

## Evaluation of yield and grain filling components of triticale (X *Triticosecale* Witt.) affected by application of mycorrhizal fungi, vermicompost and nano-silicon under water deficit conditions

Zh. Nazari<sup>1\*</sup>, R. Seyed Sharifi<sup>2</sup>, M. Sedghei<sup>2</sup>, H. Narimani<sup>3</sup>

1. M.Sc students Crop Physiology, Department Plant production and genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professors, Department Plant production and genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Ph.D students Crop Physiology, Department Plant production and genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received 8 May 2021; Accepted 22 June 2021

### Extended abstract

#### Introduction

Drought stress is one of the most important abiotic factors that can limit plant growth and yield. The response of plants to water limitation has been evaluated based on genetic, biochemical and morpho-physiological traits. Several strategies have been developed in order to decrease the toxic effects caused by severe water limitation on plant growth. Among them the use of bio-fertilizers (such as mycorrhizae and vermicompost) and nano-silicon play a key role in yield improvement. The aim of this study was to investigate the effects of irrigation withholding in reproductive stages and nano-silicon and bio-fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and grain yield of triticale.

#### Materials and methods

In order to study the effect of vermicompost, mycorrhizae and nano-silicon on yield and chlorophyll content of triticale under water limitation conditions, an experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications in greenhouse research of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2020. Experimental factors were included irrigation limitation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50 percent of heading and booting stages as moderate and severe water limitation, respectively), bio-fertilizers application at four levels (no application of bio-fertilizers as control, application of vermicompost, mycorrhizae, and both application of vermicompost and mycorrhizae) and foliar application of nano-silicon (2 g.L<sup>-1</sup> of nano-silicon and water-sprayed as control). Sanabad cultivar was used in the experiment with plant density of 400 seed m<sup>-2</sup>. Chlorophyll and carotenoids content were obtained according to Arnon (1949).

To study the grain filling parameters in each sampling, two plants in each pot were taken. The first sampling was taken on day 8 after heading, and other samplings were taken in 4-days intervals to determine the accumulation of grain weight. At each sampling, grains were removed from spikes manually and were dried at 75°C for 48 h. A two-part linear model was used to quantifying the grain

\* Corresponding author: Zhila Nazari; E-Mail: [gillanazary@gmail.com](mailto:gillanazary@gmail.com)



filling parameters. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + gfr(daa), & \dots \dots \text{if } \dots daa < P_m \\ a + gfr(P_m), & \dots \dots \text{if } \dots daa \geq P_m \end{cases}$$

Where GW is the grain dry weight; a, the GW-intercept; gfr, the slope of grain weight indicating grain filling rate; daa, the days after earing; and  $P_m$ , physiological maturity. Borrás et al. (2004) determined grain filling using a bilinear model. Effective grain filling period (EGFD) was calculated from the following equation:

$$EGFD = HGW/GFR$$

Where EGFD, HGW and GFR are effective grain filling period, the highest grain weight (g) and grain filling rate (g day<sup>-1</sup>), respectively.

Conversely, an increase in grain weight in filling period was calculated using the above-cited equation in statistical software SAS 9.1 via NLIN DUD procedure. At plant maturity, grain yield in each pot were harvested by five plants per pot.

Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS 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 application of vermicompost, mycorrhizae and foliar application of nano-silicon under normal irrigation condition significantly increased chlorophyll a (61.02 percent), chlorophyll b (43.17 percent), total chlorophyll (55.97 percent) and carotenoid (55.8 percent) content, maximum of grain weight (54.78 percent), grain filling period (16.26 percent) and effective grain filling period (46.16 percent) in comparison with no application of bio-fertilizers and nano-silicon under irrigation withholding in booting stage condition. Also, there were a significant increase about 36.78, 45.83, 61.8, 44.11 and 59.52 percent in plant height, ear length, the number of grain per spike, 100 grains weight and grain yield per plant in application of vermicompost, mycorrhizae and foliar application of nano-silicon under full irrigation in comparison with no application of vermicompost, mycorrhizae and foliar application of nano-silicon under irrigation withholding in booting stage condition.

### Conclusions

It seems that the application of bio-fertilizers and nano-silicon can increase grain yield of triticale under water limitation conditions due to improving chlorophyll content and grain filling components.

**Keywords:** Bio-fertilizers, Carotenoids, Chlorophyll content, Drought stress

## ارزیابی عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله (*X Triticosecale* Witt.) متأثر از کاربرد قارچ میکوریزا، ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط کمبود آب

ژیلا نظری<sup>۱\*</sup>، رئوف سیدشرفی<sup>۲</sup>، محمد صدقی<sup>۲</sup>، حامد نریمانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. عضو هیئت علمی گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشجوی دکتری گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور بررسی تأثیر ورمی کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون بر عملکرد و محتوای کلروفیل تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه
تنش خشکی	تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشد به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل آبستنی و سنبله‌دهی به ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بودند. نتایج نشان داد
کارتونوئید	که کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل محتوای کلروفیل a (۶۱/۰۲ درصد)، b (۴۳/۱۷ درصد)، کلروفیل کل (۵۵/۹۷ درصد)، کارتونوئید (۵۵/۸ درصد)، حداکثر وزن دانه (۵۴/۷۸ درصد)، طول دوره پر شدن دانه (۱۶/۲۶ درصد) و دوره مؤثر پر شدن دانه (۴۶/۱۶ درصد) را نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین یک افزایش حدود
کودهای زیستی	۲۶/۷۸، ۴۵/۸۳، ۶۱/۸، ۴۴/۱۱ و ۵۹/۵۲ درصدی معنی‌دار به ترتیب در ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته در کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی وجود داشت. به نظر می‌رسد
محتوای کلروفیل	کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون می‌تواند با بهبود محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه تریتیکاله را در شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۰۲/۱۸	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۰/۰۴/۰۱	
تاریخ انتشار:	
بهار ۱۴۰۲	
۶۹-۵۳ (۱):	

### مقدمه

تریتیکاله، موفق‌ترین گیاه ساخت دست بشر، از خانواده غلات است که با هدف به دست آوردن محصولی با کیفیت برتر والد گندم و دارای تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی والد چاودار ایجاد شده است (Lelly, 2006). محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که ضمن کاهش رشد و عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Reddy et al., 2004)، می‌تواند به کاهش جمعیت میکروبی در خاک یک منطقه منجر شود

در چنین شرایطی نه‌تنها ریزجانداران از بین رفته خاک را جبران می‌کند (Seyed Sharifi and Namvar, 2017) بلکه می‌تواند با افزایش مقاومت گیاهان به تنش رطوبتی (Mayaka et al., 2004)، به بهبود کارایی استفاده از مواد غذایی در مناطق خشک و با حاصلخیزی کم کمک نماید (Dang et al., 2006). میکوریزا به‌عنوان یکی از کودهای

به تأثیر این ماده بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاس نسبت دادند. حبیبی و مجیدیان (Habibi and Majidian, 2014) اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست در مراحل اولیه رشد با فراهم نمودن عناصر غذایی، موجب افزایش رشد رویشی و شاخص سطح برگ و در دوره پر شدن دانه‌ها که حساس‌ترین مرحله در نیاز به نیتروژن و تشکیل مواد فتوسنتزی است، با تولید ماده خشک بیشتر، موجب افزایش تعداد و وزن دانه و عملکرد ذرت می‌شود.

