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

Effects of salinity, Azosperlium and nanoparticles (zinc and silicon) on yield and some physiological traits of triticale (×*Triticosecale* Wittmak.)

Zahra Mohammadzadeh[1*], Raouf Seyed Sharifi[2], Salim Farzaneh[3], Hamed Narimani[4]

[1] MSc student, Seed Science and Technology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Ariculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: zahra.mhz9821@gmail.com

[2,3] Professors and Associate Professor respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com; E-mail: alimfarzaneh@yahoo.com

[4] Ph.D student, Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: hamed.narimani.72@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/10/31
Revised: 2023/09/29
Accepted: 2023/09/29

Keywords:
Azospirlium
Chlorophyll index
Maximum fluorescence
Quantum yield

ABSTRACT

Background and objectives: Salinity is one of the most important environmental stresses that reduce the growth and yield of crop plants. Application of biofertilizers increases yield and the resistance of plants against various environmental stresses, such as salinity. Also, zinc plays an important role in protein metabolism, photosynthetic activity and some physiological traits crop plants. Zinc deficiency is recognized as a critical problem in plants, especially grown on saline conditions with high pH values. But, recent researches have shown that a small amount of nutrients, particularly Zn applied by foliar spraying can affect ability of plants to salinity stress. Silicon is also a complementary micronutrient for biological systems and has an important physiological role in increasing resistance of plants against various environmental stresses. The aim of this research was to investigate *Azosperlium* and nanoparticles (zinc and silicon) effects on yield and some physiological traits of triticale under salinity stress.

Materials and methods: This experiment was conducted as factorial based on randomized complete design with three replications in greenhouse research of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2022. Factors experimental were included salinity stress at three levels (no application of salinity as control, application of 60, 120 mM salinity) by NaCl, application of plant growth promoting rhizobacteria at two levels (no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*) and foliar application of nanoparticles at four levels (foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, foliar application of 50 $mg.L^{-1}$ nano silicon, combined foliar application of 0.4 $g.L^{-1}$ of nano Zn oxide and 25 $mg.L^{-1}$ of nano silicon).

Results: The results showed that application of *Azospirlium* and foliar application of nano Zn-silicon oxide under no salinity condition increased chlorophyll index (49.24%), relative water content (59.82%), stomata conductivity (57.6%), maximum fluorescence (52.77%), variable fluorescence (136.09%), quantum yield (54.24%) and grain yield (47.23%) in comparison with of no application of PGPR and

nanoparticles under salinity 120 mM. But electrical conductivity and minimum fluorescence (54.6 and 49.15% respectively) decreased in comparison with no application of PGPR and nanoparticles under the same of salinity level.

Conclusion: The results of this study showed that application of *Azospirlium* and foliar application of nano Zn-silicon oxide can increase the grain yield of triticale at 120 mM salinity due to improving fluorescence indices and some physiological traits such as stomata conductivity, chlorophyll index and relative water content. Therefore, application of plant growth promoting rhizobacteria and nanoparticles (Zn and Si) can be suggested as an effective method for moderate the effects of salinity stress.

Cite this article: Mohammadzadeh, Z., Seyed Sharifi, R., Farzaneh, S., Narimani, H. 2023. Effects of salinity, Azosperlium and nanoparticles (zinc and silicon) on yield and some physiological traits of triticale (× Triticosecale Wittmak.). *Crop Production Journal*, 16 (2), 79-104.

© The Authors. DOI: 10.22069/ejcp.2023.20673.2539
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳

تأثیر شوری، آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmak. ×)

زهرا محمدزاده[۱*]، رئوف سیدشریفی[۲]، سلیم فرزانه[۳]، حامد نریمانی[٤]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،
رایانامه: zahra.mhz9812@gmail.com

[۲] به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه مهندسی تولیدو ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،
رایانامه: raouf_ssharifi@yahoo.com ؛ salimfarzaneh@yahoo.com

[٤] دانشجوی دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،
رایانامه: hamed.narimani.72@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۸/۰۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۷/۰۷

واژه‌های کلیدی:
آزوسپریلیوم
شاخص کلروفیل
عملکرد کوانتومی
فلورسانس حداکثر

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. کاربرد کودهای زیستی عملکرد و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مختلف ازجمله شوری را افزایش می‌دهد. همچنین عنصر روی یک نقش مهمی را در متابولیسم پروتئین، فعالیت فتوسنتزی و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاهان ایفا می‌کند. کمبود روی یک مشکل اساسی به‌خصوص در گیاهان رشد کرده در خاک‌های با pH بالا است. در سال‌های اخیر محققان نشان داده‌اند که مقدار کمی از ریزمغذی‌هایی مانند روی به‌وسیله محلول‌پاشی می‌تواند توانایی گیاهان به تنش شوری را تحت تأثیر قرار دهد. سیلیکون نیز یک ریزمغذی مکمل برای سیستم‌های بیولوژیکی است و نقش فیزیولوژیکی مهمی را در افزایش مقاومت در برابر تنش‌های مختلف محیطی دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱٤۰۰ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل تنش شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ٦۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با استفاده از نمک کلرید سدیم، کاربرد باکتری محرک رشد در دو سطح (عدم تلقیح بذر به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم)، محلول‌پاشی با نانو ذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی-گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توأم ۰/٤ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم نانواکسید روی و سیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری، شاخص کلروفیل (٤۹/۲٤ درصد)، محتوای نسبی آب (۵۹/۸۲ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۵۷/٦ درصد)، فلورسانس حداکثر (۵۲/۷۷ درصد)، فلورسانس متغیر (۱۳٦/۰۹ درصد)، عملکرد

کوانتومی (٥٤/٢٤ درصد) و عملکرد دانه (٤٧/٢٣ درصد) را نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار افزایش داد. همچنین هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل به‌ترتیب ٥٤/٦ و ٤٩/١٥ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت همان سطح شوری، کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی نانواکسید روی و سیلیکون می‌تواند عملکرد دانه تریتیکاله را در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌واسطه‌ی بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی همچون هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب افزایش دهد. ازاین‌رو می‌توان کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (روی و سیلیکون) را به‌عنوان راهکار مؤثر برای تعدیل اثرات تنش شوری پیشنهاد کرد.

استناد: محمدزاده، ز.، سیدشریفی، ر.، فرزانه، س.، نریمانی، ح. (١٤٠٢). تأثیر شوری، آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmak. ×). مجله *تولید گیاهان زراعی*، ١٦ (٢)، ١٠٤-٧٩.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20673.2539

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

© نویسندگان.

مقدمه

تریتیکاله گیاهی از تیره غلات است که از تلاقی گندم و چاودار حاصل‌شده است. این گیاه از عملکرد بالا نسبت به گندم و از مقاومت بالا به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در مقایسه با چاودار برخوردار است (۱). شوری یکی از شایع‌ترین تنش‌هایی است که تولید گیاهان زراعی را در زمین‌های خشک و نیمه‌خشک تهدید می‌کند. این تنش در ابتدا با کاهش جذب آب ناشی از منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی خاک، موجب کاهش رشد می‌شود، ولی پس از آن سمّیت عناصر غالب می‌شود (۲). تداوم این شرایط با ایجاد اختلال در عملکرد کوانتومی و فرآیندهای فتوسنتزی گیاه، موجب کاهش عملکرد گیاه تریتیکاله می‌شود (۳). گزارش‌شده است که تنش شوری موجب اختلال در سیستم فتوسنتزی می‌شود. از روش‌های تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل می‌باشد (٤). مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی است (٤). در این راستا سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که شوری با تخریب ساختار غشاء و کاهش محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل، موجب ایجاد اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی، کاهش عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه گندم شد (۵). الکاهتانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان کردند که شوری با ایجاد اختلال در عملکرد کوانتومی، موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و نشت الکترولیتی و کاهش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (٦). در این راستا یکی از راهکارهای بهبود تولید و کاهش اثر شوری، استفاده از باکتری‌های محرک رشد است (٦). کاربرد این باکتری‌ها علاوه بر اثر مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مفید بوده و می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مقاوم به شوری، در همیاری با ریشه گیاهان با سازوکارهای مختلف مانند تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات معدنی، جذب آهن با ساخت سیدروفور، تعدیل سطح هورمون‌های گیاهی مانند اکسین با اتیلن (از طریق فعالیت ACC دآمیناز) و مقابله با عوامل بیماری‌زا با ترشح سیانید هیدروژن (۷)، نقش کلیدی در حاصلخیزی خاک و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی ایفا نموده (۸) و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری می‌شوند. این باکتری‌ها همچنین از طریق کمک به جذب نیتروژن، فسفر، گوگرد و نقشی که این عناصر در سنتز کلروفیل و تأمین آنزیم‌های موردنیاز گیاه دارند، موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی در گیاه می‌شوند (۹). آقایی و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط شوری از طریق کاهش هدایت الکتریکی و بهبود محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (٤). عبدالماجد و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط محدودیت آبی با بهبود عملکرد کوانتومی، محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل موجب افزایش عملکرد دانه برنج شد (۱۰).

از راه‌کارهای مناسب دیگر برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش شوری، کاربرد روی می‌باشد (۱۱). این عنصر به‌عنوان یک ریزمغذی ضروری برای رشد و نمو، کوفاکتور و فعال‌کننده گروه‌های مختلف آنزیمی شامل اکسیدردوکتاز، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز (۱۲) بوده و در بسیاری از فرآیندهای ساختاری و تنظیمی در

ارتباط با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و ساخت پروتئین نقش داشته و عملکرد را افزایش می‌دهد (۱۳). همچنین عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین، آنزیم‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی و تولید شود (۱٤). در این زمینه نریمانی و سیدشریفی (۲۰۲۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط شوری، با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (۱۱). همچنین بابایی و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی و کاربرد باکتری‌های محرک رشد به دلیل بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، ضمن کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه تحت شرایط تنش شوری شد (۱۵).

سیلیکون (Si) پس از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در پوسته زمین و مؤثر در رشد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش است. درواقع سیلیکون از طریق تقویت استحکام دیواره سلولی و تأثیر بر سنتز هورمون‌ها، اثر منفی ناشی از تنش‌های غیرزیستی ازجمله تنش شوری و خشکی را کاهش می‌دهد (۱٦). بخش اعظمی از سیلیکون ذخیره‌شده در بافت‌ها به‌صورت یک مانع فیزیکی عمل کرده و استحکام بافت را افزایش داده و در تحریک برخی از مکانیسم‌های دفاعی و افزایش مقاومت گیاه میزبان علیه بیماری‌ها نقش فعالی دارد (۱۷). همچنین، سیلیکون تغییرات ایجادشده ازجمله افزایش ضخامت دیواره سلولی و بی‌ثباتی ساختار آن و کاهش اندازه ریشه گیاهان تحت شرایط تنش شوری را، با افزایش تحریک و جذب کلسیم، منیزیم و پتاسیم و کاهش انتقال Na^+ و Cl^- به ریشه‌های گیاه تعدیل می‌نماید (۱۸). گزارش شده است که کاربرد نانوسیلیکون از طریق بهبود عملکرد کوانتومی و افزایش پایداری غشاء، موجب افزایش محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل برگ گندم شد (۱۹). نظری و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش با کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل موجب بهبود عملکرد کوانتومی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله شد (۲۰).

