

## Effect of bio-fertilizers and foliar application of nano-silicon on the contribution of dry matter remobilization and current photosynthesis in grain yield of wheat under irrigation withholding conditions

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

1. Ph.D student of Crop plants physiology, university of Mohaghegh Ardabili, Iran

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

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

4. Ph.D Crop plants physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, university of Urmia, Iran

Received 21 November 2022; Accepted 13 April 2022

### Extended abstract

#### Introduction

Drought is assumed as one of the most severe abiotic stress factors limiting plant growth and crop production. Drought stress hurts plant growth and productivity which can affect biochemical and physiological responses such as changes in contribution of stem assimilates to grain, current photosynthesis, yield and yield components. Using rhizosphere microorganisms (such as beneficial bacteria and mycorrhiza) (Dimkpa et al. 2009) and application of silicon are an alternative strategy that can improve plant performance under stress environments and, consequently, enhance plant growth through different mechanisms. Therefore, it seems that application of nano silicon and bio-fertilizers can improve wheat yield under water limitation conditions.

#### Materials and methods

In order to study the effect of bio-fertilizers and foliar application of nano-silicon on the contribution of dry matter remobilization and current photosynthesis in grain yield of wheat under irrigation withholding conditions, a factorial experiment was carried out with three replications at the research farm faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2018-2019. The area is 38° 15' N latitude, 48° 15' E longitude, and 1350 m above mean sea level. Climatically, the area is situated in the semi-arid temperate zone with a cold winter and moderate summer. Factors were included irrigation in three levels (full irrigation as control; moderate water limitation or withholding irrigation at 50% of the heading stage; severe water limitation or withholding irrigation at 50% of the 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. For inoculation, seeds were coated with gum Arabic as an adhesive and

\* Corresponding author: Farnaz Ahmadi Nouraldinvand; E-Mail: [Farnaz\\_ahmadi@rocketmail.com](mailto:Farnaz_ahmadi@rocketmail.com)



rolled into the suspension of bacteria until uniformly coated. The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were  $1 \times 10^8$  colony forming units (CFU). In this study, morphological traits, leaf area index, total biomass, dry matter remobilization from shoot and stem, contribution of stem assimilates to grain, contribution current photosynthesis in grain, yield and grain yield components of wheat were investigated. Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS version 9.1 computer software packages. The main effects and interactions were tested using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

### **Results and discussion**

The results showed that both application of mycorrhiza with flavobacterium and pseudomonas under full irrigation conditions decreased the contribution of dry matter remobilization from shoot (27.33%) and stem (17.70%) in grain yield, but increased the current photosynthesis ( $305.10 \text{ g.m}^{-2}$ ) and Contribution Current photosynthesis in grain (72.66%). Also, maximum of grain yield ( $4593 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) and harvest index (38.4%) were obtained with the application of both bio-fertilizers and foliar application of  $30 \text{ mg.l}^{-1}$  nano-silicon under normal irrigation. Maximum leaf area index, total biomass, and yield components were obtained with the combined application of bio-fertilizers and  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  nano-silicon under full irrigation conditions.

### **Conclusion**

Based on the results of this study, it seems that the application of bio-fertilizers and nano-silicon can be a suitable management factor to increase grain yield of wheat under water limitation.

**Keywords:** Biological fertilizers, Economic yield, Nanotechnology, Redistribution, Water restriction



## اثر کودهای زیستی و محلول پاشی نانوسیلیکون بر فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و عملکرد دانه گندم در شرایط قطع آبیاری

فرناز احمدی نورالدین‌وند<sup>۱\*</sup>، رئوف سیدشریفی<sup>۲</sup>، سیدعطاءاله سیادت<sup>۳</sup>، راضیه خلیل زاده<sup>۴</sup>

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

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و عملکرد دانه گندم در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به‌صورت 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 سطح شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی به‌عنوان محدودیت ملایم و قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله چکمه‌ای شدن به‌عنوان محدودیت شدید آبی بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH)، محلول پاشی نانوسیلیکون (محلول پاشی با آب به‌عنوان شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد قارچ مایکوریزا ( <i>Glomus mosseae</i> ))، کاربرد توأم فلاووباکتریوم و سودوموناس، کاربرد توأم مایکوریزا با باکتری‌ها) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد توأم مایکوریزا با باکتری‌ها در شرایط آبیاری کامل سهم انتقال ماده خشک (۲۷/۳۳٪) و سهم ذخایر ساقه (۱۷/۷۷٪) در عملکرد دانه را کاهش، ولی میزان فتوسنتز جاری (۳۰۵/۱۰ گرم در مترمربع) و سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (۷۲/۶۶٪) را افزایش داد. همچنین بیشترین عملکرد دانه (۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۳۸/۴٪) از کاربرد توأم کودهای زیستی و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. حداکثر شاخص سطح برگ، زیست‌توده کل و اجزای عملکرد با کاربرد توأم کودهای زیستی و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. بر اساس نتایج این بررسی، به نظر می‌رسد محلول پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، کاربرد توأم قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور مدیریتی مناسب برای افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آبی باشد.
توزیع مجدد عملکرد اقتصادی کودهای بیولوژیکی محدودیت آبی نانو تکنولوژی	
تاریخ دریافت:	۱۴۰۱/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۱/۰۴/۰۴
تاریخ انتشار:	زمستان ۱۴۰۲
	۱۰۰۵-۱۰۲۸ (۴): ۱۶

### مقدمه

در گندم وزن دانه از سه منبع (۱) فتوسنتز جاری بعد از گرده‌افشانی؛ (۲) انتقال کربوهیدرات‌هایی که قبل گرده‌افشانی در بخش‌های رویشی گیاه ذخیره شده‌اند و بعد از گرده‌افشانی به دانه منتقل می‌گردند (حرکت مجدد)؛ (۳) انتقال کربوهیدرات‌هایی که بعد از گرده‌افشانی تشکیل شده‌اند (انتقال مجدد)، تأمین می‌شود. به مجموع انتقال و حرکت

کمبود آب در دسترس و نامناسب بودن کیفیت آب، امروزه یکی از مشکلات اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Yadav et al., 2020). محدودیت آبی، عملکرد دانه گندم را در هر مرحله رشدی به‌خصوص بین مرحله چکمه‌ای شدن، ظهور سنبله و رسیدگی کاهش می‌دهد (Tatar et al., 2016).

به‌واسطه شاخص سطح برگ بالاتر موجب می‌شوند بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد (Seyed Sharifi and Nazarly, 2013).

با توجه به اینکه محدودیت آبی در مراحل مختلف رشد زایشی موجب تسریع پیری و کاهش فتوسنتز جاری می‌شود. از طرفی به دلیل نقش سیلیکون و کودهای زیستی در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهمکنش این عوامل بر انتقال و توزیع مجدد ماده خشک از بخش‌های رویشی بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی موجب شد تا مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در شرایط خشکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار 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، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. نتایج شرایط اقلیمی منطقه آزمایشی در طول دوره رشدی گندم در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲ آورده شده است. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ سنبله‌دهی (رسیدن ۵۰٪ بوته‌های یک کرت به مرحله سنبله‌دهی) به‌عنوان محدودیت ملایم و قطع آبیاری در ۵۰٪ چکمه‌ای شدن (رسیدن ۵۰٪ بوته‌های یک کرت به مرحله چکمه‌ای شدن) به‌عنوان محدودیت شدید آبی به ترتیب بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH) در نظر گرفته شد.

فاصله زمانی این دو تنش از یکدیگر ۱۷ روز بود. محلول-پاشی نانوسیلیکون در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) (Parsapour et al., 2019) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد باکتری‌های محرک رشد و کاربرد توأم قارچ با باکتری) بودند.

مجدد اصطلاحاً «توزیع مجدد» گفته می‌شود (Luo et al., 2018). در شرایط محدودیت آبی کاهش فتوسنتز از طریق انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده جبران می‌شود. در واقع در شرایط خشکی مقدار آب استخراج‌شده از خاک، استفاده کارآمد از این آب برای تبدیل به ماده خشک، تقسیم و انتقال مجدد آن و در نهایت عملکرد دانه را تعیین می‌کند (Rao et al., 2022). تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه موجب عقیمی گرده، کاهش تعداد دانه، ایجاد پیری زودرس، کاهش فتوسنتز، کوتاهی دوره پر شدن دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Moradi et al., 2022). از این‌رو استفاده از برخی عناصر ریزمغذی در شرایط خشکی، یکی از مناسب‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند اثر منفی ناشی از خشکی را بر عملکرد گیاه کاهش دهد.

سیلیکون به‌عنوان یکی از عناصر شبه ضروری در رشد، افزایش ماده خشک و فتوسنتز گیاهان تحت تنش خشکی، بهبود عملکرد دانه گندم و همچنین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی (Parsapour et al., 2019) اهمیت زیادی داشته و در خانواده گندمیان در شرایط تنش‌های غیر زیستی کاربرد دارد (Banerjee et al., 2021). همچنین سیلیکون به دلیل تأخیر در پیری برگ، افزایش استحکام و ضخامت برگ در شرایط تنش خشکی موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Namjoyan et al., 2020). سودمندی این عنصر در بهبود تحمل به تنش خشکی تا حدودی به فعال شدن پمپ  $H^{+}$ -ATPase و جذب بیشتر یون پتاسیم مربوط می‌شود (Hattori et al., 2005).

علاوه بر نقش چشمگیری که عناصر ریزمغذی در بهبود مراحل رشدی گیاه در شرایط تنش‌های غیر زیستی دارند، کودهای زیستی نیز می‌توانند تأثیر بسزایی در این شرایط داشته باشند. در واقع، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاک برای کاهش آسیب گیاه در شرایط تنش خشکی، رویکردی مناسب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که از میان میکروارگانیسم‌های مفید، مهم‌ترین آن‌ها قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاه را می‌توان نام برد (Azizi et al., 2021). همچنین محققان اظهار داشته‌اند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و سهم مشارکت ذخایر ساقه در پر شدن دانه را کاهش می‌دهد. در واقع باکتری‌های محرک رشد با ایجاد شرایط مناسب و افزایش سهم فتوسنتز جاری

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)

Months	ماه‌ها	بارندگی Rainfall mm	میانگین دما Temperature mean °C	جمع ساعات آفتابی Total hours of sunshine	میانگین رطوبت نسبی Relative humidity mean %
October	مهر	43.6	11.80	201.3	72
November	آبان	9.7	11.70	166.5	64
December	آذر	6.5	3.00	177.3	70
January	دی	16.5	4.60	165.4	67
February	بهمن	54.8	0.06	128.7	77
March	اسفند	26.5	7.00	157.5	73
April	فروردین	9.3	9.00	170.9	66
May	اردیبهشت	60.3	12.30	196.3	71
June	خرداد	28.2	16.80	148.6	71
July	تیر	3.9	21.50	344.2	60
August	مرداد	0.9	25.30	255.6	69

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2. Farm soil physicochemical characteristics

عصاره اشباع Saturated extract %	pH	بافت خاک Soil texture	آهک CaCO <sub>3</sub>	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	فسفر P	نیتروژن N	پتاسیم K	روی Zn
			%				mg.kg <sup>-1</sup>				
49	7.80	Loamy	14.40	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	1.80

مواد ایرانیان تهیه شد. رقم مورد استفاده «میهن» بود. این رقم دارای تیپ رشد زمستانه، نیمه‌متحمل به بیماری‌های زنگ قهوه‌ای و سیاه و متحمل به زنگ زرد است و از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شد. هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فواصل بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (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 محیطی، نیاز گیاه زراعی و سطوح ذکر شده انجام شد. به منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد.

