



Effect of Nanoparticles (Zn and Si) and Putrescine on Yield and Grain Filling Components of Wheat under Salinity Stress

Hamed Narimani¹ | Raouf Seyed Sharifi² | Fatemeh Aghaei³

1. Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: hamed.narimani.72@uma.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: raouf_ssharifi@uma.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: f.aghayei@uma.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 1 February 2023

Received in revised form

8 March 2024

Accepted 24 April 2024

Published online 12 June 2024

Keywords:

Chlorophyll index

Grain filling period

Grain filling rate

Grain weight

Root volume

ABSTRACT

Objective: This experiment was conducted to investigate the effects of nanoparticles (Zn and Si) and putrescine on grain-filling components of wheat under salinity stress.

Methods: An experimental factorial based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the research greenhouse of the University of Mohaghegh Ardabili in 2022. The experimental factors included salinity at four levels (without salinity application as control, application of 40, 80, and 120 mM salinity with NaCl) and nanoparticle and putrescine foliar application at eight levels (foliar application with water as control, foliar application of 50 mg.L⁻¹ of Si, foliar application of 1 g.L⁻¹ of Zn, foliar application of 1 mM putrescine, foliar application of Si-Zn, foliar application of Si and putrescine, foliar application of Zn and putrescine, foliar application of Si-Zn and putrescine).

Results: The results showed that the highest grain-filling period and effective grain-filling period were obtained under nanoparticles and putrescine foliar application. This treatment combination under non-saline condition increased the root weight and volume (48.1 and 53.03% respectively), chlorophyll index (45.75%), and grain-filling rate (20%). There was an increase of 45.34, 62.72, 40.5, 36.21 and 37.37% in plant height, spike length, number of grains per spike, 100 grains weight and grain yield, respectively, under non-saline condition and foliar application with nanoparticle and putrescine in compared with no foliar application under 120 mM salinity.

Conclusion: It seems that the foliar application of nanoparticles and putrescine under salinity can increase the yield of wheat by improving root characteristics and grain-filling components.

Cite this article: Narimani, H., Seyed Sharifi, R., & Aghaei, F. (2024). Effect of Nanoparticles (Zn and Si) and Putrescine on Yield and Grain Filling Components of Wheat under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 26 (2), 253-274. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.354129.2789>





تأثیر نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد و اجزای پرشدن دانه گندم تحت تنش شوری

حامد نریمانی^۱ | رئوف سیدشریفی^۲ | فاطمه آقایی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: hamed.narimani.72@uma.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: raouf_ssharifi@uma.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: f.aghayi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف: آزمایش به منظور بررسی تأثیر نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر اجزای پرشدن دانه گندم تحت تنش شوری اجرا شد.

روش پژوهش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با نمک کلریدسدیم) و محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در هشت سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانوآکسیدروی، محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی توأم نانوسیلیکون و نانوآکسیدروی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول‌پاشی نانوآکسیدروی و پوترسین، محلول‌پاشی سیلیکون و نانوآکسیدروی با پوترسین) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیش‌ترین طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه در محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین به‌دست آمدند. این ترکیب تیماری در شرایط عدم اعمال شوری وزن و حجم ریشه (به‌ترتیب ۴۸/۱ و ۵۳/۰۳ درصد)، شاخص کلروفیل (۴۵/۷۵ درصد) و سرعت پرشدن دانه (۲۰ درصد) را افزایش داد. یک افزایش به‌ترتیب ۴۵/۳۴، ۶۲/۷۲، ۴۰/۵، ۳۶/۲۱ و ۳۷/۳۴ درصدی در ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صددانه و عملکرد دانه در شرایط عدم اعمال شوری و محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار وجود داشت.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در شرایط شوری می‌تواند عملکرد گندم را به‌واسطه بهبود خصوصیات ریشه و مؤلفه‌های پرشدن دانه افزایش دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

کلیدواژه‌ها:

حجم ریشه
سرعت پرشدن دانه
شاخص کلروفیل
طول دوره پرشدن دانه
وزن دانه

استناد: نریمانی، حامد؛ سیدشریفی، رئوف و آقایی، فاطمه (۱۴۰۳). تأثیر نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد و اجزای پرشدن دانه گندم تحت تنش شوری. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۲)، ۲۷۴-۲۵۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.354129.2789>



۱. مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است که بیش از ۳۶ درصد از جمعیت جهان، از گندم به دلیل برخورداری از ۵۵ درصد کربوهیدرات‌ها و تأمین ۲۰ درصد از کالری غذایی استفاده می‌کنند. با این حال، افزایش سطح شوری در اراضی با تجمع بیش‌تر یون‌های Na^+ و Cl^- ، اثرات منفی فراوانی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم از جمله جوانه‌زنی، رشد، جذب آب، فتوسنتز، جذب عناصر غذایی، فعالیت‌های آنزیمی دارد که در نهایت موجب کاهش عملکرد گندم می‌شود (حسن‌الزمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). این تنش یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشکی است که اغلب میزان بارندگی آن‌ها به اندازه‌ای نیست که بتواند نمک‌های خاک را شسته و از دسترس ریشه گیاه خارج کند و یا میزان تبخیر بالا منجر به تجمع نمک در لایه‌های مختلف خاک می‌شود (آقایی و همکاران، ۱۳۹۳). در چنین شرایطی فراهمی عناصر غذایی در محلول خاک به واسطه غلظت زیاد یون‌های سدیم و کلر، کاهش یافته و منجر به اختلال در تغذیه و برهم‌خوردن تعادل عناصر غذایی گیاه می‌شود. نقش تغذیه صحیح در این شرایط بسیار دارای اهمیت بوده تا با کمک به حفظ تعادل عناصر غذایی، زمینه رشد و عملکرد مطلوب گیاه فراهم شود (مرشدی^۲ و فرحبخش^۳، ۲۰۱۲).

امروزه کاربرد نانوذرات در گیاهان به دلیل تأثیر بی‌نظیر آن‌ها در نفوذ سریع و راحت‌تر به درون غشای سلولی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (الرامادی^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). از نانوذرات مؤثر در شرایط تنش، نانوآکسیدروی است که نقش مهمی در تعدیل اثر منفی ناشی از شوری و افزایش عملکرد گندم دارد (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۹). روی از عناصر ریزمغذی ضروری برای گیاهان است که در کارکرد صحیح برخی از آنزیم‌ها مؤثر است. روی از طریق تنظیم فیتوهورمون‌ها، سنتز کلروفیل، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و همچنین افزایش سنتز تریپتوفان که یکی از پیش‌سازهای ایندول استیک اسید می‌باشد، منجر به افزایش رشد می‌شود. با توجه به حالیت نسبتاً بالای نانوذرات روی و همچنین توانایی گیاهان در جذب و انباشت این نانوذرات در زیست‌توده خود، نانوذرات روی می‌توانند به‌عنوان یک نانوکود مؤثر برای رشد گیاهان استفاده شوند (سرخوش^۵ و همکاران، ۲۰۲۲).

سیلیکون بعد از اکسیژن دومین عنصر فراوان در خاک و یکی دیگر از عناصر مفید برای بهبود رشد گیاهی است که با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی، در بسیاری از فرایندهای گیاهی از جمله واکنش‌های اسمزی، فرایندهای متابولیکی، فیزیولوژی روزنه، فیتوهورمون‌ها و روابط مبدأ و مقصد، دخیل می‌باشد (اهیر^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). به همین دلیل است که ریشه همه گیاهان در خاک مقداری سیلیکون در بافت خود دارند (بالاخینا^۷ و بورکوسکا^۸، ۲۰۱۳) و مؤسسه بین‌المللی تغذیه گیاه^۹ سیلیکون را به فهرست عناصر غذایی مفید اضافه کرده است (اولت^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷). این عنصر به دلیل بهبود استحکام مکانیکی گیاه و کاهش اثر ناشی از تنش‌های غیرزیستی، در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی مؤثر است (یان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸).

1. Hasanuzzaman
2. Morshedi
3. Farahbakhsh
4. EL-Ramady
5. Sarkhosh
6. Ahire
7. Balakhnina
8. Borkowska
9. International of Plant Nutrition Institute (IPNI)
10. Ouellette
11. Yan

یکی دیگر از راه‌کارهای بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش، کاربرد پلی‌آمین‌هایی با وزن مولکولی کم همانند پوترسین است که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژی همانند پایداری غشای یاخته‌ای، فعال کردن دریاچه‌های یونی، ذخیره کربن و نیتروژن، جلوگیری از تخریب کلروپلاست، و افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم مؤثر است. پلی‌آمین‌ها به‌عنوان یک منبع نیتروژنی، ضمن تحریک رشد گیاه و جلوگیری از سنتز اتیلن در گیاهان، در حذف رادیکال‌های آزاد و تأخیر پیری گیاهان مؤثرند (حسن‌الزمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).

گسترش روزافزون اراضی شور و اهمیت محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در تعدیل یا کاهش بخشی از اثرات ناشی از تنش شوری و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم در شرایط شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. پیشنهاد پژوهش

تنش شوری می‌تواند از طریق کاهش رشد ریشه و تخریب ساختار کلروفیل، ضمن کاهش طول دوره و سرعت پرشدن دانه موجب کاهش وزن دانه گندم می‌شود (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). در چنین شرایطی کاربرد نانوذرات روی با افزایش بیان و بهبود فعالیت نیترات ردوکتاز و کربنیک انهدراز، دو آنزیمی که به‌ترتیب نقش کلیدی در جذب نیتروژن و سنتز کلروفیل دارند، موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (سرخوش^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). بابایی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که در شرایط شوری محلول‌پاشی با نانوآکسیدروی از طریق افزایش شاخص کلروفیل، وزن خشک، حجم ریشه و بهبود سرعت و طول دوره پرشدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌گردد. هم‌چنین خیری‌زاده آروق و سیدشریفی (۱۳۹۷) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوآکسیدروی در شرایط تنش شوری با بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه و اجزای عملکرد، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش نیز با افزایش وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (احمدی نورالدین‌وند و همکاران، ۱۴۰۰). نظری و همکاران (۱۴۰۰ الف) نیز اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق افزایش وزن و حجم ریشه و بهبود فرایندهای فتوسنتزی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط تنش شد. محمدی کله‌سرلو و سیدشریفی (۱۴۰۰) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون در شرایط شوری از طریق کاهش وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل ضمن بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه، موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صدانه و عملکرد دانه تریتیکاله شد.

محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) اظهار داشتند که محلول‌پاشی با پوترسین در شرایط تنش شوری با کمک به افزایش وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل و اجزای پرشدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین با افزایش میزان فتوسنتز برگ و بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد دانه گندم می‌شود (عمادی و همکاران، ۱۹۳۲). لیو^۳ و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که کاربرد پوترسین در شرایط تنش با بهبود سرعت پرشدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد.

1. Hasanuzzaman
2. Sarkhosh
3. Liu

۳. روش‌شناسی پژوهش

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد، اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با نمک کلرید سدیم) و محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در هشت سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسیدروی، محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، محلول پاشی نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، محلول پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول پاشی نانواکسیدروی و پوترسین، محلول پاشی توأم نانواکسیدروی و سیلیکون با پوترسین) بود. به استناد هدایت الکتریکی و درصد عصاره اشباع خاک، به کمک نرم‌افزار Salt Calc مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان در هر یک از سطوح شوری محاسبه و همراه آب آبیاری اعمال شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، نمک‌های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. به هر گلدان ۲۰ کیلوگرم خاک اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ۴۲ سانتی‌متر، تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. از گندم رقم "کاسکوژن" با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، استفاده شد. 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) و رطوبت نسبی $65 \pm 7\%$ درصد نگهداری شدند.

محلول پاشی با نانوذرات و پوترسین در دو مرحله از رشد گیاه (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH^۱) (مراحل رشدونمو گیاهان زراعی براساس کدهای مشخص و تعریف شده برای هر مرحله از مراحل رشدی گیاهان تعیین شده است) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول (۱) و مشخصات نانواکسیدروی و سیلیکون در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

ویژگی اسیدیته	شوری خاک	بافت عصاره اشباع	رس سیلت	شن کربن آلی	نیترژن روی	فسفر	پتاسیم
میزان	(دسی‌زیمنس بر متر)	سیلت	(درصد)	(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۷/۸	۱/۸	۴۷	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴
						۱/۰۲	۲۷/۳
							۲۵۵

جدول ۲. مشخصات نانواکسیدروی و نانوسیلیکون

نوع نانوذرات	وزن (گرم)	خلوص (درصد)	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانواکسیدروی	۱۰۰	۹۹	۳۰	$m^2 \cdot g^{-1} > 30$	پودری سفید
نانوسیلیکون	۰/۰۵	۹۹	۳۰-۲۰	$m^2 \cdot g^{-1} > 30$	پودری سفید

اندازه‌گیری روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم از ۷۴ روز بعد از کاشت (مرحله ظهور کامل برگ پرچم معادل با کد ۳۹ از مقیاس BBCH) شروع و تا ۱۱۴ روز پس از کاشت (اوسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی هر ۱۰ روز یک‌بار اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، ریشه‌ها از گلدان‌ها خارج و برای خشک‌شدن در آون با دمای 70 ± 5 درجه به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. سپس وزن خشک ریشه با تراوزی دیجیتالی با دقت 0.001 گرم توزین و میزان حجم ریشه‌ها نیز با استفاده از روش استوانه مدرج اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین مؤلفه‌های پرشدن دانه، از ۱۲ روز پس از سنبله‌دهی در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار، از بین بوته‌های مشابه و یکسان (از نظر ظاهری که از مراحل رشدی یکسانی برخوردار بودند و قبل از نمونه‌برداری با نخ رنگی علامت‌گذاری شده بودند) در هر سری نمونه‌برداری دو بوته برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند. بعد به‌مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای 130 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک‌بذر از تقسیم وزن خشک کل بذر به تعداد بذر برآورد شد (رونانینی^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پرشدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) براساس رویه DUD و دستورالعمل Proc نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پرشدن دانه، t_0 پایان دوره پرشدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند؛ مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پرشدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پرشدن دانه را نشان می‌دهد (الیس^۲ و پیتافیلهو^۳، ۱۹۹۲). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پرشدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پرشدن دانه از رابطه زیر استفاده شد (الیس^۴ و پیتافیلهو^۵، ۱۹۹۲).

$$EFP = MGW / b \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، EFP دوره مؤثر پرشدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پرشدن دانه است. در زمان رسیدگی تعداد شش بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه به‌طور تصادفی در هر گلدان برداشت شد، سپس صفات مختلف مانند ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک‌بوته اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (نسخه ۲۰۱۳)، و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۶ در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. شاخص کلروفیل برگ پرچم

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهم‌کنش توام محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین و تنش شوری بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

1. Ronanini
2. Ellis
3. Pieta-Filho
4. Ellis
5. Pieta-Filho
6. Least Significant Difference

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص کلروفیل برگ پرچم گندم تحت شرایط تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)				
		۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴
تکرار	۲	۳۰۷/۵۵۷**	۴۶۰/۴۶۷**	۱۱۷/۶۱۱**	۸۳۲/۶۱۳**	۵۸۱/۱۱۳**
شوری (S)	۳	۴۹/۶۸۵**	۲۴۰/۷۶۶**	۲۰۵/۸۰۵**	۲۱۱/۴۵۱**	۱۴۲/۵۱۹**
محلول پاشی (N)	۷	۷۰/۱۴۲**	۱۳۱/۹۲**	۱۷۹/۶۴۶**	۱۷۸/۳۲۷**	۲۲۸/۷۸۶**
شوری × محلول پاشی (S×N)	۲۱	۱۳/۶۸**	۲۸/۳۷**	۳۲/۹۵**	۲۹/۱۱۱**	۲۳/۶۸۱**
خطا	۶۲	۴/۳۰	۹/۱۵	۸/۲۴	۸/۶۶	۷/۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۰۱	۷/۶۳	۶/۴۵	۶/۰۳	۵/۲۸

ns * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

تغییرات این شاخص در تمامی ترکیبات تیماری از روند نزولی نسبتاً مشابهی برخوردار بود، به طوری که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی و پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت. با محلول پاشی نانوذرات و پوترسین، روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد (جدول ۴)، به طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد محلول پاشی توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری، موجب افزایش ۴۵/۷۵ درصدی شاخص کلروفیل برگ پرچم نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار در ۱۱۴ روز پس از کاشت شد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص کلروفیل برگ پرچم گندم تحت شرایط تنش شوری

ترکیب تیماری	شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)				
	۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴
S ₁ ×N ₁	۳۳/۶۳g-l	۳۸/۲۶d-i	۴۲/۹۰g-k	۴۸/۶۳g-l	۵۰/۹۳f-j
S ₁ ×N ₂	۳۲/۴۰i-m	۴۳/۱۳b-d	۳۹/۶۳kl	۴۴/۹۶k-o	۴۹/۳۶h-l
S ₁ ×N ₃	۳۱/۶۰j-m	۳۴/۶۶h-l	۴۷/۱۳d-g	۵۰/۸۳d-i	۵۳/۷۳d-h
S ₁ ×N ₄	۳۶/۲۶c-g	۴۴/۱۶a-c	۴۷/۱۶d-g	۵۳/۵۲a-f	۴۹/۳۶h-l
S ₁ ×N ₅	۳۹/۳۳a-c	۴۶/۷۳ab	۴۹/۰۳b-f	۵۶/۷۰a-c	۶۰/۱۲ab
S ₁ ×N ₆	۳۹/۹۶ab	۴۵/۷۶ab	۵۲/۲۳ab	۵۵/۲۶a-e	۵۸/۷۲a-c
S ₁ ×N ₇	۳۸/۶۳a-e	۴۷/۰۳ab	۵۲/۹۳ab	۵۶/۸۳ab	۵۹/۶۰ab
S ₁ ×N ₈	۴۱a	۴۹/۰۳a	۵۳/۸۳a	۵۷/۷۰a	۶۱/۸۶a
S ₂ ×N ₁	۳۳/۲۳g-l	۳۸/۶۰d-h	۳۹/۳۰kl	۴۵/۰۶k-o	۴۶/۸۶j-n
S ₂ ×N ₂	۳۲/۰۳i-m	۳۶/۹۶g-j	۴۵/۸۳e-i	۴۴/۲۳l-o	۵۰/۰۶g-l
S ₂ ×N ₃	۳۳/۶۶g-l	۴۰/۲۳c-g	۳۹/۱۶kl	۴۵/۹۰j-n	۴۶/۸۳j-n
S ₂ ×N ₄	۳۵/۰۶f-i	۴۲/۷۳b-e	۴۴/۸۰f-j	۴۳/۴۳m-p	۵۰/۹۰f-j
S ₂ ×N ₅	۳۴/۱۰fg-k	۴۳/۲۰b-d	۴۷/۸۶c-f	۵۵/۶۳a-d	۵۸/۱۶a-d
S ₂ ×N ₆	۳۰/۶۶l-n	۳۶/۸۳g-j	۴۹/۲۰a-f	۵۱/۹۶c-g	۵۸/۷۶a-c
S ₂ ×N ₇	۳۳/۰۳g-l	۳۷/۵۳f-j	۴۲/۲۶h-k	۴۵/۸۰j-n	۴۸/۵۰i-m
S ₂ ×N ₈	۳۹/۷۰ab	۴۶/۷۳ab	۵۲/۰۳a-c	۵۶/۳۳a-c	۶۰/۰۶ab

S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار. N₁، N₂، N₃، N₄، N₅، N₆، N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسیدروی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسیدروی و پوترسین، کاربرد توأم نانوسیلیکون و نانواکسیدروی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

ادامه جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص کلروفیل برگ پرچم گندم تحت شرایط تنش شوری

شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)						ترکیب تیماری
۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴		
۲۹/۵۳ ^{mn}	۳۳/۵۰ ^{i-l}	۳۷/۵۰ ^{lm}	۴۰/۶۶ ^{op}	۴۴/۵۶ ^{mn}		S ₃ ×N ₁
۳۴/۰۶ ^{f-k}	۴۲/۱۰ ^{b-f}	۴۷/۲۶ ^{d-g}	۴۹/۷۰ ^{f-k}	۴۵/۷۰ ^{l-n}		S ₃ ×N ₂
۳۵/۳۶ ^{e-i}	۳۸/۰۳ ^{e-i}	۴۰/۹۶ ^{j-l}	۴۳/۸۳ ^{l-o}	۴۶/۱۳ ^{k-n}		S ₃ ×N ₃
۳۱/۳۳ ^{k-n}	۳۳/۹۰ ^{h-l}	۴۰/۱۳ ^{j-l}	۴۲/۶۶ ^{n-p}	۴۸/۲۰ ^{i-m}		S ₃ ×N ₄
۳۴/۴۶ ^{f-k}	۳۸/۰۳ ^{e-i}	۴۰/۳۶ ^{j-l}	۴۶/۹۶ ^{h-n}	۵۵/۷۰ ^{b-e}		S ₃ ×N ₅
۳۴/۲۳ ^{f-k}	۳۶/۸۳ ^{g-j}	۴۳/۱۳ ^{g-k}	۵۱/۴۰ ^{d-h}	۵۲/۷۰ ^{e-i}		S ₃ ×N ₆
۳۴/۷۳ ^{f-j}	۴۰/۴۳ ^{c-g}	۴۷/۰۶ ^{d-g}	۴۷/۷۳ ^{g-m}	۵۴/۱۶ ^{d-g}		S ₃ ×N ₇
۳۹/۰۳ ^{a-d}	۴۵/۴۳ ^{ab}	۵۱/۱۶ ^{a-c}	۵۴/۷۰ ^{a-e}	۵۷/۳۰ ^{b-d}		S ₃ ×N ₈
۲۸/۱۳ ⁿ	۳۰/۵۰ ^l	۳۴/۲۰ ^m	۳۸/۶۳ ^p	۴۲/۴۰ ⁿ		S ₄ ×N ₁
۳۲/۶۰ ^{h-m}	۳۷/۲۶ ^{f-j}	۴۱/۷۳ ^{h-l}	۴۶/۳۳ ⁱ⁻ⁿ	۴۶/۸۶ ^{j-n}		S ₄ ×N ₂
۳۴/۳۰ ^{f-k}	۳۸/۱۰ ^{e-i}	۳۷/۱۶ ^{lm}	۴۸/۴۶ ^{g-l}	۵۲/۲۰ ^{e-i}		S ₄ ×N ₃
۳۰/۵۶ ^{l-n}	۳۳/۰۶ ^{j-l}	۴۶/۲۶ ^{e-h}	۴۳/۴۳ ^{m-p}	۵۰/۴۶ ^{f-k}		S ₄ ×N ₄
۳۳/۵۳ ^{g-l}	۳۵/۹۳ ^{g-k}	۴۱/۲۶ ^{i-l}	۴۵/۸۳ ^{j-n}	۵۱/۷۳ ^{e-i}		S ₄ ×N ₅
۳۵/۸۳ ^{d-h}	۳۱/۸۰ ^{kl}	۳۹/۸۰ ^{kl}	۴۵/۷۳ ^{j-n}	۴۸/۲۰ ^{i-m}		S ₄ ×N ₆
۳۴/۵۰ ^{f-k}	۳۷/۳۶ ^{f-j}	۴۰/۱۰ ^{kl}	۵۰/۴۶ ^{e-j}	۵۴/۱۰ ^{d-g}		S ₄ ×N ₇
۳۷/۴۰ ^{b-f}	۴۴/۶۰ ^{a-c}	۴۹/۷۰ ^{a-e}	۵۲/۴۰ ^{b-g}	۵۴/۹۴ ^{c-f}		S ₄ ×N ₈
۳/۳۸	۴/۹۳	۴/۶۸	۴/۸۰	۴/۵۰		LSD

S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار. N₁، N₂، N₃، N₄، N₅، N₆، N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسیدروی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسیدروی و پوترسین، کاربرد توام نانوسیلیکون و نانواکسیدروی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

۴.۲. وزن خشک و حجم ریشه

بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) بیان کرد که تأثیر تیمارهای محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری و برهم کنش توأم این دو عامل بر وزن و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر وزن خشک ریشه و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم تحت شرایط تنش شوری

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
دوره مؤثر	طول دوره	سرعت	حداکثر وزن	حجم	وزن خشک		
پرشدن دانه	پرشدن دانه	پرشدن دانه	دانه	ریشه	ریشه		
۱۴۸/۸۴۶ ^{**}	۲۷/۴۳۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۹ ^{**}	۰/۰۰۰۱۲۵۳ ^{**}	۱۲/۳۹۷۸۱ ^{**}	۰/۰۰۸۳۶۳ ^{**}	۲	تکرار
۴۹/۴۰۳ ^{**}	۴۰/۰۶۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۰۶ ^{**}	۰/۰۰۰۳۴۰۵ ^{**}	۲/۰۸۶۷۷ ^{**}	۰/۰۱۷۷۷۹ ^{**}	۳	شوری (S)
۱۹/۲۵۰ ^{**}	۱۵/۱۷۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۰۲ ^{**}	۰/۰۰۰۱۱۹۹ ^{**}	۰/۹۱۸۳۱ ^{**}	۰/۰۰۷۳۴۸ ^{**}	۷	محلول پاشی (N)
۱/۱۹ ^{**}	۱/۸۹۵ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۰۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۹۴ ^{**}	۰/۰۶۳۳۵ ^{**}	۰/۰۰۰۶۲۵ ^{**}	۲۱	شوری × محلول پاشی (S×N)
۰/۸۷۱	۱/۴۴۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۴۶	۰/۰۳۰۰۷	۰/۰۰۰۲۸	۶۲	خطا
۳/۰۹	۳/۲۰۵	۴/۰۲	۵/۰۵	۴/۸۸	۵/۲۰	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

محلول پاشی توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیشترین وزن و حجم ریشه (۰/۳۹۱) گرم در بوته و ۰/۲۶۴ سانتی متر مکعب در بوته) و از افزایش به ترتیب ۴۸/۱۰ و ۵۳/۰۳ درصدی این صفات نسبت به عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری برخوردار بود (جدول ۶).

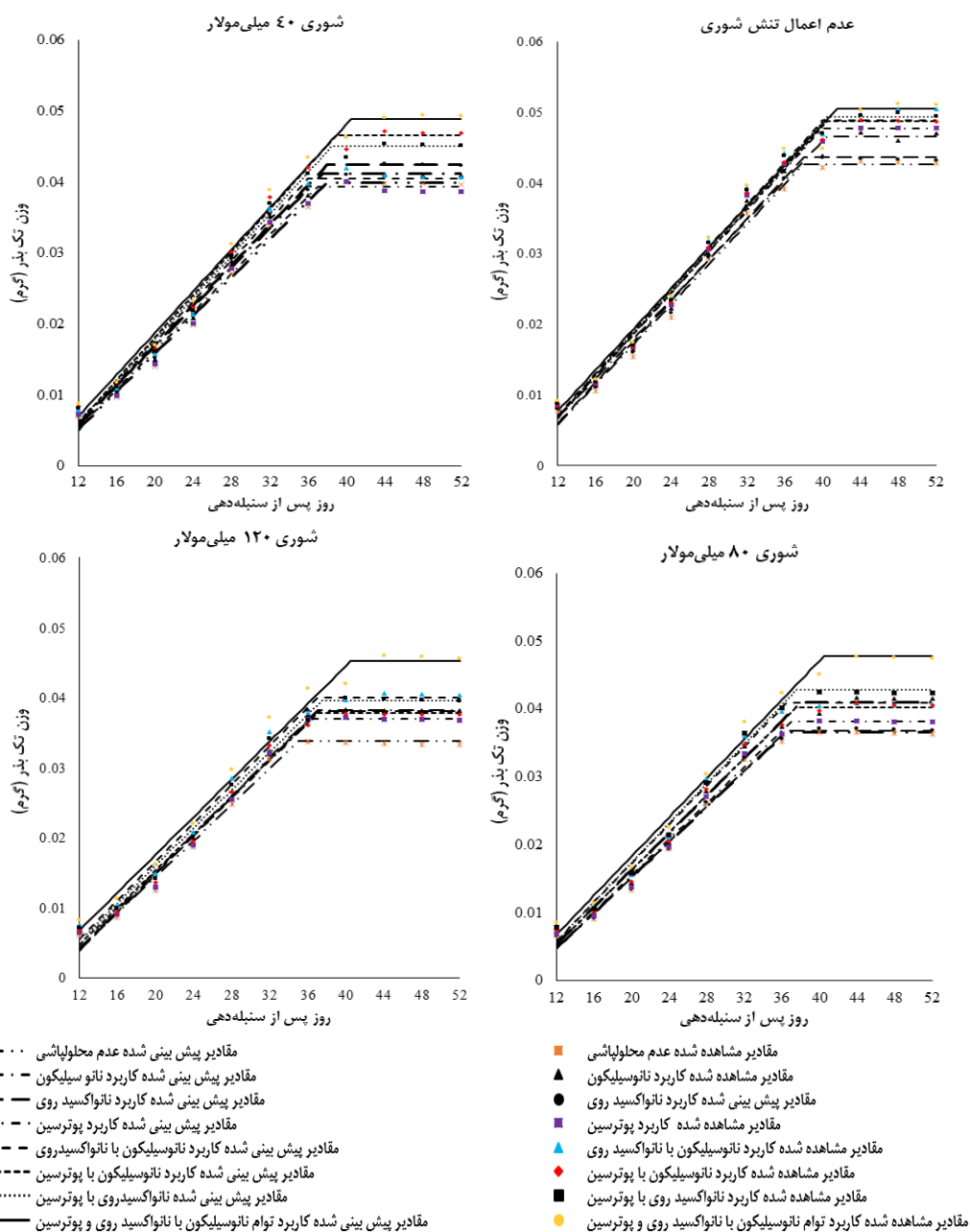
جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر حجم و وزن خشک ریشه و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم تحت تنش شوری

