

مقاله پژوهشی

## اثر غلظت‌های نانوسیلیکون و کودهای زیستی بر عملکرد و دوره پر شدن دانه گندم در رژیم‌های مختلف آبیاری

فرناز احمدی نورالدین‌وند<sup>۱\*</sup>، رئوف سیدشرفی<sup>۲</sup>، سیدعطاءاله سیادت<sup>۳</sup>، راضیه خلیل‌زاده<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱

### چکیده

به منظور بررسی اثر نانوسیلیکون و کودهای زیستی بر عملکرد و دوره پر شدن دانه‌ی گندم در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل ظهور سنبله و تورم غلاف برگ پرچم (آبستنی) به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی)، محلول‌پاشی با نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و کودهای زیستی (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد فلاوباکتریوم و سودوموناس، کاربرد توأم میکوریزا با باکتری‌ها) بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر سرعت پر شدن دانه (۳/۰۴ میلی‌گرم در روز)، طول دوره پر شدن دانه (۳۷ روز)، دوره موثر پر شدن دانه (۳۰/۴۴ روز) و عملکرد دانه (۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. همچنین حداکثر محتوی کلروفیل *a*، *b*، کل و کاروتنوئید (به‌ترتیب ۲/۰۴، ۰/۹۳، ۲/۸۷ و ۹/۸۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. بیشترین وزن و حجم ریشه از محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و کاربرد میکوریزا در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. حداکثر شاخص سطح برگ از کاربرد میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون می‌تواند به‌عنوان فاکتورهای مدیریتی مناسب برای افزایش عملکرد دانه و دوره پر شدن دانه گندم در شرایط محدودیت آبی توصیه شود.

**واژه‌های کلیدی:** باکتری‌های محرک رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، خشکی، قارچ موسه‌آ، نانو ذرات

### مقدمه

خاک است و در بسیاری از گیاهان در شرایط بهینه و طبیعی، به‌عنوان یک عنصر ضروری مطرح نیست، چرا که گیاهان چرخه زندگی خود را می‌توانند بدون این عنصر کامل کنند ولی کاربرد منابع خارجی این عنصر می‌تواند منجر به ارتقای رشد و افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی شود (Hadi *et al.*, 2016). در واقع استفاده از نانو ذرات سیلیکون برای تحریک رشد و نمو گیاه و همچنین کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی در گیاهان شناخته شده است (Roychoudhury, 2020). به‌طوری‌که، گزارش شده است سیلیکون استحکام برگ‌ها، محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز را افزایش و پیری برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Liu *et al.*, 2013). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داد محلول‌پاشی سیلیکون تا حدودی اثر منفی محدودیت آبی بر عملکرد گندم را کاهش داده و بیشترین عملکرد دانه در کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم غیر نانو به‌دست آمد (Parsapour *et al.*, 2019). برخی محققان تأثیر مثبت سیلیکون بر رشد گیاه را به اثر این ماده در

تنش آبی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی است که می‌تواند به‌طور تقریبی موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد زمین‌های زراعی شود (Biglouie *et al.*, 2010). در چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد استفاده از برخی عناصر و کودها می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار مناسب در جهت تعدیل یا کاهش آثار ناشی از این تنش محسوب شود. سیلیکون (سیلیسیم) دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۴- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه

\*- نویسنده مسئول: (Email: Farnaz\_ahmadi@rocketmail.com)

افزایش فتوسنتز موجب بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری می‌شوند (Khalafalla and Abo-Ghalia., 2008).

با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک کشور و خسارت ناشی از محدودیت آبی در بیشتر مناطق تحت کشت به‌خصوص در دوران پس از گلدهی که از مهمترین عامل موثر بر کاهش عملکرد این گیاه محسوب می‌شود، و از طرفی به‌دلیل نقش کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد و مایکوریزا) و نانوسیلیکون در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص بر همکنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل آزمایشی بر عملکرد و دوره پر شدن دانه گندم مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016) با سه تکرار طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا اجرا شد. مشخصات اقلیمی در سال اجرای آزمایش در جدول ۱ و نتایج آزمون خاک محل آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

افزایش حجم و وزن ریشه‌ها، نسبت دادند (Dakora and Nelwamondo, 2003).

یکی دیگر از راهکارهای اساسی برای تعدیل یا کاهش اثر تنش آبی در گیاهان زراعی، کاربرد انواع مختلفی از کودهای زیستی (باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاک‌زی) است (Marulanda Aguirre *et al.*, 2008). این کودها از ریز موجودات مفید خاک تهیه و کارایی بالایی از نظر فراهم‌سازی عناصر غذایی به شکل قابل جذب را، دارا می‌باشند (Chen, 2006). برخی محققین افزایش عملکرد و طول دوره‌ی پر شدن دانه گندم با کاربرد کودهای زیستی در شرایط محدودیت آبی را به اثر هم‌افزایی بین باکتری‌های محرک رشد و مایکوریزا نسبت دادند که موجب می‌شود با تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم کنند (Seyed Sharifi, 2018). محققین در مطالعه‌ای روی گندم، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی را در مصرف انواع باکتری‌های محرک رشد به‌ویژه مصرف توأم آن‌ها گزارش کرده‌اند (Mozafari *et al.*, 2016). برخی پژوهشگران علت افزایش رشد و عملکرد گیاهان در کاربرد باکتری‌های محرک رشد را، به نقش آن‌ها در تولید اکسین، افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها، تثبیت نیتروژن، تغییر روابط هورمونی و افزایش سطح فتوسنتز گیاه نسبت داده‌اند (Salantur, 2006). قارچ‌های مایکوریزا گرچه ترکیبات کربوهیدراتی مورد نیاز خود را از گیاه میزبان دریافت می‌کنند، ولی با کمک به افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه، بهبود تثبیت نیتروژن،

جدول ۱- پارامترهای جوی ثبت شده در طول دوره رشدی گندم (مأخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

Table 1- Atmospheric parameters recorded during the period of wheat growth (Source: General Meteorological Department of Ardabil Province)

ماه‌ها Months	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین دما Temperature mean (°C)	جمع ساعات آفتابی Total hours of sunshine	میانگین رطوبت نسبی Relative humidity mean (%)
مهر Oct	43.6	11.8	201.3	72
آبان Nov	9.7	11.7	166.5	64
آذر Des	6.5	3	177.3	70
دی Jan	16.5	4.6	165.4	67
بهمن Feb	54.8	0.06	128.7	77
اسفند MA	26.5	7	157.5	73
فروردین Apr	9.3	9	170.9	66
اردیبهشت May	60.3	12.3	196.3	71
خرداد Jun	28.2	16.8	148.6	71
تیر Jul	3.9	21.5	344.2	60
مرداد Aug	0.9	25.3	255.6	69

