

تأثیر محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری

فاطمه آقایی، رئوف سیدشریفی* و حامد نریمانی

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد و 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 نانو سیلیکون، محلول-پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی، محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، محلول پاشی نانو سیلیکون و نانو اکسید روی، محلول پاشی نانو سیلیکون و پوترسین، محلول پاشی نانو اکسید روی و پوترسین، محلول پاشی همزمان نانو اکسید روی و سیلیکون با پوترسین) بودند. نتایج نشان داد که محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری، فلورسانس متغیر (۹۵/۸ درصد)، فلورسانس حداکثر (۳۵/۳۳ درصد)، عملکرد کوانتومی (۴۲/۲۴ درصد)، شاخص سطح برگ (۸۶/۱۹ درصد)، پروتئین برگ پرچم (۴۱/۸ درصد)، ماده خشک کل (۴۴/۰۹ درصد)، فتوستتز جاری (۸۷/۱۵ درصد) و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (۳۶/۰۴ درصد) و عملکرد دانه (۳۷/۳۴ درصد) را نسبت به شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری افزایش داد. ولی حداکثر میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی (به ترتیب ۳۷/۸۰ و ۳۸/۱۵ درصد) و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (به ترتیب ۸۹/۴۵ و ۹۰/۲۲ درصد) در شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار بدست آمد. به نظر می‌رسد کاربرد نانوذرات و پوترسین با بهبود فتوستتز جاری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، می‌تواند عملکرد دانه گندم را تحت تنش شوری افزایش دهد.

کلمات کلیدی: پروتئین برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد کوانتومی، فتوستتز جاری، فلورسانس حداکثر

مقدمه

القای خشکی فیزیولوژیک در گیاه، نابه‌سامانی در فتوسیستم II، کاهش فلورسانس کلروفیل، کاهش تدریجی در سرعت انتقال الکترون و میزان فتوستتز می‌شود. همچنین مسدود شدن مسیر انتقال الکترون به وسیله یون کلر در غلظت‌های سمی این عنصر

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Ahmad et al., 2019) که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، موجب

مواجهه با انواع تنش‌های محیطی است (Etesami and Jeong, 2018). سیلیکون با بهبود تعادل آبی، تحریک سیستم آنزیمی و فعال نمودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش سنتز ترکیب‌های فنلی، تعادل هورمونی، سنتز کلروفیل، کاهش جذب سدیم و یا افزایش وابسته به H^+ -ATPase پتاسیم، افزایش فعالیت فتوسنتز و تولید زیست‌توده، موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌شود (Ahmad et al., 2019). نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش، از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه تربیتی‌کاله شد. Song و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که محلول‌پاشی سیلیکون از طریق افزایش عملکرد کوانتومی و سطح برگ، موجب افزایش تجمع ماده خشک شد.

کاربرد پلی‌آمین‌هایی همچون پوترسین یکی دیگر از راهکارهای نوین به‌منظور کاهش اثر مضر تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری است (Hasanuzzaman et al., 2019). پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلی نیتروژن‌دار و پلی‌کاتیون‌های با وزن مولکولی کوچک هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه، نقش حفاظتی در برابر آسیب غشا و پراکسیداسیون لیپیدی دارند و در تنظیم فرآیندهای مهم سلول از جمله همانندسازی DNA، تقسیم سلولی، فعالیت آنزیم‌ها، گلدهی، رسیدن میوه، رشد ریشه و تأخیر پیری نقش دارند (Hasanuzzaman et al., 2019). پلی‌آمین‌ها از طریق تحریک سنتز ATP، انرژی سلول را تأمین کرده و ظرفیت فتوسنتزی را با افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در شرایط تنش، بهبود می‌بخشند (Zhang et al., 2009). عمادی و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق افزایش دوام سطح برگ، موجب افزایش فتوسنتز و عملکرد دانه گندم شد. سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین ضمن بهبود عملکرد کوانتومی و محتوای پروتئین اندام هوایی، موجب افزایش وزن خشک ماشک گل‌خوشه‌ای شد.

و پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای تیلاکوئیدی می‌تواند موجب کاهش در فلورسانس کلروفیل برگ در غلظت‌های بالای نمک شود (محلوجی، ۱۳۹۵). گرچه شوری فرآیندهای فتوسنتزی را مختل می‌کند، ولی در برخی موارد افزایش انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و اندام هوایی به دانه تحت تنش شوری (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷) و محلول‌پاشی نانوآکسید روی و سیلیکون از جمله راهکارهای است که قادر است تا حدی ضمن تعدیل یا کاهش اثر سوء ناشی از تنش، با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و تعدیل اثرات مخرب تنش شوری به بهبود عملکرد دانه کمک کند (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۹).

روی (Zn) یک ریزمغذی ضروری است که در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیک در گیاهان نقش دارد و کوفاکتور آنزیم‌های متعددی مانند RNA پلیمراز، سوپراکسید دیسموتاز، الکل دهیدروژناز و کربنیک انهدراز است. به همین دلیل، حضور آن برای سنتز پروتئین، کربوهیدرات، لیپید و اسیدهای نوکلئیک و متابولیسم آنتی‌اکسیدان ضروری است (Sturikova et al., 2018). محلول‌پاشی نانوآکسید روی در شرایط شوری با کاهش جذب سدیم توسط ریشه، بهبود عملکرد کوانتومی و فرآیندهای فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی می‌شود (Torabian et al., 2015). طبق گزارش نریمانی و سیدشریفی (۱۳۹۹) محلول‌پاشی نانوآکسید روی در شرایط شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر)، موجب افزایش درصد پروتئین و عملکرد دانه گندم شد. خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۷) نیز اظهار داشتند که محلول نانوآکسید روی با بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری، موجب افزایش عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری شد.

کاربرد سیلیکون در گیاهان نیز معمولاً با نفوذ در ساقه و برگ، ضمن استحکام فیزیکی اندام‌ها و بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک، تبادلات گازی، موجب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود که نتیجه آن افزایش کارایی گیاه در

امروزه پایین بودن مقدار بارش و دمای بالا در مناطق خشک و نیمه خشک و بهره برداری زیاد از منابع آب قابل دسترس، از علل عمده شور شدن آب و خاک ذکر شده (Mouk and Ishii, 2008). از این رو یکی از راه کارهای مناسب برای مقابله با این مشکل، افزایش مقاومت گیاهان به شوری است. در این راستا به دلیل اهمیت نانو ذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش و بررسی های محدود انجام شده در خصوص برهم کنش همزمان این عوامل، موجب شد تا اثر محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کاملاً تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی 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 و اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار از 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 میلی گرم در لیتر نانو سیلیکون، محلول پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی، محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین، محلول پاشی نانو سیلیکون و نانو اکسید روی، محلول پاشی نانو سیلیکون و پوترسین، محلول پاشی نانو اکسید روی و پوترسین، محلول پاشی همزمان سیلیکون و نانو اکسید روی و پوترسین) بود. با استفاده از نمک NaCl و نرم افزار Salt Calc (با استناد به هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع خاک) مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان در هر یک از سطوح شوری محاسبه و همراه آب آبیاری به خاک اضافه 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، نمک های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. پس از تهیه خاک یکدست، ۲۰ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان ها با قطر ۴۲ سانتی متر، تا ارتفاع ۴۰ سانتی متری از خاک پر شدند. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. در این آزمایش از گندم رقم "کاسکوژن" با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع (۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است استفاده شد (تاریخ کاشت ۱۴۰۰/۱۱/۱۲). این رقم پابلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوایی بسیار خوب قرار دارد. گلدان ها در شرایط گلخانه ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی 65 ± 7 درصد نگهداری شد. محلول پاشی با نانوذرات و پوترسین در دو مرحله رشدی (مراحل پنجه دهی و ساقه دهی به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. مشخصات نانوذرات در جدول ۲ آورده شده است.

برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام های رویشی به دانه، در هر گلدان بوته هایی مشابه و یکنواخت علامت گذاری شده و از یک هفته قبل از پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یکبار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن در آون به اندام های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه از طریق روابط مربوطه محاسبه شد (Barnett and Pearce, 1983). در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. Ehdai و Wanies (۱۹۹۶) هم در بررسی های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به کار برده اند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

| ویژگی | اسیدیتته | عصاره اشباع | شوری خاک | بافت | رس | سیلت | شن | کربن آلی | نیتروژن | روی | فسفر | پتاسیم |
|-------|----------|-------------|---------------------|------|------|------|-------------|-----------------------|---------|------|------|--------|
| میزان | ۷/۸ | (درصد) ۴۷ | ($ds.m^{-1}$) ۱/۸ | سیلت | ۱۹/۵ | ۴۲ | (درصد) ۳۸/۵ | ۰/۷۲ | ۰/۰۴ | ۱/۰۲ | ۲۷/۳ | ۲۵۵ |
| | | | | | | | | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | | |

جدول ۲- مشخصات نانو اکسید روی و نانوسیلیکون

| رنگ | سطح ویژه ذرات | میانگین اندازه ذرات (nm) | خلوص (%) | وزن (g) | نوع نانوذرات |
|------------|------------------|--------------------------|----------|---------|----------------|
| پودری سفید | $>30 m^2.g^{-1}$ | <30 | ۹۹ | ۱۰۰ | نانو اکسید روی |
| پودری سفید | $>30 m^2.g^{-1}$ | ۲۰-۳۰ | ۹۹ | ۰/۰۵ | نانوسیلیکون |

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY} \right) \times 100$$

رابطه ۱

در این رابطه CSAG (Contribution of Stem Assimilates to Grain) سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۵

$$CP = GY - DMT$$

در این رابطه CP (Current photosynthesis) میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در بوته، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته و DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۶

$$SSPG = \left(\frac{CP}{GY} \right) \times 100$$

در این رابطه CCPG (Contribution Current Photosynthesis in Grain) سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

به منظور برآورد میزان بیوماس کل، Total Dry Matter، (TDM) و شاخص سطح برگ ((Leaf Area Index, LAI)، از ۴۴ روز بعد از کاشت (مرحله طولیل شدن ساقه معادل با کد ۳۱ از مقیاس BBCH) شروع و تا ۱۳۴ روز پس از کاشت (تا

$$DMT = DMA - DMM$$

که در آن DMT (Dry Matter Translocation) میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در بوته، DMA (Dry Matter at Anthesis) حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM (Dry Matter at Maturity) ماده خشک اندام هوایی (بجز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

رابطه ۲

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY} \right) \times 100$$

در این رابطه CDMAG (Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain) سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته و GY (Grain Yield) عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۳

$$SDMT = SDMM - SDMA$$

در این رابطه SDMT (Stem Dry Matter Translocation) میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته، SDMA (Stem Dry Matter at Anthesis) حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMM (Stem Dry Matter at Maturity) وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

رابطه ۴

با نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم: برهمکنش همزمان هر دو عامل محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی دار شد (جدول ۳ و ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH)، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش ۳۲/۲۳ درصدی فلورسانس حداقل برگ پرچم نسبت به عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۵). فلورسانس حداقل (F_0) تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد که تغییرات ساختاری در مراکز واکنش اولیه فتوسیستم II به وجود می‌آورند. در مطالعه حاضر، میزان F_0 با افزایش سطح شوری افزایش یافت (جدول ۵)، و افزایش فلورسانس حداقل حاکی از خسارت به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II به دلیل کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و اکسیداسیون ناقص آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع منجر به غیرفعال شدن فتوسیستم II است (Falqueto et al., 2017).

در ۱۱۴ روز پس از کاشت، محلول پاشی همزمان نانوذرات (نانوسیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری ضمن دارا بودن بالاترین میزان فلورسانس متغیر (۵۲۸/۶۷)، از افزایش ۹۵/۸ درصدی نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۶). فلورسانس متغیر (F_v) که از اختلاف فلورسانس حداکثر (F_m) با فلورسانس حداقل (F_0) به دست می‌آید، وضعیت جریان الکترون از بخش فتوسیستم به QA را نشان می‌دهد (Xia et

التهای دوره پرشدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک معادل با کد ۸۹ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. نمونه برداری به روش تخریبی و از هر گلدان دو بوته برداشت شد. نمونه‌ها ابتدا در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیش تر قرار گرفته و سپس توزین شدند و با استفاده از روابط زیر برآورد شدند (Karimi and Siddique, 1991).

رابطه ۷

$$TDM = e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}$$

رابطه ۸

$$LAI = e^{(a+bt+ct^2)}$$

در این روابط t فاصله زمانی بین مراحل نمونه برداری a ، b

و c ضرایب معادله هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ 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) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی)، روند تغییرات شاخص‌های فلورسانس 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 (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll (fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) از هر تیمار به طور تصادفی پنج برگ پرچم توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0 ، F_m ، F_v و F_v/F_m اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough et al., 2016).

پروتئین برگ پرچم با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد تک بوته، در زمان رسیدگی (تاریخ برداشت ۱۴۰۱/۰۴/۰۴) تعداد شش بوته به ظاهر مشابه که به طور تصادفی در هر گلدان مشخص بود برداشت شده، و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش این صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. تجزیه داده‌ها

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداقل (F_0) و فلورسانس متغیر (F_v) برگ پرچم گندم

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---------------|------------|--|-----------|-----------|----------|----------|--|------------|------------|-----------|-----------|
| | | مراحل نمونه برداری فلورسانس حداقل (F_0) (روز پس از کاشت) | | | | | مراحل نمونه برداری فلورسانس متغیر (F_v) (روز پس از کاشت) | | | | |
| | | ۷۴ | ۸۴ | ۹۴ | ۱۰۴ | ۱۱۴ | ۷۴ | ۸۴ | ۹۴ | ۱۰۴ | ۱۱۴ |
| تکرار | ۲ | ۶۵۸۴/۸** | ۷۶۳/۳** | ۱۰۳۵/۰۹** | ۴۱۸۷/۵** | ۴۲۹۰/۸** | ۳۰۲۸۹/۶** | ۱۸۴۶/۲** | ۱۱۵۹۵/۰۹** | ۳۲۷/۶** | ۱۲۱۸/۷** |
| (S) | ۳ | ۱۳۶۴۴/۷** | ۱۲۶۵۴/۳** | ۱۴۳۲۳/۶** | ۷۳۵۲/۹** | ۳۸۲۶/۴** | ۱۰۳۹۴۳/۴** | ۱۲۴۷۵۸/۲** | ۹۰۰۴۶/۳۷** | ۸۲۳۶۰/۷** | ۵۹۸۵۹/۷** |
| (N) | ۷ | ۴۱۰۵/۸** | ۴۳۷۴/۹** | ۴۳۹۵/۴** | ۱۷۰۵/۵** | ۱۲۲۳/۱** | ۴۲۲۱۲/۷** | ۴۶۱۹۰/۵** | ۳۱۹۴۴/۱۸** | ۲۲۸۸۹/۶** | ۱۸۷۷۵/۲** |
| S×N | ۲۱ | ۷۵۱/۶** | ۴۷۵/۸** | ۶۲۴/۳۷** | ۴۰۴/۹** | ۲۵۵/۴** | ۶۴۶۲/۹** | ۳۴۴۹/۵** | ۳۷۳۸/۳۸** | ۳۷۱۸/۱** | ۳۶۴۱/۹** |
| خطا | ۶۲ | ۱۱۶/۴ | ۸۰/۱ | ۹۸/۵ | ۱۲۳/۰۵ | ۹۳/۵ | ۱۳۹۰/۹ | ۱۳۵۴/۷ | ۱۴۰۰/۵ | ۸۰/۸۷ | ۹۹۱/۹ |
| CV | - | ۶/۹ | ۵/۲ | ۵/۵۳ | ۵/۱۹ | ۴/۳۳ | ۶/۷۳ | ۷/۰۷ | ۷/۵۵ | ۶/۶۰ | ۷/۹ |