برای بررسی شاخص سطح برگ (LAI) و وزن خشک کل (TDM) از ۱۵۵ روز بعد از کاشت (یعنی از ۱۸ فروردین که یخبندان به اتمام رسیده، امکان نمونه‌برداری‌های منظم و مرتب بعدی به دلیل افزایش میانگین دمای هوا و طول ساعات آفتابی نسبت به ماه‌های قبل امکان‌پذیر است؛ جدول ۱)،

قارچ مورد استفاده *Glomus mosseae* بود که از شرکت زیست فناوری توران تهیه و به میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی و همکاران (Gianinazzi et al., 2001) به کار برده شد. مایه تلقیح باکتری‌های *Pseudomonas putida* strain 186 و *Flavobacterium* از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. برای تلقیح بذرها از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای ۱۰۸ عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. محلول پاشی نانوسیلیکون در دو مرحله ساقه‌دهی و مرحله قبل از چکمه‌ای شدن (به ترتیب معادل با کد ۳۰ و ۴۳ 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 نانو

تفکیک شدند. پس از خشک کردن (قرار دادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) به اندام‌های مختلف توزین و میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Barnett and Pearce, 1983).

$$DMT = DMA - DMM \quad [۳]$$

که در آن  $DMT^1$  میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در مترمربع،  $DMA^2$  حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و  $DMM^3$  میزان ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY}\right) \times 100 \quad [۴]$$

در این رابطه  $CDMAG^4$  سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه برحسب درصد،  $DMT$  میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در مترمربع و  $GY^5$  عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

$$SDMT = SDMA - SDMM \quad [۵]$$

در این رابطه  $SDMT^6$  میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع،  $SDMA^7$  حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول،  $SDMM^8$  وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY}\right) \times 100 \quad [۶]$$

در این رابطه  $CSAG^9$  سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه برحسب درصد،  $SDMT$  میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع و  $GY$  عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

$$CP = GY - DMT \quad [۷]$$

در این رابطه  $CP^{10}$  میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در مترمربع،  $GY$  عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع و  $DMT$  میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در مترمربع است.

$$CCPG = \left(\frac{CP}{GY}\right) \times 100 \quad [۸]$$

در این رابطه  $CCPG^{11}$  سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه برحسب درصد،  $CP$  میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در مترمربع و  $GY$  عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

نمونه‌برداری‌ها به فاصله هر ده روز یک‌بار به روش تخریبی صورت گرفت. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در ۷ نوبت و وزن خشک کل در ۸ نوبت انجام شد که آخرین نمونه‌برداری به ترتیب ۲۱۵ و ۲۲۵ روز بعد از کاشت صورت گرفت. بدین‌صورت که هر بار ده سانتی‌متر از خطوط اصلی کاشت و با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب و بعداً انتقال به آزمایشگاه به مدت ۷۲ ساعت (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای  $70 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد خشک‌شده و با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم توزین شدند. سپس شاخص سطح برگ و وزن خشک کل با استفاده از روابط ۱ و ۲ برآورد شدند (Seyed Sharifi and Gholinejad, 2021).

$$LAI = e^{(a+bt+ct^2)} \quad [۱]$$

$$TDM = e^{(a+bt+ct^2+dt^3)} \quad [۲]$$

در این روابط  $t$  زمان بین مراحل نمونه‌برداری و  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  ضرایب معادله هستند. به‌عنوان مثال در معادله برازش شده  $TDM = e^{(-44.3 + 0.49t - 0.013t^2 + 0.21t^3)}$  مقادیر  $a = -44.3$ ،  $b = 0.49$ ،  $c = 0.013$  و  $d = 0.21$  است. ضریب تبیین بالا و معنی‌دار و توزیع مناسب نقاط واقعی در اطراف منحنی و منطقی بودن روند تغییرات از نظر فیزیولوژیک دلیل اصلی انتخاب صحیح این معادلات برای کلیه تیمارهای موردبررسی بود. از آنجایی که وزن خشک اندام‌های هوایی بعد از شروع مرحله پر شدن دانه کاهش می‌یابد ولی شروع این کاهش بسته به نوع گیاه و عوامل زراعی متفاوت است (Seyed Sharifi and Gholinejad, 2021). فلذا، برای اطمینان بیشتر در نمونه‌برداری به‌منظور برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، اولین نمونه‌برداری از زمان پر شدن دانه (که دانه به‌عنوان یک مخزن جدید محسوب شده و موجب می‌شود که مواد فتوسنتزی مازاد به‌جای انباشت در اندام‌های رویشی، در دانه‌ها منتقل شود) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری انجام شد (Seyed Sharifi and Gholinejad, 2021). بدین ترتیب که در این مرحله هر چهار روز یک‌بار، ده سانتی‌متر از خطوط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب شد. بوته‌های برداشت‌شده به ساقه، برگ و سنبله

7-Stem Dry Matter at Anthesis

8-Stem Dry Matter at Maturity

9-Contribution of Stem Assimilates to Grain

10-Current photosynthesis

11-Contribution Current photosynthesis in grain

1-Dry Matter Translocation

2-Dry Matter at Anthesis

3-Dry Matter at Maturity

4-Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain

5-Grain Yield

6-Stem Dry Matter Translocation

کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون، بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۷۹) به دست آمد که از افزایش ۳۷ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در این سطح از آبیاری، برخوردار بود (جدول ۵). از طرفی، در شرایط محدودیت ملایم و شدید آبی در ۱۹۵ روز پس از کاشت، سطح برگ کاهش داشت. با توجه به نتایج، بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط محدودیت ملایم و شدید آبی (به ترتیب با مقادیر ۲/۷۰ و ۲) از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون به دست آمد که نسبت به عدم کاربرد کود زیستی و نانوسیلیکون به ترتیب از افزایش ۲۵٪ و ۱۷/۶۴ درصدی برخوردار بود. همچنین در ۲۱۵ روز پس از کاشت کمترین شاخص سطح برگ (۰/۹۸) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی به دست آمد (جدول ۵). به نظر می رسد یکی از دلایل افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد دانه و ماده خشک در چنین ترکیبات تیماری (کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل)، می تواند ناشی از افزایش این شاخص باشد. محققان دیگر نیز شاخص سطح برگ را بهترین معیار برای تعیین ظرفیت تولید ماده خشک عنوان کرده (Nazeri et al., 2012) و اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی شاخص سطح برگ گندم بیشتری نسبت به عدم کاربرد این کودها داشته است (Çakmakçı et al., 2007). به نظر

در زمان رسیدگی از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه ای از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع عملکرد دانه برآورد شد. برای ارزیابی تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه و ارتفاع بوته، ۱۰ بوته با رعایت اثر حاشیه ای از خطوط اصلی هر کرت برداشت شد. تجزیه داده ها با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). نتایج جدول برش دهی نشان داد که شاخص سطح برگ در هر سه سطح آبیاری اختلاف معنی داری داشت (جدول ۴). روند تغییرات شاخص سطح برگ نشان داد که حداقل این شاخص در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی و بیشترین آن در کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، به دست آمد و پس از آن روند نزولی پیدا کرد (شکل ۱) که این امر احتمالاً به دلیل زرد شدن، ریزش برگ ها و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات سه گانه، حداکثر شاخص سطح برگ در ۱۹۵ روز پس از کاشت به دست آمد. به نحوی که در شرایط آبیاری کامل با کاربرد توأم

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص سطح برگ گندم متأثر از فاکتورهای آزمایشی

Table 3. Analysis of variance (Mean squares) in the leaf area index of wheat as affected by experimental factors

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت) Sampling steps (day after planting)						
			155	165	175	185	195	205	215
Replication	تکرار	2	1.91	0.0006	0.02	0.003	0.005	4.87	2.77
Irrigation (I)	آبیاری	2	4.66**	4.54**	9.71**	13.08**	12.76**	18.31**	8.01**
Biofertilizer (B)	کود زیستی	3	2.01**	1.72**	2.31**	1.97**	1.92**	0.92**	0.68**
Nano-Si (Si)	نانوسیلیکون	2	0.34**	0.25**	0.17**	0.45**	0.95**	0.95**	0.060**
B×I	کودزیستی×آبیاری	6	0.07**	0.05*	0.10**	0.16**	0.13**	0.16**	0.21**
Si×I	سیلیکون×آبیاری	4	0.14**	0.031	0.05**	0.03**	0.05**	1.33**	0.11**
Si×B	سیلیکون×کودزیستی	6	0.016*	0.011	0.016**	0.007	0.04**	0.02	0.021*
Si×B×I	سیلیکون×کودزیستی×آبیاری	12	0.018**	0.032**	0.015**	0.028**	0.016**	0.100**	0.034**
Error	اشتباه آزمایشی	70	0.0066	0.020	0.0052	0.0058	0.006	0.018	0.0078
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	7.06	9.25	3.87	3.39	3.15	7.42	6.36

\* و \*\* به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۵ و ۱٪.

\* and \*\* indicate significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۴. برش‌دهی اثرات سه‌گانه آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر شاخص سطح برگ

Table 4. Slicing of triple effects of effects irrigation × bio-fertilizers × nano-silicon on leaf area index

Irrigation levels	سطوح آبیاری	Df درجه آزادی	Sampling steps (day after planting) (روز پس از کاشت)						
			155	165	175	185	195	205	215
Full irrigation	آبیاری کامل	11	0.34**	0.16**	0.36**	0.32**	0.42**	0.63**	0.31**
Moderate stress	تنش ملایم	11	0.24**	0.32**	0.27**	0.35**	0.31**	0.38**	0.07**
severe stress	تنش شدید	11	0.11**	0.11**	0.13**	0.08**	0.09**	0.10**	0.01*

\* and \*\* indicate significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. / ۱ و ۵٪

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر شاخص سطح برگ گندم

Table 5. Means comparison triple effects irrigation × bio-fertilizers × nano-silicon on leaf area index of wheat