اهمیت تریتیکاله به‌عنوان یکی از غلات دومنظوره و نقش باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانوسیلیکون و روی) در تعدیل یا کاهش اثر ناشی از شوری و بررسی‌های محدود انجام‌گرفته در این زمینه، ازجمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد، روند تغییرات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و هدایت الکتریکی در شرایط شوری موردبررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱٤۰۰ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ٦۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با استفاده از نمک کلرید سدیم، کاربرد باکتری محرک رشد در دو سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با آزوسپریلیوم) و محلول‌پاشی با نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر

نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. با استفاده از نمک NaCl و نرم‌افزار Salt Calc مقدار نمک موردنیاز برای هر یک از سطوح شوری در خاک محاسبه شد. در این نرم‌افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک موردنیاز در هر گلدان مشخص و قبل از کاشت به خاک هر گلدان از طریق آب آبیاری اضافه شد. به استناد اعداد حاصل از خروجی نرم‌افزار، در شوری ۶۰ میلی‌مولار مقدار ۲۰۱/۰۷ میلی‌گرم نمک در هر ۱۰۰ گرم خاک گلدان و در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برابر ٤۰۲/۱٤ میلی‌گرم هر ۱۰۰ گرم خاک گلدان بود. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، نمک‌های احتمالی واردشده به زیرگلدانی دوباره در آب حل‌شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. برای تلقیح بذرها با آزوسپریلیوم، از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود به‌همراه محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی- حجمی برای چسبندگی بهتر باکتری به بذرها استفاده شد. سویه خالص این باکتری از موسسه خاک و آب تهیه شد. این مخلوط قبل از کاشت به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. پس از تهیه خاک یکدست، ۱۳ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه‌شد و تمام گلدان‌ها (قطر ٤۲ سانتی‌متر) تا ارتفاع ٤۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. کاشت در تاریخ شش آذر ماه سال ۱٤۰۰ انجام شد. از تریتیکاله رقم "سناباد" با تراکم ٤۰۰ بذر در مترمربع (۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای این رقم است استفاده شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱٤-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله (چهارتا شش برگی و قبل از مرحله چکمه‌ای شدن یا آبستنی) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Physicochemical properties of soil

مشخصات Characteristic	پتاسیم Kava	فسفر Pava	نیتروژن N	روی Zn	کربن آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	عصاره اشباع Saturation	شوری Salinity	بافت Texture	اسیدیته pH
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg/kg)		(درصد) (٪)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg/kg)	(درصد) (٪)					($dS.m^{-1}$)		
مقادیر Amount	255	17.3	0.04	1.02۰	0.72	38.5	42	19.5	47	1.8	لومی سیلتی	7.8

اندازه‌گیری روند تغییرات برخی صفات از ۷۱ روز بعد از کاشت (در مرحله ظهور برگ پرچم معادل با کد ۳۸ براساس مقیاسBBCH) (شروع شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ پرچم 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 (عملکرد کوانتومی) بود. برای

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم، هر چهار روز یک‌بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (OS-30p) از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی سه برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های فلورسانس اندازه‌گیری شد (۳). شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-۵۰۲ مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار اندازه‌گیری شد.

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ پرچم بین ساعت ۱۲-۱۰ روز، از هر گلدان دو برگ پرچم توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی کوستوپولو و همکاران (۲۰۱۰) مقدار آن محاسبه شد (۲۱). به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوای ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد (۱۵). برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم، سعی شد نمونه‌های برگی از ابعاد یکسانی برخوردار باشند. هدایت روزنه‌ای برگ، توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) انجام شد، از هر تیمار به‌طور تصادفی چهار برگ توسعه‌یافته انتخاب و اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی (۲۰ فروردین ۱۴۰۱) پنج بوته به‌ظاهر یکنواخت و مشابه که به‌طور تصادفی در هر گلدان مشخص‌شده بود برداشت شد، سپس میانگین داده‌های حاصل از عملکرد تک بوته در این بوته‌ها به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ پرچم: برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و تنش شوری بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی روند تغییرات این شاخص نشان داد که در تمامی ترکیبات تیماری از روند نزولی نسبتاً مشابهی برخوردار بود، طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به‌دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی، اختلال در شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. با کاربرد آزوسپریلیوم، نانواکسید روی و سیلیکون، روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که در ۹۵ روز بعد از کاشت، بیش‌ترین مقدار این شاخص (۴۳/۷۳) در کاربرد باکتری آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۴۹/۲۴ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۳). کاهش شاخص کلروفیل در شرایط شوری را می‌توان به اختلال در شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) (۱۱) و کاهش سنتز آن به‌دلیل اختلال در جذب برخی عناصر دخیل در سنتز کلروفیل مانند آهن و منیزیم و همچنین افزایش غلظت برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید

آبسیزیک و اتیلن که موجب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز شده، نسبت داد (۲۲). در چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد می‌توانند از طریق کمک به جذب منابع (نیتروژن، فسفر و مواد معدنی ضروری) و یا به بهینه نمودن سطح هورمون‌های گیاهی، موجب افزایش محتوای کلروفیل و بهبود رشد گیاهی می‌شوند (۲۳). همچنین، بخشی از افزایش شاخص کلروفیل به‌واسطه کاربرد باکتری محرک رشد را می‌توان به بهبود محتوای نسبی آب (جدول ۵) نسبت داد. در این راستا، آقایی و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه و همچنین افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش شاخص کلروفیل گندم تحت تنش شوری شد (٤). ممکن است سیلیکون نیز از طریق بهبود محتوای نسبی آب گیاه (جدول ۵)، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و همچنین بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش محتوای کلروفیل شود (٢٤). نظری و همکاران (۲۰۲۲) نیز افزایش محتوای کلروفیل به‌واسطه کاربرد سیلیکون را به افزایش عملکرد کوانتومی، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتزی نسبت دادند (۲۰). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانواکسید روی نیز از طریق بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (جدول ۱۱، ۱۳ و ۱۵) و کاهش آسیب به دستگاه فتوسنتزی، موجب افزایش محتوای کلروفیل شود (۲۵). بخش دیگری از افزایش شاخص کلروفیل به‌واسط محلول‌پاشی نانواکسید روی را می‌توان به افزایش محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۵ و ۹) نسبت داد. در این زمینه شمی و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که کاربرد روی از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن، موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش محتوای نسبی آب‌شده و در نهایت کلروفیل برگ ذرت را افزایش داد (٢٦).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر شاخص کلروفیل برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 2- Analysis of variance the effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf chlorophyll index of triticale under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean Square						
		شاخص کلروفیل (روز پس از کاشت) Chlorophyll Index (Day after planting)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	705**	866.1**	702.3**	816.2**	682.8**	636.9**	92.7**
شوری (S) Salinity	2	313.5**	594.7**	571.9**	658/8**	411.5**	398**	237.8**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	221.2**	393.8**	271**	390.1**	367.6**	50.3**	58.8**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	240.8**	331.9**	275.5**	272**	387.4**	128.9**	99.9**
S×A	2	15.4^{ns}	23.1**	13.9*	5.1^{ns}	26.6*	15.9^{ns}	17.7*
S×N	6	19*	9.4^{ns}	4.4^{ns}	5.8^{ns}	6.3^{ns}	10.9^{ns}	11.3^{ns}
A×N	3	24.8*	6.2^{ns}	14*	19**	5.2^{ns}	14.3^{ns}	3.3^{ns}
S×A×N	6	51.8**	15.1**	12.1**	10.3*	44.4**	32**	29.8**
خطا Error	46	8.1	4.5	3.7	4.3	7.2	6.8	5.2
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	5.12	4.25	4	4.6	6.1	6.4	6

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 ۳- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر شاخص کلروفیل برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 3- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf chlorophyll index of triticale under salinity stress

تیمارها	شاخص کلروفیل (روز پس از کاشت) Chlorophyll Index (Day after planting)						
Treatments	71	75	79	83	87	91	95
$S_1 \times A_1 \times N_1$	50.33^{l-n}	43.66^{l-o}	44.53^{k-m}	41.43^{j-m}	38.2^{k-n}	36.6^{i-l}	32.9^{j-m}
$S_1 \times A_1 \times N_2$	53.76^{h-m}	49.9^{hi}	49.9^{f-i}	44.56^{g-j}	43.36^{g-j}	43^{c-f}	40.43^{b-e}
$S_1 \times A_1 \times N_3$	61.03^{a-e}	55.26^{c-f}	54.86^{a-d}	52.16^{a-c}	49.36^{a-e}	45.36^{a-d}	41.53^{a-c}
$S_1 \times A_1 \times N_4$	63.2^{abc}	59.26^{ab}	57.23^{a}	54.66^{a}	51^{a-c}	48.13^{ab}	42.8^{ab}
$S_1 \times A_2 \times N_1$	58.16^{d-h}	54.43^{d-g}	52^{d-g}	49.8^{b-e}	44.7^{f-j}	44.53^{b-e}	39.66^{b-e}
$S_1 \times A_2 \times N_2$	62.06^{a-e}	58.4^{a-c}	54.36^{a-d}	53.1^{ab}	51.83^{ab}	46.5^{a-c}	42.16^{a-c}
$S_1 \times A_2 \times N_3$	64.23^{ab}	61.2^{a}	55.93^{a-c}	53.96^{a}	52.5^{a}	47.2^{a-c}	43.33^{ab}
$S_1 \times A_2 \times N_4$	65.03^{a}	59.8^{ab}	56.56^{ab}	55.26^{a}	53.4^{a}	49^{a}	43.73^{a}
$S_2 \times A_1 \times N_1$	55.43^{f-k}	41.9^{no}	40^{op}	37.06^{o-q}	33.93^{no}	40.5^{e-i}	37.43^{d-h}
$S_2 \times A_1 \times N_2$	47.9^{no}	47.76^{i-k}	41.83^{m-o}	37.56^{o-q}	35.73^{no}	41.96^{d-g}	35.16^{b-e}
$S_2 \times A_1 \times N_3$	51.96^{j-n}	49.13^{h-j}	43.36^{l-n}	45.03^{g-i}	42.36^{h-k}	35.86^{j-m}	36.76^{e-i}
$S_2 \times A_1 \times N_4$	59.3^{c-g}	53.73^{e-g}	51.13^{f-i}	46^{f-i}	47.03^{c-g}	39.13^{f-j}	39.93^{b-e}
$S_2 \times A_2 \times N_1$	51.06^{k-n}	46.96^{i-l}	42.86^{m-o}	40.8^{6k-n}	40.46^{j-m}	34.36^{k-m}	30.9^{lm}
$S_2 \times A_2 \times N_2$	55.23^{g-k}	51.73^{gh}	49.5^{g-j}	47.13^{d-g}	45.43^{e-i}	41.23^{d-h}	37.7^{d-h}
$S_2 \times A_2 \times N_3$	57.06^{e-i}	56.5^{b-e}	52.73^{c-f}	49.13^{c-f}	47.96^{b-f}	41.86^{d-g}	39.03^{c-f}
$S_2 \times A_2 \times N_4$	59.96^{b-f}	57.5^{b-d}	53.8^{b-e}	50.46^{b-d}	50.23^{a-c}	43.93^{b-e}	40.96^{a-d}
$S_3 \times A_1 \times N_1$	44.9^{no}	40.66^{o}	38.53^{p}	36.4^{pq}	32.76^{o}	32^{m}	29.3^{m}
$S_3 \times A_1 \times N_2$	47.36^{no}	43.13^{m-o}	40.7^{n-p}	35.53^{q}	43.76^{f-j}	41.66^{d-g}	35.73^{f-j}
$S_3 \times A_1 \times N_3$	57.9^{d-h}	44.43^{k-n}	42.3^{m-o}	39.1^{m-p}	37.4^{l-n}	34.96^{j-m}	31.73^{k-m}
$S_3 \times A_1 \times N_4$	54.56^{h-l}	47.83^{i-k}	46.86^{i-k}	42.63^{i-l}	41.13^{i-l}	38.4^{g-k}	35.83^{f-j}
$S_3 \times A_2 \times N_1$	56.56^{e-j}	42.36^{no}	41.06^{n-p}	38.46^{m-q}	34.93^{no}	33.76^{lm}	37.13^{e-i}
$S_3 \times A_2 \times N_2$	49.5^{m-o}	45.4^{k-n}	43.76^{k-n}	40^{l-o}	36.4^{m-o}	37.16^{h-l}	33.6^{i-l}
$S_3 \times A_2 \times N_3$	52.6^{i-m}	45.9^{j-m}	46.53^{j-l}	43.43^{h-k}	46^{d-h}	37.8^{g-l}	34.43^{h-i}
$S_3 \times A_2 \times N_4$	58.23^{d-h}	52.63^{f-h}	48.7^{h-j}	46.4^{e-h}	46.43^{d-h}	40.3^{e-i}	38.6^{c-g}
LSD	4.68	3.521	3.52	3.414	4.53	4.31	3.75