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه  
Table 2- Farm soil physicochemical properties

عمق خاک Soil depth (cm)	عصاره اشباع Saturated extract	pH	ساختار Structure	آهک CaCO <sub>3</sub>	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	روی
									قابل جذب N	قابل جذب P	قابل جذب K	Zn
									mg.kg <sup>-1</sup>			
0-30	49	7.8	لومی Loam	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	1.8

محیطی، نیاز گیاه زراعی و به استناد سطوح ذکر شده در آزمایش انجام شد. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به این که آفت و بیماری مشاهده نگردید هیچ‌گونه مبارزه شیمیایی در طول دوره رشد صورت نگرفت. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، نمونه‌برداری ده روز بعد از ظهور سنبله صورت گرفت. سپس با استون ۸۰ درصد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر بر اساس روابط (۱) تا (۴) استخراج شد (Arnon, 1949).

$$Chl_a = [19.3 (A_{663}) - 0.86 (A_{645})] V / (1000 \times W) \quad (1)$$

$$Chl_b = [19.3 (A_{645}) - 3.6 (A_{663})] V / (1000 \times W) \quad (2)$$

$$Total\ chl = [20.2 (A_{645}) + 8.02 (A_{663})] V / (1000 \times W) \quad (3)$$

$$Carotenoides = [1000 (A_{470}) - 1.8 (Chl_a) - 85.02 (Chl_b)] + 1/198 \quad (4)$$

در این روابط V حجم نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است. شاخص سطح برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری مولفه‌های پر شدن دانه، نمونه‌برداری در فواصل زمانی هر چهار روز یکبار انجام شد. در این مرحله سه بوته با ظاهر یکنواخت و مشابه انتخاب گردید. و پس از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از سنبله جدا و بعد از قرارگیری در آون، خشک شدند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به‌منظور تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره موثر پر شدن دانه، از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) براساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nlin نرم‌افزار SAS 9.4 از رابطه (۵) استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases} \quad (5)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t<sub>0</sub> پایان دوره پر شدن 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 پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t<sub>0</sub> که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی

عوامل آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله ظهور سنبله و تورم غلاف برگ پرچم (آبستنی) به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH)، محلول‌پاشی نانوسیلیکون در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد باکتری‌های محرک رشد، فلاوباکتریوم و سودوموناس، کاربرد توأم قارچ با باکتری‌ها) بودند. محلول‌پاشی نانوسیلیکون در دو مرحله ساقه‌دهی و مرحله قبل از تورم غلاف برگ پرچم یا آبستنی (به‌ترتیب معادل با کد ۳۰ و ۴۳ بر اساس مقیاس BBCH) اعمال شد. نانوسیلیکون (Nano-SiO<sub>2</sub>) با اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ نانومتر محصول شرکت آمریکایی US Research Nanomaterial بوده که از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان تهیه گردید. به‌دلیل حلالیت بهتر نانوسیلیکون در آب، ابتدا در آب دی‌یونیزه به‌صورت معلق درآمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (Prasad et al., 2012). همچنین قارچ مورد استفاده *Glomus mosseae* بود که از شرکت زیست فناوری توران تهیه و به‌میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم درهکتار) به‌روش استاندارد و توصیه شده مصرف شد (Gianinazzi et al., 2001). مایه تلقیح باکتری‌های فلاوباکتریوم و سودوموناس از موسسه خاک و آب تهیه شد که هر گرم آن دارای ۱۰<sup>۸</sup> عدد باکتری زنده و فعال بود. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. بدین صورت که بذرها به مدت دو ساعت در مایه تلقیح و در شرایط تاریکی قرار گرفتند. بذر مورد استفاده رقم میهن بود که از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شد. این رقم دارای تیپ رشد زمستانه، با وزن صد دانه ۴/۵ گرم، نیمه‌متحمل به بیماری‌های زنگ قهوه‌ای و سیاه و متحمل به زنگ زرد است. هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فواصل بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع (تراکم مطلوب و توصیه شده این رقم) بود. کاشت در ۱۲ آبان ماه انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط

رنگیزه‌های فتوسنتزی کاسته شد در صورتی که با کاربرد نانوسیلیکون و کودهای زیستی، محتوی کلروفیل کاهش کمتری را نشان داد (جدول ۴). طوری که بیشترین محتوای کلروفیل  $a$ ،  $b$ ، کل و کاروتنوئید (به ترتیب  $۲/۰۴$ ،  $۰/۹۳$ ،  $۲/۸۷$  و  $۹/۸۹$  میلی‌گرم در گرم تر برگ) از محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. در واقع تنش کمبود آب با بستن روزنه‌ها و تخریب کلروفیل و کلروپلاست باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (Wen-Bin *et al.*, 2009). تنش خشکی همچنین با افزایش برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر اتیلن و آبسزیک اسید، فعالیت کلروفیل‌از را تحریک و موجب تجزیه کلروفیل می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل در این تحقیق احتمالاً می‌تواند به دلیل کاهش سنتز کلروفیل و افزایش تجزیه آن باشد. به‌نحوی که، مطالعات نشان داده است کاربرد سیلیکون در شرایط تنش، به دلیل کاهش تولید پراکسید هیدروژن، موجب افزایش مقدار کلروفیل، فعالیت بیوفسفات کربوکسیلاز و فتوسنتز برگ‌ها می‌شود (Gong *et al.*, 2003). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر افزایش محتوای رنگدانه‌های مختلف فتوسنتزی (کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$ ، کل و کاروتنوئیدها) در گیاهان زراعی تحت تنش کم آبی با کاربرد سیلیکون گزارش شده است (Merwad *et al.*, 2018). از طرفی، سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاسم دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ موجب تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ می‌شود که این امر ضمن به تأخیر انداختن مرگ برگ، موجب افزایش محتوای کلروفیل و کاهش میزان تعرق روزنه‌ای می‌گردد (AL-Aghabary *et al.*, 2004). همچنین پژوهشگران در آزمایش‌های خود اظهار داشتند که یکی از دلایل تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر محتوای کلروفیل برگ، افزایش میزان دسترسی گیاه به نیتروژن از طریق تثبیت آن است. در واقع وجود کلروفیل به‌عنوان مکانی برای جذب نور و سنتز مواد لازم برای رشد و نمو گیاهان، وابسته به این عنصر حیاتی است. چنانچه نیتروژن در دسترس، کم‌تر یا بیشتر از حد نیاز گیاه باشد، اختلالاتی را در فرآیندهای حیاتی موجب می‌شود که ممکن است به صورت‌های مختلفی نظیر رشد و نمو زیاد، کاهش تعرق و یا حتی توقف رشد زایشی بروز نماید (Mohammadparst *et al.*, 2019).

**شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص سطح برگ تحت تأثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانو سیلیکون قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب کاهش ۲۵ درصدی شاخص سطح برگ گندم نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز مبنی بر این‌که تنش خشکی ملایم و شدید موجب کاهش سطح برگ می‌شود توسط محققین گزارش شده است (Basal and Szabó, 2020). تحقیقات نشان داده است که سیلیکون

است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ( $t < t_0$ ) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Fiho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه و زمان رسیدگی وزنی 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 موثر پر شدن دانه از رابطه (۶) استفاده شد (Ellis and Pieta-Fiho, 1992).

$$EFP = MGW / b \quad (۶)$$

در این رابطه  $EFP^1$  دوره موثر پر شدن دانه،  $MGW^2$  حداکثر وزن دانه و  $b$  شیب خط یا سرعت پر شدن دانه است. به منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه‌های پلاستیکی به قطر ۳۵ سانتی‌متر در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شد. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده در نظر گرفته شد. بعد از برداشت بوته‌ها، خارج‌سازی ریشه‌ها از کیسه‌ها (از سطحی معادل  $۰/۱$  مترمربع) برای اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، انجام شد. ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت  $۰/۰۰۱$  گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد طوری که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به‌عنوان حجم ریشه منظور شد. اندازه‌گیری عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل  $۰/۲$  متر مربع برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و Excel نسخه 2003 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تاثیر عوامل مورد بررسی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص سطح برگ، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد دانه در جدول‌های ۳ تا ۸ آورده شده است.

**محتوای کلروفیل و کاروتنوئید:** بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر سه‌گانه فاکتورهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل  $a$ ،  $b$ ، کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی از محتوای

- 1- Effective grain filling period
- 2- Max grain weight

می‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. در واقع سیلیکون تحت شرایط تنش با حفاظت از استوانه آوندی به‌عنوان یک حامل مکانیکی که باعث سخت شدن دیواره سلولی استوانه آوندی و بافت آندودرمی می‌شود، رشد طولی ریشه را افزایش می‌دهد (Datnoff *et al.*, 2001). از این رو تغذیه بهینه سیلیکون موجب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها و در نهایت، موجب افزایش سطح کل جذب‌کننده عناصر می‌شود (Sun *et al.*, 2005). همچنین آبیاری کامل سبب افزایش ۳۶ و ۶۵ درصدی وزن و حجم ریشه نسبت به تنش خشکی شدید شد. به‌نظر می‌رسد در شرایط خشکی چون خاک به دلیل عدم آبیاری سفت و سخت می‌شود بنابراین امکان رشد و نفوذ ریشه‌ها و در نتیجه جذب عناصر غذایی محلول در خاک کاهش پیدا می‌کند. از طرفی در شرایط تنش آبی، روزنه‌های هوایی بسته‌تر شده، میزان فتوسنتز کاهش یافته و در نهایت رشد ریشه کاهش یافته و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی کاربرد مایکوریزا می‌تواند موجب افزایش وزن و حجم ریشه نسبت به عدم کاربرد آن شود. برخی معتقدند گیاهان برخوردار از مایکوریزا با اثر بر سیستم ریشه از طریق ایجاد هیف و گسترش این سیستم در طول ریشه و اثر بر جذب عناصر و رشد، با کمک به جذب رطوبت و عناصر غذایی، منجر به تحمل شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (Turk *et al.*, 2006).

به دلایل مختلفی از جمله تاخیر در پیری برگ، افزایش استحکام و ضخامت برگ و برافراشته ماندن برگ‌ها موجب افزایش سطح برگ گیاهان می‌شود (Savvas *et al.*, 2015). همچنین قارچ‌های مایکوریزا به دلیل بهبود دسترسی به آب و جذب بهتر عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر و نیز افزایش فعالیت احیاکننده نترات یعنی نترات ردوکتاز و سنتز پروتئینی می‌توانند موجب افزایش سطح برگ گیاه شوند (Giri *et al.*, 2004). بخشی از بهبود شاخص سطح برگ در کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به تاثیر این رنگدانه‌ها در افزایش محتوای کلروفیل نسبت داد (جدول ۴)، چرا که برخی محققان افزایش سطح برگ تحت تنش آبی در گیاهان کلونیزه شده با مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد را، به کاهش پیری برگ به‌واسطه افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن نسبت دادند (Boomsma and Vyn, 2008).

**وزن خشک و حجم ریشه:** وزن خشک و حجم ریشه تحت تاثیر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و کودهای زیستی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن و حجم ریشه از کاربرد مایکوریزا در شرایط آبیاری کامل و با مصرف ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و کمترین آن در شرایط تنش خشکی شدید و عدم کاربرد کود زیستی و نانوسیلیکون به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن ریشه (۲۲/۷۰، ۲۳/۲۴ و ۲۲/۸۶ گرم در مترمربع) و حجم آن (۵۵/۹۲، ۵۷/۷۷ و ۶۳/۳۳ سانتی‌مترمکعب) به‌ترتیب از کاربرد مایکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت تاثیر فاکتورهای آزمایشی

Table 3- Analysis of variance morphological and physiological traits under experimental factors

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	Mean squares میانگین مربعات						وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume
		شاخص سطح برگ Leaf area index	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid			
تکرار Replication	2	0.046	0.035	0.033	0.100	0.413	6.039	86.11	
آبیاری Irrigation (I)	2	1.623**	0.99*	0.17 <sup>ns</sup>	0.200*	2.805**	390.29**	5658.33**	
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.899**	2.338**	0.445**	4.778**	53.321**	208.91**	1030.55**	
نانوسیلیکون Nano-Si (N-Si)	2	0.237**	0.540**	0.050*	0.911**	27.376**	460.77**	2275.00**	
I×B	6	0.030 <sup>ns</sup>	0.522**	0.110**	1.023**	14.947**	19.035 <sup>ns</sup>	225.00*	
I×N-Si	4	0.018 <sup>ns</sup>	0.264**	0.013 <sup>ns</sup>	0.323**	10.097**	142.97*	137.50 <sup>ns</sup>	
B×N-Si	6	0.034 <sup>ns</sup>	0.382**	0.064**	0.746**	5.739**	21.86 <sup>ns</sup>	115.74 <sup>ns</sup>	
I×B×N-Si	12	0.023 <sup>ns</sup>	0.356**	0.049**	0.637**	8.252**	17.86 <sup>ns</sup>	33.79 <sup>ns</sup>	
Error اشتباه آزمایشی	70	0.027	0.015	0.011	0.033	0.549	27.90	62.30	
ضریب تغییرات C.V (%)	-	11.4	10.8	26.3	11.8	16.0	27.6	15.7	

ns, \* and \*\* indicating non-significant and significant at 5 and 1 % level, respectively

ns, \* و \*\* به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ %

جدول ۴- مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی متأثر از کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری

Table 4- Means comparison Photosynthetic pigments as affected of bio-fertilizer, nano silicon under irrigation withholding condition

سطوح آبیاری Irrigation levels	ترکیب تیماری Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )
I <sub>1</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	1.30	0.52	1.34	3.51
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	1.19	0.52	1.70	5.59
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	1.43	0.59	1.99	5.82
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	1.31	0.42	1.67	4.20
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1.25	0.38	1.64	4.37
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1.93	0.74	2.67	8.10
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	1.94	0.73	2.78	9.50
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	1.67	0.67	2.20	4.31
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	1.14	0.30	1.23	3.67
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	1.42	0.42	1.94	8.17
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	2.04	0.93	2.87	9.89
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	1.60	0.55	2.16	6.83
I <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0.85	0.36	1.22	2.49
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0.99	0.43	1.58	4.23
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	1.20	0.50	1.77	4.21
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	1.10	0.34	1.56	4.18
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1.08	0.36	1.17	2.16
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1.12	0.35	1.48	4.24
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	1.22	0.50	1.73	4.66
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	1.07	0.36	1.23	4.61
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0.75	0.23	0.98	3.07
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	1.23	0.47	1.61	4.13
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	1.88	0.29	2.55	8.01
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	1.14	0.37	1.68	5.14
I <sub>3</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0.55	0.19	0.80	0.81
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0.95	0.23	1.00	2.65
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0.82	0.24	1.47	3.29
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	0.96	0.28	0.93	2.41
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0.63	0.32	0.95	2.88
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0.85	0.25	1.02	4.16
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	0.71	0.29	1.38	4.41
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	0.85	0.23	1.10	3.85
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0.69	0.25	0.98	2.25
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	0.86	0.30	0.85	3.31
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0.92	0.35	1.14	6.58
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	0.75	0.33	1.40	4.56
LSD		0.38	0.17	0.48	1.58

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>: به ترتیب عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> و B<sub>3</sub>: به ترتیب عدم تلقیح، تلقیح با قارچ، تلقیح با باکتری و تلقیح توأم قارچ و باکتری

S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub>: به ترتیب شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: No stress, Mild stress Severe stress; B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub>: Non-inoculated, Inoculated with *Mycorrhiza*, Inoculation with bacteria and Co-inoculation of *Mycorrhiza* and bacteria; S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>: 0, 30 and 60 mg L<sup>-1</sup>

خط افقی درآمد (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان داد که سرعت پر شدن دانه در محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری کامل، از افزایش ۶۷ درصدی نسبت به عدم تلقیح بذر با کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با سیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود.

#### مولفه‌های پر شدن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر

سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانو سیلیکون و اثر ترکیب تیماری این عوامل بر طول دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه و دوره موثر پر شدن دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به‌صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید. پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات شاخص سطح برگ، وزن و حجم ریشه تحت تأثیر فاکتورهای آزمایشی  
Table 5- Means comparison LAI, root weight and volume traits under experimental factors

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr m <sup>-2</sup> )	حجم ریشه Root volume (cm <sup>3</sup> )
Irrigation levels سطوح آبیاری			
Normal irrigation آبیاری نرمال	2.81 <sup>a</sup>	22.86 <sup>a</sup>	63.33 <sup>a</sup>
Moderate water limitation محدودیت ملایم آبی	2.31 <sup>b</sup>	17.82 <sup>b</sup>	49.16 <sup>b</sup>
Severe water limitation محدودیت شدید آبی	2.12 <sup>c</sup>	16.67 <sup>b</sup>	38.33 <sup>c</sup>
Nano silicon (mg.l <sup>-1</sup> ) نانوسیلیکون			
Control شاهد	2.29 <sup>b</sup>	16.81 <sup>b</sup>	41.94 <sup>c</sup>
30 (mg.l <sup>-1</sup> )	2.56 <sup>a</sup>	17.31 <sup>b</sup>	51.11 <sup>b</sup>
60 (mg.l <sup>-1</sup> )	2.43 <sup>a</sup>	23.24 <sup>a</sup>	57.77 <sup>a</sup>
Bio fertilizers کودهای زیستی			
Non-inoculated شاهد	2.1 <sup>d</sup>	16.39 <sup>c</sup>	41.48 <sup>c</sup>
Mycorrhiza تلقیح با قارچ	2.3 <sup>c</sup>	22.70 <sup>a</sup>	55.92 <sup>a</sup>
کاربرد توام فلاویباکتریوم و سودوموناس Both application of <i>Flavobacterium</i> and <i>pseudomonas</i>	2.52 <sup>b</sup>	17.56 <sup>bc</sup>	51.48 <sup>b</sup>
کاربرد توام فلاویباکتریوم و سودوموناس با میکوریزا Both application <i>pseudomonas</i> and <i>Flavobacterium</i> with <i>mycorrhiza</i>	2.81 <sup>a</sup>	18.81 <sup>b</sup>	52.22 <sup>ab</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و عامل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.  
Means in each column and factors followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه تحت تأثیر فاکتورهای آزمایشی  
Table 6- Analysis of variance grain filling components and yield under experimental factors

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares			
		طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	1889.29	2.56	1.07	919674.88
آبیاری Irrigation (I)	2	18.92 <sup>**</sup>	4.62 <sup>**</sup>	175.70 <sup>**</sup>	10748405.21 <sup>**</sup>
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	6.36 <sup>**</sup>	3.74 <sup>**</sup>	74.03 <sup>**</sup>	7176908.25 <sup>**</sup>
نانوسیلیکون Nano-Si (N-Si)	2	6.30 <sup>**</sup>	3.70 <sup>**</sup>	65.48 <sup>**</sup>	5809863.99 <sup>**</sup>
I×B	6	2.33 <sup>**</sup>	2.007 <sup>**</sup>	7.83 <sup>**</sup>	480148.99 <sup>**</sup>
I×N-Si	4	11.18 <sup>**</sup>	6.95 <sup>**</sup>	5.30 <sup>ns</sup>	76486.35 <sup>ns</sup>
B×N-Si	6	2.72 <sup>**</sup>	3.85 <sup>**</sup>	17.78 <sup>**</sup>	424995.53 <sup>**</sup>
I× B× N-Si	12	1.98 <sup>**</sup>	3.29 <sup>**</sup>	5.73 <sup>*</sup>	130796.09 <sup>**</sup>
اشتباه آزمایشی Error	70	4.49	7.48	2.84	58836.63
C.V (%) ضریب تغییرات	-	5.0	2.5	7.1	8.7

ns, \* and \*\* indicating non-significant and significant at 5 and 1 % level, respectively %۱ و ۵ در سطح