Irrigation levels	ت ترکیب تیماری treatments	Sampling steps (day after planting) (روز پس از کاشت)						
		155	165	175	185	195	205	215
I <sub>1</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	1.03 <sup>hij</sup>	1.90 <sup>cdef</sup>	2.05 <sup>ef</sup>	2.47 <sup>e</sup>	2.76 <sup>fg</sup>	2.33 <sup>ef</sup>	1.59 <sup>f</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	1.36 <sup>de</sup>	1.92 <sup>cdef</sup>	2.27 <sup>d</sup>	2.77 <sup>cd</sup>	2.87 <sup>def</sup>	2.58 <sup>d</sup>	1.71 <sup>ef</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	1.77 <sup>b</sup>	1.92 <sup>cdef</sup>	2.52 <sup>c</sup>	2.97 <sup>b</sup>	3.05 <sup>c</sup>	2.66 <sup>cd</sup>	2.03 <sup>cd</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	1.94 <sup>a</sup>	2.09 <sup>abc</sup>	2.71 <sup>b</sup>	3.22 <sup>a</sup>	3.41 <sup>b</sup>	2.74 <sup>cd</sup>	2.16 <sup>bc</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1.13 <sup>gh</sup>	1.90 <sup>cdef</sup>	2.058 <sup>e</sup>	2.51 <sup>e</sup>	2.76 <sup>fg</sup>	2.53 <sup>de</sup>	1.73 <sup>ef</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1.30 <sup>e</sup>	1.92 <sup>cdef</sup>	2.27 <sup>d</sup>	2.88 <sup>bc</sup>	2.93 <sup>cde</sup>	2.63 <sup>cd</sup>	1.76 <sup>e</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	1.66 <sup>bc</sup>	1.97 <sup>bcd</sup>	2.54 <sup>c</sup>	2.99 <sup>b</sup>	3.38 <sup>b</sup>	2.80 <sup>c</sup>	2.13 <sup>bc</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	1.96 <sup>a</sup>	2.18 <sup>ab</sup>	2.89 <sup>a</sup>	3.24 <sup>a</sup>	3.48 <sup>b</sup>	3.13 <sup>b</sup>	2.26 <sup>b</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	1.23 <sup>efg</sup>	1.91 <sup>cdef</sup>	2.17 <sup>d</sup>	2.72 <sup>d</sup>	2.86 <sup>ef</sup>	2.10 <sup>g</sup>	1.31 <sup>ghi</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	1.43 <sup>d</sup>	1.95 <sup>bcde</sup>	2.45 <sup>c</sup>	2.96 <sup>b</sup>	2.99 <sup>cd</sup>	2.26 <sup>fg</sup>	1.94 <sup>d</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	1.76 <sup>b</sup>	1.98 <sup>bed</sup>	2.66 <sup>b</sup>	3.21 <sup>a</sup>	3.38 <sup>b</sup>	2.56 <sup>d</sup>	2.06 <sup>cd</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	1.98 <sup>a</sup>	2.27 <sup>a</sup>	2.94 <sup>a</sup>	3.27 <sup>a</sup>	3.79 <sup>a</sup>	3.40 <sup>a</sup>	2.46 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0.55 <sup>no</sup>	1.44 <sup>hijk</sup>	1.55 <sup>lmn</sup>	1.81 <sup>ijk</sup>	2.16 <sup>n</sup>	1.07 <sup>nopq</sup>	0.98 <sup>op</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0.86 <sup>kl</sup>	1.45 <sup>hijk</sup>	1.68 <sup>ijk</sup>	1.90 <sup>ij</sup>	2.32 <sup>lm</sup>	1.29 <sup>ijklmn</sup>	1.16 <sup>kjlm</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0.96 <sup>ijk</sup>	1.524 <sup>ghij</sup>	1.77 <sup>hi</sup>	2.24 <sup>g</sup>	2.51 <sup>ij</sup>	1.55 <sup>hi</sup>	1.08 <sup>lmno</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	1.08 <sup>hi</sup>	1.55 <sup>gh</sup>	1.93 <sup>fg</sup>	2.39 <sup>ef</sup>	2.60 <sup>hi</sup>	1.63 <sup>h</sup>	1.10 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0.96 <sup>ijk</sup>	1.47 <sup>hijk</sup>	1.59 <sup>klm</sup>	1.86 <sup>ij</sup>	2.22 <sup>mn</sup>	1.24 <sup>klmnop</sup>	1.00 <sup>op</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1.07 <sup>hi</sup>	1.527 <sup>ghi</sup>	1.72 <sup>ij</sup>	1.91 <sup>hi</sup>	2.36 <sup>kl</sup>	1.30 <sup>ijk</sup>	1.10 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	1.28 <sup>fe</sup>	1.70 <sup>fg</sup>	1.77 <sup>hi</sup>	2.24 <sup>g</sup>	2.52 <sup>ij</sup>	1.44 <sup>hijk</sup>	1.10 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	1.36 <sup>de</sup>	1.75 <sup>defg</sup>	1.96 <sup>efg</sup>	2.39 <sup>ef</sup>	2.62 <sup>hi</sup>	1.50 <sup>hij</sup>	1.23 <sup>ghijk</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0.75 <sup>lm</sup>	1.46 <sup>hijk</sup>	1.64 <sup>klm</sup>	1.88 <sup>ij</sup>	2.30 <sup>lm</sup>	1.18 <sup>fg</sup>	1.15 <sup>ijklm</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	0.93 <sup>jk</sup>	1.52 <sup>gh</sup>	1.74 <sup>hij</sup>	2.03 <sup>h</sup>	2.46 <sup>jk</sup>	2.26 <sup>fg</sup>	1.33 <sup>gh</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	1.26 <sup>efg</sup>	1.73 <sup>fg</sup>	1.84 <sup>gh</sup>	2.27 <sup>fg</sup>	2.55 <sup>ij</sup>	2.15 <sup>fg</sup>	1.36 <sup>g</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	1.60 <sup>c</sup>	1.81 <sup>defg</sup>	2.00 <sup>ef</sup>	2.39 <sup>ef</sup>	2.70 <sup>gh</sup>	2.11 <sup>fg</sup>	1.21 <sup>hijkl</sup>
I <sub>3</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0.44 <sup>o</sup>	0.86 <sup>r</sup>	1.04 <sup>t</sup>	1.31 <sup>o</sup>	1.70 <sup>s</sup>	1.01 <sup>q</sup>	0.80 <sup>q</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0.65 <sup>mn</sup>	1.11 <sup>mnpq</sup>	1.25 <sup>rs</sup>	1.60 <sup>mn</sup>	1.78 <sup>qrs</sup>	1.13 <sup>mnpq</sup>	1.11 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0.86 <sup>kl</sup>	1.13 <sup>mnpq</sup>	1.38 <sup>pq</sup>	1.71 <sup>klm</sup>	1.89 <sup>opq</sup>	1.27 <sup>klmno</sup>	1.10 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	0.95 <sup>ijk</sup>	1.27 <sup>klmn</sup>	1.48 <sup>mnpq</sup>	1.77 <sup>ijk</sup>	1.92 <sup>op</sup>	1.32 <sup>ijklm</sup>	1.11 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0.49 <sup>o</sup>	1.08 <sup>nopqr</sup>	1.22 <sup>st</sup>	1.53 <sup>n</sup>	1.72 <sup>rs</sup>	1.03 <sup>pq</sup>	0.91 <sup>pq</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0.86 <sup>kl</sup>	1.20 <sup>lmno</sup>	1.34 <sup>qr</sup>	1.65 <sup>lm</sup>	1.83 <sup>pqr</sup>	1.06 <sup>opq</sup>	1.01 <sup>nop</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	0.93 <sup>jk</sup>	1.191 <sup>mnpq</sup>	1.40 <sup>opq</sup>	1.2 <sup>klm</sup>	1.91 <sup>op</sup>	1.181 <sup>mnpq</sup>	1.16 <sup>ijklm</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	1.03 <sup>hij</sup>	1.31 <sup>ijklm</sup>	1.51 <sup>mno</sup>	1.81 <sup>ijk</sup>	1.95 <sup>op</sup>	1.40 <sup>ijkl</sup>	1.04 <sup>mno</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0.89 <sup>k</sup>	1.01 <sup>opqr</sup>	1.25 <sup>rs</sup>	1.59 <sup>mn</sup>	1.77 <sup>qrs</sup>	1.23 <sup>klmnop</sup>	1.09 <sup>klmno</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	0.83 <sup>kl</sup>	1.29 <sup>ijklm</sup>	1.35 <sup>qr</sup>	1.67 <sup>lm</sup>	1.88 <sup>opq</sup>	1.30 <sup>ijklm</sup>	1.11 <sup>ijklmno</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	1.05 <sup>hij</sup>	1.33 <sup>hijklm</sup>	1.45 <sup>nopq</sup>	1.72 <sup>klm</sup>	1.93 <sup>op</sup>	1.31 <sup>ijklm</sup>	1.16 <sup>ijklm</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	1.16 <sup>fgh</sup>	1.37 <sup>hijkl</sup>	1.54 <sup>lmn</sup>	1.85 <sup>ij</sup>	2.00 <sup>o</sup>	1.40 <sup>ijkl</sup>	1.24 <sup>ghij</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند. 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> و S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub>: به ترتیب شاهد، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test. 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 m<sup>-2</sup>



سرعت زیادی افزایش و در ۲۰۵ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن روند نزولی داشت (شکل ۲). مقایسه میانگین اثرات سه گانه نشان داد بیشترین ماده خشک تولیدی (۱۸۰۷/۳۳) گرم در مترمربع) در ۲۰۵ روز پس از کاشت از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. اثر محدودیت آبی بر روند ماده خشک کاملاً مشهود بود و با افزایش سطح تنش، از میزان ماده خشک کل در گیاه کاسته شد. به طوری که عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت ملایم و شدید آبی در ۲۰۵ روز پس از کاشت، به ترتیب موجب کاهش ۱۳ و ۱۵ درصدی ماده خشک کل نسبت به کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۶۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در این سطح آبیاری گردید. در ۲۲۵ روز پس از کاشت نیز کمترین ماده خشک (۹۸۵/۳۳) گرم در مترمربع) از عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی به دست آمد (جدول ۸).

می رسد با افزایش شدت تنش، میزان پتانسیل فشاری آب داخل برگ ها که از عوامل افزایش دهنده رشد سطح برگ معرفی شده است کاهش می یابد (Shao et al., 2008) و همین امر می تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سطح برگ در شرایط محدودیت آبی در مقایسه با آبیاری کامل باشد.

### زیست توده کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). نتایج جدول برش دهی نشان داد که زیست توده کل در هر سه سطح آبیاری اختلاف معنی داری داشت (جدول ۷).

بررسی روند تغییرات این شاخص نشان داد از ۱۵۵ تا ۱۶۵ روز پس از کاشت، تجمع ماده خشک با سرعت کمی در کلیه ترکیب های تیماری افزایش داشت و پس از آن با افزایش سطح برگ (شکل ۱) و فتوسنتز گیاه، تجمع ماده خشک با

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) زیست توده کل گندم متأثر از فاکتورهای آزمایشی

Table 6. Analysis of variance (Mean squares) in total biomass of wheat as affected by experimental factors

S.O.V	منابع تغییر	مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)								
		df	155	165	175	185	195	205	215	225
Replication	تکرار	2	20063	180162	631000.7	1127254	2131243	3360255	2897030	2509196
Irrigation(I)	آبیاری	2	890**	19065**	123666.4**	128961**	621576**	912679**	1022420**	1437482**
Biofertilizer(B)	کود زیستی	3	7475**	39799**	230348.0**	155801**	354680**	212252**	112929**	161222**
Nano-Si (Si)	نانوسیلیکون	2	4277**	150100**	426325.3**	433641**	380662**	318427**	261281*	160849**
I×B	آبیاری×کودزیستی	6	48.0**	1775**	12256.5**	2410**	53560**	3474*	1322	6258**
I× Si	آبیاری×نانوسیلیکون	4	179**	119	10867.4**	3464**	5056**	64603**	16485**	51013**
B× Si	کودزیستی×نانوسیلیکون	6	57.3**	2729**	13055.2**	14943**	1195	8839**	2514**	13611**
I× B× Si	آبیاری×کودزیستی×نانوسیلیکون	12	30.1**	1024**	7489.9**	3611**	3168**	8222**	6454**	6027**
Error	اشتباه آزمایشی	70	13.13	189.5	790.9	668.1	1316	1344	1170	1552
C.V (%)		-	3.07	3.90	4.28	2.92	2.98	2.40	2.41	2.98

\* و \*\* به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۵ و ۱٪

\* and \*\* indicate significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۷. برش‌دهی اثرات سه‌گانه آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر شاخص سطح برگ

Irrigation levels	سطوح آبیاری	Df درجه آزادی	Sampling steps (day after planting)							
			155	165	175	185	195	205	215	225
Full irrigation	آبیاری کامل	11	980.23**	14100**	87007**	46255**	29979**	23384**	21060**	28720**
Moderate stress	تنش ملایم	11	1067.60**	16458**	45397**	43465**	84913**	84124**	40589**	53833**
severe stress	تنش شدید	11	924.72**	11207**	33861**	46281**	86213**	47455**	31787**	26626**