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD باهم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, foliar application of 50 $mg.L^{-1}$ nano Si and combined foliar application of 0.4 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide and 25 $mg.L^{-1}$ of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تأثیر سطوح مختلف شوری بر روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ در طول فصل رشد از الگوی نسبتاً یکسانی برخوردار بود. با افزایش سطح شوری، محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به شرایط عدم اعمال شوری، کاهش بیشتری را نشان داد (جدول ۵). طوری‌که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (٦٧/٧ درصد) در کاربرد باکتری آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری به‌دست آمد (جدول ۵) که در مقایسه با عدم کاربرد باکتری و نانوذرات در بالاترین سطح شوری، از افزایش ۵۹/۸۲ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تحت تنش شوری به‌دلیل کاهش پتانسیل اسمزی و کاهش در میزان جذب آب توسط گیاه می‌باشد (۲۷). سیلیکون با رسوب در سلول‌های نگهبان روزنه، موجب افزایش سختی دیواره، کاهش اتلاف آب از روزنه‌ها و متعاقباً افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (۲٤). نتایج مشابهی نیز توسط نظری و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر اینکه

محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش از طریق بهبود پایداری غشاء و شرایط فتوسنتزی گیاه (عملکرد کوانتومی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل) موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ تریتیکاله شد گزارش‌شده است (۲۰). برخی محققان معتقدند کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز به‌دلیل بهبود جذب عناصر غذایی و تنظیم هورمونی، موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش نشت الکترولیت می‌شود که از این طریق محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (۲۸). در این راستا عبدالماجد و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد با افزایش پایداری غشاء و بهبود هدایت روزنه‌ای برگ، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ برنج شد (۱۰).

بخش دیگری از افزایش محتوای نسبی آب برگ به‌واسطه محلول‌پاشی نانواکسید روی را می‌توان به بهبود عملکرد کوانتومی و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم (جدول ۱۷ و ۹) نسبت داد. در این راستا بابایی و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی به‌دلیل بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، ضمن کاهش هدایت الکتریکی و بهبود عملکرد کوانتومی، موجب افزایش محتوای نسبی آب گندم تحت شرایط تنش شوری شد (۱۵). همچنین گزارش‌شده است که کاربرد روی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و بهبود هدایت روزنه‌ای و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ ذرت شد (۲۶).

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 4- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf relative water content of triticale under salinity stress

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)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	585**	369.57**	707.34**	493.81**	404.73**	332.66**	702.83**
شوری (S) Salinity	2	778.45**	675.84**	808.94**	978.26**	979.71**	947.79**	931.61**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	412.94**	99.66**	344.53**	508.43**	402.47**	333.16**	680**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	288**	331.15**	307.61**	254.12**	456.81**	380.21**	260.95**
S×A	2	45.22^{ns}	39.2^{ns}	48*	1.98^{ns}	64.76*	48.38^{ns}	4.2^{ns}
S×N	6	71.96*	61.25**	48**	39.68**	39.79*	29.19^{ns}	15.44^{ns}
A×N	3	35.34^{ns}	2.72^{ns}	10.18^{ns}	0.15^{ns}	15.11^{ns}	72.43**	14.14^{ns}
S×A×N	6	88.66**	80.41**	106**	48.88**	44.35**	46*	21.78**
خطا Error	46	27	17.33	12.05	9.62	13.12	15.56	6.865
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.07	5.79	5.2	4.754	5.89	6.618	4.635

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 ۵- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 5- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf relative water content of triticale under salinity stress

تیمارها Treatments	محتوای نسبی آب (روز پس از کاشت) Relative water content (Day after planting) (درصد) (٪)						
	71	75	79	83	87	91	95
$S_1 \times A_1 \times N_1$	63.96^{j-l}	67.46^{h-l}	59.68^{k-m}	58.35^{k-m}	57^{j-l}	57.77^{g-i}	51.03^{l-n}
$S_1 \times A_1 \times N_2$	71.23^{e-j}	74.54^{b-g}	65.42^{g-j}	69.79^{c-f}	63.16^{e-i}	61.81^{d-f}	57.48^{f-i}
$S_1 \times A_1 \times N_3$	82.16^{a-c}	78^{a-e}	74.98^{a-d}	73.16^{a-d}	67.83^{b-f}	67.33^{a-d}	62.29^{b-e}
$S_1 \times A_1 \times N_4$	83.13^{ab}	81.4^{a}	77.9^{ab}	74.2^{a-c}	72.34^{ab}	69.66^{a-c}	65.27^{a-c}
$S_1 \times A_2 \times N_1$	80.53^{a-d}	78.94^{a-d}	72.42^{b-f}	71.18^{b-e}	68.9^{a-e}	66.44^{a-d}	63.66^{a-d}
$S_1 \times A_2 \times N_2$	81.43^{a-c}	79.92^{a-c}	75.76^{a-c}	75^{ab}	71.15^{a-c}	68.71^{a-c}	66.27^{ab}
$S_1 \times A_2 \times N_3$	84.97^{a}	80.65^{ab}	77.17^{ab}	75.95^{ab}	74.53^{a}	70.59^{ab}	66.79^{a}
$S_1 \times A_2 \times N_4$	84.4^{a}	82.23^{a}	78.9^{a}	77.26^{a}	73.65^{ab}	71.86^{a}	67.7^{a}
$S_2 \times A_1 \times N_1$	74.6^{b-h}	72.63^{d-i}	67.3^{f-i}	63.1^{h-k}	49.98^{no}	45.45^{jk}	52.38^{j-n}
$S_2 \times A_1 \times N_2$	73.9^{c-h}	61.9^{k-m}	55.9^{mn}	63.73^{g-j}	52.22^{l-o}	61.1^{d-g}	53.18^{i-m}
$S_2 \times A_1 \times N_3$	64.9^{i-l}	64.36^{j-l}	61.2^{j-m}	57.3^{l-n}	58^{i-l}	52.22^{i}	50.08^{mn}
$S_2 \times A_1 \times N_4$	77.76^{a-f}	76^{a-f}	69.75^{d-g}	65.26^{f-i}	66.17^{c-g}	63.3^{c-e}	60.15^{d-g}
$S_2 \times A_2 \times N_1$	70.2^{f-k}	63.36^{k-m}	62.13^{i-l}	61.91^{h-l}	56.12^{j-m}	56.46^{f-i}	55.46^{h-k}
$S_2 \times A_2 \times N_2$	74.13^{c-h}	68.68^{g-k}	68.42^{e-h}	66.27^{e-h}	60.97^{g-j}	59.86^{e-g}	58.33^{e-h}
$S_2 \times A_2 \times N_3$	76.74^{a-g}	73.83^{b-g}	71.4^{c-f}	68.8^{d-g}	64.86^{d-h}	64^{c-e}	61.08^{c-f}
$S_2 \times A_2 \times N_4$	79.13^{a-e}	77.1^{a-f}	73.68^{a-e}	72^{a-d}	69.52^{a-d}	65.16^{b-e}	64.5^{a-c}
$S_3 \times A_1 \times N_1$	58.32^{l}	56.73^{m}	53.2^{n}	52.45^{no}	46.36^{o}	44.26^{k}	42.36^{o}
$S_3 \times A_1 \times N_2$	73.63^{c-h}	71.22^{f-i}	68.3^{e-h}	51.2o	60.94^{g-j}	59.88^{e-g}	43.37^{o}
$S_3 \times A_1 \times N_3$	61.8^{kl}	73.51^{c-h}	57.61^{l-n}	62.82^{h-k}	62^{f-j}	58.82^{e-h}	51.27^{k-n}
$S_3 \times A_1 \times N_4$	67.9^{h-k}	70.37^{f-j}	63.34^{h-k}	59.86^{j-m}	53.39^{l-n}	50.94^{ij}	52.54^{j-m}
$S_3 \times A_2 \times N_1$	61.98^{kl}	61.11^{lm}	56.78^{l-n}	55.77^{m-o}	50.6^{m-o}	50^{i-k}	48.1^{n}
$S_3 \times A_2 \times N_2$	69^{g-k}	66.13^{i-l}	58.95^{k-m}	60.4^{i-m}	54.46^{k-n}	53.31^{hi}	52.02^{k-n}
$S_3 \times A_2 \times N_3$	72.53^{d-i}	71.6^{e-i}	64.4^{g-k}	63.71^{g-j}	59.57^{h-k}	55.72^{f-i}	54.7^{h-l}
$S_3 \times A_2 \times N_4$	74.73^{c-h}	72.93^{d-i}	67^{f-i}	66.73^{e-h}	61.95^{f-j}	58.91^{e-h}	56.56^{g-j}
LSD	8.542	6.842	5.707	5	5.954	6.485	4.306

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD باهم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, foliar application of 50 $mg.L^{-1}$ nano Si and combined foliar application of 0.4 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide and 25 $mg.L^{-1}$ of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم: برهم‌کنش توأم هر سه عامل کاربرد باکتری محرک رشد، نانوذرات و تنش شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٦). بررسی روند تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که در تمامی ترکیبات تیماری از روند نزولی نسبتاً مشابهی برخوردار بود، طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به‌دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی و کاهش محتوای نسبی آب (جدول ۵)، روند نزولی داشت. با کاربرد آزوسپریلیوم و نانواکسید ذرات، روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ۹۵ روز بعد از کاشت، بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای برگ پرچم (۱۵/۷٦ mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) در کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۵۷/٦ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک

رشد و نانوذرات تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد در شرایط شوری کاهش محتوای نسبی آب با اختلال در تبادلات گازی و فرآیندهای فتوسنتزی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (۲٤). نانوسیلیکون نیز با کمک به افزایش جذب آب و بهبود محتوای نسبی آب برگ و همچنین با رسوب در سلول‌های نگهبان روزنه، موجب افزایش سختی دیواره و بازماندن روزنه و افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود (۲٤). در این راستا عبدالماجد و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش می‌تواند با بهبود پایداری غشاء، محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ، هدایت روزنه‌ای گیاه را افزایش دهد (۲۹). به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز از طریق بهبود محتوای نسبی آب (جدول ۵)، عملکرد کوانتومی (جدول ۱۹) و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۹)، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ پرچم شده است. در این زمینه عبدالماجد و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی موجب افزایش هدایت روزنه‌ای گیاه شد (۱۰). شمی و همکاران (۲۰۲۱) نیز اظهار داشتند که کاربرد روی با افزایش محتوای نسبی آب و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ ذرت شد (۲٦). ستار و همکاران (۲۰۲۲) نیز اظهار داشتند محلول‌پاشی روی از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب، موجب بهبود شرایط فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای برگ گندم شد (۳۰).