سیلیسیوم یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود در پوسته زمین است که اثر مفید آن بر رشد گیاهان در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Rastogi et al., 2019). مطالعات نشان می‌دهد سیلیکون در افزایش تحمل تنش‌های خشکی و شوری از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Mitani et al., 2009). استفاده از نانو ذرات سیلیکون، به دلیل سهولت ورود به درون سلول‌های گیاهی و تحت تأثیر قرار دادن رشد و نمو از طریق متابولیسم گیاهی، می‌تواند در بهبود عملکرد کمی و کیفی مؤثر عمل کند (Cui et al., 2017). سیلیکون با رسوب در پهنای برگ، موجب افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش محتوای کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود و از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد (Nabati et al., 2013). با توجه به اینکه قسمت اعظم کلروفیل برگ در کلروپلاست قرار دارد، سیلیکون با حفظ انسجام کلروپلاست‌ها، به‌خصوص گرانا، موجب حفظ کلروفیل در این اندامک‌ها می‌شود (Savvas and Ntatsi, 2015). سیلیکون موجب افزایش تأمین مواد غذایی و تعادل عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در سلول می‌شود (Abdalla, 2010). این ماده همچنین موجب افزایش مقدار نیتروژن، منیزیم و آهن می‌شود (Goyal, 2012). منیزیم و نیتروژن در ساختار کلروفیل شرکت می‌کنند و آهن نیز یک عنصر ضروری برای تشکیل کلروفیل است. آلفا آمینولولینات پیش‌ماده کلروفیل است که سیلیسیوم با افزایش این ماده موجب افزایش کلروفیل می‌شود (Siqueira et al., 1999). لی و همکاران (Li et al., 2007) گزارش کردند کاربرد سیلیکون در شرایط تنش ضمن افزایش دوام برگ و دوره پر شدن دانه، در پایداری غشای سلول و کاهش نشت مواد سلولی و در نتیجه تداوم جریان مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده به سمت دانه و افزایش محتوای نسبی

زیستی، اثر مثبتی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان هم‌زیست داشته و با ایجاد شبکه گسترده هیفی، موجب افزایش جذب آب و مواد غذایی از طریق ریشه گیاهان و افزایش رشد گیاه در طول دوره تنش خشکی می‌شود (Miransari, 2010). همچنین انتشار میسلیم قارچ‌های میکوریزا در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به‌صورت مکمل بر سیستم ریشه‌ای گیاه، امکان بهره‌گیری از حجم بیشتری از خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند و این امر موجب افزایش رشد در قسمت‌های مختلف گیاه می‌شود (Cakir, 2004). مقدسیان و همکاران (Moghadasan et al., 2016) گزارش کردند میکوریزا از طریق ایجاد همزیستی با گیاه در جذب کارآمد برخی عناصر مانند فسفر که به‌عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرایند فتوسنتز مطرح است، ضمن بهبود محتوای کلروفیل و نرخ فتوسنتز، موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Naseri et al., 2017).

ورمی‌کمپوست نیز یکی دیگر از انواع کودهای زیستی مفید در بوم‌نظام‌های پایدار است که حاصل یک فرآیند نیمه-هوازی گونه‌ای کرم حلقوی قرمز با نام علمی *Eisenia foetida* است. ماده دفع شده توسط کرم خاکی، دارای ۱۱ تا ۱۵ مرتبه نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشتری نسبت به خاک‌های بدون ورمی‌کمپوست است (Haj Seyed Hadi and Taghi Darzi, 2017). ورمی‌کمپوست به دلیل ظرفیت بالا در حفظ آب، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی، تهویه و زهکشی مناسب، قابلیت دسترسی به نیتروژن و فسفر (Prabha et al., 2007)، برای بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی متداول است (Rahimi and Hashemi, 2016). همچنین ورمی‌کمپوست غنی از مواد مغذی مانند آهن و روی است که در سنتز کلروفیل نقش دارند (Theunissen et al., 2010). جهانگیری‌نیا و همکاران (Jahangiri Nia et al., 2017) بیان کردند استفاده هم‌زمان از ورمی‌کمپوست و میکوریزا با افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، بهبود محتوای رطوبت نسبی، شاخص سبزی‌نگی، طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم ساخته و در نهایت منجر به افزایش وزن نهایی دانه و عملکرد سویا می‌شود. درزی و همکاران (Darzi et al., 2006) افزایش ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و بهبود عملکرد دانه رازیانه در کاربرد ورمی‌کمپوست را

و میکوریزا) و محلول پاشی نانوسیلیکون در دو سطح (محلول- پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. محلول پاشی نانوسیلیکون در مراحل پنجه-دهی و ساقه‌دهی (به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) اعمال شد. کاشت در تاریخ ۳۰ آذر ۱۳۹۸ انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط و سطوح تیمار کم‌آبیاری انجام شد. خاک هر گلدان حاوی یک قسمت ماسه‌بادی، دو قسمت خاک معمولی و یک قسمت کود دامی بود. ابعاد گلدان‌ها به قطر ۴۰ سانتی-متر و ارتفاع ۴۵ سانتی-متر بود. پس از تهیه مخلوط خاک، مقدار ۱۸ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شد. جهت اعمال تیمار میکوریزا از قارچ *Funneliformis mosseae* استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جداشده از ریشه-های آلوده بود. بر اساس توصیه شرکت زیست فناوری توران مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲/۵۱ گرم در هر گلدان) بود. در هر گلدان ۵۰ بذر تریتیکاله رقم سناباد برای رسیدن به تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع که مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، کشت شد (Kheirizadeh, 2016). در طول دوره رشد علف‌های هرز به طریق دستی کنترل شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. همچنین مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش ۱۰ تن در هکتار بود (Adebifar, 2019) که از شرکت گیلدا خریداری و مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

آب مؤثر است. اپستین و بلوم (Epstein and Bloom, 2005) گزارش کردند کاربرد سیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی، از طریق افزایش شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز را افزایش داده و با انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌زایشی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم می‌شود. در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک مصادف شدن مراحل حساس رشد زایشی تریتیکاله با شرایط آب و هوایی گرم و خشک تابستان و نقش کودهای زیستی و نانوسیلیکون در تعدیل یا کاهش اثر محدودیت آبی، بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد، مؤلفه‌های پر شدن دانه و محتوای کلروفیل در سطوح مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن یا آبستنی و سنبله‌دهی به ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی بر اساس کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس<sup>۱</sup> BBCH)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست

Table 1. Result for vermicompost analysis

مشخصه	کادمیوم	سرب	روی	مس	منگنز	آهن	اسیدپته
Characteristic	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	EC
				mg.kg <sup>-1</sup>			dS.m <sup>-1</sup>
مقادیر	1	19	110	20	275	5000	1.12
مشخصه	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن الی	کربن به نیتروژن
Characteristic	Mg	Ca	K	P	N	OC	C/N
				%			
مقادیر	0.95	2.73	0.4	0.4	1.55	32.9	21.25

<sup>1</sup> Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry; BBCH

داده‌ها به کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (2003) استفاده شد. مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش توأم کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر محتوای کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید و همچنین مؤلفه‌های پر شدن دانه (حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۴). همچنین، برهم‌کنش توأم کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

### محتوای کلروفیل

نتایج نشان داد کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به ترتیب ۶۱/۰۲، ۴۳/۱۷، ۵۵/۹۷ و ۵۵/۸ درصدی محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۳). برخی محققان کاهش محتوای رنگیزه‌ها در شرایط محدودیت آبی را به سنتز آهسته کلروفیل یا تخریب کلروپلاست‌ها طی بروز تنش اکسیداتیو نسبت داده‌اند (Miller et al., 2010). برخی معتقدند در شرایط تنش رطوبتی، گیاه با بسته نگاه‌داشتن روزنه‌ها سعی در حفظ محتوای آب نسبی دارد، ولی در چنین وضعیتی انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشا سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل می‌شود (Ghosh et al., 2004). برخی کاهش محتوای کارتنوئید در شرایط تنش را به اکسیده شدن آن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها نسبت داده‌اند (Wang et al., 2010) که احتمالاً دلیل کاهش محتوای کارتنوئیدها در آزمایش ما بود. به نظر می‌رسد بخشی از افزایش محتوای کلروفیل در کاربرد ورمی‌کمپوست مربوط به

به‌منظور تعیین مؤلفه‌های پر شدن دانه پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه معادل با کد ۷۱ از مقیاس BBCH، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، دو بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند. بعد به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای  $70 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Nline Proc نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad [1]$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه،  $t_0$  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  $t_0$  که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ( $t_0 > t$ ) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی ( $t_0$ ) به‌دست‌آمده و سپس مقدار عددی  $t_0$  در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = \frac{MGW}{b} \quad [2]$$

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ پرچم با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی تعداد ۸ بوته به‌ظاهر یکنواخت و مشابه که به‌طور تصادفی در هر گلدان مشخص شده بود برداشت شد، سپس صفات مختلف مانند ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک‌بوته در این بوته‌ها اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل

می‌شود (Gong et al., 2005). در این زمینه آل آقاباری و همکاران (AL-Aghabary et al., 2004) افزایش کلروفیل b در تیمار با سیلیکون در گوجه‌فرنگی را به اثر این ماده در افزایش کارایی فتوسیستم II تحت شرایط تنش نسبت دادند. حاجی‌بلند و همکاران (Hajiboland et al., 2017) افزایش محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید در گندم را به اثر سیلیکون در بهبود ساختار ریشه و تنظیم اسمزی تحت شرایط تنش نسبت دادند.

#### مؤلفه‌های پرشدن دانه

بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی) پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و تا پایان دوره رشد بدون تغییر باقی ماند (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد توأم ورمی-کمپوست، میکوریزا و محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به ترتیب موجب افزایش ۵۴/۷۸، ۱۶/۲۶ و ۴۶/۱۶ درصدی حداکثر وزن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۵).

عناصر ریزمغذی موجود در آن به خصوص از نظر آهن و روی باشد (جدول ۱) که در سنتز کلروفیل نقش دارند (Theunissen et al., 2010).

در این زمینه نوربخش و همکاران (Nourbakhsh et al., 2016) اظهار داشتند کاربرد ورمی کمپوست علاوه بر فراهم نمودن مقدار زیادی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، با تعدیل pH خاک موجب می‌شود جذب بسیاری از ریزمغذی‌ها مانند روی و آهن افزایش یابد که در ساختار کلروفیل، سیتوکروم‌ها و چرخه فتوسنتزی نقش دارند. احمدپور سفیدکوهی و همکاران (Ahmadpoor et al., 2013) افزایش محتوای کلروفیل برگ گندم در کاربرد ورمی کمپوست را، به تأثیر این ماده در افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم نسبت دادند. به نظر می‌رسد بالا بودن میزان نیتروژن، فسفر، آهن و منگنز در ورمی کمپوست مورد استفاده (جدول ۱) از دلایل اصلی افزایش محتوای کلروفیل تحت چنین شرایطی باشد. بهبود محتوای کلروفیل در گیاهان مختلف زراعی با کاربرد سیلیکون به ویژه تحت شرایط تنش غیرزنده توسط محققین متعدد گزارش شده است (Habibi, 2015; Kalteh et al., 2014; Li et al., 2012). سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ موجب تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ، به تأخیر انداختن مرگ برگی و افزایش در محتوای کلروفیل

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر محتوای کلروفیل تریتیکاله.

Table 2. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on chlorophyll content of triticale.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S			
			کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid
Replication	تکرار	2	2.38**	0.28**	4.32**	0.45**
Irrigation levels (I)	سطوح آبیاری	2	0.69**	0.073**	1.21**	0.11**
Bio fertilizers (B)	کودهای زیستی	3	0.65**	0.058**	1.08**	0.11**
Nano Silicon (N)	نانوسیلیکون	1	0.23**	0.021**	0.39**	0.039**
I×B	آبیاری × کودهای زیستی	6	0.037**	0.0015**	0.053**	0.002**
I×N	آبیاری × نانوسیلیکون	2	0.002 <sup>ns</sup>	0.0015**	0.005 <sup>ns</sup>	0.0009 <sup>ns</sup>
B×N	کودهای زیستی × نانوسیلیکون	3	0.02**	0.0004 <sup>ns</sup>	0.027**	0.0019**
I×B×N	آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون	6	0.008*	0.0014**	0.016**	0.0015**
Error	خطا	46	0.0022	0.00021	0.0038	0.00036
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	8.02	12.67	9.91	10.8

ns, \* and \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر محتوای کلروفیل تریتیکاله.  
Table 3. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on chlorophyll content triticale.