\*\* indicate significant at 0.01 probability levels

\* بیانگر معنی‌داری در سطح ۱٪

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر زیست توده کل گندم

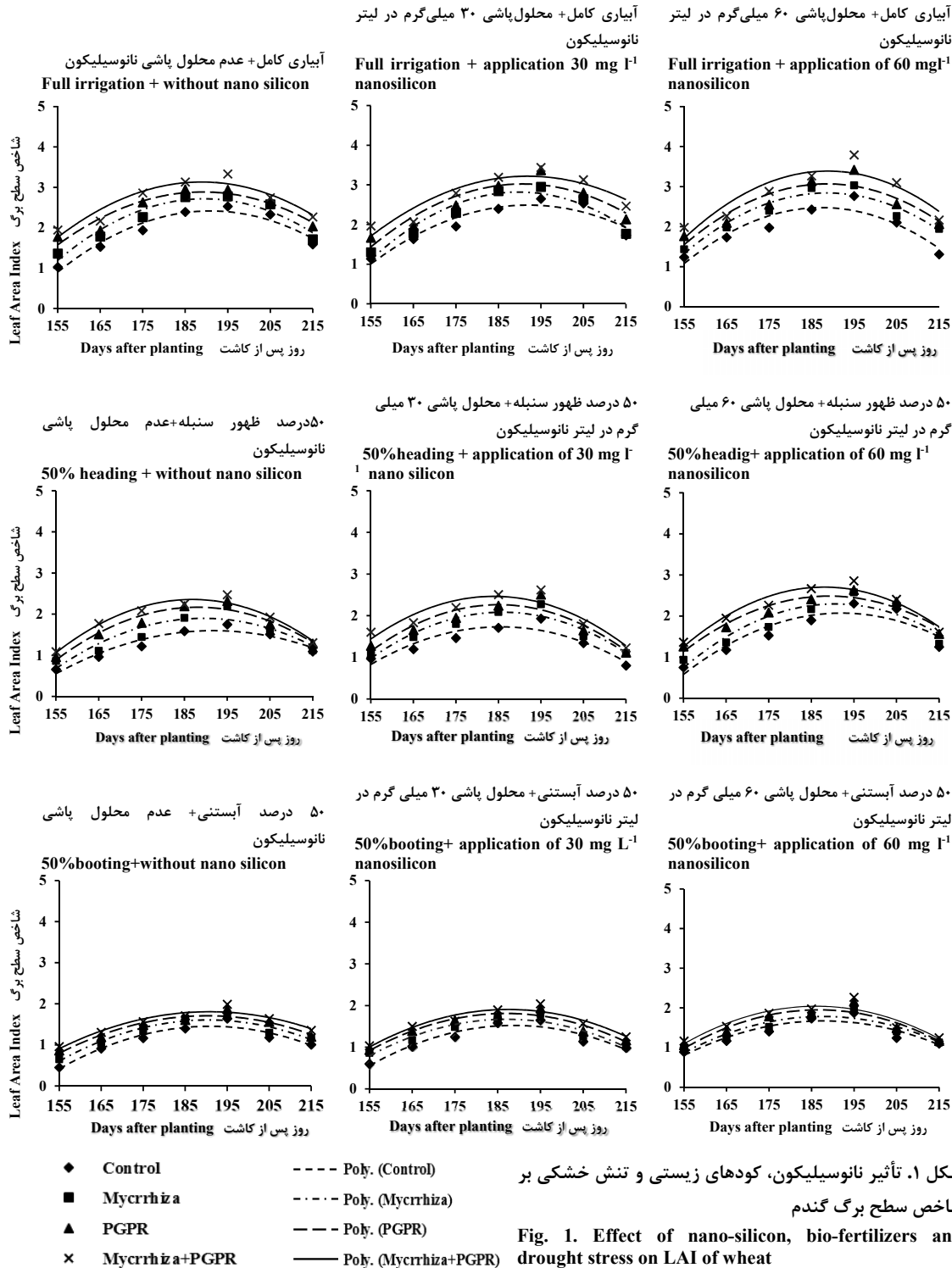
Irrigation levels	ترکیب تیماری	Sampling steps (day after planting)							
		155	165	175	185	195	205	215	225
I <sub>1</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	133.3 <sup>cde</sup>	388.3 <sup>efg</sup>	703.33 <sup>ef</sup>	949.3 <sup>def</sup>	1363.3 <sup>cd</sup>	1653.3 <sup>def</sup>	1497.6 <sup>fg</sup>	1416.0 <sup>fg</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	136.0 <sup>bc</sup>	405.6 <sup>de</sup>	775.00 <sup>cd</sup>	978.6 <sup>d</sup>	1384.3 <sup>bc</sup>	1706.0 <sup>cd</sup>	1606.0 <sup>d</sup>	1525.3 <sup>de</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	136.6 <sup>bc</sup>	431.6 <sup>bc</sup>	799.33 <sup>c</sup>	1038.6 <sup>c</sup>	1401.0 <sup>bc</sup>	1718.3 <sup>c</sup>	1615.6 <sup>cd</sup>	1581.6 <sup>bcd</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	138.6 <sup>abc</sup>	453.6 <sup>b</sup>	895.67 <sup>b</sup>	1102.6 <sup>b</sup>	1443.3 <sup>ab</sup>	1794.6 <sup>ab</sup>	1676.3 <sup>ab</sup>	1610.6 <sup>bc</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	133.6 <sup>cde</sup>	389.6 <sup>efg</sup>	744.67 <sup>de</sup>	970.0 <sup>d</sup>	1372.3 <sup>c</sup>	1689.3 <sup>cde</sup>	1549.6 <sup>ef</sup>	1443.3 <sup>fg</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	135.3 <sup>bc</sup>	420.6 <sup>cd</sup>	786.33 <sup>cd</sup>	985.6 <sup>d</sup>	1384.3 <sup>bc</sup>	1701.6 <sup>cd</sup>	1617.0 <sup>cd</sup>	1559.0 <sup>cd</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	138 <sup>abc</sup>	432.6 <sup>bc</sup>	871.00 <sup>b</sup>	1078.3 <sup>bc</sup>	1401.0 <sup>bc</sup>	1744.0 <sup>bc</sup>	1606.6 <sup>d</sup>	1587.3 <sup>bcd</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	140.3 <sup>ab</sup>	485.6 <sup>a</sup>	906.00 <sup>b</sup>	1110.0 <sup>b</sup>	1406.6 <sup>bc</sup>	1800.0 <sup>ab</sup>	1653.6 <sup>a-d</sup>	1643.6 <sup>ab</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	135 <sup>cde</sup>	398.6 <sup>def</sup>	765.00 <sup>cd</sup>	978.0 <sup>d</sup>	1374.0 <sup>c</sup>	1692.6 <sup>cde</sup>	1603.0 <sup>de</sup>	1462.0 <sup>ef</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	136.3 <sup>bc</sup>	420.6 <sup>cd</sup>	793.00 <sup>c</sup>	988.6 <sup>d</sup>	1384.6 <sup>bc</sup>	1716.3 <sup>c</sup>	1621.0 <sup>cd</sup>	1581.0 <sup>bcd</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	137.6 <sup>abc</sup>	433.0 <sup>bc</sup>	883.00 <sup>b</sup>	1078.3 <sup>bc</sup>	1482.6 <sup>a</sup>	1793.6 <sup>ab</sup>	1671.3 <sup>abc</sup>	1600.0 <sup>bc</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	143.6 <sup>a</sup>	494.3 <sup>a</sup>	989.33 <sup>a</sup>	1207.0 <sup>a</sup>	1497.6 <sup>a</sup>	1807.3 <sup>a</sup>	1694.6 <sup>a</sup>	1677.3 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	111 <sup>jk</sup>	328.0 <sup>ijk</sup>	586.0 <sup>klm</sup>	818.3 <sup>ijkl</sup>	1123.6 <sup>ij</sup>	1428.0 <sup>lmn</sup>	1302.3 <sup>kl</sup>	1206.33 <sup>k-o</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	115 <sup>ijk</sup>	340.0 <sup>ijk</sup>	625.6 <sup>ijk</sup>	830.6 <sup>hij</sup>	1210.3 <sup>h</sup>	1480.6 <sup>kl</sup>	1380.0 <sup>j</sup>	1223.33 <sup>klm</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	120.3 <sup>hi</sup>	351.6 <sup>i</sup>	642.3 <sup>hij</sup>	865.6 <sup>hi</sup>	1246.0 <sup>fgh</sup>	1537.3 <sup>ijk</sup>	1424.0 <sup>hij</sup>	1258.67 <sup>ijk</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	127.3 <sup>fg</sup>	354.0 <sup>hi</sup>	674.3 <sup>fgh</sup>	877.0 <sup>gh</sup>	1298.0 <sup>ef</sup>	1593.0 <sup>ghi</sup>	1475.6 <sup>gh</sup>	1384.33 <sup>gh</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	112.6 <sup>jk</sup>	334.3 <sup>ijk</sup>	586.0 <sup>klm</sup>	818.3 <sup>ijkl</sup>	1132.0 <sup>j</sup>	1431.3 <sup>lmn</sup>	1308.0 <sup>k</sup>	1207.33 <sup>k-o</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	116.0 <sup>ij</sup>	349.0 <sup>ij</sup>	627.3 <sup>ijk</sup>	836.6 <sup>hij</sup>	1215.0 <sup>gh</sup>	1517.3 <sup>jk</sup>	1396.0 <sup>ij</sup>	1244.33 <sup>ijkl</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	120.6 <sup>hi</sup>	352.2 <sup>hi</sup>	652.3 <sup>ghi</sup>	858.6 <sup>hi</sup>	1261.6 <sup>e-h</sup>	1563.0 <sup>hij</sup>	1449.6 <sup>ghi</sup>	1301.33 <sup>ij</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	129.0 <sup>ef</sup>	374.3 <sup>gh</sup>	695.0 <sup>fg</sup>	915.0 <sup>fg</sup>	1299.6 <sup>ef</sup>	1605.0 <sup>fgh</sup>	1475.6 <sup>gh</sup>	1387.00 <sup>gh</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	113.3 <sup>jk</sup>	336.6 <sup>ijk</sup>	606.3 <sup>ijkl</sup>	821.6 <sup>ijkl</sup>	1202.6 <sup>h</sup>	1440.6 <sup>lmn</sup>	1316.6 <sup>k</sup>	1211.00 <sup>klmn</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	119.6 <sup>hi</sup>	350.6 <sup>i</sup>	631.6 <sup>hijk</sup>	854.6 <sup>hi</sup>	1228.6 <sup>gh</sup>	1526.6 <sup>jk</sup>	1399.0 <sup>ij</sup>	1244.33 <sup>ijkl</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	122.0 <sup>gh</sup>	353.0 <sup>hi</sup>	673.6 <sup>fgh</sup>	873.0 <sup>gh</sup>	1273.6 <sup>efg</sup>	1573.3 <sup>ghi</sup>	1469.3 <sup>gh</sup>	134.00 <sup>hi</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	130 <sup>def</sup>	382.3 <sup>fg</sup>	696.3 <sup>fg</sup>	930.3 <sup>ef</sup>	1306.0 <sup>de</sup>	1641.0 <sup>efg</sup>	1495.3 <sup>fg</sup>	1415.33 <sup>fg</sup>
I <sub>3</sub>	B <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	82.0 <sup>p</sup>	238.0 <sup>q</sup>	411.0 <sup>t</sup>	629.6 <sup>q</sup>	816.6 <sup>n</sup>	1208.3 <sup>t</sup>	1113.6 <sup>p</sup>	985.3 <sup>t</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	87.6 <sup>op</sup>	252.0 <sup>pq</sup>	495.0 <sup>qrs</sup>	747.6 <sup>p</sup>	991.0 <sup>l</sup>	1293.3 <sup>s</sup>	1207.0 <sup>no</sup>	1089.0 <sup>qrs</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	102.6 <sup>n</sup>	267.6 <sup>op</sup>	528.3 <sup>opqr</sup>	774.3 <sup>m-p</sup>	1045.3 <sup>kl</sup>	1355.0 <sup>pqr</sup>	1245.0 <sup>mn</sup>	1128.3 <sup>pq</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>0</sub>	109.3 <sup>klm</sup>	301.3 <sup>mno</sup>	569.3 <sup>lmno</sup>	793.6 <sup>klm</sup>	1092.3 <sup>ijk</sup>	1376.0 <sup>nop</sup>	1278.3 <sup>klm</sup>	1175.6 <sup>mno</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	82.3 <sup>p</sup>	239.6 <sup>q</sup>	470.6 <sup>s</sup>	738.3 <sup>p</sup>	831.6 <sup>n</sup>	1222.6 <sup>t</sup>	1170.0 <sup>o</sup>	1031.3 <sup>ts</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	90.0 <sup>o</sup>	257.6 <sup>opq</sup>	505.6 <sup>qrs</sup>	748.0 <sup>op</sup>	992.0 <sup>l</sup>	1298.0 <sup>rs</sup>	1208.3 <sup>no</sup>	1109.0 <sup>rsq</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	103.6 <sup>n</sup>	269.0 <sup>op</sup>	535.6 <sup>nopq</sup>	784.6 <sup>l-o</sup>	1071.0 <sup>jk</sup>	1361.0 <sup>opq</sup>	1247 <sup>mnl</sup>	1146.3 <sup>opq</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	110.0 <sup>kl</sup>	303.3 <sup>lm</sup>	575.0 <sup>lmn</sup>	797.3 <sup>ijklm</sup>	1114.0 <sup>ij</sup>	1390.6 <sup>mno</sup>	1295.6 <sup>klm</sup>	1180.6 <sup>lmnop</sup>
	B <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	83.6 <sup>p</sup>	250.0 <sup>pq</sup>	485.6 <sup>rs</sup>	739.3 <sup>p</sup>	931.6 <sup>n</sup>	1227.6 <sup>t</sup>	1203.0 <sup>no</sup>	1060.0 <sup>rst</sup>
	B <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	101.0 <sup>n</sup>	262.3 <sup>op</sup>	514.6 <sup>pqrs</sup>	749.6 <sup>nop</sup>	993.6 <sup>l</sup>	1312.6 <sup>qrs</sup>	1215.6 <sup>no</sup>	1120.6 <sup>rsq</sup>
	B <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	105 <sup>lmn</sup>	279.6 <sup>no</sup>	551.3 <sup>m-p</sup>	791.6 <sup>k-n</sup>	1091.3 <sup>ijk</sup>	1373.3 <sup>nop</sup>	1272.6 <sup>klm</sup>	1149.3 <sup>nopq</sup>
	B <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	110.3 <sup>ijkl</sup>	324.3 <sup>kl</sup>	579.6 <sup>lmn</sup>	812.0 <sup>ijklm</sup>	1118.0 <sup>ij</sup>	1418.3 <sup>mno</sup>	1301.3 <sup>kl</sup>	1204.6 <sup>k-p</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