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 6- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf stomata conductivity of triticale under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		هدایت روزنه‌ای (روز پس از کاشت) Stomatal conductivity (Day after planting)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	199.23**	206.52**	282.26**	136.84**	131.33**	188.73**	224.97**
شوری (S) Salinity	2	124**	149.58**	96.75**	162.73**	71.97**	52.21**	36.12**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	53.21**	190.45**	77.08**	68.83**	32.26**	23.69**	16.82**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	49.85**	71.92**	36.56**	60.3**	35.21**	11.91**	9.71**
S×A	2	5.88^{ns}	0.35^{ns}	20**	0.28^{ns}	3.69*	0.44^{ns}	1.24^{ns}
S×N	6	6.69**	2.87^{ns}	6.87**	0.68^{ns}	3.19**	3.59**	1.84**
A×N	3	1.02^{ns}	8.03**	5.78*	3.56**	1.49^{ns}	0.14^{ns}	0.34^{ns}
S×A×N	6	11.28**	4.54*	6.25**	2.1*	2.93**	3.88**	1.69**
خطا Error	46	2.068	1.677	1.54	0.78	0.92	0.71	0.42
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.13	5	5.07	4.32	5.18	5.31	4.9

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 ۷- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 7- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf stomatal conductivity of triticale under salinity stress

تیمار Treatments	هدایت روزنه‌ای (روز پس از کاشت) Stomatal conductivity (Day after planting) ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)						
	71	75	79	83	87	91	95
$S_1 \times A_1 \times N_1$	25.6^{l-p}	22.73^{l-n}	22.2^{m-q}	19.86^{l-n}	17.53^{j-m}	14.3^{k-m}	12.53^{h-m}
$S_1 \times A_1 \times N_2$	27.7^{g-l}	26^{h-j}	24.7^{g-k}	22.5^{f-i}	19.16^{e-i}	16.9^{c-g}	13.46^{e-i}
$S_1 \times A_1 \times N_3$	30.93^{b-e}	29.63^{a-d}	26.5^{c-g}	23.66^{c-f}	20.2^{b-f}	17.66^{a-d}	14.76^{a-d}
$S_1 \times A_1 \times N_4$	32.6^{ab}	29.93^{a-c}	27.83^{a-d}	25.36^{ab}	21.36^{a-c}	17.9^{a-d}	15.23^{a-c}
$S_1 \times A_2 \times N_1$	29.86^{c-g}	28.96^{b-e}	26.83^{b-f}	24^{b-e}	20.5^{b-e}	17.16^{b-f}	14.46^{b-e}
$S_1 \times A_2 \times N_2$	31.46^{a-d}	29.36^{a-c}	28.2^{a-c}	24.43^{a-c}	21.1^{a-c}	18.1^{a-c}	15^{a-c}
$S_1 \times A_2 \times N_3$	32.06^{a-c}	31.4^{a}	28.63^{ab}	24.93^{a-c}	22.16^{a}	18.33^{ab}	15.5^{ab}
$S_1 \times A_2 \times N_4$	33.46^{a}	30.59^{ab}	29.13^{a}	26.13^{a}	21.73^{ab}	18.6^{a}	15.76^{a}
$S_2 \times A_1 \times N_1$	27.33^{h-n}	21.33^{no}	20.46^{qr}	17.1^{qr}	15.23^{no}	16.16^{e-i}	12.43^{i-m}
$S_2 \times A_1 \times N_2$	24.13^{pq}	21.7^{m-o}	20.93^{p-r}	18.13^{o-q}	15.96^{mn}	16.06^{e-i}	11.1^{np}
$S_2 \times A_1 \times N_3$	25.93^{k-p}	23.63^{k-m}	21.8^{o-q}	19.23^{m-o}	17.83^{i-l}	13.96^{lm}	12^{k-n}
$S_2 \times A_1 \times N_4$	28.76^{e-i}	28.13^{c-g}	25.73^{e-i}	22.76^{e-h}	19.8^{c-g}	15.66^{g-k}	13.6^{e-h}
$S_2 \times A_2 \times N_1$	26.33^{j-p}	25.66^{h-k}	23.76^{i-n}	18.6^{n-p}	17.23^{j-m}	15.2^{i-l}	12.86^{g-l}
$S_2 \times A_2 \times N_2$	28.3^{f-j}	26.76^{f-i}	25.33^{e-i}	20.3^{k-m}	18.43^{g-j}	16^{f-i}	13.26^{f-j}
$S_2 \times A_2 \times N_3$	29.4^{d-h}	27.7^{d-h}	26.03^{d-h}	22.03^{g-j}	19.43^{d-h}	16.6^{d-h}	13.9^{d-g}
$S_2 \times A_2 \times N_4$	30.3^{b-f}	28.56^{b-f}	27.16^{a-e}	23.13^{d-g}	20.83^{a-d}	17.43^{a-e}	14.2^{c-f}
$S_3 \times A_1 \times N_1$	22.3^{q}	20.5^{o}	24.33^{h-l}	16.33^{r}	14^{o}	12.56^{no}	10^{o}
$S_3 \times A_1 \times N_2$	18.63^{e-j}	21^{no}	19.2^{r}	16.73^{qr}	18.36^{g-k}	12.26^{o}	12.76^{h-l}
$S_3 \times A_1 \times N_3$	25^{n-p}	22.1^{m-o}	25.06^{f-j}	17.43^{p-r}	18.73^{f-j}	15.83^{f-j}	13.3^{f-j}
$S_3 \times A_1 \times N_4$	26.76^{i-o}	24.36^{j-l}	22.96^{k-p}	20.66^{j-m}	16.4^{l-n}	14.53^{j-m}	11.8^{l-n}
$S_3 \times A_2 \times N_1$	24.53^{o-q}	22.43^{l-o}	21.43^{o-q}	17.56^{p-r}	15.6^{no}	13.66^{mn}	11.6^{mn}
$S_3 \times A_2 \times N_2$	25.26^{m-p}	24.96^{i-k}	22.56^{l-p}	19.56^{m-o}	16.8^{k-n}	14.86^{i-m}	12.26^{j-m}
$S_3 \times A_2 \times N_3$	27.36^{h-m}	26.43^{g-j}	23.26^{j-o}	21^{i-l}	18.1^{h-k}	15.5^{h-k}	12.73^{h-l}
$S_3 \times A_2 \times N_4$	27.96^{f-k}	27.3^{e-h}	24.2^{h-m}	21.43^{h-k}	18.76^{f-j}	16.13^{e-i}	13.1^{g-k}
LSD	2.363	2.128	2.045	1.458	1.58	1.387	1.066

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD باهم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, foliar application of 50 $mg.L^{-1}$ nano Si and combined foliar application of 0.4 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide and 25 $mg.L^{-1}$ of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

هدایت الکتریکی برگ پرچم: برهم‌کنش توأم باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج معنی‌دار شد (جدول ۸). هدایت الکتریکی برگ پرچم با گذشت زمان در تمامی تیمارهای مورداستفاده (باکتری محرک رشد، نانو ذرات و شوری) از روند صعودی برخوردار بود (جدول ۹)، طوری که در ۹۵ روز پس از کاشت، کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری، از کاهش ٥٤/٦ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری

محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۹). به‌نظر می‌رسد تنش‌های محیطی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، موجب کاهش پایداری غشاء و افزایش نشت مواد سیتوپلاسمی از آن شده و درنتیجه افزایش هدایت الکتریکی را به‌دنبال دارد (۳۱). ولی در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانواکسید روی با بهبود محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی، موجب کاهش هدایت الکتریکی شد (۱۵). محققان معتقدند باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب، با کاهش محتوای Na^+ در سلول‌ها ضمن کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، موجب کاهش نشت الکترولیت می‌شود (۳۲). سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد در شرایط شوری از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و وضعیت آبی گیاه، ضمن کاهش آسیب به غشاء سلولی، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ گندم می‌شود (۵). بخشی از کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم در محلول‌پاشی نانوسیلیکون، می‌تواند ناشی از افزایش عملکرد کوانتومی و محتوای نسبی آب برگ باشد (جدول ۱۷ و ۵)، در این راستا یونس و همکاران (۲۰۲۰) گزاش کردند که کاربرد نانوسیلیکون از طریق بهبود عملکرد کوانتومی و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش پایداری غشاء سلول‌های برگ گندم شد (۱۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر هدایت الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 8- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf electrical conductivity of triticale under salinity stress

منابع S.O.V	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean Square						
		هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت) Electrical conductivity (Day after planting)						
	df	71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	10049.14**	6222.84**	20898.29**	10232.44**	12771.36**	12270.75**	24904.4**
شوری (S) Salinity	2	1266**	2922.54**	4685.83**	7411.97**	467040**	8558.85**	10464.67**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	836.4**	325.12*	1078.8**	499.28^{ns}	2866.5**	1036.64*	3475**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	513.85**	1154.32**	1509**	2401.42**	2576.94**	3412.52**	1537.26**
S×A	2	154.54**	185.94^{ns}	185.92^{ns}	475.13*	134.52^{ns}	461^{ns}	358.68^{ns}
S×N	6	81.23**	159.57^{ns}	413.77**	697.58**	546.5**	469.75*	364.21*
A×N	3	8.86^{ns}	121.38^{ns}	29.94^{ns}	34.25^{ns}	1288.22**	522.81*	78.79^{ns}
S×A×N	6	167.85**	188*	465.22**	917.76**	424.94**	1002**	534.86**
خطا Error	46	25	77.62	77.77	143.83	106.19	171.57	131.83
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.98	8.52	7.51	8.95	6.67	7.49	6.125