ترکیب تیماری	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
Treatments	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoid
	mg.g <sup>-1</sup> FW			
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	1.469 <sup>hi</sup>	0.499 <sup>ij</sup>	1.968 <sup>ik</sup>	0.639 <sup>mno</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	1.587 <sup>fg</sup>	0.548 <sup>fg</sup>	2.135 <sup>gh</sup>	0.683 <sup>ijkl</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	1.841 <sup>a</sup>	0.619 <sup>b</sup>	2.460 <sup>abc</sup>	0.783 <sup>cde</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	1.850 <sup>a</sup>	0.647 <sup>a</sup>	2.497 <sup>ab</sup>	0.815 <sup>ab</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	1.711 <sup>cd</sup>	0.582 <sup>de</sup>	2.293 <sup>ef</sup>	0.726 <sup>ghi</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	1.845 <sup>a</sup>	0.644 <sup>a</sup>	2.489 <sup>ab</sup>	0.786 <sup>bcd</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	1.850 <sup>a</sup>	0.647 <sup>a</sup>	2.497 <sup>ab</sup>	0.815 <sup>ab</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	1.855 <sup>a</sup>	0.650 <sup>a</sup>	2.505 <sup>a</sup>	0.818 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	1.233 <sup>mn</sup>	0.454 <sup>hm</sup>	1.687 <sup>op</sup>	0.551 <sup>stu</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	1.392 <sup>ij</sup>	0.512 <sup>hi</sup>	1.904 <sup>kl</sup>	0.582 <sup>qrs</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	1.670 <sup>de</sup>	0.535 <sup>gh</sup>	2.205 <sup>fg</sup>	0.713 <sup>hij</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	1.793 <sup>ab</sup>	0.608 <sup>bc</sup>	2.401 <sup>bcd</sup>	0.768 <sup>def</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	1.313 <sup>kl</sup>	0.477 <sup>ijkl</sup>	1.790 <sup>mn</sup>	0.611 <sup>opq</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	1.548 <sup>g</sup>	0.535 <sup>gh</sup>	2.083 <sup>hi</sup>	0.669 <sup>klm</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	1.798 <sup>ab</sup>	0.571 <sup>ef</sup>	2.690 <sup>cde</sup>	0.741 <sup>fgh</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	1.802 <sup>ab</sup>	0.631 <sup>ab</sup>	2.433 <sup>abcd</sup>	0.800 <sup>abc</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	1.152 <sup>o</sup>	0.454 <sup>n</sup>	1.606 <sup>o</sup>	0.525 <sup>u</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	1.193 <sup>no</sup>	0.428 <sup>lm</sup>	1.621 <sup>op</sup>	0.566 <sup>rst</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	1.430 <sup>ij</sup>	0.488 <sup>jk</sup>	1.918 <sup>ik</sup>	0.624 <sup>nop</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	1.627 <sup>ef</sup>	0.559 <sup>ef</sup>	2.186 <sup>g</sup>	0.697 <sup>ijk</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	1.273 <sup>lm</sup>	0.440 <sup>mn</sup>	1.714 <sup>no</sup>	0.537 <sup>tu</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	1.353 <sup>jk</sup>	0.465 <sup>kl</sup>	1.818 <sup>lm</sup>	0.596 <sup>pqr</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	1.509 <sup>gh</sup>	0.523 <sup>h</sup>	2.032 <sup>ij</sup>	0.655 <sup>lmn</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	1.753 <sup>bc</sup>	0.595 <sup>cd</sup>	2.348 <sup>de</sup>	0.754 <sup>efg</sup>
LSD	0.078	0.024	0.101	0.031

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> و B<sub>4</sub> به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N<sub>1</sub> و N<sub>2</sub> به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub> are normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at booting stage, respectively. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>4</sub> are no application of bio-fertilizers, application of vermicompost, *mycorrhizae* and both application vermicompost and *mycorrhizae*, respectively. N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub> are no foliar application, foliar application nano-silicon, respectively

کلیدی درگیر در هیدرولیز فروکتان و سنتز ساکارز توسط هورمون‌ها نسبت داده‌اند (Yang and Zhang, 2006; Yang et al., 2001). در این راستا یانگ و همکاران (Yang et al., 2004) گزارش دادند افزایش سرعت پر شدن دانه تحت تنش خشکی بیشتر ناشی از افزایش قدرت مخزن به-واسطه تنظیم آنزیم‌های درگیر در تبدیل ساکارز به نشاسته است که فعالیت این آنزیم‌ها معمولاً همبستگی مثبتی با افزایش غلظت هورمون آبسزیک اسید در دانه‌ها دارد. به نظر می‌رسد گیاه برای مقابله با شرایط تنش طول دوران رشدی خود را کوتاه می‌کند و بخشی از اثر ناشی از کوتاهی طول دوران رشدی به‌صورت کاهش در مؤلفه‌های پر

بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۰۶ گرم در روز) در کاربرد ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۰/۰۰۱۸۶ گرم در روز) در عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول ۵). ناصری و همکاران (Naseri et al., 2017) علت بالا بودن سرعت پر شدن دانه گندم در بوته‌های تلقیح شده با قارچ میکوریزا را به افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، پتاسیم و نیتروژن و همچنین بهبود محتوای کلروفیل نسبت دادند. برخی محققان افزایش سرعت پر شدن دانه در شرایط محدودیت آبی را به افزایش فعالیت آنزیم‌های



شدن دانه از جمله کاهش طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه  
ظاهر می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط قمرنیا و همکاران  
(Ghamarnia et al., 2012) مبنی بر اینکه طولانی‌تر بودن  
دوره پر شدن دانه می‌تواند با انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از  
مبدأ به مقصد توجیه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه باشد،  
گزارش شده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر مؤلفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله.

Table 4. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on grain filling components of triticale.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S			
			حداکثر وزن دانه maximum of grain weight	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period
Replication	تکرار	2	$3.1 \times 10^{-3**}$	$3.62 \times 10^{-6**}$	$2065.4**$	$838.9**$
Irrigation levels (I)	سطوح آبیاری	2	$8.5 \times 10^{-4**}$	$5.78 \times 10^{-9**}$	$84.6**$	$200.4**$
Bio fertilizers (B)	کودهای زیستی	3	$6.3 \times 10^{-4**}$	$5.88 \times 10^{-9**}$	$56.4**$	$145.8**$
Nano Silicon (N)	نانوسیلیکون	1	$2.7 \times 10^{-4**}$	$1.62 \times 10^{-8**}$	$14.8**$	$45.3**$
I×B	آبیاری × کودهای زیستی	6	$1.7 \times 10^{-5**}$	$1.1 \times 10^{-8**}$	$2.4**$	$5.7**$
I×N	آبیاری × نانوسیلیکون	2	$4.7 \times 10^{-6ns}$	$5.66 \times 10^{-9**}$	$0.8*$	$1.4^{ns}$
B×N	کودهای زیستی × نانوسیلیکون	3	$8.7 \times 10^{-6**}$	$7.66 \times 10^{-10**}$	$1.03**$	$2.5**$
I×B×N	آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون	6	$5.5 \times 10^{-6**}$	$1.01 \times 10^{-8**}$	$2.1**$	$4.1**$
Error	خطا	46	$2.3 \times 10^{-6**}$	$1.07 \times 10^{-10**}$	0.22	0.55
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	9.66	10.53	9.02	7.51

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.  
ns, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

همکاران (Tsunno et al., 1994) افزایش محتوای کلروفیل را توجیه‌کننده بخشی از افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه عنوان کردند. چو و همکاران (Cho et al., 1987) اظهار داشتند بالا نگه‌داشتن میزان کلروفیل برگ‌ها و تأخیر در پیری برگ‌ها موجب افزایش میزان اسیمیلاسیون، بالا رفتن نقل‌وانتقال مواد به دانه شده (Murchie et al., 2002) و در نهایت می‌تواند وزن تک بذر، سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه را افزایش دهد. در این بررسی به نظر می‌رسد بالا بودن طول دوره پر شدن دانه در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توأم نانوسیلیکون و ورمی کمپوست می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه و به دنبال آن عملکرد دانه باشد.