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

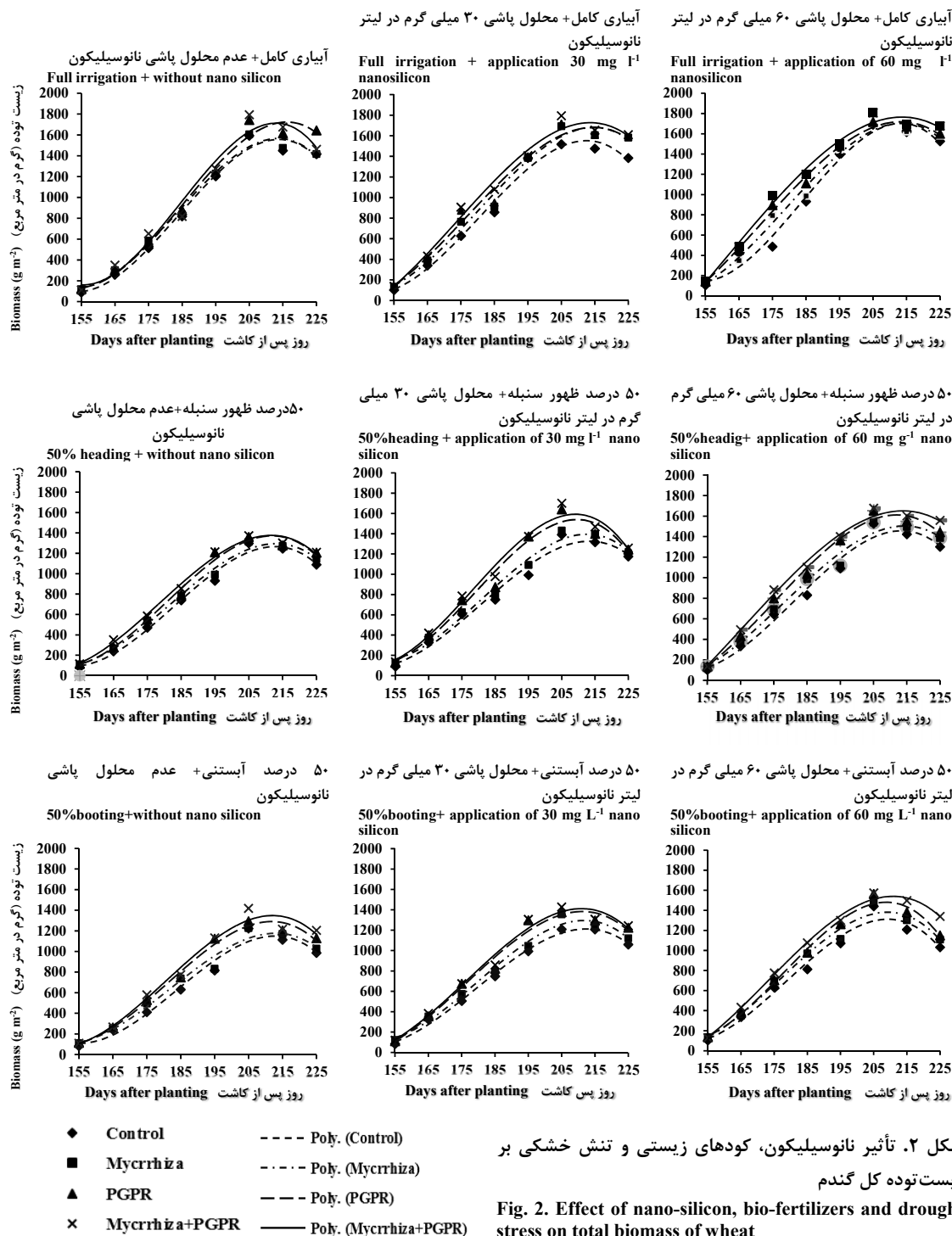
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

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 m<sup>-2</sup>



که به دلیل فتوسنتز برگها و ماده سازی، وزن خشک گیاه افزایش می یابد. مرحله سوم، در این مرحله هم زمان با انتقال مواد از اندامها به دانه ها، به علت ریزش برگها در اثر سایه

به طور کلی روند تغییرات ماده خشک در سه مرحله خلاصه می شود: مرحله اول، مرحله رشد آهسته که چون گیاه در حال رشد است و برگ چندانی ایجاد نمی کند، لذا ماده خشک تولیدی کم است. مرحله دوم، مرحله رشد سریع است



شکل ۲. تأثیر نانوسیلیکون، کودهای زیستی و تنش خشکی بر زیست‌توده کل گندم

Fig. 2. Effect of nano-silicon, bio-fertilizers and drought stress on total biomass of wheat

ساقه و برگ، در نهایت منجر به کاهش زیست‌توده کل می‌شود. ولی کاربرد کودهای زیستی، با جذب و ذخیره مواد غذایی در برگ و ساقه موجب کاهش اثر منفی خشکی شده و با ذخیره این مواد در گیاه، منجر به افزایش زیست‌توده کل می‌شود.

اندازی، پیری و عدم توانایی کافی جهت فتوسنتز و ماده‌سازی، تجمع ماده خشک در گیاه روند نزولی به خود می‌گیرد (Nazeri et al., 2012). گزارش شده است تنش خشکی از طریق تأثیر منفی بر رشد قسمت‌های مختلف گیاه از جمله

خشک کل در گیاهان تحت تنش می شود ( Al-juthery et al., 2019).

### میزان انتقال مجدد ماده خشک

اثر اصلی سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر میزان انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی، میزان فتوسنتز جاری و سهم مشارکت آن‌ها در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کودهای زیستی، آبیاری در نانوسیلیکون، نانوسیلیکون در کودهای زیستی بر سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه، میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۹). اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کودهای زیستی، نانوسیلیکون در کودهای زیستی بر میزان فتوسنتز جاری در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۹).

(Bahamin et al., 2021). در این بررسی نیز همان طوری که مشاهده می گردد تا ۱۵۵ روز بعد از کاشت در واقع مرحله اول رشد آهسته را شامل می شود زیرا از زمان کاشت تا ۱۵۵ روز بعد از آن، به دلیل کاهش دمای هوا (جدول ۱) در منطقه مورد کشت، رشد گیاهان کم بوده و بعد از اواسط فروردین ماه با افزایش دمای هوا (جدول ۱) رشد گیاهان و بیوماس تولیدی به دلیل گسترش سطح برگ (شکل ۱) و اندام های هوایی به مدت حدود ۵۰ روز افزایش می یابد. سپس به دلیل ورود گیاه به مرحله زایشی، زرد و پیر شدن برگ ها و در نهایت رسیدگی گیاه، تغییرات بیوماس تولیدی روند نزولی به خود می گیرد (شکل ۲). کاربرد نانوسیلیکون می تواند به طور معنی داری 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). به نظر می رسد نانو ذرات 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

جدول ۹. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و فتوسنتز جاری گندم متأثر از فاکتورهای آزمایشی  
Table 9. Analysis of variance (Mean squares) in the dry matter remobilization process of wheat as affected by experimental factors

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میزان انتقال ماده خشک کل DMT	سهم انتقال ماده خشک کل CDMAG	میزان انتقال ماده خشک از ساقه SDMT	سهم ذخایر ساقه CSAG	میزان فتوسنتز جاری CP	سهم نسبی میزان فتوسنتز جاری SSPG
تکرار Replication	2	376.00	446.77	371.62	224.54	86067.67	1413.92
آبیاری Irrigation (I)	2	5076.30**	3323.89**	25779.73**	7105.59**	156759.88**	4958.85**
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	2136.95**	2246.31**	717.38**	572.73**	72386.03**	3038.89**
نانوسیلیکون Nano-Si (Si)	2	271.34*	812.69**	333.70*	675.74**	44554.95**	1366.31**
B×I	6	78.80	292.95**	78.36	156.39**	4274.91**	179.58**
کود زیستی×آبیاری Si×I	4	45.22	176.07**	108.15	117.32**	1131.24	246.70**
نانوسیلیکون×آبیاری Si×B	6	15.42	167.72**	15.21	114.70**	7306.06**	161.70**
نانوسیلیکون×کود زیستی×آبیاری Si×B×I	12	61.20	148.44	87.25	40.30	1317.22	59.03
اشتباه آزمایشی Error	70	78.67	33.78	90.23	27.50	1140.67	40.37
C.V (%) ضریب تغییرات (%)	-	11.59	17.25	15.25	12.93	16.39	9.36

\* و \*\* به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۵ و ۱٪

\* and \*\* indicate significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۱۰. مقایسه میانگین فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و برخی صفات متأثر از فاکتورهای آزمایشی

**Table 10. Means comparison between the dry matter remobilization process and yield components of affected experimental factors**

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	میزان انتقال ماده خشک کل DMT (g.m <sup>-2</sup> )	میزان انتقال ماده خشک از ساقه SDMT (g.m <sup>-2</sup> )	ارتفاع بوته Plant height	دانه در سنبله Seeds in the spike	تعداد سنبلچه Number of spikletes	وزن هزار دانه WTS
<b>Irrigation levels</b>						
سطح آبیاری						
<b>Normal irrigation</b>						
آبیاری نرمال	64.88 <sup>c</sup>	32.12 <sup>c</sup>	63.71 <sup>a</sup>	40.70 <sup>a</sup>	15.16 <sup>a</sup>	41.27 <sup>a</sup>
<b>Moderate drought stress</b>						
تنش خشکی ملایم	75.89 <sup>b</sup>	51.45 <sup>b</sup>	59.85 <sup>b</sup>	37.69 <sup>b</sup>	14.70 <sup>a</sup>	38.4 <sup>b</sup>
<b>Severe drought stress</b>						
محدودیت شدید آبی	88.61 <sup>a</sup>	63.22 <sup>a</sup>	54.98 <sup>c</sup>	32.14 <sup>c</sup>	13.81 <sup>b</sup>	36.39 <sup>c</sup>
<b>Nano silicon (mg l<sup>-1</sup>)</b>						
نانوسیلیکون						
Control شاهد	79.18 <sup>a</sup>	65.78 <sup>a</sup>	-	35.50 <sup>b</sup>	13.66 <sup>b</sup>	-
30 (mg.l <sup>-1</sup> )	76.51 <sup>ab</sup>	60.57 <sup>b</sup>	-	37.44 <sup>a</sup>	14.79 <sup>a</sup>	-
60 (mg.l <sup>-1</sup> )	73.69 <sup>b</sup>	60.44 <sup>b</sup>	-	37.59 <sup>a</sup>	14.22 <sup>a</sup>	-
<b>Bio fertilizers</b>						
کودهای زیستی						
<b>Non-inoculated</b>						
شاهد	85.61 <sup>a</sup>	70.80 <sup>a</sup>	55.93 <sup>b</sup>	31.81 <sup>b</sup>	13.37 <sup>c</sup>	33.71 <sup>c</sup>
<b>Mycorrhiza</b>						
تلقیح با قارچ	81.61 <sup>a</sup>	64.73 <sup>b</sup>	59.48 <sup>ab</sup>	37.93 <sup>a</sup>	15.02 <sup>a</sup>	38.42 <sup>b</sup>
تلقیح با باکتری‌های محرک رشد	72.87 <sup>b</sup>	60.76 <sup>b</sup>	60.21 <sup>a</sup>	38.45 <sup>a</sup>	14.33 <sup>a</sup>	41.29 <sup>a</sup>
<b>PGPR</b>						
کاربرد مایکورریزا و باکتری‌های محرک رشد	65.76 <sup>c</sup>	53.32 <sup>c</sup>	62.41 <sup>a</sup>	38.82 <sup>a</sup>	15.52 <sup>a</sup>	41.32 <sup>a</sup>
<b>Mycorrhiza and PGPR application</b>						

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.

کاربرد نانوسیلیکون در این سطح از آبیاری شد. به نظر می‌رسد کاربرد توأم و منفرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به دلیل افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) چون منجر به افزایش میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرایند در عملکرد دانه (جدول ۱۱) شده است از این‌رو سهم انتقال ماده خشک تحت چنین شرایطی کاهش یافته است. همچنین در ترکیب تیماری آبیاری و کودهای زیستی، کمترین سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه (۲۸/۴۶٪) از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به دست آمد (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد افزایش انتقال ماده خشک در شرایط محدودیت شدید آبی، به دلیل افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل‌شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری در برآورد این نیاز مخازن (دانه‌ها) باشد. دیگر محققان نیز گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی، میزان انتقال ماده خشک گندم نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت و اظهار داشتند که به هنگام وقوع تنش خشکی در مرحله ساقه‌روی تا گلدهی، بخش بیشتری از مواد

### میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محدودیت شدید آبی موجب افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک (۸۸/۶۱ گرم در مترمربع) نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۱۰). مقایسه میانگین اثرات ترکیب تیماری نشان داد که عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط محدودیت شدید آبی بیشترین سهم انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته (۵۲/۴۵٪) را به خود اختصاص داد که منجر به افزایش ۹۱ درصدی سهم انتقال مجدد ماده خشک نسبت به کاربرد توأم کودهای زیستی در شرایط آبیاری کامل گردید (جدول ۱۱). از طرفی کاربرد ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل سبب کاهش ۴۷ درصدی سهم این فرآیند نسبت به عدم کاربرد نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی گردید. در شرایط محدودیت شدید آبی، محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون منجر کاهش ۱۰ درصدی سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه نسبت به عدم

از گیاهان به‌خصوص در غلات، در شرایط غیر تنش بخشی از مواد تولیدی خود در دوران رشد رویشی را که مازاد بر نیاز گیاه است، در ساقه ذخیره می‌کنند و زمانی که گیاه با تنش-های محیطی روبه‌رو می‌شود، این مواد ذخیره‌شده در ساقه به دانه و سنبله منتقل شده و تا ۳۰٪ عملکرد دانه شامل می‌شود (Madani et al., 2010). برخی محققان اظهار داشتند در شرایط خشکی و در مرحله گلدهی افزایش نسبت ماده خشک منتقل‌شده به ذخیره‌شده موجب می‌شود تا کاهش عملکرد دانه تا حدی جبران شود (Banisaeidi et al., 2020). از آنجایی‌که در شرایط کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون سهم فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد (جدول ۱۱) از این‌رو به نظر می‌رسد سهم انتقال مجدد از ساقه و اندام‌های هوایی در دانه کاهش یابد (Yaghoubi Khanghahi et al., 2019). در واقع کاربرد کودهای زیستی با افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و تعدیل اثر ناشی از تنش خشکی و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۱۱) موجب می‌شود بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین‌شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد. همچنین نتایج ترکیبات تیماری نشان داد که محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط محدودیت آبی شدید منجر به کاهش ۱۶ درصدی مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد نانوسیلیکون در این سطح از آبیاری شد (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد سیلیکون با افزایش لایه کوتیکولی برگ و همچنین میزان عمودی شدن برگ‌ها سبب نفوذ بیشتر نور به جامعه گیاهی با افزایش سهم فتوسنتز جاری منجر به کاهش انتقال مجدد ماده خشک شده است (Parsapour et al., 2019).

#### میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد

##### دانه

مقایسه میانگین‌های اثر ترکیب‌های تیماری معنی‌دار شده برای صفات میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم نشان داد که کاربرد توأم کودهای زیستی در شرایط محدودیت شدید آبی منجر به افزایش به ترتیب ۱۱/۶۰٪ و ۳۰/۶۰ درصدی میزان فتوسنتز جاری و سهم آن در عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی در این سطح از آبیاری شد (جدول ۱۱). همچنین بیشترین فتوسنتز جاری (۲۵۶/۸۲ گرم در مترمربع) و سهم این فرآیند

فتوسنتزی به دانه‌ها انتقال یافته که این منجر به افزایش انتقال ماده خشک در این مرحله می‌شود (Liu et al., 2020). محققین اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون می‌تواند به‌طور معنی‌داری تجمع سیلیکون را در اندام‌های ذرت افزایش داده و سبب کاهش انتقال مجدد ماده خشک شود (Mabagala et al., 2020). به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی با بهبود فتوسنتز جاری و تعدیل اثر ناشی از تنش موجب می‌شود تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ‌شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن مورد استفاده قرار گرفته و سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش یابد (Seyed Sharifi, 2018).

#### میزان انتقال مجدد از ساقه و سهم این فرآیند در عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی نشان داد که بیشترین انتقال مجدد از ساقه در شرایط محدودیت شدید آبی (۶۳/۲۲ گرم در مترمربع)، عدم کاربرد کودهای زیستی (۷۰/۸۰ گرم در مترمربع) و عدم کاربرد نانوسیلیکون (۶۵/۷۸ گرم در مترمربع) به دست آمد (جدول ۱۰). کمترین این مقادیر نیز در کاربرد توأم کودهای زیستی (۵۳/۳۲ گرم در مترمربع) و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون (۶۰/۴۴ گرم در مترمربع) در شرایط آبیاری کامل (۳۲/۱۲ گرم در مترمربع) به دست آمد (جدول ۱۰). همچنین اثر متقابل ترکیبات تیماری معنی‌دار شده (جدول ۱۱) نشان داد که عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط محدودیت شدید آبی بیشترین سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۳/۵۶٪) را به خود اختصاص داد که نسبت به کاربرد توأم کودهای زیستی در شرایط آبیاری کامل منجر به افزایش ۸۹ درصدی شده است. از طرفی نتایج ترکیبات تیماری نشان داد که کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون منجر به کاهش ۴۱/۸ درصدی مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون گردید (جدول ۱۱). در واقع در شرایط مطلوب آبیاری و کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به دلیل اینکه فتوسنتز جاری به‌واسطه شاخص سطح برگ بالاتر (شکل ۱) به مدت‌زمان طولانی‌تری تداوم می‌یابد تحت چنین شرایطی به دلیل افزایش فتوسنتز جاری در عملکرد دانه موجب می‌شود که میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه به سمت دانه کاهش پیدا کند. در بسیاری

جدول ۱۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی بر سهم فرآیند انتقال مجدد و میزان فتوسنتز جاری گندم

**Table 11. Means comparison of the interaction effects of experimental factors on the contribution of the dry matter transfer process**

Irrigation × Biofertilizer		سهم انتقال ماده			سهم نسبی میزان
آبیاری × کود زیستی		خشک کل	سهم ذخایر ساقه	میزان فتوسنتز جاری	فتوسنتز جاری
		CDMAG (%)	CSAG (%)	CP(g.m <sup>2</sup> )	SSPG (%)
I <sub>1</sub>	B <sub>0</sub>	32.27 <sup>def</sup>	19.11 <sup>ef</sup>	252.30 <sup>bc</sup>	67.73 <sup>abc</sup>
	B <sub>1</sub>	31.33 <sup>def</sup>	18.46 <sup>f</sup>	278.77 <sup>abc</sup>	68.66 <sup>abc</sup>
	B <sub>2</sub>	29.29 <sup>ef</sup>	17.74 <sup>f</sup>	280.78 <sup>ab</sup>	70.70 <sup>ab</sup>
	B <sub>3</sub>	27.33 <sup>f</sup>	17.70 <sup>f</sup>	305.10 <sup>a</sup>	72.66 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub>	B <sub>0</sub>	42.00 <sup>c</sup>	29.30 <sup>ab</sup>	181.91 <sup>de</sup>	57.99 <sup>d</sup>
	B <sub>1</sub>	34.47 <sup>de</sup>	26.22 <sup>bcd</sup>	192.20 <sup>de</sup>	65.52 <sup>bc</sup>
	B <sub>2</sub>	32.64 <sup>def</sup>	21.64 <sup>def</sup>	214.01 <sup>d</sup>	67.35 <sup>abc</sup>
	B <sub>3</sub>	31.80 <sup>def</sup>	23.83 <sup>cde</sup>	274.63 <sup>c</sup>	68.2 <sup>abc</sup>
I <sub>3</sub>	B <sub>0</sub>	52.45 <sup>a</sup>	33.56 <sup>a</sup>	160.08 <sup>e</sup>	47.54 <sup>f</sup>
	B <sub>1</sub>	49.50 <sup>ab</sup>	33.34 <sup>a</sup>	174.02 <sup>e</sup>	50.50 <sup>ef</sup>
	B <sub>2</sub>	43.80 <sup>bc</sup>	30.18 <sup>ab</sup>	175.87 <sup>e</sup>	56.19 <sup>de</sup>
	B <sub>3</sub>	37.90 <sup>dc</sup>	27.72 <sup>bc</sup>	178.61 <sup>e</sup>	62.09 <sup>cd</sup>
<b>Irrigation × Noano-silicon</b>					
آبیاری × نانوسیلیکون					
I <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	31.91 <sup>cd</sup>	20.24 <sup>ef</sup>	-	68.08 <sup>ab</sup>
	S <sub>1</sub>	29.24 <sup>cd</sup>	18.17 <sup>ef</sup>	-	70.75 <sup>ab</sup>
	S <sub>2</sub>	25.91 <sup>d</sup>	17.43 <sup>f</sup>	-	74.08 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub>	S <sub>0</sub>	41.21 <sup>b</sup>	28.60 <sup>bc</sup>	-	58.78 <sup>c</sup>
	S <sub>1</sub>	34.35 <sup>c</sup>	24.84 <sup>cd</sup>	-	65.64 <sup>b</sup>
	S <sub>2</sub>	33.23 <sup>c</sup>	22.31 <sup>de</sup>	-	66.77 <sup>b</sup>
I <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>	49.19 <sup>a</sup>	34.32 <sup>a</sup>	-	50.80 <sup>d</sup>
	S <sub>1</sub>	44.36 <sup>ab</sup>	29.88 <sup>b</sup>	-	55.63 <sup>cd</sup>
	S <sub>2</sub>	44.18 <sup>ab</sup>	29.41 <sup>b</sup>	-	55.82 <sup>cd</sup>
<b>Biofertilizer × Noano-silicon</b>					
کود زیستی × نانوسیلیکون					
S <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	46.22 <sup>a</sup>	32.31 <sup>a</sup>	148.27 <sup>d</sup>	53.77 <sup>d</sup>
	B <sub>1</sub>	40.16 <sup>abc</sup>	25.26 <sup>bcd</sup>	196.21 <sup>bc</sup>	59.83 <sup>bcd</sup>
	B <sub>2</sub>	34.68 <sup>cd</sup>	22.64 <sup>bcd</sup>	241.79 <sup>ab</sup>	65.31 <sup>ab</sup>
	B <sub>3</sub>	31.74 <sup>cd</sup>	19.53 <sup>d</sup>	247.05 <sup>a</sup>	68.25 <sup>ab</sup>
S <sub>1</sub>	B <sub>0</sub>	45.39 <sup>ab</sup>	28.57 <sup>ab</sup>	176.98 <sup>cd</sup>	54.60 <sup>cd</sup>
	B <sub>1</sub>	39.04 <sup>abc</sup>	24.52 <sup>bcd</sup>	214.04 <sup>abc</sup>	60.95 <sup>bcd</sup>
	B <sub>2</sub>	34.57 <sup>cd</sup>	22.51 <sup>bcd</sup>	242.90 <sup>ab</sup>	65.42 <sup>ab</sup>
	B <sub>3</sub>	30.25 <sup>d</sup>	19.37 <sup>d</sup>	248.68 <sup>a</sup>	69.74 <sup>a</sup>
S <sub>2</sub>	B <sub>0</sub>	43.64 <sup>ab</sup>	27.82 <sup>abc</sup>	186.41 <sup>cd</sup>	56.34 <sup>cd</sup>
	B <sub>1</sub>	36.74 <sup>bcd</sup>	23.62 <sup>bcd</sup>	237.69 <sup>ab</sup>	63.25 <sup>abc</sup>
	B <sub>2</sub>	33.86 <sup>cd</sup>	21.56 <sup>cd</sup>	244.44 <sup>a</sup>	66.13 <sup>ab</sup>
	B <sub>3</sub>	28.46 <sup>d</sup>	18.81 <sup>d</sup>	256.82 <sup>a</sup>	71.53 <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند. 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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

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 m<sup>-2</sup>

از مرحله گرده‌افشانی وابسته است. این منبع به‌طور معمولی توسط پیری طبیعی برگ و بروز تنش‌های مختلف محدود می‌شود، درحالی‌که در همین زمان تقاضا برای مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و تقاضا برای تنفس نگهداری

(۷۱/۵۳٪) از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به دست آمد (جدول ۱۱). فتوسنتز جاری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع کربن برای پر شدن دانه‌ها، به جذب مؤثر نور به‌وسیله سطح سبز گیاه پس



شده و در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه و سهم کمتری را به بخش هوایی از جمله ساقه اختصاص می‌دهد و همین امر موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Arafa et al., 2021). از طرفی، کاربرد توأم کودهای زیستی نیز موجب افزایش ۱۱ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی شد (جدول ۱۰). در این راستا برخی محققین بیان کردند که علت اصلی افزایش ارتفاع بوته در تلقیح بذر با کودهای زیستی، افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه، بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش محتوای نیتروژن قابل دسترس خاک است. در رواق، در دسترس بودن آب و عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق افزایش تعداد گره‌ها و طول میانگره‌ها، ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهند (El-Sawah et al., 2021).

#### تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر تعداد دانه در سنبله به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۲). کمترین تعداد دانه در سنبله (۳۲/۱۴) در شرایط محدودیت شدید آبی و بیشترین آن (۴۰/۷۰) در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. در رواق خشکی شدید منجر به کاهش ۲۱/۰۳ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۱۰). از آنجاکه در خلال فاز طویل شدن ساقه و سنبله اجزاء گلچه‌ها نیز کامل می‌شوند و با ظهور برگ پرچم تقسیمات میوزی دانه‌های گرده شروع می‌شود، بنابراین احتمال می‌رود که تنش وارده با صدمه به دانه‌های گرده و عدم امکان تلقیح مادگی ضمن پوکی دانه‌ها موجب می‌شود تعداد دانه‌های تشکیل‌شده در سنبله نیز کاهش یابد (Dehghan et al., 2017). ولی کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون سبب افزایش تعداد دانه در سنبله شد (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی با افزایش فعالیت اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز در اطراف ریشه‌ها منجر به افزایش فسفر در خاک و جذب بیشتر نیتروژن، روی، مس و آهن می‌شود (Hasanpour et al., 2014). نتایج مشابهی نیز مبنی بر بهبود تعداد دانه در سنبله گیاه جو با کاربرد نانوسیلیکون در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Ghorbanian et al., 2017).

زیست‌توده نیز افزایش می‌یابد (Maydup et al., 2014). در مطالعه حاضر، اثر ترکیب تیماری گیاهان تلقیح شده با کودهای زیستی در شرایط آبیاری کامل و همچنین اثر متقابل کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون، دارای بیشترین میزان فتوسنتز جاری بوده که در این صورت منجر به کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک گردید. در واقع این بالا بودن فتوسنتز جاری را می‌توان به تأثیر مثبت کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل بر گسترش سطح برگ نسبت داد. نتایج اثر ترکیب تیماری نشان داد که محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل منجر به افزایش ۴۶ درصدی سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی شد (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد در شرایط آبیاری و کاربرد توأم کودهای زیستی با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون به دلیل افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱)، منجر به بهبود فتوسنتز جاری و افزایش سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد شده است. به نحوی که گزارش شده است در شرایط مطلوب آبیاری، به دلیل تأخیر در پیری برگ‌ها میزان و سهم فتوسنتز جاری نیز افزایش یافته و همچنین منجر به کاهش مشارکت مواد خشک ذخیره‌شده در تولید دانه می‌شود (Tatar et al., 2016). محققین در پژوهش‌های خود اظهار داشتند که تلفیق باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا، به دلیل افزایش شاخص سطح برگ، میزان فتوسنتز و مواد اندوخته‌ای در گیاه بالا می‌رود (Nasari et al., 2017).

#### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری و کودهای زیستی بر ارتفاع بوته به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محدودیت شدید آبی منجر به کاهش ۱۴ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط آبیاری کامل شد. به طوری که، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب با میانگین ۶۳/۷۱ و ۵۴/۹۸ سانتی‌متر از آبیاری کامل و محدودیت شدید آبی به دست آمد (جدول ۱۰). تنش خشکی، با اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و کاهش تولید مواد پرورده به بخش‌های در حال رشد، مانع از دستیابی به پتانسیل ژنتیکی کامل گیاه می‌گردد. بعلاوه افزایش تنش خشکی در زمان ارتفاع‌گیری گیاه، سبب افزایش رقابت برای جذب آب بین بخش هوایی و زیرزمینی

جدول ۱۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گندم متأثر از فاکتورهای آزمایشی

Table 12. Analysis of variance (Mean squares) in wheat yield and yield components as influenced by experimental factors

S.O.V	درجه آزادی	ارتفاع بوته Plant height	دانه در سنبله Seeds in the spike	تعداد سنبله Number of spikelets	وزن هزار دانه WTS	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	2	72.95	300.14	18.78	25.15	919674.88
Irrigation (I)	آبیاری	2	688.86**	678.67**	16.95**	216.95**	10748405.21**
Biofertilizer (B)	کود زیستی	3	195.76*	401.91**	23.38*	347.15**	7176908.25**
Nano-Si (Si)	نانوسیلیکون	2	28.05	48.87*	3.18*	15.79	5809863.99**
B×I	کودزیستی×آبیاری	6	26.41	22.54	1.002	8.86	480148.99**
Si×I	نانوسیلیکون×آبیاری	4	12.03	15.79	1.43	4.21	76486.35
Si×B	نانوسیلیکون×کودزیستی	6	23.85	14.32	1.008	6.61	424995.53**
Si×B×I	نانوسیلیکون×کودزیستی×آبیاری	12	26.29	9.50	0.552	2.23	130796.09**
Error	اشتباه آزمایشی	70	52.90	12.42	1.072	8.03	58836.63
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	12.22	9.56	7.11	7.32	8.74

\* و \*\* به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱٪

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

### تعداد سنبله

ترتیب منجر به افزایش ۱۶٪ و ۸/۲۷ درصدی تعداد سنبله نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون شد (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد استفاده از کودهای زیستی با کمک به توسعه ریشه گیاه در خاک، جذب آب و مواد غذایی را نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش می‌دهد و همین امر موجب می‌شود روی تعداد سنبله تأثیر معنی‌داری داشته باشد. همچنین سیلیکون از طریق افزایش مدت ماندگاری گلچه‌ها روی سنبله و عدم سقط آن‌ها، موجب افزایش تعداد سنبله‌های بارور شده است. محققین اظهار داشتند که تلقیح بذر با کودهای زیستی سبب افزایش تعداد سنبله در سنبله گردیده و موجب می‌شود که اثرات منفی حاصل از تنش نیز جبران شود (Naili et al., 2018).

### وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۲). از آنجاکه وزن هزار دانه بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط قرار

تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر تعداد سنبله به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۲). بیشترین تعداد سنبله (۱۵/۱۶) در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و در شرایط خشکی شدید با ۹/۷۷٪ افت، کمترین تعداد سنبله (۱۳/۸۱) مشاهده شد (جدول ۱۰). تنش خشکی سبب کاهش قابلیت حیات گلچه‌ها شده و به دلیل اینکه پس از ظهور سنبله انتهایی تا آخر برداشت هیچ‌گونه سنبله‌ای تمایز پیدا نمی‌کند، بنابراین هرگونه تنش وارده در این مرحله موجب کاهش تعداد سنبله می‌شود. گزارش شده است که مرحله تثبیت تعداد کل سنبله در سنبله از مرحله برجستگی دوگانه تا تمایز سنبله انتهایی نیز تعیین و سرنوشت تعداد سنبله در سنبله در پایان مرحله تمایز سنبله انتهایی مصادف با ابتدای طویل شدن ساقه تعیین می‌شود (Sangtarash, 2010). از طرفی کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به

اثر سه گانه سطوح آبیاری، کودهای زیستی و نانوسیلیکون نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون باعث کاهش ۳۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی ۳۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون شد (شکل ۳). از طرفی محدودیت آبی بر شاخص برداشت تأثیر منفی داشته، ولی کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون منجر به بهبود شاخص برداشت شد. به نحوی که کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۳۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط محدودیت ملایم آبی، بیشترین شاخص برداشت را نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در این سطح از آبیاری داشت (شکل ۳). از طرفی با محدودیت های شدید آبی، افت شدید در شاخص برداشت مشاهده شد. طوری که کمترین شاخص برداشت (۱۳/۵۱٪) از عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی به دست آمد که نسبت به کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی ۳۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون در این سطح از آبیاری از کاهش ۴۲ درصدی و نسبت به آبیاری کامل از کاهش ۵۹ درصدی برخوردار بود (شکل ۳). بیان شده است تجمع مواد فتوسنتزی در اندام رویشی و انتقال آن ها به اندام های زایشی و دانه یکی از فرآیندهای مؤثر در تعیین عملکرد محصولات زراعی است و تنش خشکی موجب کاهش عملکرد، ماده خشک تولیدی و در نهایت کاهش شاخص برداشت می شود (Boussakouran et al., 2019). از طرفی محلول پاشی ۳۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون سبب بهبود شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی گردید که با غلظت ۶۰ میلی گرم در لیتر اختلاف غیرمعنی داری را نشان داد. در این راستا گزارش شده است که جذب سیلیکون موجب سخت و سیلیسی شدن بخش هوایی گیاه شده و امکان تحمل تنش در گیاه را افزایش می دهد. همچنین با کاهش مرگ و میر گلچه ها موجب افزایش تعداد دانه در سنبله شده و از این طریق شاخص برداشت را افزایش می دهد (Parsapour et al., 2019). همچنین پژوهش ها نشان داده است که تأثیر کودهای زیستی به صورت منفرد و توأم به دلیل انتقال سریع نیتروژن و فسفر از اندام هوایی و یا خاک به دانه، منجر به افزایش شاخص برداشت در شرایط محدودیت آبی شده است (Sharma et al., 2021).

می گیرد، بنابراین شرایط محیطی پس از مرحله تشکیل دانه تأثیر زیادی بر وزن دانه خواهد داشت. به نحوی که خشکی ملایم و شدید منجر به کاهش به ترتیب ۷٪ و ۱۲ درصدی وزن هزار دانه نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۱۰). بخشی از کاهش وزن هزار دانه می تواند ناشی از کاهش میزان فتوسنتز جاری در شرایط محدودیت شدید آبی باشد (جدول ۱۱). برخی محققان کاهش وزن هزار دانه را به تسریع پیری و کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه نسبت دادند (Mondal et al., 2021). به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی به دلیل تولید هورمون های محرک رشد و تأمین عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است. به نحوی که، کاربرد توأم کودهای زیستی سبب افزایش ۲۳ درصدی وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی شد (جدول ۱۰).

#### شاخص برداشت

اثر ترکیب تیماری هر سه عامل آبیاری در کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر شاخص برداشت به احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱۲). نتایج برش دهی اثرات سه گانه فاکتورهای آزمایشی نشان داد که در همه سطوح آبیاری تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۱۳).

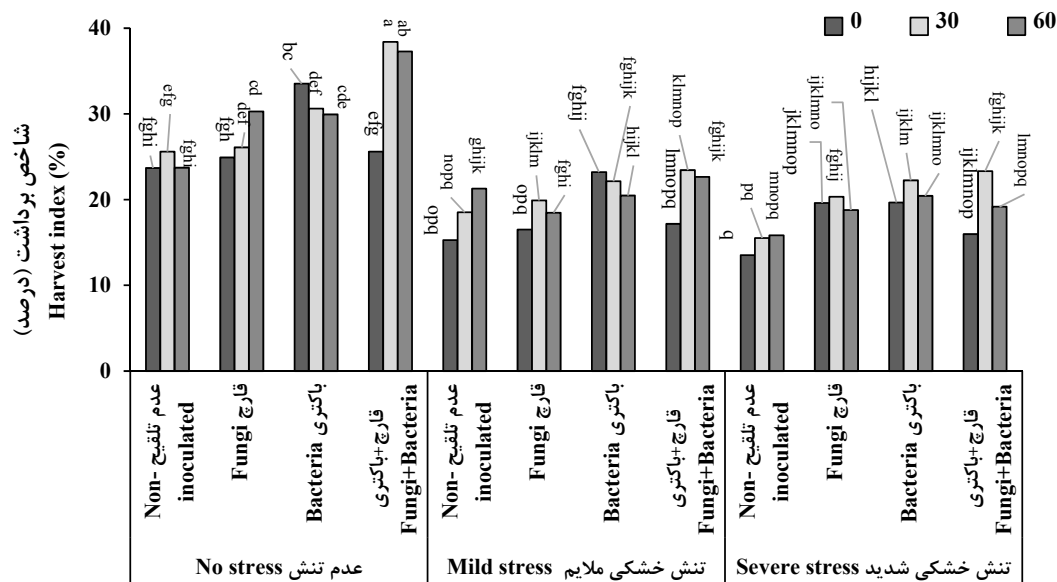
جدول ۱۳. برش دهی اثرات سه گانه آبیاری × نانوسیلیکون × کودهای زیستی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت

Table 13. Slicing of triple effects of irrigation × bio-fertilizers × nano-silicon on grain yield and harvest index

شاخص برداشت	عملکرد دانه	درجه آزادی	سطوح آبیاری
Harvest index	Grain yield	Df	Irrigation levels
78.22**	1519152**	11	آبیاری کامل Full irrigation
30.79**	1165003**	11	تنش ملایم Moderate stress
26.94**	993738**	11	تنش شدید severe stress

\*\* بیانگر معنی داری در سطح ۱٪

\*\* indicate significant at 0.01 probability levels



شکل ۳. اثرات سه گانه سطوح آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر شاخص برداشت

Figure 3. Triple effect of irrigation levels × bio-fertilizer × nano silicon on harvest index

پیری سریع برگ‌ها (کاهش قدرت منبع) و کاهش قدرت مخزن باشد (Pequeno et al., 2021). از طرفی افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل را می‌توان به دلیل افزایش سطح برگ به واسطه کاربرد کودهای زیستی به صورت توأم یا منفرد را نسبت داد که به نظر می‌رسد این افزایش شاخص سطح برگ به دلیل افزایش فتوسنتز جاری منجر به بهبود عملکرد شده است (Kheirizadeh Arogh et al., 2015). همچنین بخشی از اثر سودمند کاربرد نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و تعداد دانه در سنبله (جدول ۱۰) نسبت داد. در این راستا اثر مثبت نانو سیلیکون بر روی عملکرد باقلا در شرایط تنش خشکی توسط محققین گزارش شده است و اظهار داشتند که نانوسیلیکون سبب افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به عدم کاربرد آن شده است (Desoky et al., 2021).