مواد جذبی اعمال می‌شود که ناشی از اثر مستقیم تنش بر کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز گیاهی است (Savin and Nicolas, 1999). از طرفی مشخص شد که تنش شدید سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه شد به‌نحوی که، دوره پر شدن دانه از افزایش ۱۷

بخشی از کاهش مولفه‌های پر شدن دانه در شرایط تنش را می‌توان به کاهش شاخص سطح برگ تحت چنین شرایطی نسبت داد (جدول ۵). در این راستا گزارش شده است که در بیشتر موارد اثر احتمالی تنش آبی بر سرعت پر شدن دانه از طریق محدودیت فراهمی

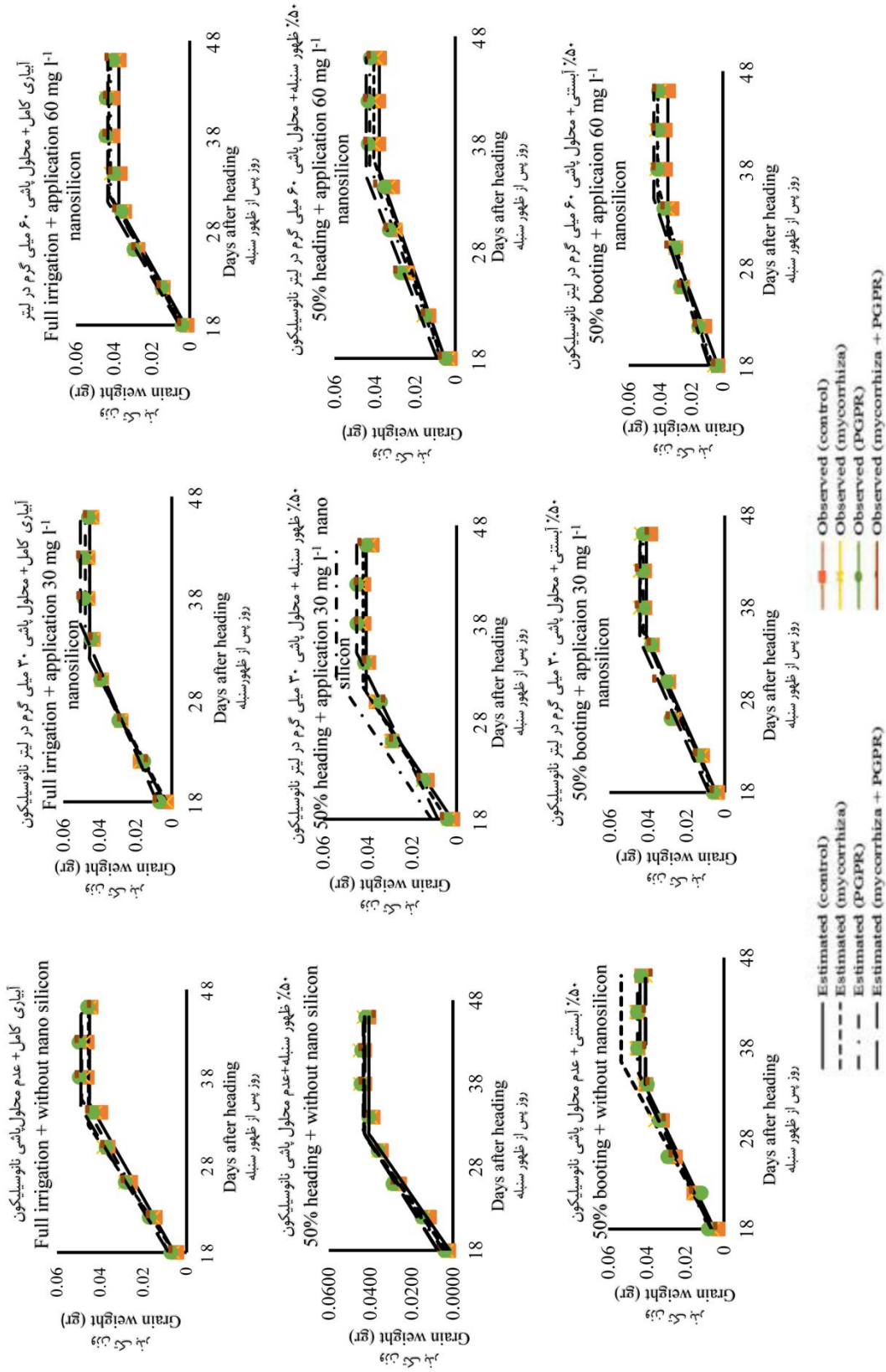
کلروفیل (جدول ۴)، موجب افزایش میزان آسمیلایسیون شده و این امر با افزایش نقل و انتقال مواد به دانه ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته‌اند (Zamber *et al.*, 1984).

**عملکرد دانه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کودهای زیستی در نانو سیلیکون بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه (۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد توأم قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد و مصرف ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و کمترین عملکرد دانه (۱۲۵۷ کیلوگرم در هکتار) از عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) به‌دست آمد (شکل ۲). به‌نحوی که عدم کاربرد نانوسیلیکون و کودهای زیستی در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله آبستنی)، سبب کاهش ۵۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تلقیح توأم بذر با قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد در این شرایط گردید. البته رقم مپهن از پتانسیل تولید بالایی در شرایط مطلوب برخوردار است ولی بخشی از کاهش عملکرد این گیاه می‌تواند با بالا بودن ساعات آفتابی و میانگین بالای دما و کمی نزولات در ماه‌های تیر و خرداد (جدول ۱) که مصادف با دوره پر شدن دانه است در ارتباط باشد.

بخشی از کاهش عملکرد دانه با کاهش طول دوره پر شدن دانه در ارتباط است و به نظر می‌رسد زمانی که گیاه در مرحله پر شدن دانه با شرایط تنشی مواجه است، به دلیل فرار از شرایط تنشی طول دوره زایشی خود را کاهش داده و همین امر منجر به کاهش وزن دانه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود. در این زمینه گزارش شده است که هرچه محدودیت آبی افزایش یابد، به دلیل فرصت کم‌تر گیاه برای انتقال مواد فتوسنتزی به سمت بخش اقتصادی، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Karmolachab *et al.*, 2014). همچنین بروز تنش خشکی طی مرحله گلدهی، از بزرگ شدن سلول پیش از تقسیم سلولی جلوگیری نموده و تعداد دانه‌های لقاح‌یافته و در نهایت تعداد لقاح‌های موفق را کاهش می‌دهد که نتیجه این عوامل از طریق بازداری مراحل مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال، جذب یونی، متابولیسم عناصر غذایی و هورمون‌ها، عملکرد را محدود می‌سازد (Blum, 2005). بخشی از اثر سودمند کاربرد نانوسیلیکون و تلقیح توأم باکتری و قارچ در شرایط تنش خشکی را می‌توان به افزایش مولفه‌های پر شدن دانه (جدول ۷)، افزایش شاخص سطح برگ و وزن و حجم ریشه (جدول ۵) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (جدول ۴) نسبت داد. طوری که نتایج مقایسه میانگین اثر هر یک از عوامل آزمایشی نشان داد با کاربرد سیلیکون و کودهای زیستی محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت (جدول ۴).