#### ارتفاع بوته و طول سنبله

کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر ارتفاع بوته و طول سنبله تریتیکاله در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). کاربرد توأم ورمی کمپوست، میکوریزا و

جهانگیری‌نیا و همکاران (Jahangiri Nia et al., 2017) نیز بیان کردند کاربرد تلفیقی ورمی کمپوست و میکوریزا به دلیل بهبود شرایط رشد و طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم کرده و در نهایت منجر به افزایش وزن نهایی دانه سویا شد. همچنین این محققان طولانی شدن دوره مؤثر پر شدن دانه را به افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی نسبت دادند. حبیبی و مجیدیان (Habibi and Majidian, 2014) اظهار داشتند فراهم بودن عناصر غذایی و بهبود خواص بیولوژیکی، فیزیولوژیکی و شیمیایی خاک به دلیل استفاده از ورمی-کمپوست موجب می‌شود که گیاه با شرایط بهینه در زمان پر شدن دانه‌ها مواجه شده و با تولید ماده خشک بیشتر، موجب سنگینی دانه‌های ذرت شود. بخشی از افزایش وزن و دوره پر شدن دانه می‌تواند ناشی از تأثیر سیلیکون بر افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل باشد (جدول ۳). در این راستا تسونو و

(et al., 2000). ولی کاربرد میکوریزا با انتشار میسلیوم‌های مرتبط با بافت‌های درونی ریشه در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل بر سیستم ریشه‌های گیاه، امکان بهره‌گیری از رطوبت و مواد غذایی را در حجم بیشتری از خاک که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند، ممکن می‌سازد و همین امر موجب افزایش رشد در قسمت‌های مختلف گیاه از جمله افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله‌ها می‌شود (Cakir, 2004).

محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل دارای بیش‌ترین ارتفاع بوته و طول سنبله (به ترتیب ۹۲/۳۳ و ۶۷/۵ سانتی‌متر) بود که این ترکیب تیماری به ترتیب از افزایش ۳۶/۷۸ و ۴۵/۸۳ درصدی ارتفاع بوته و طول سنبله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بودند (جدول ۷). به نظر می‌رسد کمبود آب با کاهش آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه ارتفاع بوته کاهش پیدا می‌کند (Desuloux

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر مؤلفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله.

Table 5. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on grain filling components triticale.