#### نتیجه‌گیری نهایی

پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط محدودیت آبی حضور نانوسیلیکون و کودهای زیستی به صورت توأم و منفرد نقش چشمگیری در بهبود ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، زیست‌توده کل، عملکرد دانه و فتوسنتز جاری، میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه داشت. در واقع خشکی منجر به افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از

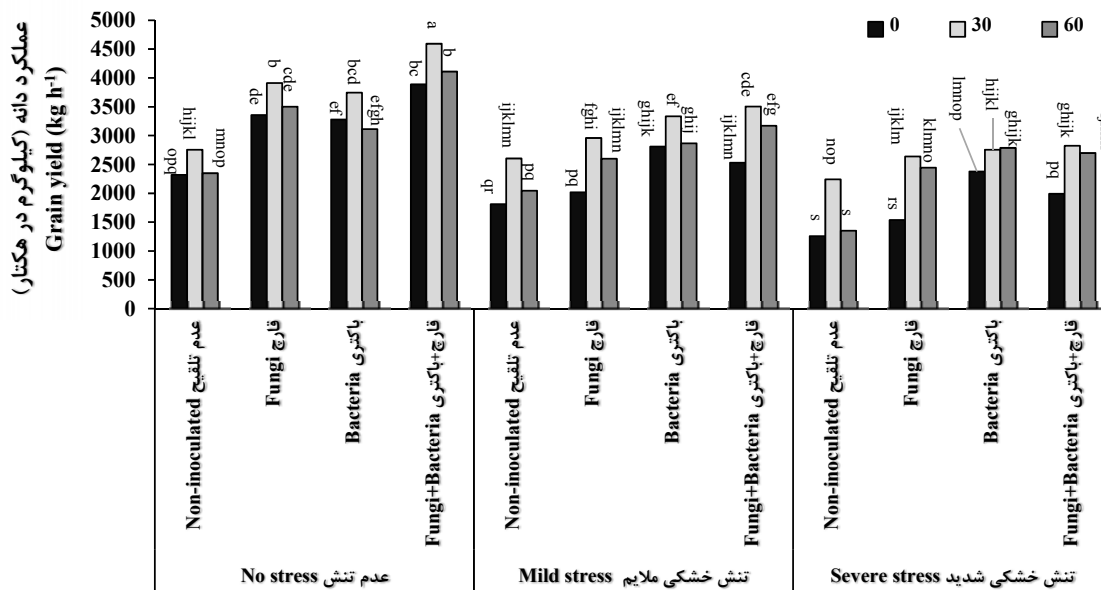
#### عملکرد دانه

اثر ترکیب تیماری هر سه عامل آبیاری در کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۲). همچنین نتایج برداشته‌شده از سه‌گانه فاکتورهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری بین سطوح آبیاری نشان داد (جدول ۱۳). نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. همچنین حداکثر عملکرد دانه در شرایط محدودیت ملایم آبی نیز، از کاربرد توأم کودهای زیستی و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون حاصل شد. به بیانی دیگر در سطح ثابت از شرایط محدودیت ملایم آبی، عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون به کاهش ۴۷/۷۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاربرد توأم کودهای زیستی و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون منجر شد (شکل ۴).

از طرفی با توجه به افزایش شدت تنش مشخص گردید که عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی، موجب کاهش ۵۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تلقیح توأم کودهای زیستی در این سطح از آبیاری شد (شکل ۴). به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه، کاهش سرعت فتوسنتز و

در لیتر نانوسیلیکون در دو مرحله ساقه‌دهی و مرحله قبل از چکمه‌ای شدن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کل بوته و ساقه گردید. به نظر می‌رسد برای کاهش اثر منفی محدودیت آبی و بهبود عملکرد دانه گندم تلقیح بذر با کودهای زیستی به صورت توأم و محلول پاشی ۳۰ میلی‌گرم



شکل ۴. اثرات سه‌گانه سطوح آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون بر عملکرد دانه

Figure 4. Triple effect of irrigation levels × bio-fertilizer × nano silicon on grain yield

## منابع

- Al-juthery, H.W.A., Al-tae, R.A.H.G., Al-Obaidi, Z.H.H., Ali, E.A.H.M. and NAl-Shami, Q.M., 2019. Influence of foliar application of some nano-fertilizers in growth and yield of potato under drip irrigation. In *Journal of Physics*. 1294 (9), p. 092024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/9/092024>
- Arafa, S.A., Attia, K.A., Niedbała, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T.K., AM Ali, M., Elkelish, A. and Attallah, S.Y., 2021. Seed Priming Boost Adaptation in Pea Plants under Drought Stress. *Plants*, 10, p.2201. <https://doi.org/10.3390/plants10102201>
- Azizi, S., Kouchaksaraei, M.T., Hadian, J., Abad, A.R.F.N., Sanavi, S.A.M.M., Ammer, C. and Bader, M.K.F., 2021. Dual inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria boost drought resistance and essential oil yield of common myrtle. *Forest Ecology and Management*, 497, p.119478. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119478>
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Behashti, S.A., 2021. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14, 675-690. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3095.1793>
- Banerjee, A., Singh, A., Sudarshan, M. and Roychoudhury, A., 2021. Silicon nanoparticle-pulsing mitigates fluoride stress in rice by fine-tuning the ionic and metabolomic balance and refining agronomic traits. *Chemosphere*, 262, p.127826. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127826>
- Banisaeidi, A.K. and Motamedi, M., 2020. The effect of the amount nitrogen applied on grain yield and dry matter remobilization of maize (*Zea mays* L.) in drought stress conditions.

- Journal of Plant Ecophysiology, 12, 68-77. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0901-y>
- Boussakouran, A., Sakar, E.H., El Yamani, M. and Rharrabti, Y., 2019. Morphological traits associated with drought stress tolerance in six Moroccan durum wheat varieties released between 1984 and 2007. Journal of Crop Science and Biotechnology, 22, 345-353. <https://doi.org/10.1007/s12892-019-0138-0>
- Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü. and Dönmez, M.F., 2007. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170, 288-295. <https://doi.org/10.1002/jpln.200625105>
- Dehghan, M., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R. and Safikhani, F., 2017. Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 19, 40-56. [In Persian].
- Desoky, E.S.M., Mansour, E., El-Sobky, E.S.E., Abdul-Hamid, M.I., Taha, T.F., Elakkad, H.A., Arnaout, S.M., Eid, R.S., El-Tarabily, K.A. and Yasin, M.A., 2021. Physio-biochemical and agronomic responses of faba beans to exogenously applied nano-silicon under drought stress conditions. Frontiers in Plant Science, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637783>
- El-Sawah, A.M., El-Keblawy, A., Ali, D.F.I., Ibrahim, H.M., El-Sheikh, M.A., Sharma, A., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., Brestic, M., Skalicky, M. and Xiong, Y.C., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield, and qualitative attributes of guar. Agriculture, 11, p.194. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030194>
- Ghorbanian, H., Janmohammadi, M., Ebadi-Segherloo, A. and Sabaghnia, N., 2017. Genotypic response of barley to exogenous application of nanoparticles under water stress condition. In Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio C–Biologia. 72 (2). <https://doi.org/10.17951/c.2017.72.2.15-27>
- Gong, D., Zhang, X., Yao, J., Dai, G., Yu, G., Zhu, Q., Gao, Q. and 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://doi.org/10.1038/s41598-021-92342-5>
- Hanaka, A., Ozimek, E., Reszczyńska, E., Jaroszek-Ścisiel, J. and Stolarz, M., 2021. Plant Tolerance to Drought Stress in the Presence of Supporting Bacteria and Fungi: An Efficient Strategy in Horticulture. Horticulturae, 7, p.390. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100390>
- Hasanpour, J. and Zand, B., 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 1, 1-12. [In Persian].
- Hataminia, P., Abbasi, N. and Zarea, M.J., 2020. Quantity and quality yield of durum wheat under the impact of growth promoting bacteria in rain-fed and supplementary irrigation conditions. Iranian Dryland Agronomy Journal, 8, 121-139. <https://doi.org/10.22092/idaj.2019.120533.200>
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M. and Lux, A., 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. Physiologia Plantarum, 123, 459-466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>
- Kheirizadeh Arogh, E., Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M., 2015. Effects of biofertilizers and nano zinc oxide on remobilization and some growth indices of triticale under water limitation conditions. CPJ, 7, 37-55. [In Persian]. <https://doi.org/10.22124/cr.2022.22374.1726>
- Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S. and 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>
- Luo, Y., Tang, Y., Zhang, X., Li, W., Chang, Y., Pang, D., Xu, X., Li, Y. and Wang, Z., 2018. Interactions between cytokinin and nitrogen contribute to grain mass in wheat cultivars by regulating the flag leaf senescence process. The Crop Journal, 6, 538-551. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.05.008>
- Mabagala, F.S., Geng, Y., Cao, G., Wang, L., Wang, M. and Zhang, M., 2020. Silicon accumulation, partitioning and remobilization in spring maize (*Zea mays* L.) under silicon

- supply with straw return in Northeast China. *Journal of Plant Nutrition*, 44, 1498-1514. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1867576>
- Madani, A., Rad, A.S., Pazoki, A., Nourmohammadi, G. and Zarghami, R., 2010. Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source: sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32, 145-151. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.6273>
- Maydup, M.L., Antonietta, M., Graciano, C., Guiamet, J.J. and Tambussi, E.A., 2014. The contribution of the awns of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to grain filling: Responses to water deficit and the effects of awns on ear temperature and hydraulic conductance. *Field Crops Research*, 167, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.07.012>
- Mondal, S., Sallam, A., Sehgal, D., Sukumaran, S., Farhad, M., Navaneetha Krishnan, J., Kumar, U. and Biswal, A., 2021. Advances in Breeding for Abiotic Stress Tolerance in Wheat. In *Genomic Designing for Abiotic Stress Resistant Cereal Crops*, p.71-103. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75875-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75875-2_2)
- Moradi, L., Siosemardeh, A., Sohrabi, Y., Bahramnejad, B. and Hosseinpanahi, F., 2022. Dry matter remobilization and associated traits, grain yield stability, N utilization, and grain protein concentration in wheat cultivars under supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*, 263, p.107449. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107449>
- Naili, F., Neifar, M., Elhidri, D., Cherif, H., Bejaoui, B., Aroua, M., Bejaoui, Z., Abassi, M., Mguiz, K., Chouchane, H. and Ouzari, H.I., 2018. Optimization of the effect of PGPR-based biofertilizer on wheat growth and yield. *Biom. Biometrics and Biostatistics International Journal*. 7 (3), pp. 226-232. <https://doi.org/10.15406/bbij.2018.07.00213>
- Namjoyan, S., Sorooshzadeh, A., Rajabi, A. and Aghaalikhani, M., 2020. Nano-silicon protects sugar beet plants against water deficit stress by improving the antioxidant systems and compatible solutes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03137-6>
- Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K. and Tahmasebi, Z., 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Sol Biology*, 5, 49-66. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/sbj.2017.113121>
- Nazeri, P., Khashan, A., Khavazi, K., Ardakani, M.R. and Mirakhori, M., 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth Indices of bean. *Journal of Agriculture and plant breeding*. 8, 111-126. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2018.14172.1785>
- Parsapour, O., Bakhshandeh, A., Gharineh, M.H., Feisi, 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, 377-388. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1191.1244>
- Pequeno, D.N., Hernandez-Ochoa, I.M., Reynolds, M., Sonder, K., MoleroMilan, A., Robertson, R.D., Lopes, M.S., Xiong, W., Kropff, M. and Asseng, S., 2021. Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environmental Research Letters*, 16, p.054070. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd970>
- Rao, D.S., Raghavendra, M., Gill, P., Madan, S. and Munjal, R., 2022. Effect of drought stress on phenological and yield attributes in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Eco-friendly Agriculture*, 17, 65-71. <http://dx.doi.org/10.5958/2582-2683.2022.00014.4>
- Sangtarash, M.H., 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 13, 114-119. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2010.114.119>
- Seyed Sharifi, R. and Gholinejad, E., 2021. Evaluation of agronomic and morphophysiological traits of crops. Mohaghegh Ardabili university press. Number page 410.
- Seyed Sharifi, R. and Nazarly, H., 2013. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. *Journal of*

- Agricultural Science and Sustainable Production. 23, 29-45. [In Persian].
- 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, 515-531. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.764.1148>
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. and Zhao, C.X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes rendus biologiques, 331, pp.215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>
- Sharma, M., Delta, A.K. and Kaushik, P., 2021. Glomus mosseae and Pseudomonas fluorescens Application Sustains Yield and Promote Tolerance to Water Stress in *Helianthus annuus* L. Stresses, 1 (4), 305-316. <https://doi.org/10.3390/stresses1040022>
- Tatar, Ö. Brück, H. and Asch, F.O.L.K.A.R.D., 2016. Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. Journal of agronomy and crop science, 202, 292-299. <https://doi.org/10.1111/jac.12160>
- Vosoghi Rad, M., Jami Moeini, M., Taherian, M. and Armin, M., 2022. Accumulation and remobilization of assimilates in different genotypes of durum wheat under terminal drought stress. Journal of Crop Science and Biotechnology, 25, 199-214. <https://doi.org/10.1007/s12892-021-00123-3>
- Wangiyana, W., Aryana, I.G.P.M. and Dulur, N.W.D., 2021. Mycorrhiza biofertilizer and intercropping with soybean increase anthocyanin contents and yield of upland red rice under aerobic irrigation systems. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 637(1), p. 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012087>
- Yadav, T., Kumar, A., Yadav, R.K., Yadav, G., Kumar, R. and Kushwaha, M., 2020. Salicylic acid and thiourea mitigate the salinity and drought stress on physiological traits governing yield in pearl millet-wheat. Saudi Journal of Biological Sciences, 27 (8), 2010-2017 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.030>.
- Yaghoubi Khanghahi, M., Pirdashti, H., Rahimian, H., Nematzadeh, G. and Ghajar Sepanlou, M., 2019. The role of potassium solubilizing bacteria (KSB) inoculations on grain yield, dry matter remobilization and translocation in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Plant Nutrition, 42, 1165-1179. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609511>