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 ۹- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر هدایت الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 9- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf electrical conductivity of triticale under salinity stress

تیمارها Treatments	هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت) Electrical conductivity (Day after planting) (میکروزیمنس بر متر) (µS m-1)						
	71	75	79	83	87	91	95
$S_1 \times A_1 \times N_1$	94^{a-e}	113.73^{b-f}	130.83^{c-f}	145.33^{d-g}	167.23^{d-g}	189.43^{b-g}	198.23^{d-g}
$S_1 \times A_1 \times N_2$	86.6^{e-i}	105.56^{d-i}	106^{j-n}	123.4^{h-m}	135.56^{k-p}	162.27^{i-m}	179.43^{g-l}
$S_1 \times A_1 \times N_3$	76.33^{k-o}	87.33^{k-n}	104.36^{j-o}	111.8^{l-n}	129.43^{n-q}	159.63^{j-n}	173.56^{i-n}
$S_1 \times A_1 \times N_4$	70.23^{n-p}	84.8^{mn}	95.73^{m-o}	110.1^{l-n}	132.76^{m-q}	140.67^{no}	159^{m-o}
$S_1 \times A_2 \times N_1$	74.73^{l-p}	90.9^{j-n}	99^{l-o}	113.86^{k-n}	141.1^{j-o}	153.53^{k-o}	164.16^{k-o}
$S_1 \times A_2 \times N_2$	71.26^{m-p}	89^{j-n}	97.53^{m-o}	107.1^{l-n}	126.23^{o-q}	146.77^{l-o}	126.23^{o-q}
$S_1 \times A_2 \times N_3$	69.2^{op}	85.96^{l-n}	91.4^{o}	104.8^{mn}	121.63^{q}	143.63^{m-o}	156.56^{no}
$S_1 \times A_2 \times N_4$	67.43^{p}	82.86^{n}	93.26^{no}	102.83^{n}	124.13^{pq}	137.23^{o}	152.86^{o}
$S_2 \times A_1 \times N_1$	82.66^{g-l}	107^{d-h}	146.6^{ab}	124.56^{h-l}	199.5^{a}	170^{g-k}	186.23^{f-j}
$S_2 \times A_1 \times N_2$	98^{ab}	101.46^{f-k}	113.16^{h-l}	169.2^{ab}	178.16^{c-e}	197^{b-e}	210.76^{b-e}
$S_2 \times A_1 \times N_3$	88.13^{d-h}	111^{b-g}	123.63^{d-h}	135.9^{f-i}	157.13^{f-j}	181.83^{d-i}	193.96^{e-h}
$S_2 \times A_1 \times N_4$	83^{g-k}	95.4^{h-n}	108.23^{i-m}	120.76^{i-n}	147.3^{h-m}	172.47^{g-k}	182.96^{g-k}
$S_2 \times A_2 \times N_1$	89.33^{c-h}	109.43^{c-h}	128.16^{e-i}	161.73^{a-d}	163.76^{e-h}	210.57^{ab}	185.96^{f-j}
$S_2 \times A_2 \times N_2$	79^{i-m}	107.53^{d-h}	120.56^{e-i}	142.73^{d-h}	160.36^{f-i}	193.83^{b-f}	177.4^{h-m}
$S_2 \times A_2 \times N_3$	78.1^{j-n}	100^{f-m}	115.4^{g-k}	125.53^{g-k}	150.3^{g-l}	156.47^{j-o}	170.73^{j-o}
$S_2 \times A_2 \times N_4$	73.16^{m-p}	92.43^{i-n}	102.7^{k-o}	116.96^{j-n}	139^{k-p}	151.27^{k-o}	167.76^{j-o}
$S_3 \times A_1 \times N_1$	101.2a	130.33a	116.2g-k	177.1a	196.26ab	219.23a	236.33a
$S_3 \times A_1 \times N_2$	82.43h-l	101.13f-k	153.9a	123.5h-m	149.56h-m	166.93h-l	187.43f-i
$S_3 \times A_1 \times N_3$	97.1a-c	124.9ab	137.13b-d	157b-e	181.6b-d	206.9a-c	217.13bc
$S_3 \times A_1 \times N_4$	84.73f-j	103.4f-k	118.53g-k	139.53e-i	153.63g-k	177e-j	207.73b-e
$S_3 \times A_2 \times N_1$	95.73a-d	122.46a-c	140.43a-c	165.43a-c	147.76h-m	203.83a-c	222.96ab
$S_3 \times A_2 \times N_2$	92.43b-f	119.4a-d	133.86b-e	153.23b-f	184.83a-c	200.17a-d	213.6b-d
$S_3 \times A_2 \times N_3$	90.66b-g	116.93a-e	126.26c-h	149c-g	173.23c-f	186.87c-h	203.56c-f
$S_3 \times A_2 \times N_4$	81.7h-l	98.13g-m	112.76h-l	131.8g-k	144.36i-n	168.27g-l	188.6f-i
LSD	8.222	14.48	14.494	19.711	16.936	21.523	18.871

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD باهم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, foliar application of 50 mg.L^{-1} nano Si and combined foliar application of 0.4 g.L^{-1} nano Zn oxide and 25 mg.L^{-1} of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی: برهم‌کنش توأم باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و تنش شوری بر فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۲، ۱۰، ۱٤ و ۱٦). براساس نتایج، در ۹۵ روز پس از کاشت، بیش‌ترین میزان فلورسانس حداقل (۲۰۷/۳۳) برگ پرچم در عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات در بالاترین سطح شوری و کم‌ترین آن (۱۳۹) در کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد (جدول ۱۳). به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی نانوذرات به‌دلیل استفاده مناسب‌تر از رطوبت خاک که با افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم (جدول ۵) نیز همراه است، قادر بود با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی و شاخص کلروفیل، شرایط فتوسنتزی بهتری را ایجاد کرده و مانع از افزایش

بیش‌ازحد فلورسانس حداقل شود (۲۵). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ۹۵ روز پس از کاشت، بیش‌ترین فلورسانس متغیر (۵۰۳/٦۷) برگ پرچم در کاربرد باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۱۳٦/۰۹ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۵). کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری، موجب افزایش ۵۲/۷۷ درصدی فلورسانس حداکثر برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت بالاترین سطح تنش شوری در ۹۵ روز پس از کاشت شد (جدول ۱۱). کاهش در میزان فلورسانس حداکثر و متغیر در شرایط تنش شوری نشان‌دهنده تخریب ساختار غشاء، کاهش محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب و در نهایت کاهش کارایی فتوسیستم II است (٤). بیش‌ترین عملکرد کوانتومی برگ پرچم نیز در کاربرد باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ٥٤/۲٤ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در ۹۵ روز پس از کاشت، برخوردار بود (جدول ۱۷). درواقع نسبت Fv/Fm نشان‌دهنده‌ی بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II و معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است و زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود، مقدار آن به دلیل تخریب ساختار کلروفیل و کاهش محتوای نسبی آب کاهش پیدا می‌کند (۵). در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانواکسید روی با بهبود شاخص کلروفیل، موجب افزایش فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر و کاهش فلورسانس حداقل گندم می‌شود (۱۱). در این راستا بابایی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی با بهبود محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل، موجب افزایش کارایی فتوسیستم II و عملکرد کوانتومی برگ گندم شد (۱۵). همچنین گزارش‌شده است که کاربرد روی از طریق کاهش محتوای Na^+ و بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، موجب افزایش شاخص کلروفیل و کاهش نشت الکترولیت از سلول‌های برگ می‌شود که ضمن کاهش فلورسانس حداقل و بهبود فلورسانس حداکثر و متغیر، موجب افزایش عملکرد کوانتومی می‌شود (۳۳). بخش دیگری از بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را، می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب (جدول ۵) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در تریتیکاله در شرایط تنش با بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و بهبود هدایت روزنه‌ای، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ پرچم شد (۲۰). کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز احتمالاً با افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۳) موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ پرچم می‌شود. در این راستا آقایی و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل بهبود محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی موجب افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و در نهایت بهبود فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ گندم شد (٤). سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزایش عملکرد کوانتومی برگ گندم به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش شوری را، به بهبود محتوای نسبی آب گیاه نسبت دادند که ضمن کاهش آسیب به غشاء سلولی، موجب کاهش هدایت الکتریکی از برگ گندم شد (۵).

جدول ۱۰- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 10- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf maximum fluorescence of triticale under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس حداکثر (روز پس از کاشت) Maximum fluorescence (Day after planting)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	47353.79**	34574.88**	14360.84**	32932**	30584.66**	30403.43**	43809.76**
شوری (S) Salinity	2	107160.79**	92862.51**	122880.43**	72037.34**	61105.16**	88769**	91476.26**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	17578.12**	13972.34**	27300**	14620.5**	40517.55**	6142*	37446.72**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	31720.27**	36487.38**	48076.4**	53920.11**	29610.98**	27136.49**	13679.64**
S×A	2	6379.12*	3080^{ns}	2819^{ns}	7846.12**	3850^{ns}	2806.84^{ns}	3084.84*
S×N	6	5507.1**	5918.1**	4196.22**	2584.62*	4564.87*	5377.43**	698.46^{ns}
A×N	3	1137.27^{ns}	149.23^{ns}	1433.35^{ns}	3790.46*	645^{ns}	1675.71^{ns}	327.87^{ns}
S×A×N	6	6830.99**	6448.87**	3710.25*	3293.36**	6914.27**	4152.82**	2411.93**
خطا Error	46	1619.67	1742.39	1214.76	995.22	1540.72	1087.57	644.28
ضریب‌تغییرات(درصد) CV (%)	-	6.072	6.378	5.48	5.279	6.739	5.869	4.693

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 تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 11- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf maximum fluorescence of triticale under salinity stress

