرایط مناسب فتوسنتزی و در نتیجه عملکرد تک بوته تریتیکاله شد. به‌نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی کاربرد توام ورمی‌کمپوست با مایکوریزا و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون می‌تواند با بهبود محتوای کلروفیل، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، افزایش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی موجب افزایش عملکرد دانه شود.

منابع

1. Auge, R.M., Toler, H.D. and Saxton, A.M. 2015. *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza. 25: 1. 13-24.
2. Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 403. 1607-1621.
3. Dakora, F.D. 2005. Silicon nutrition and N2 fixation in symbiotic legumes lll. Silicon in Agriculture Conference, 22-26 October, Uberlandia, Brazil.
4. Dalal, V.K. and Tripathy, B.C. 2012. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. Plant Cell Environ. 35: 9. 1685-1703.
5. Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P. and Tsuji, W. 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. J. Plant Nutr. 31: 2. 355-365.
6. Esmaielpour, B. and Amani, N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *lactuca sativa* cv Syaho. EJSMS. 4: 2. 49-69. (In Persian)
7. Evelin, H., Giri, B. and Kapoor, R. 2012. Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. Mycorrhiza. 22: 3. 203-217.
8. Fracheboud, Y. 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Science ETH, Universitatstrass, CH- 8092 Zurich.
9. Ghldani, M. and Kamali, M., 2016. Evaluation of culture media including vermicompost, compost and manure under drought stress in Iranian petunia

(*Petunia hybrida*). Plant Prod. 39: 3. 91-100. (In Persian).

10. Gholami Ganjeh, S. and Salehi, A. 2015. Effects of different levels of vermicompost and biofertilizers on essential oil content and uptake of some elements in cumin (*Cuminum cyminum* L.). IJMAPR. 31: 5. 822-830. (In Persian)
11. Guo, Y., Ni, Y. and Huang, J. 2010. Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. Trol Grassl. 44: 2. 109-114.
12. Heidarpour, O., Esmaielpour, B., Soltani Toolarood, A. and Khorramdel, S. 2020. Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. J. Agroecol. 12: 3. 507-522. (In Persian)
13. James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E. and Tariq, H. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna Spectabilis*. Pak. J. Bot. 40: 5. 2217-2224.
14. Kheirizadeh Arough, Y. 2016. Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of Triticale under salinity and water limitation condition. Thesis Ph.D in Crop Physiology. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (In Persian)
15. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R. and Seyed Sharifi, R. 2016. Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water-limitation condition. J. Plant Interact. 11: 1. 167-177.
16. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2016. Effect of Zinc and bio-fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in triticale under salinity condition. Not Bot Hortic Agrobot Cluj Napoca. 44: 1. 116-124.
17. Kiani, S. 2012. Effects of iron on efficiency and map of photosystem II photochemical yield of rose flower using chlorophyll fluorescence imaging. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture. 2: 4. 25-35. (In Persian)
18. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N. and Basile, N. 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. Plant Soil. 330: 1-2. 65-71.
19. Kumar, G.A., Bishwas, R., Mahendra, P.S., Vibha, U. and Chandan, K.S. 2011. Effect of fertilizers and vermicompost on growth, yield and biochemical changes in *Abelmoschus esculentus*. Plant Arch. 11: 1. 285-287.
20. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants- a review. Environ. Pollut. 147: 2. 422-428.
21. Liang, Y.C., Zhang, W.H., Chen, Q., Liu, Y.L. and Ding, R.X. 2006. Effect of exogenous silicon (Si) on H+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environ. Exp. Bot. 57: 3. 212-219.
22. Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Sci. 11: 8. 1-6.
23. Malakouti, M., Moshiri, J.F. and Ghaibi, M.N. 2005. Optimum levels of nutrients in soil and some agronomic and horticultural crops. Soil Water Res. Ins. Technic. Bulletin. 405.
24. Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorecence a practical guide. J. Exp. Bot. 51: 345. 656-668.
25. Mehraban Joubani, P., Barzegar, A., Barzagar Golchini, B., Ramezani Sayyad, A. and Abdolzadeh, A. 2019. Comparison of effects of iron excess and application of silicon on fluorescence of chlorophyll in shoot and developmental changes in root of rice seedlings. Ir. J. Plant Biol. 11: 41. 17-32.
26. Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in