معادله برازش شده	سرعت پرشدن دانه (گرم در روز)	حداکثر وزن دانه (گرم)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	ترکیب تیماری
Y=0.00142x-0.0113	۰/۰۰۱۴۱c-e	۰/۰۴۲۳f-h	۳/۴۶۶h-j	۰/۳۱۷pq	S ₁ ×N ₁
Y=0.00140x-0.0101	۰/۰۰۱۴۶b-d	۰/۰۴۷۱b-d	۳/۷۶۶ef	۰/۳۴۰kl	S ₁ ×N ₂
Y=0.00145x-0.0115	۰/۰۰۱۴۱c-e	۰/۰۴۲۴e-g	۴/۰۳۳bc	۰/۳۷۳ed	S ₁ ×N ₃
Y=0.00146x-0.0107	۰/۰۰۱۵۲ab	۰/۰۴۷۷a-d	۳/۷۶۶ef	۰/۳۵۱ij	S ₁ ×N ₄
Y=0.00149x-0.0108	۰/۰۰۱۵۴ab	۰/۰۵۰۴ab	۴/۱۳۳ab	۰/۳۸۵ab	S ₁ ×N ₅
Y=0.00147x-0.0108	۰/۰۰۱۵۰ab	۰/۰۴۸۹a-c	۴b-d	۰/۳۶۸ef	S ₁ ×N ₆
Y=0.00149x-0.0110	۰/۰۰۱۵۴ab	۰/۰۴۹۹ab	۴/۱۰۰ab	۰/۳۷۷cd	S ₁ ×N ₇
Y=0.00145x-0.00972	۰/۰۰۱۵۶a	۰/۰۵۱۲a	۴/۲۳۳a	۰/۳۹۱a	S ₁ ×N ₈
Y=0.00134x-0.011	۰/۰۰۱۴۰c-e	۰/۰۳۹۹g-l	۳/۳۳۳j-m	۰/۳۰۱st	S ₂ ×N ₁
Y=0.00139x-0.011	۰/۰۰۱۴۰de	۰/۰۴۱۰g-j	۳/۴۳۳i-k	۰/۳۰۹r	S ₂ ×N ₂
Y=0.00141x-0.0112	۰/۰۰۱۴۰c-e	۰/۰۴۲۵e-h	۳/۶۶۶fg	۰/۳۳۵lm	S ₂ ×N ₃
Y=0.00136x-0.0110	۰/۰۰۱۳۳ef	۰/۰۳۸۸i-l	۳/۶۶۶fg	۰/۳۳۲mn	S ₂ ×N ₄
Y=0.00144x-0.0114	۰/۰۰۱۳۴ef	۰/۰۴۰۸g-j	۳/۷۶۶ef	۰/۳۴۵jk	S ₂ ×N ₅
Y=0.00150x-0.0119	۰/۰۰۱۴۹a-c	۰/۰۴۷۱b-d	۳/۵۶۶g-i	۰/۳۳۳op	S ₂ ×N ₆
Y=0.00147x-0.0116	۰/۰۰۱۴۶b-d	۰/۰۴۵۳d-f	۴b-d	۰/۳۶۳fg	S ₂ ×N ₇
Y=0.00147x-0.0107	۰/۰۰۱۵۳ab	۰/۰۴۹۴ab	۴/۱۳۳ab	۰/۳۸۱bc	S ₂ ×N ₈
Y=0.00130x-0.0108	۰/۰۰۱۳۴ef	۰/۰۳۶۶lm	۳op	۰/۲۷۶yz	S ₃ ×N ₁
Y=0.00137x-0.0111	۰/۰۰۱۳۸ef	۰/۰۴۱۷g-i	۳/۳۰۰k-m	۰/۲۹۸tu	S ₃ ×N ₂
Y=0.00131x-0.0110	۰/۰۰۱۳۴ef	۰/۰۳۷۲k-m	۳/۱۳۳no	۰/۲۸۳wx	S ₃ ×N ₃
Y=0.00133x-0.0111	۰/۰۰۱۳۵ef	۰/۰۳۸۳i-l	۳/۲۰۰mn	۰/۲۸۹vw	S ₃ ×N ₄
Y=0.00143x-0.0113	۰/۰۰۱۳۶ef	۰/۰۴۰۸g-j	۳/۴۶۶h-j	۰/۳۱۲qr	S ₃ ×N ₅
Y=0.00137x-0.0111	۰/۰۰۱۳۷ef	۰/۰۴۰۸g-j	۳/۳۶۶j-l	۰/۳۰۶rs	S ₃ ×N ₆
Y=0.00145x-0.0116	۰/۰۰۱۴۱c-e	۰/۰۴۲۵e-h	۳/۶۰۰gh	۰/۳۲۷no	S ₃ ×N ₇
Y=0.00144x-0.0105	۰/۰۰۱۵۰ab	۰/۰۴۷۷a-d	۳/۹۰۰c-e	۰/۳۵۸gh	S ₃ ×N ₈
Y=0.00129x-0.0114	۰/۰۰۱۳۰f	۰/۰۳۳۷m	۲/۷۶۶q	۰/۲۶۴a	S ₄ ×N ₁
Y=0.00136x-0.0121	۰/۰۰۱۳۴ef	۰/۰۳۸۳i-l	۳/۰۳۳op	۰/۲۷۹xy	S ₄ ×N ₂
Y=0.00137x-0.0126	۰/۰۰۱۳۹de	۰/۰۳۸۱j-l	۲/۹۰۰pq	۰/۲۷۱za	S ₄ ×N ₃
Y=0.00134x-0.0119	۰/۰۰۱۳۴ef	۰/۰۳۷۱k-m	۲/۹۶۶p	۰/۲۷۴yz	S ₄ ×N ₄
Y=0.00138x-0.0110	۰/۰۰۱۳۹de	۰/۰۴۰۶g-k	۳/۲۶۶l-n	۰/۲۹۳uv	S ₄ ×N ₅
Y=0.00132x-0.0111	۰/۰۰۱۳۶ef	۰/۰۳۷۷j-l	۳/۱۳۳no	۰/۲۸۴wx	S ₄ ×N ₆
Y=0.00135x-0.0110	۰/۰۰۱۳۵ef	۰/۰۳۹۹h-l	۳/۵۳۳g-i	۰/۳۲۱op	S ₄ ×N ₇
Y=0.00136x-0.00946	۰/۰۰۱۴۷b-d	۰/۰۴۵۹c-e	۳/۸۶۶ed	۰/۳۵۵hi	S ₄ ×N ₈
-	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۵	۰/۱۳۷	۰/۰۰۶	LSD

S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار. N₁، N₂، N₃، N₄، N₅، N₆، N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسیدروی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسیدروی و پوترسین، کاربرد توأم نانوسیلیکون و نانواکسیدروی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

۳.۴. مؤلفه‌های پرشدن دانه

بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که تأثیر برهم‌کنش توأم تیمارهای محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر حداکثر وزن دانه و سرعت پرشدن دانه در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش توأم این عوامل بر طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۵). بررسی روند تغییرات پرشدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به‌صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی) پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر سطوح شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر روند پرشدن دانه گندم

محلول پاشی توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از افزایش به ترتیب ۵۱/۹۲ و ۲۰ درصدی حداکثر وزن دانه و سرعت پرشدن دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۶). هم چنین تیمارهای محلول پاشی توأم نانوذرات و پوترسین و عدم اعمال تنش شوری به ترتیب از افزایش ۹/۶۴ و ۸/۶۳ درصد طول دوره پرشدن دانه و ۱۴/۶۸ و ۱۱/۸۳ درصدی دوره مؤثر پرشدن دانه نسبت به تیمارهای عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین و شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه گندم تحت تنش شوری

تیمار	طول دوره پرشدن دانه (روز)	دوره مؤثر پرشدن دانه (روز)
N ₁	۳۵/۹۹d	۲۸/۰۵d
N ₂	۳۷/۵۵bc	۳۰/۲۸b
N ₃	۳۶/۵۸cd	۲۹/۱۵c
N ₄	۳۶/۵۴d	۲۹/۳۲c
N ₅	۳۷/۹۲b	۳۰/۷۴b
N ₆	۳۷/۸۴b	۳۰/۵۵b
N ₇	۳۸/۳۲b	۳۰/۸۶b
N ₈	۳۹/۴۶a	۳۲/۱۷a
LSD	۰/۹۸۱	۰/۷۶۱
تیمار	طول دوره پرشدن دانه (روز)	دوره مؤثر پرشدن دانه (روز)
S ₁	۳۹/۰۱a	۳۱/۹۵a
S ₂	۳۷/۸۹b	۳۰/۴۷b
S ₃	۳۷/۳۰b	۲۹/۵۶c
S ₄	۳۵/۹۱c	۲۸/۵۷d
LSD	۰/۶۹۴	۰/۵۳۸

S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار. N₁، N₂، N₃، N₄، N₅، N₆، N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسیدروی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسیدروی و پوترسین، کاربرد توأم نانوسیلیکون و نانواکسیدروی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

۴.۴. ارتفاع بوته و طول سنبله

تأثیر تیمارهای محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری و برهم‌کنش توأم این دو عامل بر ارتفاع بوته و طول سنبله گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸).