تیمارها Treatments	فلورسانس حداکثر (روز پس از کاشت) Maximum fluorescence (Day after planting)						
	71	75	79	83	87	91	95
$S_1\times A_1\times N_1$	587.67^{l-n}	621^{h-k}	575.67^{k-n}	554.67^{k-o}	438^{k-m}	512.67^{k-p}	506.67^{i-m}
$S_1\times A_1\times N_2$	714.33^{b-g}	689.67^{b-g}	639.67^{f-j}	634^{c-g}	577.33^{f-j}	629^{a-e}	565^{e-h}
$S_1\times A_1\times N_3$	725.67^{a-f}	730^{a-d}	728.33^{a-c}	646.33^{b-f}	636.67^{a-f}	636.33^{a-d}	587^{c-f}
$S_1\times A_1\times N_4$	763^{a-c}	739^{a-c}	750^{ab}	701^{a}	670^{ab}	649.67^{a-c}	627.67^{a-c}
$S_1\times A_2\times N_1$	744^{a-d}	723.33^{a-e}	714.33^{a-d}	665.67^{a-d}	645.33^{a-e}	603.33^{c-g}	610^{a-d}
$S_1\times A_2\times N_2$	755^{a-d}	748.33^{a-c}	719.67^{a-d}	683^{a-c}	664.67^{a-c}	656^{a-c}	619.33^{a-d}
$S_1\times A_2\times N_3$	786.33^{a}	757^{ab}	739.67^{a-c}	692^{ab}	675^{a}	671.67^{a}	634.33^{ab}
$S_1\times A_2\times N_4$	776.33^{ab}	767^{a}	761^{a}	708.33^{a}	683.33^{a}	662^{ab}	642.67^{a}
$S_2\times A_1\times N_1$	640.33^{h-l}	643.67^{g-j}	623.33^{h-k}	469.33^{pq}	582^{e-j}	558^{g-k}	517^{i-l}
$S_2\times A_1\times N_2$	654.67^{g-k}	535^{nm}	633.33^{g-j}	520.67^{l-o}	474.33^{nm}	491.67^{m-p}	481.33^{l-o}
$S_2\times A_1\times N_3$	629^{i-m}	656^{e-i}	588.67^{j-m}	580^{h-l}	565^{g-k}	539.67^{h-m}	518.67^{i-l}
$S_2\times A_1\times N_4$	701^{c-h}	701.33^{a-g}	694^{b-f}	607.67^{e-i}	599.67^{d-h}	580.67^{e-i}	578.33^{f-i}
$S_2\times A_2\times N_1$	597.33^{k-n}	569^{k-m}	607.67^{a-d}	495.33^{o-q}	551.33^{h-l}	520.33^{j-o}	538.33^{g-j}
$S_2\times A_2\times N_2$	641.67^{h-l}	635^{g-k}	623.67^{h-k}	543.67^{k-o}	604^{c-h}	531.33^{i-n}	578^{d-g}
$S_2\times A_2\times N_3$	671.33^{e-j}	680^{c-h}	670^{d-h}	658^{a-e}	629^{a-g}	564.67^{f-k}	594.33^{b-e}
$S_2\times A_2\times N_4$	734.67^{a-e}	715^{a-f}	705.67^{a-e}	674.67^{a-c}	654.67^{a-d}	616.67^{b-f}	603^{a-e}
$S_3\times A_1\times N_1$	628^{i-m}	487.67^{n}	478.67^{p}	458.67^{q}	438^{n}	431.67^{q}	420.67^{p}
$S_3\times A_1\times N_2$	497.33^{o}	654^{f-i}	509^{op}	599^{f-j}	574^{f-k}	567.67^{f-j}	497.67^{j-n}
$S_3\times A_1\times N_3$	564.67^{nm}	583^{j-m}	521.33^{n-p}	621^{d-h}	488^{l-n}	481^{n-q}	457.67^{n-p}
$S_3\times A_1\times N_4$	660.33^{f-k}	645.33^{g-j}	655.67^{e-i}	594.33^{g-k}	589^{e-i}	553.33^{g-l}	489^{k-o}
$S_3\times A_2\times N_1$	554.67^{no}	547.67^{l-n}	533.67^{m-p}	513.33^{n-p}	497.33^{l-n}	461^{pq}	449^{op}
$S_3\times A_2\times N_2$	576.67^{l-n}	600^{i-m}	545.67^{m-o}	520.67^{m-p}	523.67^{j-m}	469.67^{o-q}	469^{m-o}
$S_3\times A_2\times N_3$	614^{j-n}	600^{h-k}	561.33^{l-o}	566.67^{i-m}	535^{i-m}	503.33^{l-p}	498^{j-n}
$S_3\times A_2\times N_4$	689^{d-i}	667^{d-i}	682.67^{c-g}	620.33^{d-h}	610.33^{b-h}	593^{d-h}	528^{i-l}
LSD	66.144	68.604	57.282	51.849	64.512	54.201	41.717

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف ولیری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, foliar application of 50 mg.L^{-1} nano Si and combined foliar application of 0.4 g.L^{-1} nano Zn oxide and 25 mg.L^{-1} of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

جدول ۱۲- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس حداقل برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 12- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf minimum fluorescence of *triticale* under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت) Minimum fluorescence (Day after planting)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	2055.72**	3090.18**	3.18^{ns}	327.79**	4368.43**	2887.54**	4820.37**
شوری (S) Salinity	2	6272.88**	5734.26**	4074.76**	3598.29**	4368.43**	2887.54**	4820.37**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	1521.68**	528.12*	924.5**	917.34**	2738**	485.68*	2461.68**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	1727.79**	4584.37**	2135.4**	2699.16**	1667**	1852.42**	961.82**
S×A	2	427.38**	589.54**	178.79^{ns}	259.43**	280.6	236^{ns}	308*
S×N	6	135.94*	349.93**	155.26*	110^{ns}	294.38**	425.79**	192.24*
A×N	3	35.6^{ns}	13.38^{ns}	373.79*	125.16^{ns}	26.1^{ns}	136.97^{ns}	37.71^{ns}
S×A×N	6	193.81**	400.35**	151.81*	123.3*	442**	283.96**	314.6**
خطا Error	46	56.33	95.71	65.86	51.6	62.21	88.36	76
ضریب تغییرات(درصد) CV (%)	-	6	7.37	5.71	4.88	5	5.68	5.15

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 ۱۳- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس حداقل برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 13- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf minimum fluorescence of triticale under salinity stress

تیمارها	فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت) Minimum fluorescence (Day after planting)						
Treatments	71	75	79	83	87	91	95
$S_1\times A_1\times N_1$	139.33^{c-e}	144.33^{b-f}	153.66^{c-g}	153.66^{c-g}	171.66^{b-e}	178.33^{b-g}	179^{c-h}
$S_1\times A_1\times N_2$	116^{i-l}	127^{g-k}	144.33^{e-i}	142^{g-k}	159^{e-j}	150^{k-o}	166^{h-l}
$S_1\times A_1\times N_3$	112^{j-m}	114.33^{k-o}	122^{m-p}	140.33^{h-k}	146.66^{k-o}	147^{l-o}	159^{j-n}
$S_1\times A_1\times N_4$	100^{m-o}	110^{l-o}	116.33^{op}	121.66^{no}	131.66^{o-q}	143.66^{m-o}	145.33^{n-p}
$S_1\times A_2\times N_1$	106^{l-n}	118.33^{j-n}	127.66^{k-o}	134.66^{j-m}	141.33^{l-p}	157.33^{i-m}	150.66^{m-p}
$S_1\times A_2\times N_2$	102.33^{m-o}	106.33^{m-o}	125.33^{l-p}	128.33^{l-o}	134.66^{n-q}	140.66^{no}	147^{n-p}
$S_1\times A_2\times N_3$	93^{o}	103no	119.66^{n-p}	125^{m-o}	128.66^{pq}	134.66^{o}	142^{op}
$S_1\times A_2\times N_4$	97no	100.66^{o}	113.33^{p}	119.33^{o}	125.33^{q}	137.33^{o}	139^{p}
$S_2\times A_1\times N_1$	126.66^{f-i}	129.33^{f-k}	169.33^{ab}	176.66^{a}	152^{h-l}	165.33^{f-k}	167.33^{h-l}
$S_2\times A_1\times N_2$	123.66^{g-j}	156.66^{ab}	141.33^{g-j}	158^{c-e}	181^{ab}	182.66^{b-e}	186^{b-e}
$S_2\times A_1\times N_3$	130^{d-h}	137.33^{d-i}	150^{c-h}	150^{d-h}	160.33^{e-i}	170.66^{b-i}	176.33^{d-i}
$S_2\times A_1\times N_4$	118.66^{h-k}	124.33^{h-l}	134^{i-m}	146^{f-j}	154.33^{g-k}	163.33^{g-k}	168.66^{g-k}
$S_2\times A_2\times N_1$	137^{c-f}	153^{a-d}	148.66^{d-h}	170^{ab}	163^{d-h}	176^{b-g}	171.66^{f-j}
$S_2\times A_2\times N_2$	128^{e-i}	142^{b-g}	146.33^{e-i}	156^{c-f}	149.33^{i-m}	174^{c-h}	162.33^{i-m}
$S_2\times A_2\times N_3$	123.66^{g-j}	129.66^{f-k}	140^{h-k}	137.33^{i-l}	146.66^{j-n}	166^{f-j}	156.33^{k-n}
$S_2\times A_2\times N_4$	108.66^{k-n}	121.33^{i-m}	130.66^{j-n}	131.33^{k-n}	138^{m-q}	153.66^{j-n}	153.33^{l-o}
$S_3\times A_1\times N_1$	155.66^{ab}	163.33^{a}	173.33^{a}	180.66^{a}	193.33^{a}	203^{a}	207.33^{a}
$S_3\times A_1\times N_2$	158.66^{a}	126.66^{g-k}	139^{h-k}	149^{e-i}	156^{g-k}	160^{h-l}	171^{f-j}
$S_3\times A_1\times N_3$	142.66^{c}	150.66^{a-d}	162.33^{a-c}	143.66^{g-i}	177.33^{bc}	185^{b-d}	190.66^{bc}
$S_3\times A_1\times N_4$	125^{f-i}	139.66^{c-h}	142^{f-j}	147.66^{e-i}	156.33^{f-k}	167.66^{g-k}	184^{b-f}
$S_3\times A_2\times N_1$	145.33^{bc}	154.66^{a-c}	160.33^{a-d}	164.66^{bc}	175^{b-d}	190.66^{ab}	194^{ab}
$S_3\times A_2\times N_2$	141.33^{cd}	148.66^{a-e}	157.66^{b-e}	161.66^{b-d}	169^{b-f}	187^{bc}	188.66^{b-d}
$S_3\times A_2\times N_3$	133.66^{c-g}	147^{b-e}	155.33^{c-f}	151.33^{d-h}	165.33^{c-g}	180.33^{b-f}	182^{b-g}
$S_3\times A_2\times N_4$	122^{g-j}	134^{e-k}	136.66^{h-l}	144^{g-j}	152.33^{h-l}	156.66^{i-m}	173.33^{e-i}
LSD	12.335	16	13.33	11.81	12.96	15.45	14.33

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف ولیری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, foliar application of 50 mg.L^{-1} nano Si and combined foliar application of 0.4 g.L^{-1} nano Zn oxide and 25 mg.L^{-1} of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

جدول ۱۴- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس متغیر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 14- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf variable fluorescence of triticale under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		فلورسانس متغیر (روز پس از کاشت) Variable fluorescence (Day after planting)						
		71	75	79	83	87	91	95
تکرار Replication	2	57696**	50097.3**	14757.3**	36101.7**	23119.2**	28507.5**	25772.9**
شوری (S) Salinity	2	165231.6**	144673.3**	169854.3**	107833.9**	96775.3**	139335.1**	146848.1**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	29443.5**	19933.3**	38272.2**	22862.3*	64320.8**	10082*	59110.6**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	48042.6**	52922.7**	69336.7**	80716.9**	45327.2**	43130.2**	21882.4**
S×A	2	9908.7**	6363.5^{ns}	3655.3^{ns}	10920.1**	6167.72^{ns}	4642.6^{ns}	5156.9^{ns}
S×N	6	7051.7**	8724.1**	4968**	3654.3*	7040.1**	8781.7**	1600.6^{ns}
A×N	3	1267.4^{ns}	112.6^{ns}	2879.8*	5277.9*	914.4^{ns}	2766.3^{ns}	545.7^{ns}
S×A×N	6	8825.6**	9986.4**	4539.9*	4595.9*	10788.4**	6565.2**	4376.2**
خطا Error	46	2069.9	2565.3	1583.35	1454.1	2162.1	1759.45	115.5
ضریب تغییرات (درصد) CV(%)	-	8.45	9.7	8	8.46	10.8	10.5	8.98