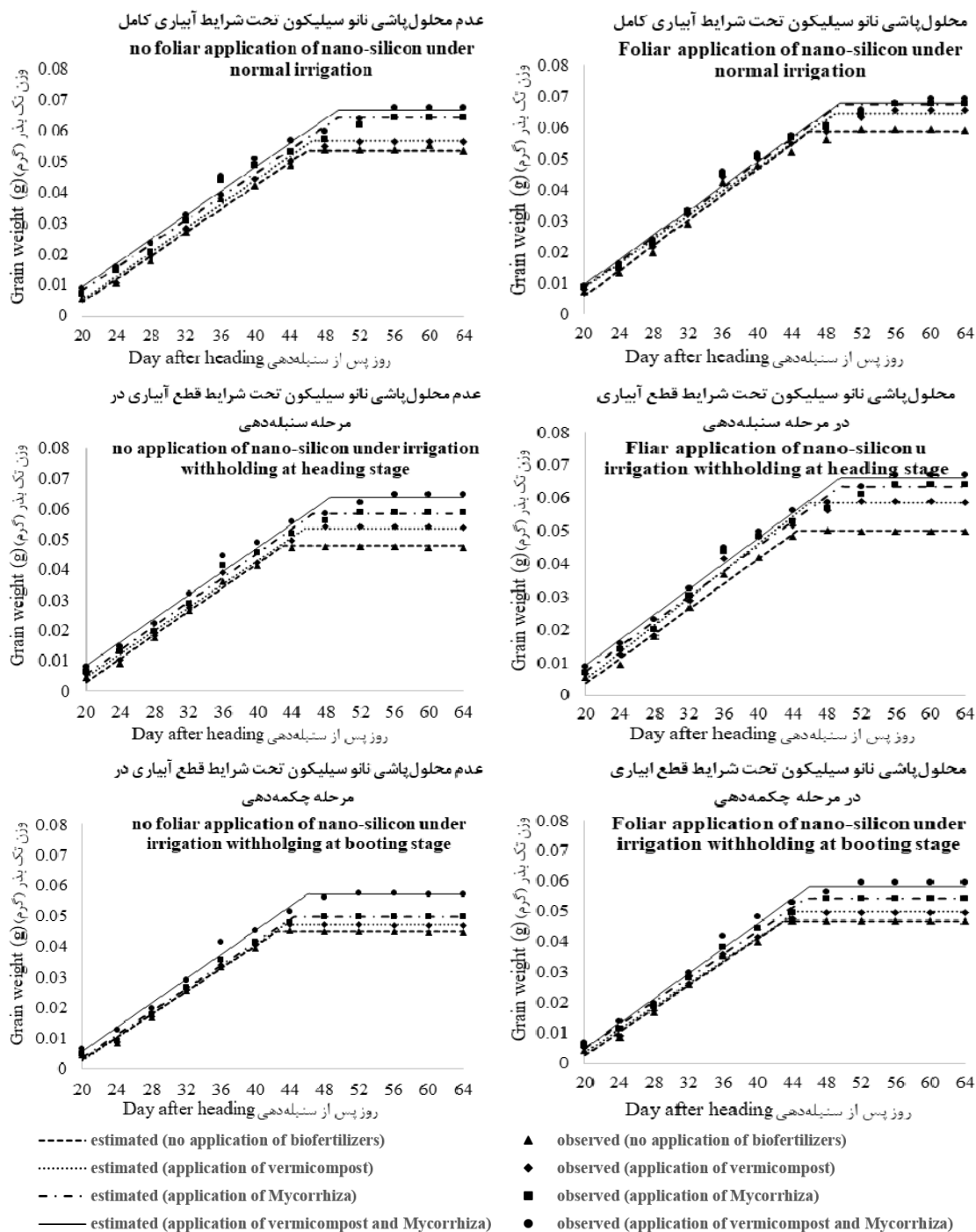
ترکیب تیماری Treatments	حداکثر وزن دانه maximum of grain weight g	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate g.day <sup>-1</sup>	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period day	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	معادله برازش شده Estimated Equation
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0540 <sup>h</sup>	0.00190 <sup>kl</sup>	46.21 <sup>cd</sup>	28.42 <sup>e</sup>	Y=0.0019x-0.0337
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0565 <sup>gh</sup>	0.00195 <sup>fg</sup>	46.26 <sup>c</sup>	28.97 <sup>de</sup>	Y=0.00195x-0.0339
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0645 <sup>d</sup>	0.00191 <sup>jk</sup>	49.32 <sup>ab</sup>	33.76 <sup>bc</sup>	Y=0.00191x-0.0302
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0674 <sup>abc</sup>	0.00195 <sup>fg</sup>	49.29 <sup>ab</sup>	34.56 <sup>abc</sup>	Y=0.00195x-0.0297
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0593 <sup>ef</sup>	0.00203 <sup>b</sup>	46.05 <sup>cd</sup>	29.21 <sup>de</sup>	Y=0.00203x-0.0346
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0655 <sup>bed</sup>	0.0194 <sup>gh</sup>	49.13 <sup>ab</sup>	33.76 <sup>bc</sup>	Y=0.00194x-0.0303
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0677 <sup>ab</sup>	0.00198 <sup>cd</sup>	49.28 <sup>ab</sup>	34.19 <sup>abc</sup>	Y=0.00198x-0.0306
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0695 <sup>a</sup>	0.00197 <sup>de</sup>	49.60 <sup>a</sup>	35.27 <sup>a</sup>	Y=0.00197x-0.0297
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0477 <sup>ijk</sup>	0.00196 <sup>ef</sup>	42.72 <sup>f</sup>	24.33 <sup>g</sup>	Y=0.00196x-0.0364
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0542 <sup>h</sup>	0.00193 <sup>hi</sup>	45.79 <sup>cd</sup>	28.08 <sup>e</sup>	Y=0.00193x-0.0341
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0590 <sup>efg</sup>	0.00199 <sup>c</sup>	46.47 <sup>c</sup>	29.64 <sup>d</sup>	Y=0.00199x-0.0341
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0649 <sup>cd</sup>	0.00194 <sup>gh</sup>	48.72 <sup>b</sup>	33.45 <sup>c</sup>	Y=0.00194x-0.00303
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0502 <sup>i</sup>	0.00190 <sup>kl</sup>	44.29 <sup>e</sup>	26.42 <sup>f</sup>	Y=0.0019x-0.0342
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0591 <sup>ef</sup>	0.00205 <sup>a</sup>	45.93 <sup>cd</sup>	28.68 <sup>de</sup>	Y=0.00206x-0.0360
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0644 <sup>d</sup>	0.00191 <sup>jk</sup>	49.32 <sup>ab</sup>	33.71 <sup>bc</sup>	Y=0.00191x-0.0308
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0672 <sup>abc</sup>	0.00193 <sup>hi</sup>	49.56 <sup>a</sup>	34.81 <sup>ab</sup>	Y=0.00193x-0.0292
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0449 <sup>l</sup>	0.00186 <sup>n</sup>	42.66 <sup>f</sup>	24.13 <sup>g</sup>	Y=0.00186x-0.0345
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0469 <sup>kl</sup>	0.00189 <sup>lm</sup>	43.35 <sup>f</sup>	24.81 <sup>g</sup>	Y=0.00189x-0.0353
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0495 <sup>ij</sup>	0.00189 <sup>lm</sup>	44.46 <sup>e</sup>	26.19 <sup>f</sup>	Y=0.00189x-0.0344
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	0.0571 <sup>fg</sup>	0.00198 <sup>cd</sup>	45.88 <sup>cd</sup>	28.83 <sup>de</sup>	Y=0.00198x-0.0341
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0471 <sup>ijkl</sup>	0.00192 <sup>ij</sup>	43.06 <sup>f</sup>	24.53 <sup>g</sup>	Y=0.00192x-0.0355
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0497 <sup>i</sup>	0.00188 <sup>m</sup>	44.43 <sup>e</sup>	26.43 <sup>f</sup>	Y=0.00188x-0.0337
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0544 <sup>h</sup>	0.00194 <sup>gh</sup>	45.46 <sup>d</sup>	28.04 <sup>e</sup>	Y=0.00194x-0.0338
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	0.0598 <sup>e</sup>	0.00206 <sup>a</sup>	45.95 <sup>cd</sup>	29.17 <sup>df</sup>	Y=0.00205x-0.0348
LSD	0.0025	0.0000171	0.77	1.22	-

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub>، B<sub>3</sub> و B<sub>4</sub> به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N<sub>1</sub> و N<sub>2</sub> به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub> are normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at booting stage, respectively. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>4</sub> are no application of bio-fertilizers, application of vermicompost, mycorrhizae and both application vermicompost and mycorrhizae, respectively.

N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub> are no foliar application, foliar application nano-silicon, respectively.



شکل ۱. تأثیر کاربرد کودهای زیستی، نانو سیلیکون و سطوح آبیاری بر پر شدن دانه.

Fig. 1. Effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on grain filling

ماده خشک بیشتر به افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله می-انجامد (Monaghash et al., 2015). گانگ و همکاران (Gong et al., 2005) نشان دادند سیلیکون از طریق بهبود

برخی محققان اثر ورمی کمپوست در افزایش ارتفاع بوته را به بهبود فعالیت میکروبی در خاک و نیز فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی نسبت داده‌اند که ضمن کمک به افزایش محتوای کلروفیل و میزان فتوسنتز، در نهایت از طریق تولید

درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به ترتیب ۶۱/۸ و ۴۴/۱۱ درصدی تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۷).

توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، رشد و ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد.

#### تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه در سطح احتمال یک

جدول ۶. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر عملکرد و برخی صفات تربیتیکاله.

Table 6. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on yield and some traits of triticale.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S				
			ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Ear length	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن صد دانه 100 grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	2	5998.6**	77**	2181.9**	24.1**	10.3**
Irrigation levels (I)	سطوح آبیاری	2	803**	12.2**	441.7**	3.5**	2.5**
Bio fertilizers (B)	کودهای زیستی	3	828.1**	19.1**	744.8**	4.4**	3.08**
Nano Silicon (N)	نانوسیلیکون	1	254.7**	3.4**	189.3**	1.5**	1.9**
I×B	آبیاری × کودهای زیستی	6	17.6**	0.24**	7**	0.1**	0.039**
I×N	آبیاری × نانوسیلیکون	2	30.7**	0.23**	3.2 <sup>ns</sup>	0.063*	0.017 <sup>ns</sup>
B×N	کودهای زیستی × نانوسیلیکون	3	6.4 <sup>ns</sup>	0.053 <sup>ns</sup>	6.2*	0.056*	0.053**
I×B×N	آبیاری × کودهای زیستی × نانوسیلیکون	6	16.9**	0.31**	11.7**	0.048*	0.057**
Error	خطا	46	2.68	0.041	1.99	0.013	0.0099
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	8.07	7.27	11.96	10.3	9.13

<sup>ns</sup>, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

اظهار داشتند اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و مدت کوتاهی پس از آن، از طریق عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در گرده‌افشانی، موجب کاهش فتوسنتز جاری و تعداد دانه در سنبله می‌شود. از طرفی کاربرد میکوریزا تحت شرایط تنش با بهبود محتوای کلروفیل (جدول ۳) و افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها (جدول ۵) موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه منجر می‌شود.