جدول ۸. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت شرایط تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله
تکرار	۲	۱۴۳/۳۶۶**	۲۷/۰۲۵**	۱۰۰/۳۳۱**
شوری (S)	۳	۱۰۰۸/۶۸۹**	۲۵/۳۹۹**	۶۹/۰۱۳**
محلول پاشی (N)	۷	۲۳۶/۴۸۳**	۵/۲۷۷**	۱۰/۲۲۷**
شوری × محلول پاشی (S×N)	۲۱	۷۲/۵۶۲**	۰/۶۹۹**	۱/۷۹۹*
خطا	۶۲	۲۱/۸۴	۰/۱۸	۰/۹۳۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵/۸۳	۵/۰۵	۴/۷۰
				۴/۹۲
				۴/۱۲

ns * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

محلول‌پاشی توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش به‌ترتیب ۴۵/۳۴ و ۶۲/۷۲ درصدی ارتفاع بوته و طول سنبله نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسه میانگین تأثیر کاربرد نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش شوری

ترکیب تیماری	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد دانه در سنبله	وزن صدانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
S ₁ ×N ₁	۸۳/۹۳c-e	۹/۰۶ef	۲۱/۰۵d-g	۴/۴۱c-g	۲/۰۵d-i
S ₁ ×N ₂	۹۰/۳a-c	۹/۳۳de	۲۳/۴۹ab	۴/۰۵i-m	۲/۱۸a-d
S ₁ ×N ₃	۸۷/۶a-d	۱۰/۴۶ab	۲۲/۸۸a-c	۴/۴۷b-g	۲/۲۲a-c
S ₁ ×N ₄	۹۳/۱۳ab	۱۰/۱bc	۲۲/۷۲a-c	۴/۷۳a-c	۲/۰۷de-h
S ₁ ×N ₅	۸۱/۸۳d-f	۸/۳۶f-i	۲۳/۶۶ab	۴/۵۴b-e	۲/۱۴bc-f
S ₁ ×N ₆	۹۲/۴۳ab	۱۰/۵۶ab	۲۲/۶۶a-c	۴/۷۷ab	۲/۲۵ab
S ₁ ×N ₇	۸۹/۹۳a-c	۱۰/۳۳ab	۲۲/۶۱a-d	۴/۶۶a-d	۲/۲۱a-c
S ₁ ×N ₈	۹۵a	۱۱a	۲۴/۱۱a	۴/۸۹a	۲/۲۸a
S ₂ ×N ₁	۷۲/۵h-l	۷/۹۳i-k	۱۸/۷۷i-l	۳/۹۸j-n	۱/۸۶k-o
S ₂ ×N ₂	۷۸/۸۶e-i	۸/۸۳e-g	۲۰/۹۹e-g	۴/۰۲j-m	۲/۰۴e-i
S ₂ ×N ₃	۷۴/۵۳f-k	۷/۶j-m	۱۹/۱۶h-l	۴/۰۶i-m	۲g-j
S ₂ ×N ₄	۸۳/۵۳c-e	۹/۵c-e	۲۲/۲۲b-e	۴/۳۸d-i	۱/۸۸j-o
S ₂ ×N ₅	۸۳/۸c-e	۷/۸۶i-k	۱۹/۶g-k	۴/۲۶e-j	۱/۹۷g-k
S ₂ ×N ₆	۷۹/۱e-i	۹/۹b-d	۲۰/۳۳f-i	۴/۱۱h-l	۱/۹۵h-l
S ₂ ×N ₇	۷۳/۸۳g-k	۹/۱۳e	۲۰/۹۴e-g	۴/۱۸f-k	۱/۸۵k-p
S ₂ ×N ₈	۹۱/۷۳ab	۱۰/۱۳bc	۲۲/۷۲a-c	۴/۷۱a-d	۲/۱۶a-e
S ₃ ×N ₁	۶۸/۴j-l	۷/۳۳k-n	۱۸/۳۳k-m	۳/۷۵m-o	۱/۷۲p-r
S ₃ ×N ₂	۷۹/۸۳e-h	۷/۶۳j-m	۱۸/۵۵j-m	۴/۳۰e-j	۱/۷۶n-r
S ₃ ×N ₃	۷۴/۹f-j	۸/۸e-h	۲۰/۶۱f-h	۴/۱۵g-k	۲/۰۱f-j
S ₃ ×N ₄	۸۳/۲۶c-e	۷/۸i-l	۱۹/۷۷g-k	۳/۹۱k-o	۱/۸۹j-n
S ₃ ×N ₅	۶۹/۱۶j-l	۸/۰۳i-k	۱۸/۸۸i-l	۴/۳e-j	۱/۸۱m-q
S ₃ ×N ₆	۸۰/۴۶d-g	۸/۸e-h	۱۹/۸۸g-k	۴/۳۷d-i	۲/۰۵d-i
S ₃ ×N ₇	۷۳/۹g-k	۸/۴f-i	۲۰/۷۲e-h	۴/۲۱e-k	۱/۹۲i-m
S ₃ ×N ₈	۸۵/۹b-e	۹/۲de	۲۱/۷۷c-f	۴/۵b-f	۲/۰۹c-g
S ₄ ×N ₁	۶۵/۳۶i	۶/۷۶n	۱۷/۱۶m	۳/۵۹o	۱/۶۶t
S ₄ ×N ₂	۷۸/۴e-i	۷/۱۳l-n	۱۹/۸۳g-k	۳/۶۸no	۱/۹۶g-k
S ₄ ×N ₃	۷۱/۸۳i-l	Ymn	۱۸/۹۹i-l	۴/۱۳g-k	۱/۹۲i-m
S ₄ ×N ₄	۶۷/۰۳kl	۷/۷i-m	۱۹/۲۷h-l	۳/۷۹l-o	۱/۷۵o-r
S ₄ ×N ₅	۸۲/۸۶c-e	۷/۱l-n	۱۹/۵۵g-k	۴/۲۸e-j	۱/۶۹qr
S ₄ ×N ₆	۶۸/۹j-l	۷/۷۳i-l	۱۷/۸۸lm	۴/۱h-l	۲/۰۵d-i
S ₄ ×N ₇	۸۰/۷۶d-g	۸/۱h-j	۱۸/۸۸i-l	۴/۱۲h-l	۱/۸۳l-p
S ₄ ×N ₈	۸۰/۳d-g	۸/۲g-j	۲۰g-j	۴/۳۱e-j	۱/۹۸g-k
LSD	۷/۶۲	۰/۷۱	۱/۵۷	۰/۳۴	۰/۱۳

S₁، S₂، S₃ و S₄ به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. N₁، N₂، N₃، N₄، N₅، N₆، N₇ و N₈ به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسیدروی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسیدروی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسیدروی و پوترسین، کاربرد توأم نانوسیلیکون و نانواکسیدروی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

۴.۵. تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه

تأثیر تیمارهای محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین)، تنش شوری و برهم کنش توأم این دو عامل بر تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۸). کاربرد توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۴/۱۱ عدد) و وزن صدانه (۴/۸۹ گرم) برخوردار بود که موجب افزایش به ترتیب ۴۰/۵ و ۳۶/۲۱ درصدی این صفات نسبت به عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۹).

۴.۶. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری و تأثیر برهم کنش توأم این دو عامل بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۸). بیشترین عملکرد دانه (۲/۲۸ گرم در بوته) در محلول پاشی توأم نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد (جدول ۹) که از افزایش ۳۷/۳۴ درصدی نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۹).

۵. بحث

۵.۱. شاخص کلروفیل برگ پرچم

به نظر می رسد شوری از طریق بی ثبات کردن کمپلکس های پروتئین-رنگیزه، تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز و تولید گونه های فعال اکسیژن، محتوای کلروفیل را کاهش می دهد (سیاری^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا برخی پژوهشگران تخریب مولکولی کلروفیل ها در گیاهان تحت تنش شوری را، به جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر تولید رادیکال های آزاد اکسیژن و یا فعالیت آنزیم کلروفیلاز در شرایط تنش شوری نسبت دادند (پروایز^۲ و ساتیاوتی^۳، ۲۰۰۸). از طرفی نانوکلات روی، به دلیل نقش مهمی که در فرایند فتوسنتز دارد و همچنین، کوچک بودن اندازه آن (جدول ۲) موجب می شود به راحتی توسط برگ ها جذب شود و با سهولت دسترسی گیاه به آن در طی مراحل رشد گیاه، موجب افزایش کلروفیل می شود (دوال^۴ و پارک^۵، ۲۰۰۴). همچنین روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل موجب سنتز کلروفیل می شود. پورفوبیلینوژن^۶ پیش ماده کلروفیل می باشد که برای تشکیل این ماده منیزیم و روی مورد نیاز است (کاکماک^۷، ۲۰۰۸) و کاربرد روی می تواند تشکیل پیش ماده کلروفیل را افزایش و در نتیجه آن شاخص کلروفیل را بهبود بخشد. بخشی از افزایش شاخص کلروفیل برگ پرچم به واسطه کاربرد نانو اکسیدروی و پوترسین در شرایط تنش شوری را می توان به بهبود ساختار ریشه (وزن خشک و حجم ریشه) نسبت داد (جدول ۶)، در این راستا، بابایی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که محلول پاشی نانو اکسیدروی در شرایط تنش شوری با بهبود وزن و حجم ریشه ضمن بهبود شرایط فتوسنتزی، موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ گندم شد.

1. Sayyari
2. Parvaiz
3. Satyawati
4. Dewal
5. Pareek
6. Porphobilinogen
7. Cakmak

محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) نیز افزایش وزن و حجم ریشه گندم در شرایط تنش شوری به‌واسطه محلول‌پاشی پوترسین را به افزایش شاخص کلروفیل برگ نسبت دادند، که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. با توجه به این‌که که کلروفیل دارای نیتروژن و منیزیم است و کمبود این عناصر مانع از تشکیل کلروفیل می‌شود، به‌نظر می‌رسد کاربرد پلی‌آمین‌ها به‌دلیل برخورداری از عنصر نیتروژن در ساختار خود مقدار کلروفیل را تحت تأثیر قرار دهند. هم‌چنین پلی‌آمین‌ها با نقش حفاظتی که در برابر غشای تیلاکوئید دارند، مانع از دست‌رفتن و تجزیه کلروفیل می‌شوند (آراسته و همکاران، ۱۳۹۹). کاربرد نانوسیلیکون نیز می‌تواند از طریق سمیت‌زدایی گونه‌های رادیکال آزاد القاشده تحت تنش شوری، از تخریب کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در سنتز آن جلوگیری کند و موجب بهبود کارایی فتوسیمیایی فتوسیستم II گردد (ساواس^۱ و نتاتسی^۲، ۲۰۱۵). بخش دیگری از افزایش شاخص کلروفیل به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۶) نسبت داد. در این راستا، بادم^۳ و سویلمز^۴ (۲۰۲۲) نیز اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون با افزایش طول و وزن خشک ریشه، شاخص کلروفیل برگ را در شرایط تنش شوری بهبود بخشد.

۵.۲. وزن و حجم ریشه

به‌نظر می‌رسد کاهش وزن و حجم ریشه ممکن است به‌دلیل اثر منفی پتانسیل اسمزی بالای ناشی از شوری باشد که موجب می‌شود تحت چنین شرایطی سلول‌های ریشه نتوانند آب موردنیاز گیاه را جذب کنند و همین کاهش جذب آب و عناصر غذایی، موجب کاهش رشد ریشه می‌شود (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۶).