درصدی در شرایط آبیاری کامل نسبت به قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن برخوردار بود. بیشترین دوره پر شدن دانه (۳۷ روز) از ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشد و مایکوریزا در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۳۰/۷۸ روز) از عدم تلقیح بذر با کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش شدید به‌دست آمد. به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی گیاه سعی می‌کند با کوتاه کردن طول دوره پر شدن دانه، هرچه سریع‌تر مراحل رشد خود را به پایان رسانده و از برخورد با شرایط تنش فرار کند. طوری که مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که حداکثر دوره موثر پر شدن دانه (۳۰/۴۴ روز) از ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد، که از افزایش ۲۳ درصدی نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تلقیح بذر با کودهای زیستی در شرایط تنش شدید برخوردار بود. نتایج مشابهی نیز توسط پژوهشگران مبنی بر این‌که تنش خشکی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه گندم می‌شود گزارش شده است (Lemon *et al.*, 2007). بخشی از کاهش طول دوره پر شدن دانه علاوه بر محدودیت آبی می‌تواند با افزایش دمای محیط در ارتباط باشد (جدول ۱). طوری که بررسی پارامترهای جوی ثبت شده در طول دوره پر شدن دانه نیز نشان می‌دهد علاوه بر اثر محدودیت آبی، دمای هوا نیز در این دوره از رشد گیاه بالا بوده است که اثرات ناشی از محدودیت آبی را تشدید می‌کند. در این راستا بیان شده است که در طی مرحله پر شدن دانه، خشکی اگر با دمای بالا همراه باشد می‌تواند موجب تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه شود (Pashnezhad *et al.*, 2006). در واقع در شرایط آبیاری کامل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه افزایش داشته و با محدودیت شدید آبی صفات ذکر شده روند نزولی را داشتند. در این زمینه پژوهشگران اظهار داشتند که تنش‌های محیطی سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه گیاه می‌شود ولی با تأمین آب کافی، طول دوره موثر پر شدن دانه نیز بیشتر می‌شود (Ouk *et al.*, 2003). بخشی از افزایش وزن دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد نانوسیلیکون و کودهای زیستی می‌تواند ناشی از تاثیر این فاکتورها بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه (جدول ۷) و بخش دیگر ناشی از اثر عوامل مورد بررسی بر وزن و حجم ریشه (جدول ۵) باشد. به‌نحوی که محققین بیان داشتند که کودهای زیستی سبب افزایش سطح ریشه گیاه می‌شوند و افزایش سطح ریشه گیاه به‌دلیل دسترسی بیشتر به آب و مواد غذایی منجر به افزایش رشد گیاه نیز می‌گردد. همچنین آنان اظهار داشتند که افزایش میزان جذب آب و املاح، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده در نهایت می‌تواند سرعت پر شدن دانه و عملکرد دانه را افزایش دهد (Banerjee *et al.*, 2006). در واقع به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی با افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۵) و محتوای





شکل ۱ - تاثیر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر روند پر شدن دانه گندم  
 Figure 1- Effect of irrigation levels, bio-fertilizer and nano silicon on grain filling period of wheat

جدول ۷- مقایسه میانگین مولفه‌های پر شدن دانه گندم متأثر از کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری  
 Table 7- Means comparison grain filling components of wheat as affected of bio-fertilizer, nano silicon under irrigation withholding condition

سطوح آبیاری Irrigation levels	ترکیب تیماری Treatments	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (mg.day <sup>-1</sup> )	طول دوره پر شدن دانه Grain filling Period (day)	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)
I <sub>1</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	2.31	34.56	26.59
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	2.46	35.25	25.47
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	2.31	35.40	28.67
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	2.75	36.01	28.85
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	2.42	35.12	28.74
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	2.79	35.62	29.66
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	2.96	36.21	29.81
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	3.04	37.00	30.44
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	2.73	34.79	25.46
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	2.77	35.48	29.08
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	2.80	35.62	28.36
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	2.91	36.48	29.23
	I <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	2.53	31.38
B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>		2.77	32.26	25.58
B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>		2.79	32.70	26.25
B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>		2.83	34.92	26.80
B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>		2.15	32.77	27.64
B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>		2.59	34.93	28.05
B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>		2.78	35.15	27.64
B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>		2.97	34.44	28.63
B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>		1.86	31.83	25.03
B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>		2.13	32.49	27.90
B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>		1.96	35.00	28.02
B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>		2.07	35.33	26.41
I <sub>3</sub>		B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	1.82	30.78
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	2.28	31.19	24.57
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	2.27	31.63	24.38
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	2.56	31.86	24.96
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	2.01	31.88	24.12
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	2.14	31.82	25.51
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	2.15	32.64	25.14
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	2.18	34.47	26.80
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	1.83	30.94	24.19
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	2.05	31.40	24.97
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	2.07	33.14	24.70
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	2.36	32.08	26.40
	LSD		1.00	0.62

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>: به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا خوشه‌دهی و آبیاری تا آبیاری تا آبیستی؛ B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> و B<sub>3</sub>: به ترتیب عدم تلقیح، تلقیح با قارچ، تلقیح با باکتری و تلقیح توأم قارچ و باکتری

S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub>: به ترتیب شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: No stress, Mild stress Severe stress

B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub>: Non-inoculated, Inoculated with *Mycorrhiza*, Inoculation with bacteria and Co-inoculation of *Mycorrhiza* and bacteria

S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>: 0, 30 and 60 mg L<sup>-1</sup> silicon

دادند (Subra Manian *et al.*, 2006).