بخشی از بهبود تعداد دانه در سنبله و افزایش وزن صد دانه در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از عناصر موجود در این ترکیب باشد که ضمن افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۳) امکان افزایش طول دوره پر شدن دانه (شکل ۱) و به تبع از آن افزایش وزن دانه (جدول ۵) و در نهایت افزایش

به نظر می‌رسد بخشی از کاهش وزن صد دانه در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و خوشه‌دهی می‌تواند ناشی از تأثیر قطع آبیاری بر مؤلفه‌های پر شدن دانه باشد، طوری که بررسی طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه نشان می‌دهد با افزایش شدت محدودیت آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی)، طول دوره مؤثر پر شدن دانه کاهش یافت (جدول ۵). در این زمینه بررسی‌های گونزالس و همکاران (Gonzalez et al., 2007) نشان داد بروز محدودیت آبی در انتهای فصل رشد به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها، اختلال در فتوسنتز جاری، تسریع پیری برگ‌ها و در نهایت چروکیدگی دانه‌ها موجب کاهش وزن هزار دانه مختلف گندم شد. ریچاردز و همکاران (Richards et al., 2001)

عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست در طی دوره پر شدن دانه‌ها که حساس‌ترین مرحله در جذب نیتروژن و تشکیل مواد فتوسنتزی است، با تولید ماده خشک بیشتر موجب افزایش تعداد دانه، سنگینی دانه‌ها و افزایش وزن هزار دانه شود. اپستین و بلوم (Epstein and Bloom, 2005) اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی با انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌زایشی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم می‌شود.

وزن صد دانه را موجب شده است. درزی و همکاران (Darzi et al., 2006) اظهار داشتند ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری بالای رطوبت و دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاس بر روی افزایش ارتفاع، وزن هزار دانه و عملکرد دانه می‌شود. حبیبی و مجیدیان (Habibi and Majidian, 2014) گزارش کردند بهبود خواص بیولوژیکی، فیزیولوژیکی و شیمیایی خاک به دلیل استفاده از ورمی کمپوست و فراهم بودن عناصر غذایی به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، موجب افزایش رشد رویشی و شاخص سطح برگ می‌شود و در مراحل بعدی آزادسازی

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر عملکرد و برخی صفات تریتیکاله.

Table 7. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers, nano-silicon and irrigation levels on yield and some traits triticale.

ترکیب تیماری Treatments	ارتفاع بوته Plant height cm	طول سنبله Ear length cm	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن صد دانه 100 grains weight g	عملکرد دانه Grain yield g pl <sup>-1</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	72 <sup>jk</sup>	8.19 <sup>lm</sup>	42.55 <sup>lm</sup>	4.61 <sup>no</sup>	2.94 <sup>jk</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	80 <sup>gh</sup>	9.08 <sup>hi</sup>	46.35 <sup>ij</sup>	4.99 <sup>kl</sup>	3.16 <sup>hi</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	85 <sup>de</sup>	9.95 <sup>cd</sup>	53.65 <sup>de</sup>	5.38 <sup>efg</sup>	3.60 <sup>de</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	91 <sup>ab</sup>	10.30 <sup>ab</sup>	58.25 <sup>a</sup>	5.86 <sup>ab</sup>	4.02 <sup>a</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	82 <sup>fg</sup>	9.40 <sup>fgh</sup>	48.85 <sup>gh</sup>	5.01 <sup>ijk</sup>	3.47 <sup>ef</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	87.1 <sup>cd</sup>	9.98 <sup>bcd</sup>	53.72 <sup>de</sup>	5.67 <sup>bcd</sup>	3.79 <sup>bc</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	92 <sup>a</sup>	10.30 <sup>ab</sup>	56.02 <sup>abc</sup>	5.86 <sup>ab</sup>	4.01 <sup>a</sup>
I <sub>1</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	92.3 <sup>a</sup>	10.50 <sup>a</sup>	58.25 <sup>a</sup>	5.88 <sup>a</sup>	4.02 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	68.1 <sup>l</sup>	7.52 <sup>opq</sup>	38.55 <sup>op</sup>	4.30 <sup>qr</sup>	2.60 <sup>mn</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	77.1 <sup>i</sup>	8.87 <sup>ij</sup>	41.10 <sup>mn</sup>	4.80 <sup>lmn</sup>	2.75 <sup>lm</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	78 <sup>hi</sup>	8.90 <sup>ij</sup>	47.65 <sup>hi</sup>	4.80 <sup>lmn</sup>	3.28 <sup>gh</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	84.5 <sup>def</sup>	9.60 <sup>ef</sup>	54.92 <sup>bed</sup>	5.57 <sup>cde</sup>	3.70 <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	69.4 <sup>kl</sup>	7.85 <sup>no</sup>	41.25 <sup>mn</sup>	4.51 <sup>op</sup>	3.03 <sup>ij</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	76.3 <sup>i</sup>	8.52 <sup>kl</sup>	45.10 <sup>jk</sup>	5.10 <sup>hij</sup>	3.04 <sup>ij</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	83.8 <sup>ef</sup>	9.57 <sup>efg</sup>	51.45 <sup>ef</sup>	5.29 <sup>fgh</sup>	3.51 <sup>ef</sup>
I <sub>2</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	89 <sup>bc</sup>	10.14 <sup>bc</sup>	57.15 <sup>ab</sup>	5.76 <sup>abc</sup>	3.90 <sup>ab</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>1</sub>	67.5 <sup>l</sup>	7.20 <sup>q</sup>	36 <sup>q</sup>	4.08 <sup>s</sup>	2.52 <sup>n</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>1</sub>	69.4 <sup>kl</sup>	7.68 <sup>op</sup>	39.65 <sup>no</sup>	4.20 <sup>qrs</sup>	2.55 <sup>n</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>1</sub>	73 <sup>j</sup>	8.36 <sup>klm</sup>	43.80 <sup>kl</sup>	4.70 <sup>mno</sup>	2.84 <sup>kl</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>1</sub>	80.4 <sup>gh</sup>	9.24 <sup>gh</sup>	50.17 <sup>fg</sup>	5.19 <sup>ghi</sup>	3.38 <sup>fg</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>1</sub> ×N <sub>2</sub>	67.9 <sup>l</sup>	7.36 <sup>pq</sup>	37.25 <sup>pq</sup>	4.17 <sup>rs</sup>	2.66 <sup>mn</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>2</sub> ×N <sub>2</sub>	70 <sup>kl</sup>	8.03 <sup>mn</sup>	39.80 <sup>no</sup>	4.39 <sup>pq</sup>	2.84 <sup>kl</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>3</sub> ×N <sub>2</sub>	75.9 <sup>i</sup>	8.69 <sup>jk</sup>	50.17 <sup>fg</sup>	4.89 <sup>klm</sup>	3.37 <sup>fg</sup>
I <sub>3</sub> ×B <sub>4</sub> ×N <sub>2</sub>	85.4 <sup>de</sup>	9.78 <sup>df</sup>	52.55 <sup>e</sup>	5.48 <sup>def</sup>	3.69 <sup>cd</sup>
LSD	2.69	0.33	2.32	0.19	0.16

I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub>، B<sub>3</sub> و B<sub>4</sub> به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. N<sub>1</sub> و N<sub>2</sub> به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub> are normal irrigation, irrigation withholding at heading stage and irrigation withholding at booting stage, respectively.