برخی پژوهش‌گران گزارش کردند که تنش شوری از طریق کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی و از طرفی تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از شوری در اطراف ریشه، موجب کاهش رشد ریشه و انشعابات آن شده (سقیب^۶ و قریشی^۷، ۲۰۰۴) و همین امر می‌تواند از دلایل اصلی کاهش وزن و حجم ریشه باشد. احتمال داده می‌شود عنصر روی، با فعال کردن آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک از طریق تأثیری که در تقسیم میتوز و متابولیسم لیپیدها دارد، قادر است ضمن افزایش میزان فتوسنتز خالص، از کاهش وزن خشک ریشه جلوگیری کند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸). لو^۸ و همکاران (۲۰۱۳) اظهار داشتند که عنصر روی به‌دلیل نقش مهمی که در باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، بهبود وضعیت آبی و کنترل فرایند فتوسنتز دارد، موجب بهبود رشد و افزایش وزن ریشه می‌شود. بخش دیگری از افزایش وزن و حجم ریشه به‌واسطه محلول‌پاشی با پوترسین و نانوآکسیدروی را می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۴) نسبت داد. در این راستا، بابایی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوآکسیدروی با بهبود شاخص کلروفیل برگ، موجب افزایش وزن و حجم ریشه گندم در شرایط تنش شوری شد. هم‌چنین، محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی پوترسین در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص کلروفیل، موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت افزایش وزن و حجم ریشه گندم شد. هم‌چنین، ال‌بلتاکی^۹ و همکاران (۲۰۲۳) افزایش وزن ریشه در شرایط تنش شوری به‌واسطه کاربرد پوترسین از به‌بهبود محتوای کلروفیل برگ و افزایش تولید مواد فتوسنتزی نسبت دادند.

1. Savvas
2. Ntatsi
3. Badem
4. Söylemez
5. Wang
6. Saqib
7. Qureshi
8. Lu
9. Ei-Beltagi

کاربرد سیلیکون نیز با حفاظت از استوانه آوندی به عنوان یک حامل مکانیکی و با سخت شدن دیواره سلولی استوانه آوندی و بافت آندودرمی، موجب می شود رشد ریشه افزایش یابد (داتنوف^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). بادم^۲ و سویلمز^۳ (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش شاخص کلروفیل و بهبود رشد گیاه، موجب افزایش طول و وزن خشک ریشه شد. سیدشریفی و همکاران (۱۴۰۱) افزایش وزن و حجم ریشه در محلول پاشی نانوسیلیکون را، به افزایش شاخص کلروفیل و بهبود فرایندهای فتوسنتزی و انتقال بیش تر مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت دادند. در این بررسی نیز به نظر می رسد محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص کلروفیل برگ پرچم (جدول ۴) موجب افزایش وزن خشک و حجم ریشه شد.

۵.۳. مؤلفه های پرشدن دانه

به نظر می رسد افزایش شوری، ضمن کاهش کلروفیل (جدول ۴)، وزن و حجم ریشه (جدول ۶)، کاهش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (جدول های ۶ و ۷)، موجب کاهش حداکثر وزن دانه شده است. گزارش شده است که کاهش وزن دانه در شرایط شوری می تواند ناشی از کاهش طول دوره پرشدن دانه باشد، زیرا وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، بنابراین شوری که موجب کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه می شود، به طور معنی داری وزن دانه را کاهش می دهد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). در چنین شرایطی به نظر می رسد محلول پاشی نانوآکسیدروی می تواند از طریق افزایش شاخص کلروفیل، وزن خشک و حجم ریشه، موجب بهبود مؤلفه های پرشدن دانه گندم (حداکثر وزن دانه، سرعت پرشدن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه) شود. بابایی و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که در شرایط تنش شوری، محلول پاشی نانوآکسیدروی از طریق بهبود ساختار ریشه (وزن خشک و حجم ریشه) و شاخص کلروفیل، ضمن بهبود فتوسنتز موجب افزایش سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه و در نهایت حداکثر وزن دانه گندم شد.

احتمالاً محلول پاشی پوترسین به دلیل جلوگیری از تولید آنزیم های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ ها، میزان فتوسنتز برگ را افزایش می دهد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن بالا بوده و گیاه فرصت بیشتری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ها را دارد، و همین امر می تواند یکی از عوامل افزایش مؤلفه های پرشدن دانه باشد (عمادی و همکاران، ۱۳۹۲). بخش دیگری از بهبود مؤلفه های پرشدن دانه در کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین در شرایط تنش شوری را می توان به افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۶) و شاخص کلروفیل (جدول ۴) نسبت داد. در این زمینه محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که محلول پاشی پوترسین در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص کلروفیل و وزن و حجم ریشه، ضمن افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه، موجب افزایش وزن دانه گندم شد. نریمانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که در شرایط تنش محلول پاشی پوترسین موجب افزایش وزن خشک و حجم ریشه می شود که از این طریق ضمن بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ها موجب بهبود مؤلفه های پرشدن دانه تریتیکاله می شود. محمدی کله سرلو و سیدشریفی (۱۴۰۱) مؤلفه های پرشدن دانه تریتیکاله در شرایط تنش شوری را به افزایش وزن و حجم ریشه و بهبود محتوای کلروفیل برگ در محلول پاشی با نانوسیلیکون نسبت دادند. در این بررسی نیز محلول پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۴)، وزن و حجم ریشه (جدول ۶) موجب بهبود مؤلفه های پرشدن دانه شد.

۵.۴. ارتفاع بوته و طول سنبله

احتمالاً شوری با تأثیر منفی بر فرایند تولید و مصرف مواد فتوسنتزی در نقاط در حال رشد و یا اثر مستقیم بر مراحل متابولیسی تقسیم و رشد سلول‌ها، موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (بهادرخواه و کاظمینی، ۱۳۹۳). گزارش شده است که تحت شرایط تنش شوری، احتمالاً به‌علت عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و اختصاص بیش‌تر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه‌شدن طول دوره رشدی گیاه و نیز مکانیسم‌های فرار از تنش موجب اختلال در توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (زارع منش، ۱۴۰۲).

بخشی از افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله به‌واسطه محلول‌پاشی نانوآکسیدروی و سیلیکون را می‌توان به بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۴) و وزن خشک و حجم ریشه (جدول ۶) نسبت داد. در این راستا، بابایی و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوآکسیدروی در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص کلروفیل برگ و افزایش تولید مواد فتوسنتزی، موجب بهبود رشد و افزایش طول سنبله گندم شد. هم‌چنین، خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۷) افزایش طول سنبله تربیت‌یکاله در شرایط تنش شوری به‌واسطه محلول‌پاشی با نانوآکسیدروی را به بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه و افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت دادند. کاربرد سیلیکون به‌دلیل بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد و از این‌رو افزایش طول سنبله به‌عنوان بخشی از اندام هوایی در چنین شرایطی قابل انتظار است (گانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). بادم^۲ و سویلمز^۳ (۲۰۲۲) نیز افزایش ارتفاع بوته به‌واسطه کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری را بهبود ساختار ریشه (طول و وزن خشک ریشه) و افزایش شاخص کلروفیل برگ نسبت دادند.

بخش دیگری از افزایش ارتفاع بوته به‌واسطه محلول‌پاشی پوترسین را می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۴) و وزن خشک و حجم ریشه (جدول ۶) نسبت داد، در این راستا گوپتا^۴ و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که محلول‌پاشی پوترسین به‌دلیل بهبود ویژگی‌های ریشه و افزایش جذب آب و بهبود محتوای نسبی آب، ضمن افزایش محتوای کلروفیل موجب افزایش توسعه و تقسیم سلولی و در نهایت افزایش ارتفاع بوته شد. محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) نیز اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین در شرایط تنش شوری از طریق بهبود وزن و حجم ریشه و شاخص کلروفیل، سرعت و طول دوره پرشدن دانه را افزایش می‌دهد که در چنین شرایطی با افزایش وزن و تعداد دانه‌ها در سنبله، طول سنبله افزایش می‌یابد، که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.

۵.۵. تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه

احتمالاً شوری از طریق کاهش وزن و حجم ریشه (جدول ۶) و شاخص کلروفیل برگ پرچم (جدول ۴)، ضمن کاهش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (جدول‌های ۶ و ۷)، موجب کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله شده است. در این راستا گزارش شده است که شوری از طریق تخریب ساختار کلروفیل و کاهش سرعت و طول دوره پرشدن دانه با کاهش تولید مواد فتوسنتزی، موجب کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه می‌شود (محمدی کله‌سرلو و همکاران، ۱۴۰۰). اما در چنین شرایطی محلول‌پاشی با نانوآکسیدروی با بهبود شاخص کلروفیل و افزایش وزن و حجم ریشه موجب افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه و در نهایت تعداد دانه در سنبله و وزن صد هزارانه گندم شد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۹)، که با نتایج این پژوهش نیز هم‌خوانی دارد. خیری‌زاده آروق و سیدشریفی (۱۳۹۷) نیز افزایش تعداد دانه در سنبله

1. Gong
2. Badem
3. Söylemez
4. Gupta

و وزن صددانه تریتیکاله در شرایط تنش شوری به واسطه محلول پاشی نانوآکسیدروی را به بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه (سرعت پرشدن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه) نسبت دادند. همچنین، گزارش شده است که محلول پاشی روی از طریق تأثیر بر بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های رشد مانند IAA^۱ (ایندول استیک اسید) و متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن و همچنین به دلیل تامین عناصر غذایی ماکرو و میکرو در مراحل آخر رشدی، تجمع شیره پرورده در دانه را افزایش می‌دهد و در نتیجه وزن هزاردانه افزایش می‌یابد (بایبوردی^۲ و مامدوو^۳، ۲۰۱۰). همچنین خیری زاده آروق و سیدشریفی (۱۳۹۷) بیان کردند که محلول پاشی نانوآکسیدروی در شرایط تنش شوری با بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه و اجزای عملکرد، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

بخش دیگری از افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صددانه به واسطه محلول پاشی پوترسین را می‌توان به بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۴) و افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (جدول‌های ۶ و ۷) نسبت داد. در این راستا محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که محلول پاشی با پوترسین در شرایط تنش شوری از طریق بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه)، افزایش شاخص کلروفیل برگ، سرعت و طول دوره پرشدن دانه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صددانه گندم شد. همچنین، عمادی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی خود بیان کردند که محلول پاشی پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها به ویژه برگ پرچم (به عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز)، میزان فتوسنتز برگ را افزایش می‌دهد که با افزایش تولید و فرصت بیش‌تر برای انتقال مواد فتوسنتزی، ضمن بهبود سرعت و طول دوره پرشدن دانه، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه گندم شد.