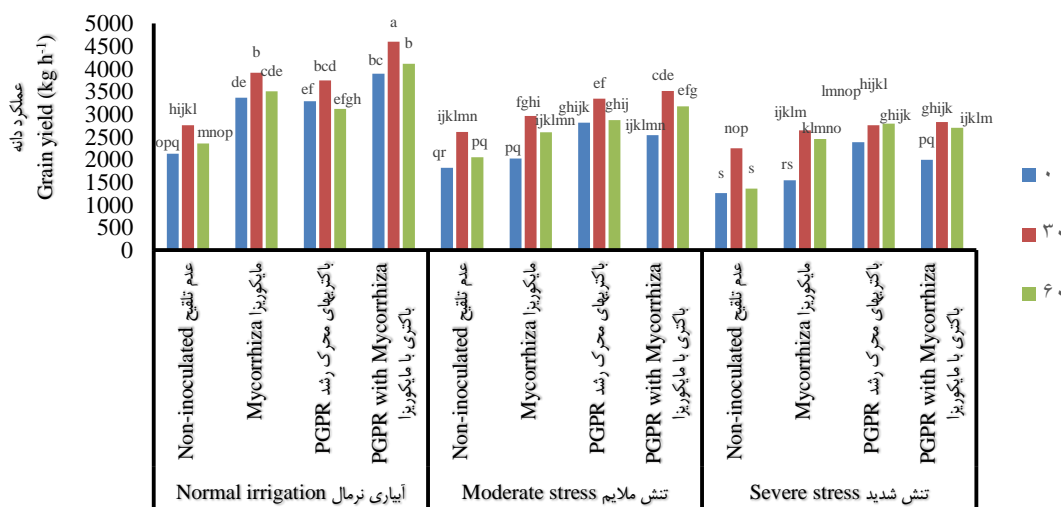
### نتیجه‌گیری

کاربرد توأم و تک تک کودهای زیستی (قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد) و همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون ضمن افزایش مولفه‌های پر شدن دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، وزن و حجم ریشه موجب تعدیل اثر تنش آبی شد. به طوری که، مصرف توأم قارچ

طبق پژوهشی در این زمینه گزارش شده است که سیلیکون از طریق کاهش تخریب رنگدانه‌ها و بهبود ساختار کلروفیل موجب می‌شود که فتوسنتز جاری تداوم بیشتری داشته و همین امر می‌تواند به افزایش طول دوره پر شدن دانه و بهبود عملکرد دانه‌ی کلزا در شرایط محدودیت آبی منجر شود (Bybordi, 2016). همچنین پژوهشگران، افزایش تحمل به خشکی در گیاهان با کاربرد نانوسیلیکون را به حفظ توازن آب و بهبود کارایی فتوسنتزی، نسبت

نانوسیلیکون و کودهای زیستی در این شرایط سبب گردید تا خسارات ناشی از تنش خشکی بر عملکرد دانه جبران شود.

مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط تنش شدید در مقایسه با عدم کاربرد



شکل ۲- اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر عملکرد دانه  
Figure 2- Effect of irrigation levels, bio-fertilizer and nano silicon on grain yield

ناشی از محدودیت شدید آبی در طول فصل رشد گندم در جهت کمک به بهبود عملکرد دانه، محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون و کاربرد توأم مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد روشی مناسب باشد. از طرفی پیشنهاد می‌شود که در آزمایش‌های بعدی علاوه بر بررسی عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه به بررسی عوامل فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نیز پرداخته شود تا نقش این عوامل بر افزایش عملکرد دانه بیشتر مشخص گردد.

بنابراین پیشنهاد می‌شود که از عنصر سیلیکون به‌عنوان یک عنصر ضروری جهت استفاده از آن در تنش‌های محیطی از جمله خشکی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تلقیح بذر با کودهای زیستی به دلیل این که هم در شرایط تنش خشکی و هم آبیاری کامل باعث بهبودی رشد و ارتقای عملکرد گندم گردید، بنابراین کاربرد این نوع از کودها در شرایط تنش برای بهبودی گیاه در جهت کشاورزی پایدار پیشنهاد می‌شود. از این رو، به‌نظر می‌رسد برای تعدیل بخشی از اثر

## References

- AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., and Qinhuia, S. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plant under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27 (12): 2101-2115.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Banerjee, M., Yesmin, R. L., and Vessey, J. L. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: *Handbook of microbial biofertilizers*. Food Production Press, U.S.A. 137-181.
- Basal, O., and Szabo, A. 2020. Ameliorating drought stress effects on soybean physiology and yield by hydrogen peroxide. *Agriculture Conspectus Scientificus* 85 (3): 211-218.
- Biglouie, M. H., Assimi, M. H., and Akbarzadeh, A. 2010. Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of virginia (flue cured) tobacco type. *Plant Soil Environment* 2: 67-75.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research* 56 (11): 1159-1168.
- Boomsma, C.R., and Vyn, T.J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108 (1): 14-31.
- Bybordi, A. 2016. Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47 (7): 832-850.
- Chen, J. H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 11 pp.

10. Dakora, F. D., and Nelwamondo, A. 2003. Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea. *Functional Plant Biology* 30 (9): 947-953.
11. Datnoff, L. E., Synder, G. H., and Korndorfer, G. H. 2001. *Silicon in agriculture*. Elsevier. Amsterdam. 285 p.
12. Ellis, R. H., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research* 2: 19-25.
13. Emadi, N., Jahangin, Sh., and Balochi, H. R. 2013. Effect of drought Stress and plant density on yield and some physiological characters of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Yasouj region. *Journal of Crop Production* 5 (2): 1-17.
14. Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M., and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: *Mycorrhiza*. 13, 53-54. Lovato, P. Book review.
15. Giri, B., and Mukerji, K. G. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Susana aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions, evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza* 14: 307-312.
16. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G., Wang, S., and Zhang, C. L. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition* 26 (5): 1055-1063
17. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2016. *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University press. 342p.
18. Karmolachab, A., Bakhshandeh, A. M., Gharineh, M. H., Moradi-Talavat, M. R., and Fathi, Gh. 2014. Effect of silicon application on morphophysiological, yield, and seed mineral elements content of wheat under water stress. *Agricultural and Gardening Production and Processing Journal* 14: 133-144.
19. Khalafallah, A. A., and Abo-Ghalia, H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research* 4: 559-569.
20. Kheirizadeh Arough, Y., and Seyed Sharifi, R. 2016. Biofertilizers and zinc effects on some physiological parametrs of triticale under water limitation. *Journal of Plant Interactions* 11 (1): 167-177.
21. Lemon, J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the sperance port zone. Department of agriculture and food publisher. Western Australia, Perth. Bulletin 4707.
22. Liu, F., Andersen, M. N., and Jensen, C. R. 2004. Root signal controls pod growth in droughtstressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crop Research* 85:159-166.
23. Marulanda Aguirre, A., Azcon, R., Manuel Ruiz Lozano, J., and Aroca, R. 2008 Differential effects of a bacillus megaterium strain on lactuca sativa plant growth depending on the origin of the arbuscular mycorrhizal fungus coinoculated: physiologic and biochemical traits. *Journal of Plant Growth Regulation* 27 (1): 10-18.
24. Merwad, A. R. M. A., Desoky, E. S. M., and Rady, M. M. 2018. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae* 228: 132-144.
25. Mohammadparst, B., Hatami, A., Rostami, M., and Azizi, A. 2019. Effect of seed priming with salicylic acid and plant growth promoting bacteria on some morpho-physiological traits of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Ecophysiology* 36: 190-203.
26. Mozafari, A., Habibi, D., Asgharzade, A., and Mashhadi Akbar Boujar, M. 2016. Investigation of drought tension tolerance in two wheat cultivars inoculated with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) under greenhouse conditions. *Journal of Crop Physiology* 31 (8): 21-29.
27. Ouk, M., Shu, F., Ken, F., Jaya, B., Mark, C., and Harry, N. 2003. Routine selection for drought resistance in rain fed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Cambodia. In: *Proceedings of the International Conference on Research on Water in Agriculture*, CARDI, Cambodia. 25-29.
28. Paknezhad, F., Majid Hervan, A., Nourmohammadi, A., Sayyadat, A., and Wazan, S. 2010. Evaluation of the effect of drought stress on effective traits on the accumulation of materials in grain of different wheat cultivars. *Agricultural Science* 13: 149-137.
29. Parsapour, O., Bakhshandeh, A. M., Gharineh, M. H., Feizi, H., and Moradi Telavat, M. R. 2019. The effect of foliar application of nano- and bulk silicon dioxide particles on grain yield and redistribution of dry matter in wheat under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12 (2): 377-388.
30. Prasad, T. N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., and Sajanalal, P. R. 2012. Effect of nanoscale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition* 35: 905-927.
31. Ronanini, D., Savin, R., and 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: 79-90.
32. Roychoudhury, A. 2020. Silicon-nanoparticles in crop improvement and agriculture. *International Journal on Recent Advancement in Biotechnology & Nanotechnology* 3: 54-65.
33. Salantur, A., Ozturk, A., and Akten, S. 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Journal of Soil Environment* 52 (3): 111-118.