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 ۱۵- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فلورسانس متغیر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 15- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf variable fluorescence of triticale under salinity stress

تیمارها Treatments	فلورسانس متغیر (روز پس از کاشت) Variable fluorescence (Day after planting)						
	71	75	79	83	87	91	95
$S_1\times A_1\times N_1$	448.33^{m-o}	476.67^{j-m}	422^{l-o}	401$_{j-n}$	338.67^{i-k}	334.33^{k-p}	327.67^{i-m}
$S_1\times A_1\times N_2$	598.33^{c-g}	562.67^{e-i}	495.33^{g-k}	492^{d-h}	418.33^{e-h}	479^{a-e}	399^{e-h}
$S_1\times A_1\times N_3$	613.67^{b-f}	615.67^{e-i}	606.33^{a-d}	506^{c-g}	493a-e	489.33^{a-d}	428^{a-c}
$S_1\times A_1\times N_4$	663^{a-c}	629^{a-d}	633.67^{ab}	579.33^{ab}	538.33a	506^{a-c}	482.33^{a-c}
$S_1\times A_2\times N_1$	638^{a-e}	605^{a-f}	586.67^{a-e}	531^{a-e}	504a-d	446^{c-g}	459.33^{a-d}
$S_1\times A_2\times N_2$	652.67^{a-d}	642^{a-c}	594.33^{a-e}	554.67^{a-d}	530ab	515.33^{ab}	472.33^{a-c}
$S_1\times A_2\times N_3$	693.33^{a}	654^{ab}	620^{a-c}	567^{a-c}	546.33a	537^{a}	492.33^{ab}
$S_1\times A_2\times N_4$	679.33^{ab}	666.33^{a}	647.67^{a}	589^{a}	558a	524.67^{ab}	503.67^{a}
$S_2\times A_1\times N_1$	513.67^{h-m}	514.33^{g-l}	454^{j-m}	292.67^{pq}	430^{d-h}	392.67^{g-k}	349.67^{h-l}
$S_2\times A_1\times N_2$	531^{g-l}	378.33^{op}	492^{h-k}	375.67^{l-o}	293.33^{kl}	309^{m-p}	295.33^{l-o}
$S_2\times A_1\times N_3$	499^{i-n}	518.67^{g-k}	438.67^{k-n}	430^{h-l}	404.67^{f-i}	369^{h-m}	342.33^{i-l}
$S_2\times A_1\times N_4$	582.33^{d-h}	577^{b-g}	560^{c-g}	461.67^{f-j}	445.33^{e-g}	417.33^{e-i}	379.67^{f-i}
$S_2\times A_2\times N_1$	460.33^{l-o}	416^{m-o}	459^{j-m}	325.33^{o-q}	388.33^{f-j}	344.33^{j-o}	366.67^{g-j}
$S_2\times A_2\times N_2$	513.67^{h-m}	493^{i-m}	477.33^{i-l}	387.67^{k-o}	454.67^{b-f}	357.33^{i-n}	415.67^{d-g}
$S_2\times A_2\times N_3$	547.67^{f-j}	550.33^{d-i}	530^{e-i}	520.67^{b-f}	482.33^{a-e}	398.67^{f-k}	438^{b-e}
$S_2\times A_2\times N_4$	626^{a-e}	593.67^{a-g}	575^{b-f}	543.33^{a-d}	516.67^{a-c}	463^{b-f}	449.67^{a-e}
$S_3\times A_1\times N_1$	460.33^{k-o}	324.33^{p}	305.33^{p}	278^{q}	244.67^{l}	228.67^{q}	213.33^{p}
$S_3\times A_1\times N_2$	338.67^{p}	527.33^{f-k}	370^{op}	450^{g-k}	418^{e-h}	407.67^{f-j}	326.67^{i-m}
$S_3\times A_1\times N_3$	422^{o}	432.33^{l-o}	359^{op}	477.33^{e-i}	310.67^{kl}	296^{n-q}	267^{n-p}
$S_3\times A_1\times N_4$	535.33^{g-k}	505.67^{h-l}	513.67^{f-j}	446.67^{g-k}	432.67^{d-g}	358.67^{g-l}	305^{k-o}
$S_3\times A_2\times N_1$	409.33^{op}	393^{n-p}	373.33^{no}	348.67^{n-p}	322.33^{jk}	270.33^{pq}	255^{op}
$S_3\times A_2\times N_2$	435.33^{no}	451.33^{k-o}	388no	359^{m-o}	354.67^{h-k}	282.67^{o-q}	280.33^{m-o}
$S_3\times A_2\times N_3$	480.33^{j-o}	463.67^{k-n}	406^{m-o}	415.33^{i-m}	369.67^{g-k}	323^{l-p}	316^{j-n}
$S_3\times A_2\times N_4$	567^{e-i}	533^{e-k}	546^{d-h}	476.33^{e-i}	458^{b-f}	436.33^{d-h}	349.67^{h-k}
LSD	74.77	83.24	65.39	62.67	76.422	68.93	54.9

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف ولیری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, foliar application of 50 mg.L^{-1} nano Si and combined foliar application of 0.4 g.L^{-1} nano Zn oxide and 25 mg.L^{-1} of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

جدول ۱۶- تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم و عملکرد دانه تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 16- Analysis of variance of the effect of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf quantum yield and grain yield of triticale under salinity stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square							عملکرد دانه Grain Yield
		عملکرد کوانتومی (روز پس از کاشت) Quantum yield (Day after planting)							
		71	75	79	83	87	91	95	
تکرار Replication	2	0.0048*	0.0094**	0.0027^{ns}	0.0086**	0.01**	0.013**	0.006**	1.84**
شوری (S) Salinity	2	0.017**	0.03**	0.025**	0.031**	0.053**	0.078**	0.112**	1.099**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirlium*	1	0.011*	0.0064*	0.019**	0.015*	0.04**	0.007*	0.04*	0.072*
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	0.0065**	0.013**	0.017**	0.016**	0.026**	0.031**	0.017**	0.56**
S×A	2	0.0024^{ns}	0.0015^{ns}	0.0007^{ns}	0.0006^{ns}	0.0013^{ns}	0.0018^{ns}	0.002^{ns}	0.051^{ns}
S×N	6	0.003*	0.0017^{ns}	0.00059^{ns}	0.0014^{ns}	0.0048**	0.006**	0.0025*	0.03^{ns}
A×N	3	0.0023^{ns}	0.0021^{ns}	0.0069**	0.0056**	0.0011^{ns}	0.0022^{ns}	0.00069^{ns}	0.015^{ns}
S×A×N	6	0.005**	0.0074**	0.0029*	0.0039**	0.0062**	0.0045**	0.004**	0.06**
Error خطا	46	0.0011	0.001	0.0009	0.0009	0.001	0.0012	0.00096	0.017
ضریب تغییرات CV(%) (درصد)	-	4	4	4.01	4.16	4.52	5.06	4.57	5.34

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 ۱۷- مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم و عملکرد دانه تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 17- Means comparison of effects of *Azospirlium* and nanoparticles (Zn and Si) on flag leaf quantum yield and grain yield of triticale under salinity stress

تیمارها Treatments	عملکرد کوانتومی (روز پس از کاشت) Quantum yield (Day after planting)							عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain Yield (g per plant)
	71	75	79	83	87	91	95	
$S_1\times A_1\times N_1$	0.761^{l-n}	0.766^{g-k}	0.732^{j-n}	0.721^{k-n}	0.663^{j-m}	0.651^{h-l}	0.646^{i-m}	2.34^{g}
$S_1\times A_1\times N_2$	0.835^{c-g}	0.814^{b-f}	0.774^{f-i}	0.774^{d-i}	0.724^{e-i}	0.76^{a-d}	0.705^{d-h}	2.671^{c-e}
$S_1\times A_1\times N_3$	0.844^{b-f}	0.741^{a-d}	0.732^{a-c}	0.781^{c-h}	0.773^{a-e}	0.768^{a-c}	0.728^{b-f}	2.803^{a-c}
$S_1\times A_1\times N_4$	0.867^{a-c}	0.849^{a-c}	0.844^{ab}	0.825^{ab}	0.802^{ab}	0.777^{ab}	0.767^{a-c}	2.512^{e-g}
$S_1\times A_2\times N_1$	0.856^{a-e}	0.835^{a-e}	0.82^{a-e}	0.796^{a-f}	0.78^{a-d}	0.738^{b-f}	0.752^{a-d}	2.693^{b-e}
$S_1\times A_2\times N_2$	0.863^{a-d}	0.856^{ab}	0.825^{a-d}	0.811^{a-d}	0.796^{ab}	0.784^{ab}	0.761^{a-c}	2.856^{ab}
$S_1\times A_2\times N_3$	0.88^{a}	0.862^{a}	0.837^{a-c}	0.818^{a-c}	0.808^{a}	0.798^{a}	0.775^{ab}	2.766^{a-d}
$S_1\times A_2\times N_4$	0.873^{ab}	0.867^{a}	0.85^{a}	0.83^{a}	0.815^{a}	0.791^{ab}	0.782^{a}	2.937^{a}
$S_2\times A_1\times N_1$	0.797^{h-k}	0791^{e-i}	0.722^{l-o}	0.622^{qr}	0.726^{e-i}	0.69^{f-i}	0.671^{g-k}	2.031^{h-j}
$S_2\times A_1\times N_2$	0.806^{g-j}	0.705^{mn}	0.767^{f-j}	0.102^{m-o}	0.618^{m}	0.627^{j-m}	0.613^{l-o}	2.373^{g}
$S_2\times A_1\times N_3$	0.791^{i-l}	0.789^{e-i}	0.744^{i-m}	0.74^{i-m}	0.715^{f-j}	0.682^{f-m}	0.659^{h-l}	2.072^{h}
$S_2\times A_1\times N_4$	0.828^{d-h}	0.821^{a-f}	0.806^{b-f}	0.758^{f-k}	0.724^{c-h}	0.717^{c-g}	0.691^{e-i}	2.421^{fg}
$S_2\times A_2\times N_1$	0.769^{k-n}	0.729^{k-m}	0.754^{h-l}	0.655^{pq}	0.704^{g-j}	0.66^{g-k}	0.68^{f-j}	2.012^{h-j}
$S_2\times A_2\times N_2$	0.798^{h-k}	0.774^{f-k}	0.765^{g-k}	0.712^{l-o}	0.752^{b-g}	0.671^{g-k}	0.718^{c-g}	2.582^{d-f}
$S_2\times A_2\times N_3$	0.813^{f-j}	0.807^{c-g}	0.79^{d-h}	0.79^{b-g}	0.766^{a-f}	0.704^{d-h}	0.736^{a-e}	2.482^{fg}
$S_2\times A_2\times N_4$	0.85^{a-e}	0.828^{a-e}	0.814^{a-e}	0.804^{a-e}	0.788a^{-c}	0.75^{a-e}	0.744^{a-d}	2.717^{b-d}
$S_3\times A_1\times N_1$	0.75^{nm}	0.664^{n}	0.637^{p}	0.605^{r}	0.558^{n}	0.529^{n}	0.507^{p}	1.864^{j}
$S_3\times A_1\times N_2$	0.68^{o}	0.799^{d-h}	0.727^{k-o}	0.744^{h-l}	0.714^{f-j}	0.706^{d-h}	0.652^{i-l}	2.054^{hi}
$S_3\times A_1\times N_3$	0.746^{nm}	0.739^{j-m}	0.688^{o}	0.762^{f-j}	0.636^{lm}	0.614^{k-m}	0.583^{no}	2.072^{hi}
$S_3\times A_1\times N_4$	0.808^{f-j}	0.782^{f-j}	0.783^{e-i}	0.75^{g-l}	0.734^{c-h}	0.695^{e-i}	0.623^{k-n}	1.924^{ij}
$S_3\times A_2\times N_1$	0.737^{n}	0.715^{lm}	0.699^{no}	0.678^{op}	0.648^{k-m}	0.585^{nm}	0.567^{o}	1.992^{h-j}
$S_3\times A_2\times N_2$	0.754^{nm}	0.75^{i-m}	0.71^{m-o}	0.688^{n-p}	0.677^{i-l}	0.601^{lm}	0.597^{m-o}	2.033^{h-j}
$S_3\times A_2\times N_3$	0.78^{j-m}	0.757^{h-m}	0.722^{l-o}	0.732^{j-m}	0.69^{h-k}	0.64^{i-m}	0.634^{j-m}	2.012^{h-j}
$S_3\times A_2\times N_4$	0.821^{e-i}	0.797^{d-h}	0.799^{c-g}	0.605^{e-j}	0.749^{b-g}	0.735^{b-f}	0.67^{g-k}	2.047^{h-j}
LSD	0.035	0.0464	0.039	0.04	0.053	0.057	0.051	0.1842