به نظر می‌رسد محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری می‌تواند تعداد دانه در سنبله و وزن صددانه گندم را به واسطه افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۶)، شاخص کلروفیل برگ پرچم (جدول ۴) و بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه (جدول‌های ۶ و ۷) افزایش دهد، در این راستا، محمدی کله‌سرلو و سیدشریفی (۱۴۰۱) نیز افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صددانه تریتیکاله در شرایط تنش شوری به واسطه محلول پاشی نانوسیلیکون را به بهبود ساختار ریشه (وزن خشک و حجم ریشه)، محتوای کلروفیل و طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه نسبت دادند. همچنین، اپیستین^۴ و بلوم^۵ (۲۰۰۵)، بیان نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش از طریق افزایش جذب عناصر از جمله آهن، منیزیم و نیتروژن که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شود، ضمن بهبود شاخص کلروفیل، میزان فتوسنتز را افزایش داده و سبب انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به اندام‌های زایشی شده که افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، دانه در سنبله، وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را به همراه دارد (نظری و همکاران، ۱۴۰۰ ب).

۵.۶. عملکرد دانه

به نظر می‌رسد تنش شوری با تخریب ساختار کلروفیل، کاهش وزن و حجم ریشه (جدول‌های ۴ و ۶) و همچنین کاهش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (جدول‌های ۶ و ۷)، عرضه مواد فتوسنتزی به سمت دانه را مختل و موجب کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود. احتمالاً در چنین شرایطی محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین می‌تواند با افزایش شاخص کلروفیل برگ پرچم و وزن و حجم ریشه (جدول‌های ۴ و ۶)، ضمن افزایش سرعت و طول دوره پرشدن

1. Indole-acetic acid
2. Bybord
3. Mamedov
4. Epstein
5. Bloom

دانه (جدول‌های ۶ و ۷) در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه شود. در این راستا، بابایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری به‌واسطه محلول‌پاشی با نانوآکسیدروی را به افزایش شاخص کلروفیل برگ، وزن و حجم ریشه و بهبود سرعت و طول دوره پرشدن دانه نسبت دادند. همچنین خیری‌زاده آروق و سیدشریفی (۱۳۹۷) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوآکسیدروی در شرایط تنش شوری با بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه و اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

بنی‌عباس^۱ و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش عملکرد با کاربرد روی را به اهمیت این عنصر در بیوسنتز مواد رشدی همانند اکسین در گیاه نسبت دادند که موجب می‌شود ماده خشک بیش‌تری تولید و در دانه به‌عنوان مخزن ذخیره شود. از طرفی این عنصر در ساختمان فسفوانیول‌پیرووات کربوکسیلاز نیز نقش اساسی دارد و به این ترتیب در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های گیاه افزایش می‌یابد.

سیلیکون نیز از طریق افزایش استحکام و ضخامت برگ‌ها موجب تأخیر در پیری برگ‌ها می‌شود که ضمن افزایش جذب نور و فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز موجب افزایش فتوسنتز شده، در نتیجه عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (ساواس^۲ و نتاتسی^۳، ۲۰۱۵). محمدی کله‌سرلو و سیدشریفی (۱۴۰۱) افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری را، به افزایش وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل برگ و بهبود سرعت و طول دوره پرشدن دانه در محلول‌پاشی با نانوسیلیکون نسبت دادند. همچنین، بادم^۴ و سویلمز^۵ (۲۰۲۲) بیان کردند که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری با افزایش طول و وزن ریشه و شاخص کلروفیل برگ، عملکرد گیاه را افزایش داد.

محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) نیز افزایش عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی با پوترسین در شرایط تنش شوری را به بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه)، شاخص کلروفیل و افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه نسبت دادند. نتایج مشابهی نیز توسط نریمانی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش شده است. در بررسی سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است که محلول‌پاشی پوترسین به‌دلیل جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها به‌ویژه برگ پرچم (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز)، میزان فتوسنتز برگ را افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن بالا بوده و گیاه فرصت بیش‌تری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را دارد، که ضمن افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (عمادی و همکاران، ۱۳۹۲).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در تیمار عدم اعمال شوری از افزایش به‌ترتیب ۴۵/۷۵ و ۳۳/۲۲ درصدی شاخص کلروفیل و شاخص نیتروژن برگ پرچم نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود. سطوح بالای شوری در ۱۱۴ روز پس از کاشت، از کم‌ترین میزان این صفات برخوردار بود. در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین با تعدیل اثرات ناشی از تنش شوری، موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ پرچم شد. محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در هر یک از سطوح تنش شوری موجب افزایش به‌ترتیب ۴۸/۱ و ۵۳/۰۳ درصدی وزن و حجم ریشه نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوذرات و

1. Baniabbass
2. Savvas
3. Ntatsi
4. Badem
5. Söylemez

پوترسین تحت بالاترین سطح شوری شد. شوری موجب کاهش طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه شد و محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین موجب افزایش به ترتیب ۹/۶۴ و ۱۴/۶۷ درصدی این صفات نسبت به تیمار عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین شد. براساس مقایسه میانگین‌ها، بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) از کم‌ترین طول دوره و دوره پرشدن دانه (به ترتیب ۳۵/۹۱ و ۲۸/۵۷ روز) برخوردار بود. همچنین، محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ۲۰ درصدی سرعت پرشدن دانه و ۳۷/۳۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد. براساس نتایج این بررسی به نظر می‌رسد محلول پاشی نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین را می‌توان برای افزایش عملکرد دانه گندم به دلیل بهبود خصوصیات ریشه و مؤلفه‌های پرشدن دانه حتی تحت تنش شوری، پیشنهاد نمود.

۷. تشکر و قدردانی

از مساعدت‌های صمیمانه و خالصانه یکایک همکاران ارجمند در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف گلخانه‌ای و آزمایشگاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- احمدی نورالدین‌وند، فرناز؛ سیدشرفی، رئوف؛ سیادت، سید عطاء‌الله و خلیل‌زاده، راضیه (۱۴۰۰). اثر غلظت‌های نانوسیلیکون و کودهای زیستی بر عملکرد و دوره پرشدن دانه گندم در رژیم‌های مختلف آبیاری. *پژوهش‌های زراعی/ایران*، ۱۹(۱)، ۹۱-۱۰۵.
- آراسته، فائزه؛ مقدم، محمد و قاسمی پیربلوطی، عبدالله (۱۳۹۹). تأثیر محلول پاشی پوترسین بر القای مقاومت به خشکی در گیاه جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.). *سلول و بافت*، ۱۱(۳)، ۲۰۴-۲۲۱.
- آقایی، فاطمه؛ سیدشرفی، رئوف و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد، محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم در شرایط شوری خاک، کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۲)، ۲۶۹-۲۸۲.
- آقایی، کیوان؛ طایی، نجمه؛ کنعانی، محمدرضا و یزدانی، مهناز (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو گونه مریم گلی (*Salvia*). *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۳(۹)، ۸۵-۹۶.
- بابایی، خدیجه؛ سیدشرفی، رئوف و پیرزاد، علیرضا (۱۳۹۹). اثر کودهای بیولوژیک و نانوآکسید آهن و روی بر عملکرد کوانتومی و روند پرشدن دانه گندم در شرایط شوری خاک. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۰(۱)، ۷۳-۹۴.
- بهادرخواه، فاطمه و کاظمینی، سید عبدالرضا (۱۳۹۳). اثر شوری و روش کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن دانه دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بهاره. *پژوهش‌های زراعی/ایران*، ۱۲(۲)، ۲۶۴-۲۷۲.
- خیری‌زاده آروق، یونس و سیدشرفی، رئوف (۱۳۹۷). تأثیر اندومیکوریزا، باکتری محرک رشد و تغذیه برگ با نانوآکسیدروی بر صفات مؤثر بر پرشدن دانه تریتیکاله (*Triticale*) در شرایط شوری خاک. *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۷(۲۳)، ۶۹-۸۴.
- زارع منش، حدیث (۱۴۰۲). تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۳۲۵-۳۳۸.
- سیدشرفی، رئوف؛ سیدشرفی، رضا و نریمانی، حامد (۱۴۰۱). تأثیر نانوسیلیکون و باکتری محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر (*Lathyrus sativa* L.). *پژوهش‌های زراعی/ایران*، ۲۰(۴)، ۴۳۵-۴۴۹.

عباسی، نصرت‌اله؛ چراغی، جواد و حاجی‌نیا، سمیه (۱۳۹۸). تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۱(۴۳)، ۸۵-۱۰۴.

عمادی، مریم سادات؛ حسینی، پیمان و عظیمی، عبدالرضا (۱۳۹۲). اثر محلول‌پاشی پوترسین و عناصر غذایی بر عملکرد دانه و کیفیت دو رقم گندم نان. *مجله علوم زراعی ایران*، ۱۵(۳)، ۲۶۱-۲۴۷.

محسنی محمدجانلو، علیرضا؛ سیدشریفی، رئوف و علی‌پور، سعید (۱۴۰۱). تأثیر پوترسین و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای پرشدن دانه گندم در شرایط شوری. *اکوفیزیولوژی گیاهی*، ۱۴(۴۸)، ۱۷-۳۳.

محمدی کله‌سرلو، سارا و سیدشریفی، رئوف (۱۴۰۱). بررسی مصرف کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر صفات فیزیولوژیکی زراعی و مؤلفه های پرشدن دانه تربتی‌کاله (*Triticosecale wittma L.*) در شرایط شوری خاک. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۴(۵۳)، ۵-۲۹.