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

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداکثر (F_m) و عملکرد کوانتومی برگ پرچم گندم (F_v/F_m)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---------------|------------|---|------------|-----------|-----------|-----------|---|---------|----------|----------|----------|
| | | مراحل نمونه برداری فلورسانس حداکثر (F_m) (روز پس از کاشت) | | | | | مراحل نمونه برداری عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) (روز پس از کاشت) | | | | |
| | | ۷۴ | ۸۴ | ۹۴ | ۱۰۴ | ۱۱۴ | ۷۴ | ۸۴ | ۹۴ | ۱۰۴ | ۱۱۴ |
| تکرار | ۲ | ۸۹۳۹/۷** | ۱۴۶۴/۹** | ۵۷۰۶/۳** | ۴۳۰۴/۳** | ۹۵۲/۴** | ۰/۰۱۹** | ۰/۰۱۴** | ۰/۰۰۵۸** | ۰/۰۰۵۶** | ۰/۰۰۸۲** |
| (S) | ۳ | ۴۲۳۸۸/۹** | ۶۰۳۱۲/۰۶** | ۳۴۴۵۵/۱** | ۴۰۵۴۳/۷** | ۳۳۵۶۴/۲** | ۰/۰۳۱** | ۰/۰۴۴** | ۰/۰۵۲** | ۰/۰۳۸** | ۰/۰۲۸** |
| (N) | ۷ | ۲۰۴۴۱/۲** | ۲۲۹۳۸/۳** | ۱۲۸۶۰/۴** | ۱۲۹۲۶/۹** | ۱۰۸۰۱/۱** | ۰/۰۱۷** | ۰/۰۲** | ۰/۰۱۶** | ۰/۰۱۳** | ۰/۰۱۳** |
| S×N | ۲۱ | ۳۱۳۵/۱** | ۱۷۱۰/۱* | ۲۵۳۰/۷** | ۲۵۱۰/۴** | ۲۵۰۵/۱** | ۰/۰۰۵۲** | ۰/۰۰۳** | ۰/۰۰۳۳** | ۰/۰۰۲۷** | ۰/۰۰۳** |
| خطا | ۶۲ | ۹۰۳/۱ | ۹۶۸/۲ | ۱۱۳۰/۸ | ۶۸۶/۴ | ۶۷۶/۵ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱۲ |
| CV | - | ۴/۲۳ | ۵/۴ | ۴/۹۸ | ۴/۰۶ | ۴/۱۸ | ۶/۲۸ | ۴/۵۴ | ۴/۴۹ | ۴/۹۶ | ۵/۴۵ |

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

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

می‌کند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ۳۵/۳۳ درصدی فلورسانس حداکثر نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی مولار در ۱۱۴ روز پس از کاشت شد (جدول ۷). گزارش شده است که کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (Chaves et al., 2009). آسیب به دستگاه

(al., 2004). نتایج نشان داد که تنش شوری، کاهش مقدار فلورسانس متغیر را به دنبال داشت (جدول ۶). اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل هنگامی که اولین پذیرنده الکترون (QA) در حالت احیا باشد زیاد است و به این دلیل مقدار فلورسانس متغیر (F_v) نیز در این حالت زیاد می‌شود، اما زمانی که QA در حالت اکسیداسیون است، مقدار فلورسانس کلروفیل کم است و میزان فلورسانس متغیر (F_v) کاهش می‌یابد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). از آنجایی که فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده الکترون (Q) است، بنابراین می‌توان استنباط نمود که تنش شوری در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداقل (F_0) و برگ پرچم گندم

| مراحل نمونه برداری فلورسانس حداقل (F_0) (روز پس از کاشت) | | | | | ترکیب تیماری |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | |
| ۲۱۹/۳۳ ^{g-l} | ۲۰۹/۳۳ ^{g-l} | ۱۷۶/۳۳ ^{h-l} | ۱۶۳/۳۳ ^{k-m} | ۱۴۸ ^{k-o} | $S_1 \times N_1$ |
| ۲۰۳ ^{m-p} | ۱۸۳/۳۳ ^{o-r} | ۱۳۶/۳۳ st | ۱۵۲/۶۶ ^{l-n} | ۱۲۱/۶۶ ^{qr-u} | $S_1 \times N_2$ |
| ۲۰۷/۳۳ ^{k-o} | ۱۹۴ ^{l-q} | ۱۶۶/۳۳ ^{l-n} | ۱۳۴/۳۳ ^{p-s} | ۱۳۱/۶۶ ^{o-s} | $S_1 \times N_3$ |
| ۲۲۳ ^{fg-k} | ۲۰۱ ^{j-o} | ۱۴۴/۶۶ ^{p-t} | ۱۴۷ ^{n-p} | ۱۱۰/۶۶ ^u | $S_1 \times N_4$ |
| ۲۱۱/۳۳ ^{h-n} | ۱۷۸ ^{qr} | ۱۵۶/۳۳ ^{m-q} | ۱۲۹ ^{q-s} | ۱۴۲/۶۶ ^{m-p} | $S_1 \times N_5$ |
| ۱۹۵/۳۳ ^{op} | ۱۸۸/۶۶ ^{m-r} | ۱۳۳/۳۳ st | ۱۳۷ ^{o-r} | ۱۱۲/۶۶ ^{tu} | $S_1 \times N_6$ |
| ۱۹۷/۶۶ ^{n-p} | ۱۸۰ ^{p-r} | ۱۴۱ ^{qr-t} | ۱۲۶ ^{rs} | ۱۱۶ ^{s-u} | $S_1 \times N_7$ |
| ۱۹۱/۳۳ ^p | ۱۷۳/۳۳ ^r | ۱۲۹ ^t | ۱۲۲ ^s | ۱۰۶/۳۳ ^u | $S_1 \times N_8$ |
| ۲۳۹/۶۶ ^{a-e} | ۲۲۸/۶۶ ^{b-f} | ۲۰۶/۳۳ ^{d-f} | ۱۹۰/۳۳ ^{e-g} | ۱۸۵ ^{c-g} | $S_2 \times N_1$ |
| ۲۲۴/۶۶ ^{e-j} | ۲۰۵/۳۳ ^{h-m} | ۱۶۹/۳۳ ^{k-n} | ۱۷۸/۳۳ ^{g-j} | ۱۵۵/۶۶ ^{j-n} | $S_2 \times N_2$ |
| ۲۳۲/۶۶ ^{b-g} | ۲۱۸/۳۳ ^j | ۱۹۶ ^{e-g} | ۱۶۷ ^{h-l} | ۱۵۷/۳۳ ⁱ⁻ⁿ | $S_2 \times N_3$ |
| ۲۳۷ ^{b-f} | ۲۲۸/۳۳ ^{b-f} | ۱۹۲/۶۶ ^{fg} | ۱۶۹ ^{jk} | ۱۷۴ ^{e-i} | $S_2 \times N_4$ |
| ۲۲۷ ^{d-h} | ۲۲۲/۶۶ ^{e-h} | ۱۵۹/۶۶ ^{m-p} | ۱۸۴/۳۳ ^{f-i} | ۱۵۹/۶۶ ^{h-m} | $S_2 \times N_5$ |
| ۲۳۷/۶۶ ^{a-f} | ۲۳۱/۳۳ ^{b-e} | ۱۹۴/۶۶ ^{fg} | ۱۹۷/۳۳ ^{c-f} | ۱۷۳/۳۳ ^{f-i} | $S_2 \times N_6$ |
| ۲۰۴/۶۶ ^{l-p} | ۱۹۹ ^{k-o} | ۱۴۸/۶۶ ^{o-s} | ۱۴۳/۳۳ ^{n-q} | ۱۳۷/۶۶ ^{o-q} | $S_2 \times N_7$ |
| ۲۰۱ ^{n-p} | ۱۸۶/۳۳ ^{n-r} | ۱۳۹/۳۳ ^t | ۱۳۱ ^{q-s} | ۱۱۸/۶۶ ^{t-u} | $S_2 \times N_8$ |
| ۲۴۵ ^{a-c} | ۲۴۲/۶۶ ^{a-c} | ۲۱۸/۳۳ ^{b-d} | ۲۰۴ ^{b-e} | ۱۹۸/۶۶ ^{a-d} | $S_3 \times N_1$ |
| ۲۴۱/۳۳ ^{a-d} | ۲۲۶/۶۶ ^{c-g} | ۲۱۱ ^{c-e} | ۲۰۷/۳۳ ^{b-d} | ۱۹۱/۳۳ ^{b-e} | $S_3 \times N_2$ |
| ۲۱۰/۳۳ ^{i-o} | ۲۴۱ ^{a-d} | ۱۸۴ ^{g-k} | ۱۹۳/۶۶ ^{d-f} | ۱۶۹/۶۶ ^{g-j} | $S_3 \times N_3$ |
| ۲۱۷/۳۳ ^{g-m} | ۲۱۲/۶۶ ^{f-k} | ۱۸۷/۶۶ ^{g-i} | ۲۰۲ ^{c-e} | ۱۷۷ ^{ef-h} | $S_3 \times N_4$ |
| ۲۳۸ ^{a-f} | ۲۳۶/۳۳ ^{a-e} | ۱۸۶/۳۳ ^{g-j} | ۱۷۱/۶۶ ^{i-k} | ۱۳۵ ^{o-r} | $S_3 \times N_5$ |
| ۲۱۹/۳۳ ^{g-l} | ۲۰۷/۳۳ ^{h-l} | ۱۹۶ ^{e-g} | ۱۷۵/۳۳ ^{h-k} | ۱۶۲ ^{h-l} | $S_3 \times N_6$ |
| ۲۲۲/۶۶ ^{f-k} | ۲۳۱/۳۳ ^{b-e} | ۱۶۳ ^{l-o} | ۱۷۴/۶۶ ^{h-k} | ۱۴۵/۶۶ ^{l-p} | $S_3 \times N_7$ |
| ۲۰۹/۳۳ ^{j-o} | ۱۹۶/۳۳ ^{k-p} | ۱۵۳/۶۶ ^{n-r} | ۱۴۰ ^{n-r} | ۱۲۸/۶۶ ^{p-t} | $S_3 \times N_8$ |
| ۲۵۳ ^a | ۲۵۱ ^a | ۲۳۷/۳۳ ^a | ۲۲۳ ^a | ۲۱۴/۶۶ ^a | $S_4 \times N_1$ |
| ۲۴۸ ^{ab} | ۲۴۵ ^{ab} | ۲۲۶/۶۶ ^{a-c} | ۲۱۱/۳۳ ^{a-c} | ۲۰۶/۳۳ ^{ab} | $S_4 \times N_2$ |
| ۲۲۵/۶۶ ^{d-i} | ۲۲۳/۳۳ ^{d-h} | ۲۲۳ ^{a-c} | ۱۷۵ ^{h-k} | ۱۴۶/۳۳ ^{l-o} | $S_4 \times N_3$ |
| ۲۴۳ ^{a-c} | ۲۲۶ ^{c-g} | ۲۳۰/۶۶ ^{ab} | ۱۹۷ ^{c-f} | ۲۰۲/۳۳ ^{a-c} | $S_4 \times N_4$ |
| ۲۳۰ ^{c-g} | ۲۱۰ ^{g-l} | ۱۹۹/۳۳ ^{e-g} | ۲۱۸ ^{ab} | ۱۸۸/۶۶ ^{c-f} | $S_4 \times N_5$ |
| ۲۳۰/۳۳ ^{c-g} | ۲۲۰/۳۳ ^{e-i} | ۱۷۱/۳۳ ^{j-m} | ۱۸۷ ^{f-h} | ۱۶۴ ^{h-k} | $S_4 \times N_6$ |
| ۲۳۶ ^{b-f} | ۲۳۴/۳۳ ^{a-e} | ۱۸۹/۳۳ ^{gh} | ۱۶۵/۶۶ ^{j-l} | ۱۸۱/۶۶ ^{e-h} | $S_4 \times N_7$ |
| ۲۲۵ ^{e-j} | ۲۰۳/۳۳ ⁱ⁻ⁿ | ۱۷۲/۳۳ ^{i-m} | ۱۴۹/۶۶ ^{m-o} | ۱۴۰/۶۶ ^{n-p} | $S_4 \times N_8$ |
| ۱۵/۷۸ | ۱۸/۱۰ | ۱۶/۲۰ | ۱۴/۶۱ | ۱۷/۶۱ | LSD |

S_1, S_2, S_3 و S_4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ و N_8 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانوآکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانوآکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانوآکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانوآکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

فتوستتزی و افزایش فلورسانس حداقل و کاهش فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر در شرایط تنش شوری توسط

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس متغیر (Fv) و برگ پرچم گندم