wheat leaves. Plant Physiol. Biochem. 48: 1. 16-20.
27. Mergom, M. and Maspherson, H.G. 2004. Triticale improvement and production. FAO Plant Prod. Protect. 11: 170-179.
28. Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pak J Biol Sci. 10: 21. 3835-3840.
29. Moussa, H.R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). Int J Agric Biol. 8: 2. 293-297.
30. Munoz, I.E., Garcia de Salamone, R., Aroca, J.M. and Ruiz Lozano, R.A. 2011. Azospirillum and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. J. Plant Physiol. 168: 10. 1031-1037.
31. Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A. and Mehrjerdi, M. 2013. Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Int. J. Agric. Sci. 3: 4. 483-492.
32. Naghashzadeh, M.R. 2014. Response of relative water content and cell membrane stability to mycorrhizal biofertilizer in Maize. Electron. J. Biol. 10: 3. 68-72.
33. Naghavi, M.R., Toorchi, M., Moghaddam, M., and Shakiba, M.R. 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. Not. Sci. Biol. 7: 3. 349.
34. Nolla, R.J.F., Korndörfer, G.H. and Silva, T.R.B. 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. J Food Agric Environ. 10: 1. 269-272.
35. Oftadeh Fadafen, A., Aminifard, M.H., Behdani, M.A., and Moradinezhad, F. 2018. Evaluation of nitroxin and vermicompost on quantitative characteristics and photosynthetic pigments of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Saffron Res. 5: 2. 163-179. (In Persian)
36. Piper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M. and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen Nothofagus species. Ann Forest Sci. 64: 4. 447-452.
37. Rashtbari, M. and Alikhani, H.A. 2012. Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 22: 2. 113-127. (In Persian)
38. Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N. and Mohebodini, M. 2020. The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. J. Crop Prod. 12: 4. 137-156. (In Persian)
39. Scharf, P.C., Brouder, S.M. and Hoeft, R.G. 2006. Chlorophyll meter reading can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. J. Agron. 98: 3. 655-665.
40. Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2018. Morphology andgrowth and development stages of crops. University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran. 506 p. (In Persian)
41. Seyed Sharifi, R. and Namvar, A., 2017. Bio fertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardebili Press, Ardebil, Iran. 280 p (In Persian)
42. Shadkam, Z. and Mohajeri, F. 2019. The interaction between irrigation interval with manure and vermicompost on vegetative characteristics and yield of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* L.). Quart. J. Plant Prod. 9: 1. 67-82. (In Persian)
43. Shahsavan Markade, M. and Chamani, A. 2014. Effects of various concentrations and time of humic acid application on quantitative and qualitative characteristics of cut stock flower (Matthiola incana 'Hanza'). EJGCST. 5: 19. 157-170. (In Persian)
44. Shi, Y., Wang, Y., Flowers, T.J. and Gong, H. 2013. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. J. Plant Physiol. 170: 9. 847-853.

45. Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. and Laubscher, C.P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. Int. J. Phys. Sci. 5: 13. 1964-1973.
46. Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M., Chauhan, D.K. and Dubey, N.K. 2016. Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultiver and hybrid differing in Arsenate tolerance. Front. Environ. Sci. 4: 46. 1-14.
47. Zarea, M.J., Hajinia, S., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Rejali, F. and Varma, A. 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biol. Biochem. 45: 139-146.
48. Zlatev, Z.S. and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg. J. Plant Physiol. 30: 3-4. 3-18.