محمدی کله‌سرلو، سارا، سیدشریفی، رئوف؛ صدقی، محمد؛ نریمانی، حامد و خلیل‌زاده، راضیه (۱۴۰۰). اثر شوری، ورمی‌کمپوست، هیومیک‌اسید و تلقیح بذر با فلاووباکتریوم بر پرشدن چاندم. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱(۲)، ۲۵۰-۲۶۹.

نریمانی، حامد و سیدشریفی، رئوف (۱۳۹۹). تأثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و عملکرد گندم در شرایط شوری خاک. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۰(۲)، ۸۹-۱۰۵.

نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف و صدقی، محمد (۱۴۰۰). اثر مصرف کودهای زیستی و پوترسین بر مؤلفه‌های پرشدن دانه و انتقال مجدد ماده خشک تربتی‌کاله (*Triticosecale Wittmack*) در شرایط محدودیت آبی. *تحقیقات غلات*، ۱۱(۴)، ۳۵۹-۳۷۳.

نظری، ژیلا؛ سیدشریفی، رئوف و نریمانی، حامد (۱۴۰۰ الف). اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ماده خشک تربتی‌کاله. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳(۵۱)، ۵-۲۴.

نظری، ژیلا؛ سیدشریفی، رئوف و نریمانی، حامد (۱۴۰۰ ب). اثر مایکوبیوزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی تربتی‌کاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴(۴)، ۲۱-۴۶.

References

- Abbasi, N., Cheraghi, J., & Hajinia, S. (2019). Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. *Crop Physiology*, 3(43), 85-104. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4>. (In Persian).
- Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2020). Evaluation of yield, chlorophyll content, and grain filling components of wheat under salinity soil conditions and application of uniconazole and biofertilizers. *Journal of Crops Improvement*, 22(2), 269-282. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.286632.2252>. (In Persian).
- Aghai, K., Talai, N., Kanani, M., & Yazdani, M. (2014). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia species*. *Journal of Plant Process and Function*, 3(9), 85-96. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1393.3.9.8.5>. (In Persian).
- Ahire, M. L., Mundada, P. S., Nikam, T. D., Bapat, V. A., & Penna, S. (2021) Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 169(1), 291-310. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010>.
- Ahmadi Nouraldin, F., Seyed Sharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of nano silicon concentrations and bio-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(1), 91-105. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.67258.0>. (In Persian).
- Arasteh, F., Moghaddam, M., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2020). The effect of putrescine foliar application on the induction of drought resistance in Mexican marigold (*Tagetes minuta L.*). *Journal of Cell & Tissue*, 11(3), 204-221. <https://doi.org/10.52547/JCT.11.3.204>. (In Persian).
- Babaei, Kh., Seyed Sharifi, R., & Pirzad, A. (2020). Effects of biofertilizers, nano Zn oxide and nano Fe oxide on quantum yield and variation of grain filling of wheat (*Triticum aestivum L.*) under soil salinity condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), 73-94. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.1.5.6>. (In Persian).
- Badem, A., & Söylemez, S. (2022). Effects of nitric oxide and silicon application on growth and productivity of pepper under salinity stress. *Journal of King Saud University - Science*, 34, 102189.
- Bahadorkhah, F., & Kazemini, S. A. (2014). Effect of salinity and sowing method on yield, yield component and oil content of two cultivars of spring safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 264-272. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1393.12.2.13.8>. (In Persian).

- Balakhnina, T., & Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*, 27(2), 225-232. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>.
- Baniabbass Shahri, Z., Zamani, G., & Sayyari-Zahan, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 518-525.
- Bybordi, A., & Mamedov, G. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 94-103. <https://doi.org/10.15835/nsb213531>.
- Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146(2), 185-205. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00630.x>.
- Datnoff, L. E., Synder, G. H., & Korndorfer, G. H. (2001). *Silicon in agriculture*. Amsterdam: Elsevier.
- Dewal G. S., & Pareek R. G. (2004). Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agronomy*, 49(3), 160-162.
- El-Beltagi, H. S., El-Yazied, A. A., El-Gawad, H. G. A., Kandeel, M., Shalaby, T. A., Mansour, A. T., Al-Harbi, N. A., Al-Qahtani, S. M., Alkhateeb, A. A., & Ibrahim, M. F. M. (2023). Synergistic impact of melatonin and putrescine interaction in mitigating salinity stress in snap bean seedlings: reduction of oxidative damage and inhibition of polyamine catabolism. *Horticulturae*, 9, 285. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020285>.
- Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2(1), 19-25. <https://doi.org/10.1017/S096025850001057>.
- El-Ramady, H., Alshaal, T., Abowaly, M., Abdalla, N., Taha, H. S., Al-Saeedi, A. H., & Sztrik, A. (2017). Nanoremediation for sustainable crop production. In *Nanoscience in Food and Agriculture*. Edinburgh: Springer.
- Emadi, M. S., Hassibi, P., & Azimi, A. (2013). Effect of foliar application of Putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(3), 247-261. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1392.15.3.5.7>. (In Persian).
- Epstein, E., & Bloom, A. (2005). *Mineral Nutrition of plant: principles and perspectives*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. H. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*, 26(5), 1055-1063. <https://doi.org/10.1081/PLN-120020075>.
- Gupta, S., Agarwal, V. P., & Gupta, N. K. (2012) Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(4), 331-336. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0123-9>.
- Hasanuzzaman, M., Alhathloul, H. A. S., Parvin, K., Bhuyan, M. B., Tanveer, M., Mohsin, S. M., Nahar, K., Soliman, M. H., Mahmud, J. A., & Fujita, M. (2019). Polyamine action under metal/metalloid stress: regulation of biosynthesis, metabolism, and molecular interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13), 3215. <https://doi.org/10.3390/2Fijms20133215>.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Rahman, A., Anee, T. I., Alam, M. U., Bhuiyan, T. F., Oke, H., & Fujita, M. (2017). Approaches to enhance salt stress tolerance in Wheat. Wheat Improvement, Management and Utilization Press. 151-187. <https://doi.org/10.5772/67247>.
- Kheirizadeh Arough, Y., & Seyed Sharifi, R. (2018). Effects of endo-mycorrhiza, plant growth promoting rhizobacteria and foliar application with nano zinc oxide on effective traits at grain filling of Triticale under soil salinity condition. *Journal of Plant Process and Function*, 7(23), 69-84. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1397.7.23.7.0>. (In Persian).
- Liu, Y., Liang, H., Liu, X. L.D., Wen, X., & Liao, Y. (2016). Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.01.003>.
- Lu, Y., Li, Y., Zhang, J., Xiao, Y., Yue, Y., Duan, L., Zhang, M., & Li, Z. (2013). Over expression of Arabidopsis molybdenum cofactor sulfurase gen confers drought tolerance in maize (*Zea may* L.). *Plos One*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052126>.
- Mohammadi Kale Sarlo, S., & Seyed Sharifi, R. (2022). Study of bio fertilizers and nano silicon application on physiological traits and grain filling components of triticale (*Triticosecale wittma* L.) under soil salinity condition. *Crop Physiology Journal*, 14(53), 5-29. (In Persian).
- Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of salinity, vermicompost, humic acid and seed inoculation with flavobacterim on grain filling of triticale. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 251-269. <https://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.13108>. (In Persian).

- Mohseni Mohammadjanlou, A., Seyed Sharifi, R., & Alipour, S. (2023). Effects of putrescine and bio fertilizers on yield and grain filling components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity condition. *Plant Ecophysiology*, 14(1), 17-33. (In Persian).
- Morshedi, A., & Farahbakhsh, H. (2012). The role of potassium and zinc in reducing salinity and alkalinity stress conditions in two wheat genotypes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(4), 371-384. <https://doi.org/10.1080/03650340.2010.529610>.
- 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. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 10(2), 98-105. <https://dx.doi.org/10.22069/ejsms.2020.16140.1861>. (In Persian).
- Narimani, H., Seyed Sharifi, R., & Sedghi, M. (2022). Effect of biofertilizer and putrescine application on grain filling components and dry matter remobilization of triticale (*Triticosecale* Wittmack) under water limitation conditions. *Cereal Research*, 11(4), 359-373. <https://doi.org/10.22124/cr.2022.22374.1726>. (In Persian).
- Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021a). Effect of bio fertilizers, nano silicon and water limitation on current photosynthesis and dry matter transfer of triticale. *Crop Physiology Journal*, 13(51), 5-24. (In Persian).
- Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2022 b). 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. <https://dx.doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413>. (In Persian).
- Ouellette, S., Goyette, M. H., Labbé, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A., Dorais, M., Deshmukh, R. K., & Bélanger, R. (2017). Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. *Front. Plant Science*, 8(8), 949-954. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00949>.
- Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Journal of Plant, Soil and Environmental*, 54(3), 89-99. <https://doi.org/10.17221/2774-PSE>.
- Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83(1), 79-90. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9).
- Saqib, M., Akhtar, J., & Qureshi, R. H. (2004). Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: II. Root growth and leaf ionic relations. *Soil and Tillage Research*, 77(2), 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.12.005>.
- Sarkhosh, S., Kahrizi, D., Darvishi, E., Tourang, M., Haghoghi-Mood, S., Vahedi, P., Ercisli, S. (2022). Effect of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) on seed germination characteristics in two brassicaceae family species: *Camelina sativa* and *Brassica napus* L. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1892759), 1-15. <https://doi.org/10.1155/2022/1892759>.
- Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Journal of Scientia Horticulturae*, 196, 66-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>.
- Sayyari, M., Ghavami, M., Ghanbari, F., & Kordi, S. (2013). Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop sciences*, 5(17), 1951-1957.
- Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2023). Effect of nano silicon and plant growth-promoting rhizobacteria on biomass, nodulation and some physiological traits of grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(4), 435-449. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.75528.1149>. (In Persian).
- Wang, X., Huang, W., Liu, J., Yang, Z., & Huang, B. (2016). Molecular regulation and physiological functions of a novel FaHsfA2c cloned from tall fescue conferring plant tolerance to heat stress. *Plant Biotechnology Journal*, 15(2), 237-248. <https://doi.org/10.1111/pbi.12609>.
- Yan, G. C., Nikolic, M., Ye, M. J., Xiao, Z. X., & Liang, Y. C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138-2150. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4).
- Zaremanesh, H. (2023). The effect of brassinosteroid foliar application on growth traits and content of sodium and potassium ions of *Satureja hortensis* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 12(54), 325-338. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0>. (In Persian).