| مراحل نمونه‌برداری فلورسانس متغیر (Fv) (روز پس از کاشت) | | | | | ترکیب تیماری |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | |
| ۴۱۷/۳۳ ^{f-k} | ۴۴۴/۳۳ ^{g-k} | ۵۰۲/۳۳ ^{e-i} | ۵۴۸/۳۳ ^{f-h} | ۵۶۶/۳۳ ^{g-k} | S ₁ ×N ₁ |
| ۴۳۰/۶۷ ^{d-i} | ۵۳۲/۶۷ ^{a-d} | ۵۸۹/۶۷ ^{b-d} | ۵۷۸/۳۳ ^{e-g} | ۶۶۱/۳۳ ^{b-e} | S ₁ ×N ₂ |
| ۴۵۷/۶۷ ^{b-f} | ۴۹۷/۳۳ ^{c-f} | ۵۲۹/۶۷ ^{d-g} | ۶۴۰/۶۷ ^{a-d} | ۶۲۳/۶۷ ^{c-g} | S ₁ ×N ₃ |
| ۴۶۹/۶۷ ^{b-e} | ۴۷۶ ^{e-h} | ۵۹۱ ^{bc} | ۵۹۶ ^{cd-f} | ۶۲۷ ^{c-g} | S ₁ ×N ₄ |
| ۴۴۴/۶۷ ^{d-h} | ۵۴۹ ^{ab} | ۵۹۱ ^{c-f} | ۶۶۰/۶۷ ^{ab} | ۵۸۴/۶۷ ^{f-i} | S ₁ ×N ₅ |
| ۵۰۷/۶۷ ^{ab} | ۵۱۴/۳۳ ^{b-e} | ۶۳۴/۶۷ ^{ab} | ۶۲۹/۳۳ ^{b-e} | ۶۹۲/۳۳ ^{ab} | S ₁ ×N ₆ |
| ۴۹۹/۶۷ ^{a-c} | ۵۴۲/۶۷ ^{a-c} | ۶۰۴ ^{a-c} | ۶۷۰/۳۳ ^{ab} | ۶۸۰/۳۳ ^{a-c} | S ₁ ×N ₇ |
| ۵۲۸/۶۷ ^a | ۵۶۹/۶۷ ^a | ۶۵۴/۶۷ ^a | ۶۹۲/۶۷ ^a | ۷۲۷ ^a | S ₁ ×N ₈ |
| ۳۳۱/۶۷ ^{o-q} | ۳۸۲/۳۳ ^{m-q} | ۴۱۷/۶۷ ^{k-n} | ۴۴۹ ^{k-o} | ۴۶۸/۶۷ ^{n-q} | S ₂ ×N ₁ |
| ۴۲۲ ^{e-j} | ۴۶۰/۶۷ ^{f-j} | ۴۶۴ ^{h-l} | ۴۶۰ ^{j-n} | ۵۴۶ ^{h-l} | S ₂ ×N ₂ |
| ۳۶۹ ^{k-p} | ۴۱۷/۳۳ ^{j-n} | ۴۴۸ ^{i-m} | ۴۹۳/۳۳ ^{h-l} | ۵۴۱/۶۷ ^{i-m} | S ₂ ×N ₃ |
| ۳۴۳ ^{o-q} | ۴۲۲/۶۷ ^{i-m} | ۴۵۳/۳۳ ^{h-l} | ۴۶۲/۶۷ ^{j-n} | ۵۰۱ ^{l-o} | S ₂ ×N ₄ |
| ۳۴۴ ^{n-q} | ۴۰۵/۶۷ ^{k-o} | ۵۰۱ ^{e-i} | ۴۶۹/۶۷ ^{i-m} | ۵۳۸/۳۳ ^{i-m} | S ₂ ×N ₅ |
| ۳۳۳/۳۳ ^{o-q} | ۳۶۷/۶۷ ^{o-s} | ۴۸۸/۳۳ ^{g-j} | ۴۴۹ ^{k-o} | ۵۱۶/۳۳ ^{j-n} | S ₂ ×N ₆ |
| ۴۶۸/۶۷ ^{b-f} | ۳۹۷/۶۷ ^{l-p} | ۴۹۵ ^{f-j} | ۵۴۱/۳۳ ^{f-h} | ۶۰۲ ^{e-h} | S ₂ ×N ₇ |
| ۴۸۱/۶۷ ^{a-d} | ۵۲۴/۶۷ ^{a-d} | ۶۱۰ ^{a-c} | ۶۴۹/۶۷ ^{a-c} | ۶۷۲ ^{a-d} | S ₂ ×N ₈ |
| ۳۱۱/۶۷ ^{q-r} | ۳۲۱/۶۷ ^{q-t} | ۳۸۹ ^{m-o} | ۴۱۲/۳۳ ^{m-o} | ۴۲۹ ^{p-r} | S ₃ ×N ₁ |
| ۳۲۳/۳۳ ^{p-q} | ۳۹۵/۶۷ ^{l-p} | ۴۰۷ ^{l-n} | ۴۰۵ ^{n-p} | ۴۴۹/۶۷ ^{o-q} | S ₃ ×N ₂ |
| ۳۸۷ ⁱ⁻ⁿ | ۳۳۳/۳۳ ^s | ۴۷۸/۶۷ ^{g-k} | ۴۳۹/۶۷ ^{l-o} | ۵۱۱ ^{k-n} | S ₃ ×N ₃ |
| ۴۲۲/۶۷ ^{c-j} | ۴۳۶/۳۳ ^{h-l} | ۴۶۹/۶۷ ^{g-k} | ۴۴۹/۳۳ ^{k-o} | ۴۹۱ ^{l-o} | S ₃ ×N ₄ |
| ۳۴۲ ^{n-q} | ۳۵۴/۳۳ ^{p-s} | ۴۷۰ ^{g-k} | ۵۱۱/۳۳ ^{h-j} | ۶۱۲/۶۷ ^{d-g} | S ₃ ×N ₅ |
| ۴۳۷/۶۷ ^{d-i} | ۴۵۲/۳۳ ^{f-j} | ۴۴۵ ^{i-m} | ۵۴۱/۶۷ ^{f-h} | ۵۳۴/۶۷ ^{i-m} | S ₃ ×N ₆ |
| ۴۰۴/۳۳ ^{g-l} | ۳۷۵ ^{n-r} | ۵۷۸ ^{b-d} | ۴۹۷/۳۳ ^{h-l} | ۵۷۳/۶۷ ^{f-j} | S ₃ ×N ₇ |
| ۴۵۲/۶۷ ^{c-g} | ۴۹۰/۶۷ ^{c-g} | ۵۵۸/۶۷ ^{c-e} | ۶۱۸ ^{b-e} | ۶۳۳ ^{b-f} | S ₃ ×N ₈ |
| ۲۷۰ ^r | ۲۸۵/۳۳ ^t | ۳۳۲ ^o | ۳۵۱ ^p | ۳۸۲ ^f | S ₄ ×N ₁ |
| ۳۶۶ ^{k-p} | ۴۰۰/۶۷ ^{k-p} | ۴۵۳/۳۳ ^{h-l} | ۳۹۵/۶۷ ^{op} | ۴۰۸/۶۷ ^{q-r} | S ₄ ×N ₂ |
| ۳۷۵/۳۳ ^{j-o} | ۴۰۰/۶۷ ^{k-p} | ۴۳۴/۶۷ ^{i-m} | ۵۰۶ ^{h-k} | ۵۷۷ ^{f-j} | S ₄ ×N ₃ |
| ۳۱۸/۳۳ ^{p-r} | ۳۹۰/۳۳ ^{l-q} | ۳۵۷/۳۳ ^{no} | ۴۳۱/۳۳ ^{m-o} | ۴۱۹/۳۳ ^{p-r} | S ₄ ×N ₄ |
| ۳۶۴/۳۳ ^{l-p} | ۳۴۵ ^{q-s} | ۴۸۳/۳۳ ^{g-j} | ۴۳۹ ^{l-o} | ۴۵۷/۶۷ ^{n-q} | S ₄ ×N ₅ |
| ۳۷۵/۶۷ ^{j-o} | ۴۵۹/۳۳ ^{f-j} | ۴۸۱/۶۷ ^{g-j} | ۵۲۳ ^{e-i} | ۶۰۷/۳۳ ^{e-g} | S ₄ ×N ₆ |
| ۳۵۲/۳۳ ^{m-q} | ۳۶۶ ^{o-s} | ۴۶۳/۳۳ ^{h-l} | ۵۴۱ ^{f-h} | ۴۷۸/۳۳ ^{m-p} | S ₄ ×N ₇ |
| ۳۹۷/۳۳ ^{h-m} | ۴۶۷/۳۳ ^{f-i} | ۵۱۴ ^{e-h} | ۵۸۷ ^{d-f} | ۵۹۵ ^{f-i} | S ₄ ×N ₈ |
| ۵۱/۴ | ۴۶/۴۱ | ۶۱/۰۸ | ۶۰/۰۷ | ۶۰/۸۷ | LSD |

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداکثر (F_m) و برگ پرچم گندم

| مراحل نمونه برداری فلورسانس حداکثر (F_m) (روز پس از کاشت) | | | | | ترکیب تیماری |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | |
| ۶۳۶/۶۷ ^{e-k} | ۶۵۳/۶۷ ^{f-l} | ۶۷۸/۶۷ ^{f-j} | ۷۱۱/۶۷ ^{f-i} | ۷۱۴/۳۳ ^{f-l} | $S_1 \times N_1$ |
| ۶۳۳/۶۷ ^{e-k} | ۷۱۶ ^{a-c} | ۷۲۶ ^{b-f} | ۷۳۱ ^{d-h} | ۷۸۳ ^{b-d} | $S_1 \times N_2$ |
| ۶۶۵ ^{b-f} | ۶۹۱/۳۳ ^{b-f} | ۶۹۶ ^{c-h} | ۷۷۵ ^{a-d} | ۷۵۵/۳۳ ^{c-f} | $S_1 \times N_3$ |
| ۶۹۲/۶۷ ^{a-c} | ۶۷۷ ^{c-h} | ۷۳۵/۶۷ ^{a-e} | ۷۴۳ ^{c-g} | ۷۳۷/۶۷ ^{d-i} | $S_1 \times N_4$ |
| ۶۵۶ ^{c-h} | ۷۲۷ ^{ab} | ۷۱۲/۳۳ ^{c-g} | ۷۸۹/۶۷ ^{a-c} | ۷۲۷/۳۳ ^{e-j} | $S_1 \times N_5$ |
| ۷۰۳ ^{ab} | ۷۰۳ ^{a-e} | ۷۶۸ ^{ab} | ۷۶۶/۳۳ ^{a-e} | ۸۰۵ ^{ab} | $S_1 \times N_6$ |
| ۶۹۷/۳۳ ^{a-c} | ۷۲۲/۶۷ ^{ab} | ۷۴۵ ^{a-c} | ۷۹۶/۳۳ ^{ab} | ۷۹۶/۳۳ ^{a-c} | $S_1 \times N_7$ |
| ۷۲۰ ^a | ۷۴۳ ^a | ۷۸۳/۶۷ ^a | ۸۱۴/۶۷ ^a | ۸۳۳/۳۳ ^a | $S_1 \times N_8$ |
| ۵۷۱/۳۳ ^{n-p} | ۶۱۱ ^{t-p} | ۶۲۴ ^{j-n} | ۶۳۹/۳۳ ^{l-q} | ۶۵۳/۶۷ ^{m-q} | $S_2 \times N_1$ |
| ۶۴۶/۶۷ ^{d-i} | ۶۶۶ ^{e-z} | ۶۳۳/۳۳ ^{i-m} | ۶۳۸/۳۳ ^{l-q} | ۷۰۱/۶۷ ^{g-m} | $S_2 \times N_2$ |
| ۶۰۱/۶۷ ^{j-o} | ۶۳۵/۶۷ ^{h-n} | ۶۴۴ ^{h-l} | ۶۶۰/۳۳ ^{j-p} | ۶۹۹ ^{g-m} | $S_2 \times N_3$ |
| ۵۸۰ ^{m-p} | ۶۵۱ ^{f-l} | ۶۴۶ ^{h-l} | ۶۳۱/۶۷ ^{n-q} | ۶۷۵ ^{k-o} | $S_2 \times N_4$ |
| ۵۷۱ ^{n-p} | ۶۲۸/۳۳ ^{i-o} | ۶۶۰/۶۷ ^{g-l} | ۶۵۴ ^{l-q} | ۶۹۸ ^{h-m} | $S_2 \times N_5$ |
| ۵۷۱ ^{n-p} | ۵۹۹ ^{n-q} | ۶۸۳ ^{e-i} | ۶۴۶/۳۳ ^{l-q} | ۶۸۹/۶۷ ⁱ⁻ⁿ | $S_2 \times N_6$ |
| ۶۷۳/۳۳ ^{b-e} | ۵۹۶/۶۷ ^{n-r} | ۶۴۳/۶۷ ^{h-l} | ۶۸۴/۶۷ ^{h-l} | ۷۳۹/۶۷ ^{d-h} | $S_2 \times N_7$ |
| ۶۸۲/۶۷ ^{a-d} | ۷۱۱ ^{a-d} | ۷۴۹/۳۳ ^{c-c} | ۷۸۰/۶۷ ^{a-d} | ۷۹۰/۶۷ ^{a-c} | $S_2 \times N_8$ |
| ۵۵۶/۶۷ ^{p-q} | ۵۶۴/۳۳ ^{q-s} | ۶۰۷/۳۳ ^{l-n} | ۶۱۶/۳۳ ^{p-r} | ۶۲۷/۶۷ ^{o-r} | $S_3 \times N_1$ |
| ۵۶۴/۶۷ ^{n-q} | ۶۲۲/۳۳ ^{k-o} | ۶۱۸ ^{k-n} | ۶۱۲/۳۳ ^{p-r} | ۶۴۱ ^{n-r} | $S_3 \times N_2$ |
| ۵۹۷/۳۳ ^{k-p} | ۵۷۴/۳۳ ^{p-s} | ۶۶۲/۶۷ ^{g-k} | ۶۳۳/۳۳ ^{m-q} | ۶۸۰/۶۷ ^{j-n} | $S_3 \times N_3$ |
| ۶۴۰ ^{e-z} | ۶۴۹ ^{f-n} | ۶۵۷/۳۳ ^{h-l} | ۶۵۱/۳۳ ^{l-q} | ۶۶۸ ^{t-p} | $S_3 \times N_4$ |
| ۵۸۰ ^{m-p} | ۵۹۰/۶۷ ^{o-r} | ۶۵۶/۳۳ ^{h-l} | ۶۸۳ ^{h-m} | ۷۴۷/۶۷ ^{c-g} | $S_3 \times N_5$ |
| ۶۵۷ ^{c-g} | ۶۵۹/۶۷ ^{f-k} | ۶۴۱ ^{i-m} | ۷۱۷ ^{e-i} | ۶۹۶/۶۷ ^{h-m} | $S_3 \times N_6$ |
| ۶۲۷ ^{f-l} | ۶۰۶/۳۳ ^{m-q} | ۷۴۱ ^{a-d} | ۶۷۲ ^{i-o} | ۷۱۹/۳۳ ^{f-k} | $S_3 \times N_7$ |
| ۶۶۲ ^{b-g} | ۶۸۷ ^{b-g} | ۷۱۲/۳۳ ^{c-g} | ۷۵۸ ^{b-f} | ۷۶۱/۶۷ ^{b-f} | $S_3 \times N_8$ |
| ۵۲۳ ^q | ۵۳۶/۳۳ ^s | ۵۶۹/۳۳ ⁿ | ۵۷۴ ^f | ۵۹۶/۶۷ ^r | $S_4 \times N_1$ |
| ۶۱۴ ^{h-m} | ۶۴۵/۶۷ ^{h-m} | ۶۸۰ ^{f-i} | ۶۰۷ ^{q-r} | ۶۱۵ ^{q-r} | $S_4 \times N_2$ |
| ۶۰۱ ^{j-o} | ۶۲۴ ^{j-o} | ۶۵۷/۶۷ ^{g-l} | ۶۸۱ ^{h-n} | ۷۲۳/۳۳ ^{e-k} | $S_4 \times N_3$ |
| ۵۶۱/۳۳ ^{o-q} | ۶۱۶/۳۳ ^{l-p} | ۵۸۸ ^m | ۶۲۸/۳۳ ^{o-q} | ۶۲۱/۶۷ ^{p-r} | $S_4 \times N_4$ |
| ۵۹۴/۳۳ ^{k-p} | ۵۵۵ ^{t-s} | ۶۸۲/۶۷ ^{e-i} | ۶۵۷ ^{k-q} | ۶۴۶/۳۳ ^{n-q} | $S_4 \times N_5$ |
| ۶۰۶ ⁱ⁻ⁿ | ۶۷۹/۶۷ ^{c-g} | ۶۵۳ ^{h-l} | ۷۱۰ ^{f-j} | ۷۷۱/۳۳ ^{b-e} | $S_4 \times N_6$ |
| ۵۸۸/۳۳ ^{l-p} | ۶۰۰/۳۳ ^{n-q} | ۶۵۲/۶۷ ^{h-l} | ۷۰۶/۶۷ ^{g-k} | ۶۶۰ ^{m-q} | $S_4 \times N_7$ |
| ۶۲۲/۳۳ ^{h-m} | ۶۷۰/۶۷ ^{d-i} | ۶۸۶/۳۳ ^{d-i} | ۷۳۶/۶۷ ^{d-g} | ۷۳۵/۶۷ ^{d-i} | $S_4 \times N_8$ |
| ۴۲/۵۴ | ۴۲/۷۶ | ۵۴/۸۸ | ۵۰/۷۸ | ۴۹/۰۵ | LSD |

S_1, S_2, S_3 و S_4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ و N_8 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد کوانتومی (F_v/m) و برگ پرچم گندم