34. Savin, R., and Nicolas, M. E., 1999. Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Australian Journal of Agricultural Research* 50 (3): 357-364.
35. Savvas, D., and Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66-81.
36. Seyed Sharifi, R. 2018. Effects of uniconazole and bio fertilizers on grain filling period and contribution of remobilization in grain yield of wheat under different moisture regimes in greenhouse condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11 (3): 515-531.
37. Sifola, M. I., and Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil growth under different levels of nitrogen in the field. *Scientific Horticulturae* 108 (4): 408-413.
38. Subra Manian, K. S., Santhane Krishnan, P., and Bala subramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia Horticulture* 107: 245-253.
39. Sun, C. W., Liang, Y. C., and Romheld, V. 2005. Effects of foliar- and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *cucumis sativus*. *Journal of Plant Pathol* 54: 678-685.
40. Turk, M. A., Assaf, T. A., Hameed, K. M., and Al-Tawaha, A. M. 2006. Effect of soil amendment with olive mill by products under soil solarization on growth and productivity of faba bean and their symbiosis with mycorrhizal. *World Journal Agricultural Science* 2 (1): 1817-3047.
41. Wen-Bin, W., Yun-Hee, K., Haeng-Soon, L., Ki-Yong, K., and Xi-Ping, D. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 570-577.
42. Zamber, M. A., Konde, B. K., and Sonar, K. R. 1984. Effect of *Azotobacter chroococum* and *Azospirillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat. *Journal of Plant Soil* 79: 61-67.

## Effects of Nano Silicon Concentrations and Bio-fertilizer on Yield and Grain Filling Components of Wheat in Different Irrigation Regimes

F. Ahmadi Nouraldin<sup>1\*</sup>, R. Seyed sharifi<sup>2</sup>, S. A. Siadat<sup>3</sup>, R. Khalilzadeh<sup>4</sup>

Received: 29-11-2020

Accepted: 09-02-2021

### Introduction

Water limitation can damage pigments and plastids, reduce chlorophyll a, chlorophyll b, rate and grain filling period. One approach to improve the water stress problem is the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and *Mycorrhiza*. The PGPR are a group of rhizosphere colonizing bacteria that produces substances to increase the growth of plants, synthesize different phytohormones, including auxin, cytokinin, and gibberellin, synthesize enzymes that can modulate plant growth and development. *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) symbiosis is considered a valuable component in most agricultural systems due to their role in plant nutrition and soil health. Silicon (Si) is considered as quasi-essential for plant growth and development, and alleviates toxic effects caused by various environmental stresses in plants. So, it seems that application of nano silicon and bio-fertilizer can improve wheat yield under water limitation conditions.

### Materials and Methods

In order to study the effect of nano silicon and bio-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation levels, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in during 2018-2019. The experimental factors were included irrigation in three levels (full irrigation as control, moderate water limitation or irrigation withholding at 50% of heading stage; severe water limitation or irrigation withholding at 50% of booting stage) based on codes 55 and 43 of the BBCH scale, foliar application of nano silicon (foliar application with water as control, 30, and 60 mg L<sup>-1</sup>) and bio-fertilizer (no application as control, mycorrhiza application, both application of flavobacterium and pseudomonas, both application of flavobacterium and pseudomonas with mycorrhiza). Mycorrhiza fungi (*mosseae*) was purchased from the Zist Fanavar Turan corporation and soils were treated based on method of Gianinazzi *et al.* (2001). *Pseudomonas* and *flavobacterium* were isolated from the rhizospheres of wheat by Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. A two part linear model was used to quantifying the grain filling parameters. In this study, total chlorophyll, chlorophyll a, b, carotenoid, grain filling components and yield of wheat were investigated. Grain dry weight and number were used to calculate the average grain weight for each sample. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases}$$

Effective grain filling duration (EGFD) was calculated from the below equation:

EGFD = the highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day<sup>-1</sup>).

### Results and Discussion

Means comparison showed that highest grain filling rate (3.04 mg day<sup>-1</sup>), grain filling period (37 day), effective grain filling period (30.44 day) and grain yield (4593 kg ha<sup>-1</sup>) were obtained at foliar application of 30 mg L<sup>-1</sup> nano silicon, both application of flavobacterium and pseudomonas with mycorrhiza under normal irrigation. Also, maximum of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid content (2.04, 0.93, 2.87 and 9.89 mg g<sup>-1</sup> FW<sup>-1</sup> respectively) were obtained at foliar application of 60 mg L<sup>-1</sup> nano silicon in seed inoculation with flavobacterium and pseudomonas under normal irrigation. Maximum of volume and root dry weight were obtained at foliar application 60 mg L<sup>-1</sup> nano silicon and mycorrhiza application fungi under normal irrigation. The highest leaf area index was obtained at both applications of flavobacterium and pseudomonas

1- PhD Student of Crop Plants Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

2- Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

3- Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

4- PhD Crop Plants Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, university of Urmia

(\*- Corresponding Author Email: Farnaz\_ahmadi@rocketmail.com)

with mycorrhiza, foliar application 30 mg L<sup>-1</sup> nano silicon under normal irrigation.

### **Conclusions**

Generally, it seems that application of bio-fertilizers and nano silicon can be recommended as appropriate management factors for increasing grain yield and grain filling components of wheat under water limitation conditions.

**Keywords:** Drought, Mosseae fungi, Nanoparticles, PGPR, Photosynthetic pigments