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/٤ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف ولیری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no seed inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, foliar application of 50 mg.L^{-1} nano Si and combined foliar application of 0.4 g.L^{-1} nano Zn oxide and 25 mg.L^{-1} of nano Si respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

عملکرد تک بوته: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانو ذرات و تنش شوری و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر عملکرد تک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۶). بیش‌ترین عملکرد تک بوته (۲/۹۳۷ گرم در بوته) در کاربرد باکتری و محلول‌پاشی نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۴۷ درصدی عملکرد تک بوته نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات در بالاترین سطح شوری برخوردار بود (جدول ۱۷). تنش شوری از طریق اختلال در سیستم فتوسنتزی گیاه و همچنین تخریب و کاهش محتوای کلروفیل، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (۹). بخشی از بهبود عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون و روی در شرایط شوری را می‌توان به تأثیر این عنصر بر بهبود شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (جدول ۳، ۷، ۵، ۱۱ و ۱۵) نسبت داد. در این راستا شمی و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که کاربرد روی با افزایش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد (۲۶). همچنین گزارش‌شده است که کاربرد روی با افزایش پایداری غشاء، بهبود عملکرد کوانتومی و محتوای نسبی آب برگ، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (۱۵). نظری و همکاران (۲۰۲۲) نیز اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق کاهش هدایت الکتریکی و افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب، ضمن بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد (۲۰). در بررسی سایر محققین نیز اظهار داشتند کاربرد نانوسیلیکون در شرایط تنش با بهبود شاخص سبزینگی، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت برگ موجب افزایش عملکرد دانه شد (۳۴). همچنین محمدی کله‌سرلو و همکاران (۲۰۲۳) اظهار داشتند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از طریق کاهش هدایت الکتریکی، بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله تحت تنش شوری شد (۳۵). در این بررسی نیز کاربرد باکتری محرک رشد با بهبود محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ پرچم (جدول ۵، ۳، ۱۱، ۱۳ و ۱۷) موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد که با یافته‌های آقایی و همکاران (۲۰۲۲) در گندم هم‌خوانی داشت (۴).

نتیجه‌گیری کلی

شوری موجب کاهش عملکرد کوانتومی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر شد. در چنین شرایطی کاربرد باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی نانو ذرات (روی و سیلیکون) با کاهش هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل، موجب بهبود عملکرد کوانتومی برگ پرچم شد. کاربرد باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برخوردار بود. همچنین این ترکیب تیماری، موجب افزایش ۴۷/۲۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت بالاترین سطح شوری شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات (روی و سیلیکون) می‌تواند عملکرد دانه

تریتیکاله را به‌واسطه بهبود شاخص کلروفیل، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی حتی تحت شرایط تنش شوری، افزایش دهد.

References

1. Cantale, C., Petrazzuolo, F., Correnti, A., Farneti, A., Felici, F., Latini, A. & Galeffi, P. (2016). Triticale for Bioenergy Production. Agric. Agric. Sci. Procedia. 8: 609-616.
2. Gupta, B. & Huang, B. (2014). Review article mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. Operation. Int. J. Geom. 14: 1-19.
3. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. & 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. Horti.Agrobot. Cluj. Napoca. 44: 1. 116-124.
4. Aghaei, F., Seyed Sharifi, R. & Narimani, H. (2022). Effects of Uniconazole and biofertilizers on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat under salinity soil conditions. J. Plant Res. 35: 1. 112-124. (In Persian).
5. Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R. & Jalilian, J. (2017). Effects of bio fertilizers and cycocel on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Arch. Agron. Soil Sci. 63: 3. 308-318.
6. Al Kahtani, M.D.F., Attia, K.A., Hafez, Y.A., Khan, N., Eid, A.M., Ali, M.A.M. & Abdelaal, K.A.A. (2020). Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. Agron. 10: 1180.
7. Ferreira, C.M., Soares, H.M. & Soares, E.V. (2019). Promising bacterial genera for agricultural practices: An insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects. Sci. Total Environ. 682: 779-799.
8. Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., Sila, M.D. & Egbere, O.J. (2018). Biofertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: (A Review). Dir. Res. J. Agric. Food Sci. 6: 3. 73-83.
9. Yousefpour, Z., Yadvi, A., Balouchi, H.R. & Farajee, H. (2014). Evaluation of yield and some of physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical fertilizer of nitrogen and phosphorous. J. Agroecol. 6: 3. 508-519. (In Persian).
10. Abd El-Mageed, T., Abd El-Mageed, Sh.A., El-Abdelaziz, M.T., Abdelaziz, S. & Abdou, N.M. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth, morph-physiological responses, water productivity, and yield of rice plants under full and deficit drip irrigation. Rice. 15: 16. 1-15.
11. Narimani, H. & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity. J. Soil Manag. Sustain. Product. 10: 2. 89-105. (In Persian).
12. Lacerda, J.S., Martinez, H.E., Pedrosa, A.W., Clemente, J.M., Santos, R.H., Oliveira, G.L. & Jifon, J.L. (2018). Importance of zinc for *Arabica coffee* and its effects on the chemical composition of raw grain and beverage quality. Crop Sci. 58: 1360-1370.
13. Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A. & Shedeed, S. 2010. Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. J. Am. Sci. 6: 14-22.
14. Moradi Telavat, M.R., Roshan, F. & Siadat, S.A. (2015). Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals content, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus*

tinctorius L.). Iranian J. of Crop Sci. 17: 153-164. (In Persian).
15. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. & Khalilzade, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. J. Plant Interact. 12: 1. 381-389.
16. Luyckx, M., Hausman, J.F., Lutts, S. & Guerriero, G. (2017). Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. Front. Plant Sci. 8: 411.
17. Farooq, M.A., Ali, S., Hameed, A., Ishaque, W., Mahmood, K. & Iqbal, Z. (2013). Alleviation of cadmium toxicity by silicon is related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes; suppressed cadmium uptake and oxidative stress in cotton. Ecotoxicol. Environ. Saf. 96: 242-249.
18. Hoffmann, J., Berni, R., Hausman, J.F. & Guerriero, G. (2020). A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops tomato as a model. Biomolecules. 10: 1284.
19. Younis, A.A., Khattab, H. & Emam, M.M. (2020). Impacts of silicon and silicon nanoparticles on leaf ultrastructure and TaPIP1 and TaNIP2 gene expressions in heat stressed wheat seedlings. Biol. Plant. 64: 343-352.
20. 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 Product J. 14: 4. 21-46. (In Persian).
21. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N. & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. Plant Soil. 330: 1-2. 65-71.
22. Neocleous, D. & Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). Sci. Hortic. 112: 282-289.
23. Shweta, S. & Kaur, M. (2017). Plant hormones synthesized by microorganisms and their role in biofertilizer- A review article. Int. J. Adv. Res. 5: 12. 1753-1763.
24. 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. J. Plant Environ. Physiol. 15: 57. 23-38. (In Persian).
25. Prakash, M. & Ramachandran, K. (2005). Effects of moisture stress and anti-transpiration leaf chlorophyll, soluble protein and photosynthetic rate in brinjal plants. J. Agron. 184: 153-156.
26. Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.M.S., Hussain, H.A., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S. & Wang, L. (2021). Efects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. Sci. Rep. 11: 3195.
27. Khan, M.S.A., Karim, M.A., Abullah, A.M., Parveen, S., Bazzaz, M.M. & Hossain, M.A. (2015). Plant water relations and proline accumulations in soybean under salt and water stress environment. J. Plant Sci. 3: 272-278.
28. Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L. & Künstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. Biol. 10: 520.
29. Abd El-Mageed, T.A., Shaaban, A., Abd El-Mageed, S.A., Semida, W.M. & Rady, M.O.A. (2021). Silicon defensive role in maize (*Zea mays* L.) against drought stress and metals-contaminated irrigation water. Silicon. 13: 105831. 1-12.
30. Sattar, A., Wang, X., Ul-Allah, S., Sher, A., Ijaz, M., Irfan, M., Abbas, T., Hussain, S., Nawaz, F., Al-Hashimi, A., Al-Munqedhi, B.M. & Skalicky, M. (2022). Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. Saudi J. Biol. Sci. 29: 3. 1699-1706.
31. Azari, A., Modares Sanavi, S.A.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A.M. &

Alizade, B. (2012). Effect of salinity stress on morphological and physiological of canola and turnip (*Brassica napus* and *B. rapa*). Iranian J. Crop Sci. 14: 2. 121-135. (In Persian).

32. Alharbi, K., Hafez, E., Omara, A.E.D., Awadalla, A. & Nehela, Y. (2022). Plant growth promoting rhizobacteria and silica nanoparticles stimulate sugar beet resilience to irrigation with saline water in salt-affected soils. Plants. 11: 3117.
33. Rasouli, F., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M.B., Aazami, M.A., Ebrahimzadeh, A., Kakaei, K., Dokoupil, L. & Mlcek, J. (2022). Foliar application of ZnO-NPs influences chlorophyll fluorescence and antioxidants pool in *Capsicum annum* L. under salinity. Hortic. 8: 908-914.
34. Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N. & 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).
35. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R. & Narimani, H. (2023). Effects of vermicompost, humic acid and Flabacterium on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of triticale under soil salinity conditions. Environ Stresses Crop Sci. 15: 4. 953-974.