| مراحل نمونه برداری عملکرد کوانتومی (F_v/m) (روز پس از کاشت) | | | | | ترکیب تیماری |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | |
| ۰/۶۵۵ ^{d-h} | ۰/۶۷۹ ^{g-k} | ۰/۷۳۹ ^{e-h} | ۰/۷۷۰ ^{e-g} | ۰/۷۹۲ ^{g-l} | $S_1 \times N_1$ |
| ۰/۶۷۹ ^{b-f} | ۰/۷۴۴ ^{a-c} | ۰/۸۱۱ ^{ab} | ۰/۷۹۱ ^{d-f} | ۰/۸۴۴ ^{a-e} | $S_1 \times N_2$ |
| ۰/۶۸۸ ^{a-e} | ۰/۷۱۹ ^{b-f} | ۰/۷۶۰ ^{de} | ۰/۸۲۶ ^{a-d} | ۰/۸۲۵ ^{b-g} | $S_1 \times N_3$ |
| ۰/۶۷۷ ^{b-f} | ۰/۷۰۳ ^{d-h} | ۰/۸۰۳ ^{a-c} | ۰/۸۰۲ ^{b-e} | ۰/۸۴۸ ^{a-d} | $S_1 \times N_4$ |
| ۰/۶۷۷ ^{b-f} | ۰/۷۵۵ ^{ab} | ۰/۷۸۰ ^{b-d} | ۰/۸۳۶ ^{ab} | ۰/۸۰۳ ^{f-k} | $S_1 \times N_5$ |
| ۰/۷۲۲ ^{ab} | ۰/۷۳۱ ^{a-e} | ۰/۸۲۶ ^a | ۰/۸۲۱ ^{a-d} | ۰/۸۵۹ ^{ab} | $S_1 \times N_6$ |
| ۰/۷۱۶ ^{ab} | ۰/۷۵۱ ^{a-c} | ۰/۸۱۰ ^{ab} | ۰/۸۴۱ ^a | ۰/۸۵۳ ^{a-c} | $S_1 \times N_7$ |
| ۰/۷۳۴ ^a | ۰/۷۶۷ ^a | ۰/۸۳۵ ^a | ۰/۸۵۰ ^a | ۰/۸۷۲ ^a | $S_1 \times N_8$ |
| ۰/۵۸۰ ^{k-n} | ۰/۶۲۵ ^{n-q} | ۰/۶۶۸ ^{k-m} | ۰/۷۰۲ ^{j-m} | ۰/۷۱۶ ^{p-s} | $S_2 \times N_1$ |
| ۰/۶۵۲ ^{d-h} | ۰/۶۹۱ ^{f-j} | ۰/۷۳۰ ^{e-j} | ۰/۷۲۰ ^{i-l} | ۰/۷۷۷ ^{i-m} | $S_2 \times N_2$ |
| ۰/۶۱۳ ^{h-l} | ۰/۶۵۶ ^{j-o} | ۰/۶۹۳ ^{j-l} | ۰/۷۴۷ ^{g-i} | ۰/۷۷۴ ^{j-n} | $S_2 \times N_3$ |
| ۰/۵۸۶ ^{k-n} | ۰/۶۴۶ ^{k-p} | ۰/۷۰۱ ^{i-k} | ۰/۷۳۰ ^{h-k} | ۰/۷۴۱ ^{m-q} | $S_2 \times N_4$ |
| ۰/۶۰۱ ⁱ⁻ⁿ | ۰/۶۴۵ ^{k-p} | ۰/۷۵۷ ^{d-f} | ۰/۷۱۸ ^{i-l} | ۰/۷۷۰ ^{k-o} | $S_2 \times N_5$ |
| ۰/۵۸۰ ^{k-n} | ۰/۶۱۲ ^{p-r} | ۰/۷۰۹ ^{h-j} | ۰/۶۸۸ ^{l-o} | ۰/۷۳۹ ^{n-q} | $S_2 \times N_6$ |
| ۰/۶۹۶ ^{a-d} | ۰/۶۶۳ ⁱ⁻ⁿ | ۰/۷۶۵ ^{c-e} | ۰/۷۸۹ ^{d-f} | ۰/۸۱۳ ^{d-i} | $S_2 \times N_7$ |
| ۰/۷۰۵ ^{a-c} | ۰/۷۳۸ ^{a-d} | ۰/۸۱۳ ^{ab} | ۰/۸۳۲ ^{a-c} | ۰/۸۴۹ ^{a-d} | $S_2 \times N_8$ |
| ۰/۵۵۹ ^{no} | ۰/۵۶۹ st | ۰/۶۴۰ ^{mn} | ۰/۶۶۹ ^{m-o} | ۰/۶۸۳ ^{s-u} | $S_3 \times N_1$ |
| ۰/۵۷۲ ^{l-n} | ۰/۶۳۵ ^{m-q} | ۰/۶۵۸ ^{lm} | ۰/۶۶۱ ^{no} | ۰/۷۰۱ ^{r-t} | $S_3 \times N_2$ |
| ۰/۶۴۸ ^{e-h} | ۰/۵۸۰ ^{rs} | ۰/۷۲۲ ^{f-j} | ۰/۶۹۴ ^{k-n} | ۰/۷۵۰ ^{m-p} | $S_3 \times N_3$ |
| ۰/۶۶۰ ^{c-g} | ۰/۶۷۲ ^{h-m} | ۰/۷۱۴ ^{g-j} | ۰/۶۸۹ ^{l-o} | ۰/۷۳۴ ^{o-r} | $S_3 \times N_4$ |
| ۰/۵۸۹ ^{k-n} | ۰/۵۹۹ ^{q-s} | ۰/۷۱۵ ^{g-j} | ۰/۷۴۸ ^{g-i} | ۰/۸۱۸ ^{c-h} | $S_3 \times N_5$ |
| ۰/۶۶۴ ^{c-g} | ۰/۶۸۵ ^{f-j} | ۰/۶۹۳ ^{j-l} | ۰/۷۵۵ ^{f-i} | ۰/۷۶۶ ^{l-o} | $S_3 \times N_6$ |
| ۰/۶۴۴ ^{e-i} | ۰/۶۱۸ ^{o-r} | ۰/۷۸۰ ^{b-d} | ۰/۷۴۰ ^{g-i} | ۰/۷۹۶ ^{f-l} | $S_3 \times N_7$ |
| ۰/۶۸۳ ^{b-f} | ۰/۷۱۴ ^{c-g} | ۰/۷۸۴ ^{b-d} | ۰/۸۱۵ ^{a-d} | ۰/۸۳۰ ^{b-f} | $S_3 \times N_8$ |
| ۰/۵۱۶ ^o | ۰/۵۳۱ ^t | ۰/۵۸۲ ^o | ۰/۶۱۱ ^p | ۰/۶۴۰ ^v | $S_4 \times N_1$ |
| ۰/۵۹۲ ^{j-n} | ۰/۶۱۶ ^{p-r} | ۰/۶۶۴ ^{k-m} | ۰/۶۵۱ ^o | ۰/۶۶۴ ^{uv} | $S_4 \times N_2$ |
| ۰/۶۲۰ ^{g-k} | ۰/۶۴۰ ^{l-p} | ۰/۶۶۰ ^{lm} | ۰/۷۳۷ ^{g-j} | ۰/۷۹۳ ^{g-l} | $S_4 \times N_3$ |
| ۰/۵۶۷ ^{mn} | ۰/۶۳۳ ^{n-q} | ۰/۶۰۷ ^{no} | ۰/۶۸۶ ^{l-o} | ۰/۶۷۴ ^{l-v} | $S_4 \times N_4$ |
| ۰/۶۱۰ ^{h-m} | ۰/۶۲۱ ^{o-q} | ۰/۷۰۷ ^{h-j} | ۰/۶۶۶ ^{m-o} | ۰/۷۰۷ ^{q-t} | $S_4 \times N_5$ |
| ۰/۶۲۰ ^{g-k} | ۰/۶۷۴ ^{h-l} | ۰/۷۳۵ ^{e-i} | ۰/۷۳۵ ^{g-j} | ۰/۷۸۷ ^{h-l} | $S_4 \times N_6$ |
| ۰/۵۹۸ ⁱ⁻ⁿ | ۰/۶۰۹ ^{p-r} | ۰/۷۰۹ ^{h-j} | ۰/۷۶۵ ^{e-h} | ۰/۷۲۴ ^{p-r} | $S_4 \times N_7$ |
| ۰/۶۳۸ ^{f-j} | ۰/۶۹۷ ^{e-i} | ۰/۷۴۸ ^{d-g} | ۰/۷۹۶ ^{c-e} | ۰/۸۰۸ ^{e-j} | $S_4 \times N_8$ |
| ۰/۰۴۶ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۶ | LSD |

S_1, S_2, S_3 و S_4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ و N_8 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانوآکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانوآکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانوآکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانوآکسید روی و پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

نریمانی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش شده است. همچنین این محققین اظهار داشتند که محلول پاشی نانوآکسید روی از طریق

طریق کنترل کانال‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، با آسیب به غشای پلاسمایی، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برگ گندم می‌شود.

عملکرد کوانتومی برگ پرچم: نتایج نشان داد که تنش شوری، محلول پاشی نانوذرات و پوترسین و برهم‌کنش همزمان این عوامل بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین در ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH)، ترکیب تیماری محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین عملکرد کوانتومی برگ پرچم (۰/۷۳۴) و افزایش ۴۲/۲۴ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری برخوردار بود (جدول ۸). کاهش مقادیر F_v/F_m در گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار دارند، نشان‌دهنده کاهش کارایی فتوشیمیایی PSII و آسیب به دستگاه فتوستتزی ناشی از شوری است (Jimenez-Suancha *et al.*, 2015). به نظر می‌رسد محلول پاشی نانوآکسید روی در چنین شرایطی با بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی، موجب بهبود ساختار غشاء و فرآیندهای فتوستتزی و در نهایت عملکرد کوانتومی می‌شود (Babaei *et al.*, 2017). همچنین، Islam و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند کاربرد خارجی پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی، از طریق بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و جلوگیری از کاهش رنگدانه‌های فتوستتزی به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن، موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی) شد. نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که محلول پاشی نانو سیلیکون با بهبود ساختار غشاء، فرآیندهای فتوستتزی و وضعیت آبی گیاه، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تریتیکاله شد.

شاخص سطح برگ: تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به تنش شوری در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت، به طوری که در ابتدای فصل رشد میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن به سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به دلیل افزایش سن گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها، روند نزولی مشاهده شد. البته زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در سطوح بالای شوری، کم‌تر از شرایط عدم اعمال شوری بود (جدول ۹). به طوری که در ۹۴ روز پس از کاشت، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۲/۰۳۷) و افزایش ۸۶/۱۹ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد تنش‌های محیطی با ایجاد اختلال در فتوستتزی جاری ضمن کاهش تولید و عرضه مواد فتوستتزی به اندام هوایی موجب می‌شود که گسترش برگ‌ها و در نهایت شاخص سطح برگ (جدول ۱۰) کاهش یابد. Betran و همکاران (۲۰۰۳) دلیل کاهش سطح برگ در حالت اعمال شوری نسبت به عدم اعمال آن را، به کاهش مواد فتوستتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش نسبت دادند. در چنین شرایطی محلول پاشی نانوآکسید روی با نقشی که در ساخته شدن آنزیم‌های مسئول فتوستتزی و سوخت-وساز دارد، ضمن افزایش فتوستتزی جاری، موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). بخشی از افزایش شاخص سطح برگ به واسطه محلول پاشی نانو سیلیکون را می‌توان به بهبود فتوستتزی جاری (جدول ۱۴) نسبت داد، که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند که محلول پاشی نانو سیلیکون در شرایط تنش با بهبود فتوستتزی جاری و افزایش تولید مواد فتوستتزی، موجب افزایش شاخص سطح برگ تریتیکاله شد. Epstein (۱۹۹۴) نیز افزایش شاخص سطح برگ به واسطه کاربرد سیلیکون در شرایط تنش را، به افزایش جذب عناصر و بهبود میزان فتوستتزی و همچنین افزایش انتقال مواد فتوستتزی

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص سطح برگ گندم

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|-------------------------------------|----------|---------|----------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------------|---------|----------|------------|---------------|
| مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت) | | | | | | | | | | | |
| ۱۳۴ | ۱۲۴ | ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | ۶۴ | ۵۴ | ۴۴ | | |
| ۰/۵۹۸** | ۰/۵۵۲** | ۰/۳۰۶** | ۰/۰۱۳۷ ^{ns} | ۰/۰۲۸ ^{ns} | ۰/۰۲۲ ^{ns} | ۰/۵۱۰** | ۰/۰۰۹ ^{ns} | ۰/۲۴۵** | ۰/۳۶۰۵** | ۲ | تکرار |
| ۰/۴۴۱** | ۰/۷۴۶** | ۰/۷۹۰** | ۱/۴۷۰** | ۰/۱۰۰۹** | ۱/۵۳۲** | ۱/۱۷۲** | ۰/۴۳۴** | ۰/۱۸۰** | ۰/۰۶۰۵** | ۳ | (S) |
| ۰/۰۹۰۶** | ۰/۱۸۵** | ۰/۲۸۶** | ۰/۲۴۹** | ۰/۳۳۹** | ۰/۳۲۸** | ۰/۲۴۳** | ۰/۱۱۲** | ۰/۰۵۰** | ۰/۰۱۹۶** | ۷ | (N) |
| ۰/۰۲۳۶** | ۰/۰۲۵۳** | ۰/۰۴۶** | ۰/۰۳۷۸* | ۰/۰۳۴۹** | ۰/۰۷۱** | ۰/۰۲۹* | ۰/۰۱۳** | ۰/۰۰۴۶* | ۰/۰۰۳۸** | ۲۱ | S×N |
| ۰/۰۰۵۳ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۰۲۱۶ | ۰/۰۱۰۸۸ | ۰/۰۳۵۳ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۰۴۰ | ۰/۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۷۵ | ۶۲ | خطا |
| ۶/۳۱ | ۵/۳۳ | ۵/۶۷ | ۶/۹۶ | ۴/۸ | ۱۰/۴۴ | ۷/۵ | ۵/۲۸ | ۶/۵ | ۴/۳۸ | - | CV |

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

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

Bybordi (۲۰۱۱) اظهار داشتند که خسارت ناشی از شوری می تواند موجب تخریب کلروفیل و رنگ پریدگی و کلروزه شدن برگ ها شود. این تغییرات به همراه کاهش سطح برگ و ریزش آن، موجب کاهش فتوسنتز گیاه در شرایط شور و در نتیجه کاهش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه می شود. به نظر می رسد کاربرد نانوسیلیکون می تواند محتوای سیلیکون، لیگنین و سلولز را در ساقه ها افزایش داده و در نتیجه منجر به تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح شود (Gong et al., 2021). همچنین، نانوذرات سیلیکون جذب شده توسط گیاه، با فراهمی سطح بیشتری برای انجام واکنش های متابولیکی مختلف، لایه ای را در دیواره سلولی ایجاد می کند که موجب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش های محیطی و در نتیجه منجر به بهبود رشد و ماده خشک کل در گیاهان تحت تنش می شود (Al-juthery et al., 2019). بخش دیگری از افزایش ماده خشک به واسطه محلول پاشی نانو اکسید روی را می توان به افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۰) و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد که در این راستا، عبدلی و اسفندیاری (۱۳۹۳) بیان کردند که محلول پاشی روی با افزایش سطح برگ و دوام آن و بهبود فتوسنتز جاری در زمان پرشدن دانه ها میزان فتوآسیمیلات در اندام های رویشی را افزایش می دهد که به همراه تخلیه کمتر آن طی فرآیند انتقال مجدد، موجب افزایش ماده خشک گیاه می شود. به نظر می رسد

در گیاه نسبت دادند. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تخریب غشاء، تولید آنزیم های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ ها، موجب افزایش سطح برگ گندم شد.

بیوماس کل: بررسی روند تغییرات ماده خشک نشان داد که بیوماس کل در ابتدای فصل رشد در تمامی تیمارهای مورد بررسی از الگوی نسبتاً یکسانی پیروی می کند (جدول ۱۱). به طوریکه در کلیه ترکیبات تیماری، این روند در ابتدا کند بوده ولی در ادامه فصل رشد با افزایش سطح برگ (جدول ۱۰) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۴)، تولید مواد فتوسنتزی افزایش و تجمع ماده خشک شدت بیشتری به خود گرفت، سپس در انتهای دوره رشد از روند کاهشی برخوردار گردید (جدول ۱۱). به نظر می رسد این کاهش ناشی از افزایش سن گیاه، پیری برگ ها، کاهش کلروفیل و عدم توانایی آن ها در ساخت مواد فتوسنتزی و در نهایت ریزش برگ ها باشد (Kamari, 2014). به طوریکه در ۱۱۴ روز پس از کاشت، محلول پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانو اکسید روی) و یک میلی مولار پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیشترین بیوماس کل (۳/۱۸۳) برخوردار بود که موجب افزایش ۴۴/۰۹ درصد نسبت به شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۱۱). Ebrahimian و

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص سطح برگ گندم

| مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت) | | | | | | | | | | ترکیب تیماری |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| ۱۳۴ | ۱۲۴ | ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | ۶۴ | ۵۴ | ۴۴ | |
| ۰/۹۲۵ ^{g-k} | ۱/۱۲۳ ^{g-k} | ۱/۲۳۶ ^{e-h} | ۱/۵۱۹ ^{f-k} | ۱/۶۴۵ ^{f-j} | ۱/۵۲۹ ^{b-l} | ۱/۲۶۹ ^{f-j} | ۱/۰۵۰ ^{e-i} | ۰/۷۷۸ ^{e-j} | ۰/۶۴۶ ^{g-j} | S ₁ ×N ₁ |
| ۱/۰۰۲ ^{d-g} | ۱/۳۵۵ ^{b-d} | ۱/۱۰۶ ^{h-l} | ۱/۷۳۵ ^{a-f} | ۱/۸۷۰ ^{a-e} | ۱/۷۲۶ ^{a-d} | ۱/۵۰۳ ^{a-d} | ۱/۱۵۶ ^{b-d} | ۰/۸۶۵ ^{b-d} | ۰/۷۰۳ ^{a-d} | S ₁ ×N ₂ |
| ۱/۰۹ ^{a-e} | ۱/۲۲۵ ^{e-g} | ۱/۳۲۳ ^{d-g} | ۱/۶۵۴ ^{b-h} | ۱/۸۱۱ ^{b-f} | ۱/۶۲۹ ^{a-h} | ۱/۴۲۴ ^{d-h} | ۱/۱۲۷ ^{c-f} | ۰/۸۵۱ ^{b-e} | ۰/۶۸۴ ^{c-g} | S ₁ ×N ₃ |
| ۱/۱۵۷ ^{ab} | ۱/۴۳۲ ^{a-c} | ۱/۵۸۲ ^{ab} | ۱/۸۷۲ ^{ab} | ۱/۹۷۹ ^{ab} | ۱/۸۰۲ ^{a-c} | ۱/۶۲۵ ^{a-c} | ۱/۲۳۷ ^{ab} | ۰/۹۰۵ ^{ab} | ۰/۷۳۰ ^{ab} | S ₁ ×N ₄ |
| ۱/۰۱۸ ^{c-g} | ۰/۳۱۳ ^{c-e} | ۱/۴۰۶ ^{b-e} | ۱/۶۸۲ ^{a-h} | ۱/۷۳۲ ^{e-h} | ۱/۶۸۰ ^{a-f} | ۱/۴۶۳ ^{b-f} | ۱/۱۴۳ ^{b-e} | ۰/۷۹۸ ^{c-h} | ۰/۶۵۷ ^{e-i} | S ₁ ×N ₅ |
| ۱/۱۳ ^{a-c} | ۱/۴۴۷ ^{ab} | ۱/۵۵۶ ^{a-c} | ۱/۸۴۳ ^{a-c} | ۱/۹۵۲ ^{a-c} | ۱/۸۲۴ ^{ab} | ۱/۶۳۹ ^{a-c} | ۱/۲۳۲ ^{a-c} | ۰/۸۹۸ ^{ab} | ۰/۷۲۶ ^{a-c} | S ₁ ×N ₆ |
| ۱/۱۰۶ ^{a-d} | ۱/۳۷۹ ^{a-d} | ۱/۴۷۰ ^{a-d} | ۱/۸۱۶ ^{a-d} | ۱/۸۹۹ ^{a-e} | ۱/۷۵۷ ^{a-c} | ۱/۵۹۶ ^{a-d} | ۱/۲۳۰ ^{a-c} | ۰/۸۷۵ ^{a-c} | ۰/۷۱۸ ^{a-c} | S ₁ ×N ₇ |
| ۱/۱۸۶ ^a | ۱/۴۸۵ ^a | ۱/۶۲۶ ^a | ۱/۹۱۲ ^a | ۲/۰۳۷ ^a | ۱/۸۵۹ ^a | ۱/۶۷۹ ^a | ۱/۲۶۸ ^a | ۰/۹۵۴ ^a | ۰/۷۴۳ ^a | S ₁ ×N ₈ |
| ۰/۷۹۴ ^{l-q} | ۰/۹۶۶ ^{m-p} | ۱/۰۷۷ ^{h-l} | ۱/۶۱۸ ^{c-h} | ۱/۳۱۹ ^{m-p} | ۱/۲۴۳ ^{l-o} | ۱/۰۲۸ ^{l-p} | ۰/۹۳۱ ^{k-o} | ۰/۶۴۴ ^{b-s} | ۰/۵۶۸ ^{n-r} | S ₂ ×N ₁ |
| ۰/۹۵۷ ^{f-i} | ۱/۱۴۳ ^{f-j} | ۱/۱۳۵ ^{h-k} | ۱/۴۴۴ ^{h-m} | ۱/۵۷۹ ^{h-k} | ۱/۵۸۶ ^{a-j} | ۱/۶۵۵ ^{ab} | ۱/۰۲۵ ^{f,k} | ۰/۷۵۸ ^{f-l} | ۰/۶۰۶ ⁿ | S ₂ ×N ₂ |
| ۰/۸۴۵ ^{j-n} | ۱/۰۲۶ ^{j-m} | ۰/۹۶۹ ^{k-o} | ۱/۵۷۱ ^{e-j} | ۱/۴۴۱ ^{k-m} | ۱/۳۴۶ ^{h-n} | ۱/۱۰۴ ^{i-p} | ۱/۰۸۵ ^{d-h} | ۰/۶۸۲ ^{l-q} | ۰/۶۰۵ ⁿ | S ₂ ×N ₃ |
| ۱/۰۷۳ ^{a-f} | ۱/۰۰۳ ^{k-o} | ۱/۴۳۴ ^{b-d} | ۱/۷۵۸ ^{a-f} | ۱/۳۶۲ ^{l-o} | ۱/۷۰۶ ^{a-e} | ۱/۴۸۸ ^{a-e} | ۰/۹۴۱ ^{j-n} | ۰/۷۹۳ ^{d-h} | ۰/۵۹۱ ^{k-p} | S ₂ ×N ₄ |
| ۰/۷۰۸ ^{o-s} | ۱/۰۸۵ ^{h-m} | ۱/۱۶۵ ^{g-j} | ۱/۳۷۸ ⁱ⁻ⁿ | ۱/۴۹۶ ^{j-l} | ۱/۴۱۹ ^{e-n} | ۱/۱۹۰ ^{i-m} | ۰/۹۹۰ ^{h-m} | ۰/۷۰۵ ^{l-o} | ۰/۶۱۶ ^m | S ₂ ×N ₅ |
| ۰/۷۵۰ ^{m-r} | ۱/۰۳۴ ^{j-m} | ۱/۰۷۴ ^{h-l} | ۱/۷۰۴ ^{a-g} | ۱/۷۵۸ ^{c-g} | ۱/۵۰۲ ^{c-m} | ۱/۲۵۲ ^{g-k} | ۱/۱۵۶ ^{b-d} | ۰/۸۳۴ ^{b-f} | ۰/۶۹۸ ^{b-e} | S ₂ ×N ₆ |
| ۰/۹۷۴ ^{e-h} | ۱/۱۶۸ ^{f-i} | ۱/۳۷۹ ^{c-f} | ۱/۶۰۱ ^{d-i} | ۱/۶۴۳ ^{f-j} | ۱/۶۰۶ ^{a-i} | ۱/۴۱۳ ^{d-h} | ۱/۰۵۰ ^{d-g} | ۰/۷۰۷ ^{i-o} | ۰/۵۸۵ ^{l-p} | S ₂ ×N ₇ |
| ۱/۰۵۷ ^{b-f} | ۱/۴۰۷ ^{a-c} | ۱/۴۹۶ ^{a-d} | ۱/۷۸۵ ^{a-e} | ۱/۹۲۴ ^{a-d} | ۱/۷۷۷ ^{a-c} | ۱/۶۰۸ ^{a-d} | ۱/۲۲۸ ^{a-c} | ۰/۸۹۰ ^{ab} | ۰/۷۱۰ ^{a-c} | S ₂ ×N ₈ |
| ۰/۶۵۵ ^{fs} | ۰/۸۳۱ ^q | ۰/۸۹۰ ^{m-p} | ۱/۰۹۲ ^{p-r} | ۱/۲۲۶ ^{o-q} | ۱/۱۴۵ ^{n-p} | ۰/۹۸۱ ^{n-p} | ۰/۷۷۲ ^{q-s} | ۰/۶۱۹ ^{p-s} | ۰/۵۳۳ ^{q-s} | S ₃ ×N ₁ |
| ۰/۸۱۳ ^{k-p} | ۱/۱۴۵ ^{f-j} | ۱/۰۱۷ ^{j-n} | ۱/۱۸۳ ^{n-r} | ۱/۳۸۹ ^{l-o} | ۱/۳۲۱ ⁱ⁻ⁿ | ۱/۰۷۹ ^{j-p} | ۰/۸۶۹ ^{n-q} | ۰/۶۶۴ ^{m-r} | ۰/۵۴۸ ^{p-s} | S ₃ ×N ₂ |
| ۰/۶۹۶ ^{p-s} | ۰/۸۶۶ ^{p-q} | ۰/۹۵۶ ^{l-o} | ۱/۱۳۳ ^{o-r} | ۱/۲۵۳ ^{n-q} | ۱/۲۱۲ ^{m-o} | ۱/۰۰۸ ^{m-p} | ۰/۸۲۹ ^{o-r} | ۰/۶۲۴ ^{p-s} | ۰/۶۱۸ ^{i-m} | S ₃ ×N ₃ |
| ۰/۷۲۷ ^{n-r} | ۱/۰۵۷ ^{i-m} | ۱/۳۵۵ ^{d-f} | ۱/۲۱۴ ^{m-r} | ۱/۲۷۴ ^{m-p} | ۰/۸۷۹ ^{p-q} | ۱/۲۲۷ ^{h-l} | ۱/۰۰۶ ^{g-l} | ۰/۶۹۷ ^{k-p} | ۰/۵۸۳ ^{l-p} | S ₃ ×N ₄ |
| ۰/۷۵۲ ^{m-r} | ۰/۸۵۹ ^{p-q} | ۱/۰۴۳ ^{i-m} | ۱/۲۱۵ ^{m-r} | ۱/۲۸۱ ^{m-p} | ۱/۲۶۵ ^{k-o} | ۱/۰۴۵ ^{l-p} | ۰/۸۹۴ ^{m-p} | ۰/۶۳۱ ^{o-s} | ۰/۶۵۱ ^{h-k} | S ₃ ×N ₅ |
| ۰/۸۶۱ ^{h-m} | ۰/۹۸۵ ^{l-p} | ۰/۹۷۲ ^{k-o} | ۱/۶۵۰ ^{b-h} | ۱/۶۷۶ ^{f-i} | ۱/۵۵۳ ^{a-k} | ۱/۲۹۳ ^{e-i} | ۰/۸۳۴ ^{o-r} | ۰/۷۸۷ ^{d-i} | ۰/۵۵۸ ^{o-r} | S ₃ ×N ₆ |
| ۰/۹۰۲ ^{g-l} | ۱/۱۸۴ ^{f-h} | ۱/۲۱۵ ^{f-i} | ۱/۴۷۸ ^{g-l} | ۱/۷۵۱ ^{e-g} | ۱/۴۰۲ ^{f-n} | ۱/۱۴۸ ⁱ⁻ⁿ | ۱/۰۴۳ ^{e-j} | ۰/۷۴۲ ^{g-m} | ۰/۶۵۱ ^{f-i} | S ₃ ×N ₇ |
| ۰/۹۸۵ ^{e-g} | ۱/۲۵۲ ^{d-f} | ۱/۳۵۱ ^{d-f} | ۱/۶۳۰ ^{c-h} | ۱/۷۵۸ ^{d-g} | ۱/۶۵۸ ^{a-g} | ۱/۴۴۷ ^{c-g} | ۱/۱۱۴ ^{d-f} | ۰/۸۰۵ ^{c-g} | ۰/۶۹۲ ^{b-f} | S ₃ ×N ₈ |
| ۰/۵۹۴ ^s | ۰/۷۶۵ ^q | ۰/۷۷۲ ^p | ۱/۰۰۶ ^r | ۱/۰۹۴ ^q | ۰/۹۹۶ ^{o-q} | ۰/۹۰۹ ^p | ۰/۶۹۵ ^s | ۰/۵۷۹ ^s | ۰/۵۰۷ ^s | S ₄ ×N ₁ |
| ۰/۶۷۹ ^{q-s} | ۰/۸۸۵ ^{n-q} | ۱/۰۷۹ ^{h-l} | ۱/۳۰۶ ^{k-p} | ۱/۳۵۱ ^{l-o} | ۱/۳۸۲ ^{f-n} | ۰/۹۶۱ ^{n-p} | ۰/۷۹۰ ^{p-s} | ۰/۵۹۹ ^{fs} | ۰/۶۰۱ ^{j-o} | S ₄ ×N ₂ |
| ۰/۸۰۱ ^{l-p} | ۰/۸۰۱ ^q | ۰/۸۲۷ ^{op} | ۱/۰۷۹ ^{p-r} | ۱/۱۷۱ ^{p-q} | ۰/۷۴۸ ^q | ۰/۹۳۳ ^{op} | ۰/۸۷۲ ^{n-q} | ۰/۷۶۵ ^{fk} | ۰/۶۲۶ ^{h-l} | S ₄ ×N ₃ |
| ۰/۷۱۰ ^{o-s} | ۱/۲۲۵ ^{e-g} | ۰/۸۴۵ ^{n-p} | ۱/۲۲۵ ^{l-q} | ۱/۴۱۱ ^{k-n} | ۱/۲۹۳ ^{j-o} | ۱/۰۶۴ ^{k-p} | ۰/۹۱۳ ^{l-o} | ۰/۶۷۳ ^{m-r} | ۰/۵۲۷ ^{fs} | S ₄ ×N ₄ |
| ۰/۹۲۳ ^{g-k} | ۰/۸۱۳ ^q | ۰/۸۰۶ ^{op} | ۱/۰۶۱ ^q | ۱/۵۱۸ ^{i-l} | ۰/۷۶۹ ^q | ۰/۹۴۵ ^{op} | ۰/۷۳۰ ^{ts} | ۰/۶۰۴ ^{q-s} | ۰/۵۵۵ ^{p-r} | S ₄ ×N ₅ |
| ۰/۷۷۵ ^{m-q} | ۱/۰۰۸ ^{k-n} | ۱/۲۱۳ ^{f-i} | ۱/۱۵۷ ^{m-r} | ۱/۵۲۱ ^{i-l} | ۱/۳۷۱ ^{g-n} | ۱/۱۲۶ ^{i-o} | ۱/۰۶۶ ^{d-i} | ۰/۷۲۰ ^{h-n} | ۰/۶۵۲ ^{f-i} | S ₄ ×N ₆ |
| ۰/۸۲۶ ^{j-o} | ۰/۸۷۸ ^{o-q} | ۱/۱۱۷ ^{h-l} | ۱/۳۴۳ ^{j-o} | ۱/۳۵۸ ^{l-o} | ۱/۱۷۲ ^{n-p} | ۰/۹۹۸ ^{m-p} | ۰/۹۶۹ ⁱ⁻ⁿ | ۰/۶۵۲ ^{n-s} | ۰/۵۷۷ ^{m-q} | S ₄ ×N ₇ |
| ۰/۹۳۸ ^{g-j} | ۱/۱۰۱ ^{g-l} | ۱/۲۴۹ ^{e-h} | ۱/۵۴۵ ^{e-k} | ۱/۶۱۵ ^{g-j} | ۱/۴۴۸ ^{d-n} | ۱/۲۰۹ ^{i-l} | ۱/۰۶۹ ^{d-i} | ۰/۷۷۰ ^{fk} | ۰/۶۶۴ ^{d-h} | S ₄ ×N ₈ |
| ۰/۱۱۹ | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۷۸ | ۰/۲۴ | ۰/۱۷ | ۰/۳۰۷ | ۰/۲ | ۰/۱۰۴ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۴۵ | 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 نانوآکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانوآکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانوآکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانوآکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر بیوماس کل گندم

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|---------------|
| مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت) | | | | | | | | | | | |
| ۱۳۴ | ۱۲۴ | ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | ۶۴ | ۵۴ | ۴۴ | | |
| ۰/۳۴۲۳** | ۰/۷۱۶۷** | ۰/۷۹۹۹** | ۰/۳۹۹۸** | ۰/۱۵۱۱** | ۰/۰۸۵۱** | ۰/۲۲۰۰** | ۰/۸۱۵۹** | ۰/۲۷۴۷** | ۰/۱۱۷۲** | ۲ | تکرار |
| ۱/۱۹۵۲** | ۱/۲۹۸۵** | ۱/۲۵۸۲** | ۱/۰۲۶۰** | ۰/۹۴۵۳** | ۰/۷۹۲۶** | ۰/۵۲۵۲** | ۰/۲۵۴۱** | ۰/۱۱۸۶** | ۰/۰۵۱۳** | ۳ | (S) |
| ۰/۳۹۵۳** | ۰/۳۶۵۲** | ۰/۳۹۹۷** | ۰/۳۲۳۵** | ۰/۲۳۹۹** | ۰/۲۳۲۵** | ۰/۱۲۱۴** | ۰/۰۵۱۹** | ۰/۰۳۴۵** | ۰/۰۱۵۲** | ۷ | (N) |
| ۰/۰۶۱۱** | ۰/۰۴۴۷** | ۰/۰۴۸۰** | ۰/۰۳۴۰** | ۰/۰۵۲۸* | ۰/۰۲۰۲* | ۰/۰۱۷۶** | ۰/۰۰۹۸** | ۰/۰۰۱۷* | ۰/۰۰۴۱** | ۲۱ | S×N |
| ۰/۰۱۵۸ | ۰/۰۱۵۶ | ۰/۰۱۵۹ | ۰/۰۱۵۸ | ۰/۰۲۸۹ | ۰/۰۱۱۱ | ۰/۰۰۷۲ | ۰/۰۰۲۹ | ۰/۰۰۱۰ | ۰/۰۰۱۰ | ۶۲ | خطا |
| ۵/۲۱ | ۴/۸۲ | ۴/۷۲ | ۴/۷۳ | ۷/۰۵ | ۵/۲۱ | ۵/۵۸ | ۴/۸۷ | ۴/۱۰ | ۴/۹۱ | - | CV |

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

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

هنگام وقوع تنش در مرحله ساقه روی تا گلدهی)، به دلیل تقاضای بالای دانه‌ها، انتقال ماده خشک نسبت به تیمار شاهد، افزایش می‌یابد تا مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها انتقال یابد (Liu et al., 2020). ولی در چنین شرایطی، محلول پاشی نانو اکسید روی از طریق افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۰)، فتوسنتز جاری (جدول ۱۴)، موجب بهبود فتوسنتز جاری و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (جدول ۱۴) شد. در این راستا برخی محققین اظهار داشتند که محلول پاشی نانو اکسید روی از طریق افزایش شاخص سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه تربیتکاله در شرایط تنش شوری شد. به نظر می‌رسد بخشی دیگری از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی به واسطه محلول پاشی پوترسین را، می‌توان به جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) و افزایش میزان فتوسنتز برگ نسبت داد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن و به بیانی دیگر فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) بالا بوده و گیاه فرصت بیشتری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را دارد (عمادی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که محلول پاشی نانو سیلیکون در شرایط

محلول پاشی پوترسین از طریق بهبود عملکرد کوانتومی و محتوای پروتئینی گیاه (جدول ۸ و ۱۴) موجب افزایش بیوماس کل شده است، در این راستا سیدشرفی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که محلول پاشی پوترسین از طریق بهبود عملکرد کوانتومی برگ و افزایش درصد پروتئین اندام هوایی موجب افزایش بیوماس کل ماشک گل خوشه‌ای شد.

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه: تأثیر محلول پاشی نانوذرات و پوترسین و تنش شوری و برهم کنش همزمان این عوامل بر انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش به ترتیب ۳۸/۱۵، ۳۷/۸۰، ۹۰/۲۲ و ۸۹/۴۵ درصدی انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه نسبت به عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۱۴). به نظر می‌رسد افزایش انتقال ماده خشک در شرایط تنش شوری، به دلیل افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) در برآورد این نیاز مخازن (دانه‌ها) باشد. در این راستا، محققین گزارش کردند که در شرایط تنش (به خصوص به

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر بیوماس کل گندم

| مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت) | | | | | | | | | | ترکیب |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| ۱۳۴ | ۱۲۴ | ۱۱۴ | ۱۰۴ | ۹۴ | ۸۴ | ۷۴ | ۶۴ | ۵۴ | ۴۴ | تیماری |
| ۲/۴۵۳ ^{f-i} | ۲/۷۰۱ ^{e-h} | ۲/۷۳۳ ^{f-k} | ۲/۷۱۴ ^{d-g} | ۲/۴۷۲ ^{d-k} | ۲/۱۰۴ ^{e-j} | ۱/۵۶۰ ^{g-j} | ۱/۱۳۲ ^{g-j} | ۰/۷۹۸ ^{g-k} | ۰/۶۷۱ ^{f-j} | S ₁ ×N ₁ |
| ۲/۷۵۵ ^{a-d} | ۳ ^{ab} | ۲/۹۰۵ ^{c-f} | ۲/۹۵۸ ^{ab} | ۲/۶۷۷ ^{a-e} | ۱/۸۳۸ ^{n-s} | ۱/۶۹۹ ^{b-f} | ۱/۲۷۴ ^{a-c} | ۰/۸۷۵ ^{b-e} | ۰/۷۳۰ ^{a-d} | S ₁ ×N ₂ |
| ۲/۶۳۵ ^{c-f} | ۲/۷۶۰ ^{d-g} | ۳/۰۴۵ ^{a-c} | ۲/۹۱۵ ^{a-d} | ۲/۵۶۶ ^{b-i} | ۲/۲۳۳ ^{b-f} | ۱/۶۴۶ ^{d-g} | ۱/۲۰۷ ^{c-h} | ۰/۸۵۴ ^{d-f} | ۰/۶۸۸ ^{c-g} | S ₁ ×N ₃ |
| ۲/۸۵۲ ^{ab} | ۳/۰۵۴ ^a | ۳/۱۵۹ ^{ab} | ۳/۰۰۱ ^{ab} | ۲/۷۶۷ ^{ab} | ۲/۳۰۲ ^{a-c} | ۱/۸۰۶ ^{ab} | ۱/۳۰۲ ^{ab} | ۰/۹۱۸ ^{ab} | ۰/۷۵۰ ^{ab} | S ₁ ×N ₄ |
| ۲/۳۴۶ ^{h-l} | ۲/۵۶۶ ^{g-k} | ۲/۶۴۴ ^{h-n} | ۲/۵۶۱ ^{f-j} | ۲/۶۱۴ ^{a-f} | ۲/۱۹۲ ^{b-g} | ۱/۶۶۷ ^{c-g} | ۱/۲۱۷ ^{b-g} | ۰/۸۲۴ ^{e-i} | ۰/۶۴۱ ^{h-l} | S ₁ ×N ₅ |
| ۲/۸۸۷ ^a | ۳/۰۲۵ ^{ab} | ۳/۱۲۹ ^{ab} | ۳/۰۵۴ ^{ab} | ۲/۷۹۳ ^{ab} | ۲/۳۳۷ ^{ab} | ۱/۷۸۵ ^{a-c} | ۱/۲۹۱ ^{abc} | ۰/۹۰۸ ^{bc} | ۰/۷۴۵ ^{ab} | S ₁ ×N ₆ |
| ۲/۸۸۸ ^{a-c} | ۲/۹۳۹ ^{a-d} | ۳/۰۷۳ ^{a-c} | ۳/۰۳۴ ^{ab} | ۲/۷۰۸ ^{a-d} | ۲/۳۶۷ ^{ab} | ۱/۷۶۵ ^{a-d} | ۱/۲۴۲ ^{a-e} | ۰/۸۸۷ ^{b-d} | ۰/۷۲۴ ^{a-e} | S ₁ ×N ₇ |
| ۲/۹۲۹ ^a | ۳/۱۲۴ ^a | ۳/۱۸۳ ^a | ۳/۱۰۲ ^a | ۱/۸۵۱ ^a | ۲/۴۰۷ ^a | ۱/۸۴۲ ^a | ۱/۳۲۵ ^a | ۰/۹۶۵ ^a | ۰/۷۶۱ ^a | S ₁ ×N ₈ |
| ۲/۲۲۵ ^{j-m} | ۲/۴۶۶ ^{j-o} | ۲/۴۸۹ ^{l-r} | ۲/۴۰۸ ^{j-m} | ۲/۲۱۵ ^{k-m} | ۱/۹۱۵ ^{k-p} | ۱/۴۱۵ ^{k-m} | ۱/۰۳۳ ^{k-n} | ۰/۷۰۴ ^{p-u} | ۰/۵۸۸ ^{mn} | S ₂ ×N ₁ |
| ۲/۲۱۳ ^{j-n} | ۲/۵۲۳ ^{h-m} | ۲/۷۹۱ ^{d-i} | ۲/۶۰۹ ^{f-j} | ۲/۳۰۵ ^{j-l} | ۲/۰۴۹ ^{g-l} | ۱/۳۸۸ ^{l-n} | ۱/۰۰۷ ^{m-o} | ۰/۷۸۰ ^{h-m} | ۰/۵۹۸ ^{l-n} | S ₂ ×N ₂ |
| ۲/۳۰۵ ^{j-m} | ۲/۶۰۶ ^{f-k} | ۲/۵۷۴ ^{j-o} | ۲/۵۳۱ ^{g-k} | ۲/۳۰۳ ^{j-l} | ۱/۹۹۸ ^{h-n} | ۱/۶۰۱ ^{e-h} | ۱/۱۵۶ ^{e-i} | ۰/۷۴۰ ^{l-r} | ۰/۶۱۶ ^{k-m} | S ₂ ×N ₃ |
| ۲/۲۰۵ ^{j-n} | ۲/۴۸۶ ^{e-n} | ۲/۵۲۳ ^{k-q} | ۲/۴۸۹ ^{h-l} | ۲/۳۵۰ ^{g-l} | ۲/۲۴۹ ^{a-e} | ۱/۴۴۶ ^{i-m} | ۱/۰۶۲ ^{j-m} | ۰/۷۳۳ ^{m-s} | ۰/۵۹۹ ^{l-n} | S ₂ ×N ₄ |
| ۲/۳۷۷ ^{g-k} | ۲/۵۶۳ ^{g-l} | ۲/۶۵۱ ^{h-m} | ۲/۶۰۹ ^{f-j} | ۲/۳۶۷ ^{f-l} | ۲/۱۳۳ ^{c-i} | ۱/۴۷۶ ^{h-l} | ۱/۱۰۶ ^{i-l} | ۰/۷۵۹ ^{j-o} | ۰/۷۱۸ ^{a-f} | S ₂ ×N ₅ |
| ۲/۷۳۰ ^{a-d} | ۲/۷۳۴ ^{e-g} | ۲/۹۵۷ ^{b-e} | ۲/۶۹۷ ^{e-g} | ۲/۴۵۱ ^{d-k} | ۲/۲۰۷ ^{b-g} | ۱/۶۷۶ ^{b-g} | ۱/۱۶۶ ^{e-i} | ۰/۸۴۷ ^{d-g} | ۰/۶۸۲ ^{d-h} | S ₂ ×N ₆ |
| ۲/۵۲۴ ^{e-h} | ۲/۸۳۴ ^{b-e} | ۲/۸۲۶ ^{d-h} | ۲/۹۴۰ ^{a-d} | ۲/۵۸۷ ^{b-h} | ۲/۱۳۹ ^{c-i} | ۱/۶۱۵ ^{e-g} | ۱/۲۳۳ ^{b-f} | ۰/۸۶۵ ^{c-e} | ۰/۷۰۲ ^{b-g} | S ₂ ×N ₇ |
| ۲/۸۱۸ ^{a-c} | ۲/۹۷۰ ^{a-c} | ۲/۹۸۵ ^{a-d} | ۲/۹۸۸ ^{ab} | ۲/۷۳۶ ^{a-c} | ۲/۲۷۶ ^{a-d} | ۱/۷۳۶ ^{a-e} | ۱/۲۶۵ ^{a-d} | ۰/۸۹۶ ^{b-d} | ۰/۷۳۸ ^{a-c} | S ₂ ×N ₈ |
| ۲/۰۱۴ ^{n-q} | ۲/۲۵۴ ^{p-r} | ۲/۲۷۹ ^{s-u} | ۲/۳۲۰ ^{l-n} | ۲/۱۴۸ ^{lm} | ۱/۷۳۷ ^{q-t} | ۱/۲۶۳ ^{n-p} | ۰/۹۵۲ ^{n-p} | ۰/۶۸۲ ^{t-s} | ۰/۵۷۷ ^{m-o} | S ₃ ×N ₁ |
| ۲/۵۶۰ ^{d-g} | ۲/۷۰۲ ^{c-h} | ۲/۸۰۵ ^{d-i} | ۲/۶۵۲ ^{f-h} | ۲/۲۸۶ ^{j-l} | ۱/۸۳۹ ^{n-s} | ۱/۳۵۵ ^{l-o} | ۱/۰۰۸ ^{m-o} | ۰/۷۲۴ ^{t-u} | ۰/۶۷۳ ^{e-i} | S ₃ ×N ₂ |
| ۲/۳۶۲ ^{g-l} | ۲/۳۰۰ ^{n-r} | ۲/۳۲۸ ^{q-u} | ۲/۶۷۰ ^{f-h} | ۲/۴۰۵ ^{f-l} | ۱/۷۹۶ ^{o-s} | ۱/۴۳۶ ^{j-m} | ۱/۰۳۵ ^{k-n} | ۰/۶۹۰ ^{r-u} | ۰/۶۱۱ ^{lm} | S ₃ ×N ₃ |
| ۲/۳۳۹ ^{h-m} | ۲/۲۷۰ ^{o-r} | ۲/۳۰۷ ^{v-u} | ۲/۷۴۶ ^{c-f} | ۲/۲۲۹ ^{kl} | ۱/۹۴۱ ^{j-p} | ۱/۳۴۸ ^{l-o} | ۰/۹۹۷ ^{m-o} | ۰/۷۳۵ ^{k-p} | ۰/۵۹۷ ⁿ | S ₃ ×N ₄ |
| ۲/۱۹۱ ^{l-p} | ۲/۴۳۱ ^{k-p} | ۲/۴۳۸ ^{n-t} | ۲/۴۴۶ ^{i-m} | ۲/۲۸۵ ^{j-l} | ۱/۸۵۷ ^{m-r} | ۱/۳۷۷ ^{l-o} | ۰/۹۹۸ ^{m-o} | ۰/۶۹۵ ^{q-u} | ۰/۵۸۲ ^{m-o} | S ₃ ×N ₅ |
| ۲/۲۴۹ ^{i-m} | ۲/۳۲۶ ^{m-r} | ۲/۶۰۶ ⁿ | ۲/۵۹۵ ^{f-j} | ۲/۴۹۷ ^{c-j} | ۲/۰۱۹ ^{h-m} | ۱/۴۳۶ ^{j-m} | ۱/۱۲۱ ^{h-k} | ۰/۸۰۶ ^{f-j} | ۰/۶۱۹ ^{j-m} | S ₃ ×N ₆ |
| ۲/۵۶۷ ^{d-g} | ۲/۶۳۶ ^{e-j} | ۲/۶۸۷ ^{g-l} | ۲/۶۶۸ ^{f-h} | ۲/۳۰۸ ^{i-l} | ۱/۰۷۲ ^{f-k} | ۱/۵۴۵ ^{g-k} | ۱/۰۴۰ ^{k-n} | ۰/۷۷۳ ⁱ⁻ⁿ | ۰/۶۲۷ ^{i-m} | S ₃ ×N ₇ |
| ۲/۶۶۶ ^{b-e} | ۲/۷۹۲ ^{c-f} | ۲/۸۷۲ ^{c-g} | ۲/۸۸۸ ^{b-e} | ۲/۵۹۲ ^{a-g} | ۲/۱۵۷ ^{c-h} | ۱/۶۳۱ ^{d-g} | ۱/۱۸۱ ^{d-i} | ۰/۸۳۳ ^{e-h} | ۰/۶۹۲ ^{c-h} | S ₃ ×N ₈ |
| ۱/۹۱۲ ^q | ۲/۱۲۳ ^r | ۲/۲۰۹ ^u | ۲/۱۴۲ ⁿ | ۱/۹۵۸ ^{mn} | ۱/۶۱۸ ^t | ۱/۲۰۶ ^p | ۰/۸۷۵ ^p | ۰/۶۵۳ ^u | ۰/۵۳۴ ^o | S ₄ ×N ₁ |
| ۲/۴۴۵ ^{f-i} | ۲/۶۷۶ ^{e-i} | ۲/۸۰۲ ^{d-i} | ۲/۵۹۵ ^{f-j} | ۲/۴۲۳ ^{e-k} | ۱/۷۷۰ ^{p-t} | ۱/۵۶۳ ^{f-j} | ۱/۱۵۰ ^{f-i} | ۰/۷۴۷ ^{k-q} | ۰/۶۲۴ ^{i-m} | S ₄ ×N ₂ |
| ۱/۹۶۵ ^q | ۲/۲۰۰ ^{q-r} | ۲/۳۴۹ ^{p-u} | ۲/۲۴۵ ^{mn} | ۲/۲۳۵ ^{kl} | ۱/۶۸۳ st | ۱/۳۹۷ ^{l-n} | ۱/۰۳۱ ^{l-n} | ۰/۶۷۸ ^{tu} | ۰/۶۲۸ ^{i-m} | S ₄ ×N ₃ |
| ۲/۱۹۱ ^{k-o} | ۲/۲۲۳ ^{q-r} | ۲/۳۶۹ ^{o-u} | ۲/۳۴۶ ^{k-n} | ۲/۲۲۹ ^{kl} | ۱/۸۸۳ ^{l-q} | ۱/۳۹۹ ^{l-n} | ۱/۰۵۶ ^{j-m} | ۰/۷۳۱ ^{m-s} | ۰/۶۴۱ ^{h-l} | S ₄ ×N ₄ |
| ۱/۹۸۸ ^{o-q} | ۲/۱۹۲ ^{q-r} | ۲/۲۶۲ ^{tu} | ۲/۲۹۲ ^{l-n} | ۱/۷۶۸ ⁿ | ۱/۷۰۷ ^{v-t} | ۱/۲۳۹ ^{op} | ۰/۹۳۰ ^{op} | ۰/۶۷۲ ^{tu} | ۰/۵۵۵ ^{no} | S ₄ ×N ₅ |
| ۲/۲۷۲ ^{i-m} | ۲/۳۶۱ ^{l-q} | ۲/۴۷۳ ^{m-s} | ۲/۵۶۸ ^{f-j} | ۲/۳۳۱ ^{h-l} | ۱/۸۱۴ ^{o-s} | ۱/۳۳۱ ^{m-p} | ۰/۹۸۵ ^{m-o} | ۰/۷۶۶ ⁿ | ۰/۶۰۸ ^{lm} | S ₄ ×N ₆ |
| ۲/۱۳۹ ^{m-p} | ۲/۴۹۹ ^{h-n} | ۲/۵۴۰ ^{k-p} | ۲/۴۸۱ ^{h-l} | ۲/۱۵۱ ^{lm} | ۱/۹۶۷ ^{i-o} | ۱/۴۵۳ ^{i-m} | ۱/۰۱۹ ^{l-n} | ۰/۷۱۳ ^{o-t} | ۰/۶۲۷ ^{i-m} | S ₄ ×N ₇ |
| ۲/۴۱۰ ^{g-j} | ۲/۶۶۸ ^{e-j} | ۲/۷۵۳ ^{e-j} | ۲/۶۳۹ ^{f-i} | ۲/۴۰۱ ^{g-l} | ۲/۱۱۹ ^{d-i} | ۱/۵۷۷ ^{f-i} | ۱/۱۴۲ ^{g-j} | ۰/۷۹۰ ^{h-l} | ۰/۶۶۵ ^{g-k} | S ₄ ×N ₈ |
| ۰/۲۰۵ | ۰/۲۰۴ | ۰/۲۰۶ | ۰/۲۰۵ | ۰/۲۶۰ | ۰/۱۷۲ | ۰/۱۳۸ | ۰/۰۸۸ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | 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 نانواکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه گندم

| میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|----------------|------------|--------------------------------|---|-------------------------|--|---------------|----------------------------------|-----------------------|-------------|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | انتقال ماده خشک از اندام هوایی | سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه | انتقال ماده خشک از ساقه | سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه | فتوستتزر جاری | سهم فتوستتزر جاری در عملکرد دانه | درصد پروتئین برگ پرچم | عملکرد دانه |
| تکرار | ۲ | ۰/۱۱۶۲۲** | ۳۹/۷۲۰** | ۰/۰۱۴۸۷** | ۷/۲۵۷ ^{ns} | ۰/۲۵۳۴۳** | ۳۹/۷۲۰** | ۱۵/۳۹۰** | ۰/۶۵۸** |
| (S) | ۳ | ۰/۰۳۳۲۵** | ۳۸۷/۴۵۵** | ۰/۰۱۲۵۷** | ۱۵۱/۵۲۱** | ۰/۷۴۴۷۷** | ۳۸۷/۴۵۵** | ۱۳/۶۳۳** | ۰/۴۶۷** |
| (N) | ۷ | ۰/۰۰۹۸۵** | ۱۱۳/۵۷۹** | ۰/۰۰۳۶۹** | ۴۲/۸۶۶** | ۰/۱۹۳۸۳** | ۱۱۳/۵۷۹** | ۳/۵۵۰** | ۰/۱۲۴** |
| S×N | ۲۱ | ۰/۰۰۳۰۶** | ۱۶/۱۱۸** | ۰/۰۰۱۳۸** | ۶/۳۶۳** | ۰/۰۲۱۱۱** | ۱۶/۱۱۸** | ۰/۶۹۴** | ۰/۰۱۶** |
| خطا | ۶۲ | ۰/۰۰۱۰۷ | ۶/۱۸۳ | ۰/۰۰۰۵۱ | ۲/۸۰۷ | ۰/۰۰۹۶۴ | ۶/۱۸۳ | ۰/۲۶۵ | ۰/۰۰۶ |
| CV | | ۵/۲۶ | ۷/۷۹ | ۵/۷۱ | ۸/۲۷ | ۷/۲۳ | ۳/۶۵ | ۵/۲ | ۴/۱۲ |

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

از آنجایی که در شرایط شوری به واسطه پیری زودرس و ریزش برگ‌ها طی دوره پرشدن دانه، سهم فتوستتزر جاری کاهش می‌یابد، ولی تقاضای دانه‌ها برای مواد فتوستتزی وجود دارد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷)، از این رو به نظر می‌رسد که در شرایط شوری به دلیل کاهش فتوستتزر جاری به واسطه کاهش سطح برگ، بخش بیش‌تری از پرشدن دانه به واسطه انتقال بیش‌تر ماده خشک به سمت دانه تأمین می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). ولی در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانواکسید روی با تعدیل اثر ناشی از تنش شوری و نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوستتزر و سوخت‌وساز دارد، ضمن افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوستتزر جاری و کاهش سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). Baniabbas و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش فتوستتزر به واسطه کاربرد روی را، به نقش اساسی این عنصر در ساختمان فسفوانیول پیروات کربوکسیلاز و همچنین افزایش سنتز هورمون‌های رشدی از جمله اکسین نسبت دادند. بخش دیگر بهبود فتوستتزر جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه به واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش

تنش از طریق گسترش بیشتر سطح برگ و بهبود فتوستتزر جاری، موجب افزایش تولید مواد فتوستتزی و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه تریتیکاله شد. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوسیلیکون با بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۱۰)، فتوستتزر جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (جدول ۱۴) موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه گندم (جدول ۱۴) شد.

فتوستتزر جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه:

برهم‌کنش همزمان محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فتوستتزر جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، ترکیب تیماری محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین فتوستتزر جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (۱/۷۶۳، ۷۷/۲۹) برخوردار بود، به‌طوری‌که موجب افزایش به‌ترتیب ۸۷/۱۵ و ۳۶/۰۴ درصدی این صفات نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۴).

جدول ۱۴- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه گندم

| ترکیب تیماری | انتقال ماده خشک از اندام هوایی (گرم در بوته) | سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (درصد) | انتقال ماده خشک از ساقه (گرم در بوته) | سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه (درصد) | فتوستتز جاری (گرم در بوته) | سهم فتوستتز جاری در عملکرد دانه (درصد) | پروتئین برگ پرچم (درصد) | عملکرد دانه (گرم در بوته) |
|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|---|----------------------------|--|-------------------------|---------------------------|
| S ₁ ×N ₁ | ۰/۶۱۰ ^{f1} | ۲۹/۶۶ ^{i-m} | ۰/۳۸۰ ^{g-n} | ۱۸/۵۴ ^{h-m} | ۱/۴۴۶ ^{e-h} | ۷۰/۳۳ ^{e-i} | ۱۰/۱۱ ^{e-j} | ۲/۰۵ ^{d-i} |
| S ₁ ×N ₂ | ۰/۵۳۷ ^{no} | ۲۴/۵۳ ^{pq} | ۰/۳۵۷ ^{m-p} | ۱۶/۳۷ ^{m-o} | ۱/۶۴۸ ^{a-c} | ۷۵/۴۶ ^{ab} | ۱۱/۳۱ ^{a-c} | ۲/۱۸ ^{a-d} |
| S ₁ ×N ₃ | ۰/۶۲۵ ^{e-k} | ۲۸/۰۹ ^{l-p} | ۰/۳۹۹ ^{e-l} | ۱۷/۹۹ ^{j-n} | ۱/۵۹۹ ^{b-e} | ۷۱/۹۰ ^{b-f} | ۱۰/۵۹ ^{b-g} | ۲/۲۲ ^{a-c} |
| S ₁ ×N ₄ | ۰/۵۹۴ ^{i-m} | ۲۸/۶۸ ^{k-o} | ۰/۳۷۶ ⁱ⁻ⁿ | ۱۸/۱۶ ⁱ⁻ⁿ | ۱/۴۷۸ ^{d-g} | ۷۱/۳۲ ^{c-g} | ۱۰/۳۴ ^{d-h} | ۲/۰۷ ^{d-h} |
| S ₁ ×N ₅ | ۰/۵۳۳ ^{no} | ۲۴/۸۵ ^{o-q} | ۰/۳۳۹ ^{op} | ۱۵/۸۲ ^{m-o} | ۱/۶۱۱ ^{a-d} | ۷۵/۱۴ ^{a-c} | ۱۱/۴۰ ^{ab} | ۲/۱۴ ^{b-f} |
| S ₁ ×N ₆ | ۰/۵۵۹ ^{l-o} | ۲۴/۸۱ ^{o-q} | ۰/۳۴۹ ^{n-p} | ۱۵/۵۱ ^{no} | ۱/۶۹۱ ^{ab} | ۷۵/۱۸ ^{a-c} | ۱۰/۹۸ ^{a-d} | ۲/۲۵ ^{ab} |
| S ₁ ×N ₇ | ۰/۵۹۴ ^{j-m} | ۲۴/۸۷ ^{m-p} | ۰/۳۷۸ ^{h-n} | ۱۷/۱۲ ^{l-o} | ۱/۶۱۶ ^{a-d} | ۷۳/۱۳ ^{b-e} | ۱۱/۲۲ ^{a-c} | ۲/۲۱ ^{a-c} |
| S ₁ ×N ₈ | ۰/۵۱۹ ^o | ۲۲/۷۰ ^q | ۰/۳۲۸ ^p | ۱۴/۴۱ ^o | ۱/۷۶۳ ^a | ۷۷/۲۹ ^a | ۱۱/۶۰ ^a | ۲/۲۸ ^a |
| S ₂ ×N ₁ | ۰/۶۵۹ ^{b-f} | ۳۵/۳۰ ^{d-g} | ۰/۴۱۶ ^{a-g} | ۲۲/۳۳ ^{c-f} | ۱/۲۰۵ ^{k-m} | ۶۴/۶۹ ^{k-n} | ۹/۲۷ ^{j-o} | ۱/۸۶ ^{k-o} |
| S ₂ ×N ₂ | ۰/۶۲۱ ^{e-k} | ۳۰/۳۶ ^{h-m} | ۰/۳۹۹ ^{e-l} | ۱۹/۵۴ ^{g-l} | ۱/۴۲۴ ^{f-i} | ۶۹/۶۳ ^{e-j} | ۱۰/۵۴ ^{c-g} | ۲/۰۴ ^{e-i} |
| S ₂ ×N ₃ | ۰/۶۷۳ ^{a-e} | ۳۳/۶۱ ^{d-i} | ۰/۴۲۰ ^{a-f} | ۲۱/۰۳ ^{e-h} | ۱/۳۳۳ ^{g-k} | ۶۶/۳۸ ⁱ⁻ⁿ | ۹/۴۸ ^{i-m} | ۲ ^{g-j} |
| S ₂ ×N ₄ | ۰/۶۶۶ ^{a-e} | ۳۵/۷۸ ^{d-f} | ۰/۴۲۱ ^{a-f} | ۲۲/۶۷ ^{c-f} | ۱/۲۱۷ ^{k-m} | ۶۴/۲۱ ^{l-n} | ۹/۳۲ ^{i-o} | ۱/۸۸ ^{j-o} |
| S ₂ ×N ₅ | ۰/۶۴۱ ^{d-j} | ۳۲/۷۵ ^{e-j} | ۰/۴۰۴ ^{e-k} | ۲۰/۶۶ ^{e-j} | ۱/۳۳۷ ^{g-k} | ۶۷/۲۴ ^{h-m} | ۹/۲۹ ^{i-o} | ۱/۹۷ ^{g-k} |
| S ₂ ×N ₆ | ۰/۶۳۰ ^{d-k} | ۳۲/۲۹ ^{e-k} | ۰/۴۰۵ ^{d-k} | ۲۰/۸۱ ^{e-i} | ۱/۳۲۲ ^{g-l} | ۶۷/۷۰ ^{g-m} | ۱۰/۰۹ ^{e-j} | ۱/۹۵ ^{h-l} |
| S ₂ ×N ₇ | ۰/۶۰۴ ^{g-m} | ۳۳/۰۵ ^{e-j} | ۰/۳۸۰ ^{g-n} | ۲۰/۸۴ ^{e-i} | ۱/۲۵۳ ^{j-m} | ۶۶/۹۵ ^{h-m} | ۱۰/۶۴ ^{b-f} | ۱/۸۵ ^{k-p} |
| S ₂ ×N ₈ | ۰/۵۵۵ ^{m-o} | ۲۵/۶۰ ^{n-q} | ۰/۳۵۵ ^{m-p} | ۱۶/۳۹ ^{m-o} | ۱/۶۱۲ ^{a-d} | ۷۴/۳۹ ^{a-d} | ۱۰/۹۲ ^{a-e} | ۲/۱۶ ^{a-e} |
| S ₃ ×N ₁ | ۰/۶۹۵ ^{a-c} | ۴۰/۱۹ ^{a-c} | ۰/۴۴۲ ^{a-c} | ۲۵/۶۰ ^{ab} | ۱/۰۳۳ ^{n-p} | ۵۹/۸۰ ^{o-q} | ۸/۸۲ ^{m-p} | ۱/۷۲ ^{p-r} |
| S ₃ ×N ₂ | ۰/۵۹۸ ^{h-m} | ۳۳/۸۰ ^{d-h} | ۰/۳۷۴ ^{j-o} | ۲۱/۱۶ ^{e-h} | ۱/۱۶۶ ^{l-n} | ۶۶/۱۹ ^{j-n} | ۹/۵۷ ^{h-m} | ۱/۷۶ ^{n-r} |
| S ₃ ×N ₃ | ۰/۵۷۷ ^{k-n} | ۲۸/۶۰ ^{k-o} | ۰/۳۶۳ ^{l-p} | ۱۸/۰۴ ^{j-n} | ۱/۴۳۷ ^{f-h} | ۷۱/۴۰ ^{c-g} | ۸/۵۵ ^{op} | ۲/۰۱ ^{f-j} |
| S ₃ ×N ₄ | ۰/۶۴۸ ^{c-i} | ۳۴/۲۱ ^{d-h} | ۰/۴۱۱ ^{b-i} | ۲۱/۷۴ ^{d-g} | ۱/۲۴۴ ^{k-m} | ۶۵/۷۸ ^{j-n} | ۹/۶۹ ^{h-l} | ۱/۸۹ ^{j-n} |
| S ₃ ×N ₅ | ۰/۶۸۲ ^{a-d} | ۳۷/۵۶ ^{b-d} | ۰/۴۳۷ ^{a-d} | ۲۴/۰۹ ^{b-d} | ۱/۱۳۱ ^{m-o} | ۶۲/۴۳ ^{n-p} | ۸/۸۹ ^{l-p} | ۱/۸۱ ^{m-q} |
| S ₃ ×N ₆ | ۰/۵۹۹ ^{h-m} | ۲۹/۰۹ ^{j-n} | ۰/۳۷۵ ^{i-o} | ۱۸/۲۷ ^{i-m} | ۱/۴۵۶ ^{d-h} | ۷۰/۹۰ ^{d-h} | ۱۰/۰۴ ^{f-j} | ۲/۰۵ ^{d-i} |
| S ₃ ×N ₇ | ۰/۶۵۵ ^{b-g} | ۳۳/۹۶ ^{d-h} | ۰/۴۲۱ ^{a-f} | ۲۱/۸۵ ^{d-g} | ۱/۲۷۳ ^{i-m} | ۶۶/۰۳ ^{j-n} | ۸/۹۰ ^{l-p} | ۱/۹۲ ^{i-m} |
| S ₃ ×N ₈ | ۰/۵۹۰ ^{j-m} | ۲۸/۱۸ ^{l-p} | ۰/۳۷۳ ^{k-o} | ۱۷/۸۴ ^{k-n} | ۱/۵۰۴ ^{c-f} | ۷۱/۸۱ ^{b-f} | ۱۰/۸۹ ^{a-e} | ۲/۰۹ ^{c-g} |
| S ₄ ×N ₁ | ۰/۷۱۷ ^a | ۴۳/۱۸ ^a | ۰/۴۵۲ ^a | ۲۷/۳۰ ^a | ۰/۹۴۲ ^p | ۵۶/۸۱ ^q | ۸/۱۸ ^p | ۱/۶۶ ^r |
| S ₄ ×N ₂ | ۰/۶۵۱ ^{b-g} | ۳۳/۶۶ ^{d-i} | ۰/۴۱۰ ^{c-j} | ۲۱/۰۸ ^{e-h} | ۱/۳۱۲ ^{h-l} | ۶۶/۳۳ ⁱ⁻ⁿ | ۸/۵۷ ^{n-p} | ۱/۹۶ ^{g-k} |
| S ₄ ×N ₃ | ۰/۶۶۶ ^{a-e} | ۳۴/۶۲ ^{d-g} | ۰/۴۴۷ ^{ab} | ۲۳/۳۰ ^{b-e} | ۱/۲۶۰ ^{j-m} | ۶۵/۳۷ ^{k-n} | ۹/۰۶ ^{k-o} | ۱/۹۲ ^{i-m} |
| S ₄ ×N ₄ | ۰/۶۳۶ ^{d-j} | ۳۶/۱۸ ^{c-e} | ۰/۴۰۷ ^{c-k} | ۲۳/۲۲ ^{b-e} | ۱/۱۱۷ ^{m-o} | ۶۳/۸۱ ^{m-o} | ۹/۰۵ ^{k-o} | ۱/۷۵ ^{o-r} |
| S ₄ ×N ₅ | ۰/۷۰۵ ^{ab} | ۴۱/۵۳ ^{ab} | ۰/۴۲۴ ^{a-e} | ۲۵/۰۳ ^{a-c} | ۰/۹۹۰ ^{op} | ۵۸/۴۶ ^{pq} | ۱۰/۱۱ ^{e-j} | ۱/۶۹ ^{qr} |
| S ₄ ×N ₆ | ۰/۶۵۰ ^{c-h} | ۳۱/۶۰ ^{g-l} | ۰/۴۱۳ ^{b-h} | ۲۰/۱۰ ^{f-k} | ۱/۴۰۶ ^{f-j} | ۶۸/۳۹ ^{f-k} | ۹/۷۶ ^{g-k} | ۲/۰۵ ^{d-i} |
| S ₄ ×N ₇ | ۰/۶۱۲ ^{f-k} | ۳۳/۲۵ ^{e-i} | ۰/۳۸۶ ^{f-m} | ۲۱/۰۱ ^{e-h} | ۱/۲۲۳ ^{k-m} | ۶۶/۷۴ ^{i-m} | ۹/۴۰ ⁱ⁻ⁿ | ۱/۸۳ ^{l-p} |
| S ₄ ×N ₈ | ۰/۶۳۶ ^{d-j} | ۳۲/۰۴ ^{f-l} | ۰/۴۰۳ ^{d-k} | ۲۰/۳۴ ^{f-k} | ۱/۳۴۹ ^{f-k} | ۶۷/۹۵ ^{f-l} | ۱۰/۱۳ ^{e-i} | ۱/۹۸ ^{g-k} |
| LSD | ۰/۰۵۳ | ۴/۰۵ | ۰/۰۳۶ | ۲/۷۳ | ۰/۱۶۰ | ۴/۰۵ | ۰/۸۴ | ۰/۱۳ |

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 نانوآکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانوآکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانوآکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانوآکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش با افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تریتیکاله شد. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری)، موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شد.

درصد پروتئین برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری و برهم‌کنش همزمان این عوامل بر درصد پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، ترکیب تیماری محلول پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانوآکسید روی) و یک میلی‌مولار پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین پروتئین برگ پرچم (۱۱/۶۰) برخوردار بود که موجب افزایش ۴۰/۸۰ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۴). به‌نظر می‌رسد وقوع تنش شوری از طریق هیدرولیز و یا کاهش سنتز پروتئین‌های محلول موجب کاهش محتوای پروتئین برگ گندم می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹)، که گزارش شده است در چنین شرایطی کاربرد نانوذرات موجب افزایش محتوای پروتئین برگ گندم شد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). روی به عنوان یک عنصر ساختمانی در RNA پلیمراز در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد و کاهش میزان پروتئین در گیاهان دارای کمبود روی نتیجه افزایش تجزیه RNA است (Marschner, 2011). بخش دیگر افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول پاشی با نانوآکسید روی را می‌توان به بهبود فلورسانس کلروفیل (جدول ۵، ۶، ۷ و ۸) نسبت داد که در این راستا برخی محققین بیان کردند که محلول پاشی نانوآکسید روی در

شرایط تنش شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی و درصد پروتئین برگ گندم شد (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۹). بخشی از افزایش درصد پروتئین برگ پرچم به‌واسطه محلول پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند که محلول پاشی نانوسیلیکون از طریق افزایش شاخص سطح برگ موجب بهبود فتوسنتز جاری شد که با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، محتوای پروتئین برگ تریتیکاله تحت شرایط تنش را افزایش داد. بخشی دیگر افزایش محتوای پروتئین محلول در کاربرد سیلیکون به‌نظر می‌رسد ناشی از سنتز پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با تنش خشکی باشد (Tale Ahmad et al., 2011). همچنین، Amraee Tabar و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند که محلول پاشی پوترسین با نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن از تخریب پروتئین‌ها به‌وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها در گیاه می‌شود. بخش دیگری از افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول پاشی با پوترسین را می‌توان به بهبود عملکرد کوانتومی نسبت داد، که در این راستا سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) نیز افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول پاشی با پوترسین را به بهبود عملکرد کوانتومی برگ نسبت دادند.

عملکرد دانه: برهم‌کنش همزمان محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین عملکرد دانه (۲/۲۸) و از افزایش ۳۷/۳۴ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۴). در شرایط تنش شوری به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، چون فتوسنتز جاری

و تأخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم شد.

نتیجه‌گیری

عدم کاربرد نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط سطوح بالاتر تنش شوری از بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه برخوردار بود. محلول پاشی همزمان نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی موجب افزایش فتوسنتز جاری و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه شد. همچنین نتایج نشان داد که این ترکیب تیماری با افزایش شاخص سطح برگ و درصد پروتئین موجب افزایش ماده خشک کل و عملکرد دانه گندم نسبت به شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط تنش شوری می‌تواند با بهبود فتوسنتز جاری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه گندم را افزایش دهد.

به‌واسطه کاهش سطح برگ (جدول ۱۱) کاهش می‌یابد، در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). بخشی از افزایش عملکرد دانه به‌واسطه محلول پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد، در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری، علیرغم کاهش سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد. همچنین، به‌نظر می‌رسد محلول پاشی نانوآکسید روی نیز با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی) و افزایش محتوای پروتئینی (جدول ۱۴) موجب افزایش عملکرد دانه شد که با بررسی نریمانی و سیدشریفی (۱۳۹۹) همخوانی داشت، این محققین بیان کردند که محلول پاشی نانوآکسید روی در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی، محتوای پروتئین و عملکرد دانه گندم شد. همچنین Baniabbass و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که روی در ساختمان فسفواینول پیروات کربوکسیلاز نیز نقش اساسی دارد و موجب افزایش سنتز هورمون‌های رشدی از جمله اکسین می‌شود که با بهبود توان فتوسنتزی و در نتیجه افزایش تولید میزان کربوهیدرات در گیاه، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن

منابع

- خیری‌زاده آروق، یونس، سیدشریفی، رئوف، و خلیل‌زاده، راضیه (۱۳۹۷). بررسی کاربرد کود بیولوژیک و نانوآکسید روی بر انتقال مجدد و شاخص سطح برگ گیاه تریتیکاله (*Triticosecale Witt.*) در شرایط شوری خاک. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۴(۱۱)، ۹۹۳-۱۰۰۴. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1015.1201>
- رستمی، مجید، جوادی، احمد، و حسینی‌زاده، سیدمجید. (۱۳۹۹). القای مقاومت به تنش شوری در بذرهاى بدست آمده از بوته‌های گندم محلول پاشی شده با نانوآکسید روی و آهن. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳(۳۳)، ۵۵۳-۵۶۵. <https://doi.org/10.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1>

- سیدشریفی، رئوف، سیدشریفی، رضا، و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر بیوماس، گره‌زایی و برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ماشک گل‌خوشه‌ای تحت شرایط دیم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۴(۲۲)، ۵۱۳-۵۲۹. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.294125.2316>
- صفاری، محبوبه، اویسی، میثم، و ضرغامی، رضا (۱۳۹۴). بررسی تأثیر پلی‌آمین پوترسین بر برخی صفات گیاه دارویی آویشن در شرایط کمبود آب. *پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*، ۴(۲۲)، ۲۷۹-۲۸۹.
- عبدلی، مجید، و اسفندیاری، عزت‌الله (۱۳۹۳). تأثیر محلول‌پاشی روی بر عملکرد کمی و کیفی و خصوصیات رشدی گیاهچه گندم نان (رقم کوه‌دشت). *نشریه زراعت دیم ایران*، ۱(۳)، ۷۷-۹۰. <https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100557>
- عمادی، مریم‌السادات، 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*، ۳(۱۵)، ۲۶۱-۲۴۷. <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1392.15.3.5.7>
- محلوجی، مهرداد (۱۳۹۵). تأثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید روی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های جو. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
- 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. *مجله الکترونیک مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۰(۲)، ۸۹-۱۰۵. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2020.16140.1861>
- نظری، ژیلدا، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۰). اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری، انتقال ماده خشک تریتی‌کاله. *مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳(۵۱): ۵-۲۴.
- Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alam, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ali, S. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 70-82. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-018-9810-2>.
- Al-juthery, H. W. A., Al-tae, R. A. H. G., Al-Obaidi, Z. H. H., Ali, E. A. H. M., & NAl-Shami, Q. M. (2019). Influence of foliar application of some nano-fertilizers in growth and yield of potato under drip irrigation. *Journal of Physics Conference Series*, 9,092024. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1294/9/092024>.
- Amraee Tabar, S., Ershadi, A., & Robati, T. (2016). The effect of putrescine and spermine on drought tolerance of Almond and Peach. *Journal of Crops Improvement*, 18, 203-218. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56558>.
- Babaeia, Kh., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. R., & Khalilzadeha, 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. *Journal of Plant Interactions*, 12(1): 381-389. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>.
- Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology*, 6(2), 518-525. <https://doi.org/10.22077/escs.2012.108>.
- Barnett, K. H., & Pearce, P. B. (1983). Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science*, 23, 101-109.
- Betran, F. J., Beck, D., Banziger, M., & Edmeades, G. O. (2003). Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and nonstress environments in tropical maize. *Field Crops Research*, 83, 51-65. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00061-3).
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>.
- Chaves, M., Flaxes, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103, 551-556. <https://doi.org/10.1093%2Faob%2Fmcn125>.
- Ebrahimian, E., & Bybordi, A. (2011). Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9, 422-427.
- Ehdaei, B., & Wanies, G. (1996). Genetic variation for contribution of pre anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetics and Breeding*, 50,47-56.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Science*, 91, 11-17. <https://doi.org/10.1073%2Fpnas.91.1.11>.

- Etesami, H., & Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881-896. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>.
- Falqueto, A. R., Da Silva, R. A., Gaudio Gomes, M. T., Rodrigues Martins, J. P., Moura Silva, D., & Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Journal of Scientia Horticulturae*, 224, 228-243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.019>.
- Gong, D., Zhang, X., Yao, J., Dai, G., Yu, G., Zhu, Q., Gao, Q., & Zheng, W. (2021). Synergistic effects of bast fiber seedling film and nano-silicon fertilizer to increase the lodging resistance and yield of rice. *Scientific Reports*, 11, 1-8. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-92342-5>.
- Hasanuzzaman, M., Alhaithloul, 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, 3215. <https://doi.org/10.3390%2Fijms20133215>.
- Islam, M. J., Uddin, M. J., Hossain, M. A., Henry, R., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., Mou, M. A., Ahn, J., Cheong, E. J., & Lim, Y. S. (2022). Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physiobiochemical traits and gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plos One*, 17, 0262099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262099>.
- Jimenez-Suancha, S. C., Alvarado, S. O. H., & Balaguera-Lopez, H. E. (2015). Fluorescencia como indicador de estres en *Helianthus annuus* L. Una revision. *Revista Colombiana de Ciencias Hortic*, 9, 149-160.
- Kamari, H. (2014). Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and nano-zinc oxide on yield, grain filling period and some morphophysiological traits of Triticale. MSc thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
- Karimi, M. M., & Siddique, H. M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42, 13-20. <https://doi.org/10.1071/AR9910013>.
- 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. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44, 116-124. <https://doi.org/10.15835/nbha44110224>.
- Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S., & Yang, D. (2020). Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024>.
- Marschner, H. (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3th Ed. Academic press.
- Mouk, B. O., & Ishii, T. (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth and nutrient uptake of *Sclerocarya abirrea* under water stress, salt stress and flooding. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science*, 75, 26-31.
- Song, J., Yang, J., & Jeong, B. R. (2022). Silicon mitigates ammonium toxicity in Cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) 'Ssamchu'. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.922666>.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials*, 349, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040>.
- Tale Ahmad, S., & Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breed*, 47(1), 17-27. <http://dx.doi.org/10.17221/92/2010-CJGPB>.
- Torabian, S., Zahedi, M., & Khoshdoftar, A. H. (2015). Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 39, 172-180. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2015.1009107>.
- Xia, A., Li, Y., & Zou, D. (2004). Effects of salinity stress on PSII in *Ulva lactuca* as probed by chlorophyll fluorescence measurements. *Aquatic Botany*, 8, 129-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.07.006>.
- Zhang, R. H., Li, J., Guo, S. R., & Tezuka, T. (2009). Effects of exogenous putrescine on gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings. *Photosynthesis Research*, 100, 155-162. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9441-3>.

Effects of foliar application of nanoparticles (zinc and silicon) and putrescine on chlorophyll fluorescence indices, dry matter remobilization and the contribution of this process in grain yield of wheat under salinity stress

Fatemeh Aghaei, Raouf Seyed Sharifi*, Hamed Narimani

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: 28/12/2022, Accepted: 07/02/2023)

Abstract

In order to study the effects of foliar application of nanoparticles (zinc and silicon) and putrescine on chlorophyll fluorescence indices, dry matter remobilization and the contribution of this process in grain yield of wheat under salinity stress, an experimental as factorial based on a randomized complete block design with three replications will be conducted in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2021. Factors experimentally included salinity at four levels (no salinity as control, salinity 40, 80 and 120 mM by NaCl), and foliar application of nanoparticles (Zn and Si) and putrescine at eight levels (foliar application with water as control, foliar application 50 mg.L⁻¹ nano silicon, foliar application, 1 g.L⁻¹ nano zinc oxide, foliar application of putrescine, foliar application of nano Si-Zn oxide, foliar application of nano silicon and putrescine, foliar application of nano Zn oxide and putrescine, foliar application of nano Si-Zn oxide and putrescine). The results showed that foliar application of nanoparticles (Zn and Si) and putrescine under no salinity increased variable fluorescence (95.8%), maximum fluorescence (35.33%), quantum yield (42.24%), leaf area index (45.27%), flag leaf protein (41.8%), total dry matter (44.09%), current photosynthesis (87.15%) and the contribution of current photosynthesis in grain yield (36.04%) and grain yield (37.34 %) compared to no foliar application of nanoparticles and putrescine under the highest salinity level. But the maximum dry matter remobilization from stem and shoot (37.8 and 38.15%, respectively) and the contribution of these processes to grain yield (89.45 and 90.22%, respectively) were obtained in no foliar application of nanoparticles and the putrescine under salinity 120 mM. It seems that nanoparticles and putrescine application can increase grain yield of wheat under salinity stress due to improving current photosynthesis and chlorophyll fluorescence indices.

Keywords: Current photosynthesis, Leaf protein, Leaf area index, Maximum fluorescence, Quantum yield

Corresponding author, Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com