B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>4</sub> are no application of bio-fertilizers, application of vermicompost, *mycorrhizae* and both application vermicompost and *mycorrhizae*, respectively.

N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub> are no foliar application, foliar application nano-silicon, respectively

تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز را افزایش داده و موجب انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌زایی شده و در نهایت تولید دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم را افزایش می‌دهد. کالته و همکاران (Kalteh et al., 2014) بیان داشتند محلول‌پاشی نانو دی-اکسید سیلیکون با افزایش تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش کارایی دستگاه‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید (جدول ۳) و بهبود تعداد دانه در سنبله (جدول ۷) و مؤلفه‌های پر شدن دانه (شکل ۱ و جدول ۵) موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

#### نتیجه‌گیری نهایی

کاربرد کودهای زیستی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با افزایش محتوای کلروفیل برگ پرچم (محتوای کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید) موجب بهبود فتوسنتز و بالا رفتن نقل‌وانتقال مواد در گیاه می‌شود. در چنین شرایطی افزایش نقل‌وانتقال مواد به دانه می‌تواند از دلایل اصلی افزایش مؤلفه‌های پر شدن دانه (مانند سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) و عملکرد دانه باشد

فلاح و همکاران (Fallah et al., 2004) اظهار داشتند که سیلیکون از طریق کاهش اثر تنش خشکی، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله را افزایش داد. برخی محققان اظهار داشتند که سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی، از طریق تسریع و تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌زایی، موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Gong et al., 2003).

#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). بیش‌ترین عملکرد دانه (۴/۰۲ گرم در بوته) در ترکیب تیماری کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۷) که این ترکیب تیماری از افزایش ۵۹/۵۲ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد سیلیکون از طریق کاهش تخریب رنگ‌دانه‌ها (Bybordi, 2016) و میکوریزا از طریق تخصیص کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان آغشته به قارچ‌های میکوریزا موجب می‌شود این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند (Wright et al., 1998). اپستین و بلوم (Epstein and Bloom, 2005) اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط

#### منابع

- Abdalla, M.M., 2010. Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. Agriculture and Biology Journal of North America. 1, 1076-1089.
- Adebifar, M., 2019. Effect of different level of nitrogen and vermicompost on quantitative and qualitative traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Crop Nutrition Science. 5, 45-60.
- Ahmadpoor Sefidkoochi, A., Ghahjar Sepanlou, M., Bahmanyar, M.A., 2013. Term application of organic and inorganic fertilizer on the amount of nitrogen, phosphor and potassium and growth characteristics of wheat. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 22, 71-86. [In Persian with English summary].
- AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., Qinhu, 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, 21011-2115.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121.
- 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, 832-850.
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89, 1-16.
- Cho, D.S., Jong, S.K., Park, Y.K., Son, S., 1987. Studies on the duration and rate of grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). I. Varietal difference and effects of nitrogen. *Korean Crop Science*. 32, 103-111.
- Cui, J., Liu, T., Li, F., Yi, J., Liu, C., Yu, H., 2017. Silica nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice cells: mechanisms and size effects. *Environmental Pollution*. 228, 363-369.
- Dang, T.H., Cai, G.S., Guo, M.D., Heng, L.K., 2006. Effects of nitrogen management on yield and water use efficiency of rain fed wheat and maize in Northwest China. *Pedosphere*. 16, 495-504.
- Darzi, M.T., Ghalavand, A., Rejali, F., Sefidkon, F., 2006. Effects of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 22, 276-292. [In Persian with English Summary].
- Desuloux, D., Huynh, T.T., Roumet, P., 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*. 40, 716-722.
- Elliott, L.F., Wildung, R.E., 1992. What biotechnology means for soil and water conservation? *Journal of Soil Water Conservation*. 47, 17-20.
- Ellis, R.H., Pieta-Filho, C., 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*. 2, 19-25.
- Epstein, E., Bloom, A., 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd ed. Sinecure Associates, Sunderland, Mass: Sinauer Associates, Inc.
- Fallah, A., Visperas, R.M., Alejar, A.A., 2004. The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). *The Philippine Agricultural Scientist*. 87, 174-176.
- Ghamarnia, H., Jalili, Z., Diachin, S., 2012. The effects of saline irrigation water on different components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *International Journal Agriculture Sciences*. 2, 915-922.
- Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K., Hati, K.M., 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*. 95, 85-93.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., Zhang, C.H., 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*. 26, 1055-1063.
- Gong, H.Z., Chen, K., Wang, S., Zang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in post under drought. *Plant Science*. 169, 313-321.
- Gonzalez, A., Martin, I., Ayerbe, L., 2007. Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress: phenology, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58, 29-37.
- Habibi, G., 2015. Contrastive response of *Brassica napus* L. to exogenous salicylic acid, selenium and silicon supplementation under water stress. *Archives of Biological Sciences*. 67, 397-406.
- Habibi, S., Majidian, M., 2014. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermi-Compost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays* Hybrid Chase). *Journal of Crop Production and Processing*. 4, 15-26. [In Persian with English Summary].
- Haj Seyed Hadi, M.R., Taghi Darzi, M., 2017. Evaluation of biofertilizers effects on growth characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 48, 121-133. [In Persian with English Summary].
- Hajiboland, R., Cherghvareh, L., Dashtebani, F., 2017. Effects of silicon supplementation on wheat plants under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*. 5, 1-11.
- Jahangiri Nia, E., Syyadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M., Moradi Telavat, M.R., 2017. The effect of vermicompost and Mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. *Journal of Agroecology*. 8, 583-597. [In Persian with English Summary].
- Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashraf, S., Aliabadi, M.M., Nosratabadi, A.F., 2014. Effect of silica

- nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal of Chemical Health Risks*. 4, 49-55.
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Barmaki, M., 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44,116-124.
- Lelley, T., 2006. Triticale: A Low-input Cereal with Untapped Potential. p. 398-430. In Singh, J.R. (ed.), *Genetic Resources Chromosome Engineering and Crop Improvement*. CRC Taylor.
- Li, B., Tao, G., Xie, Y., Cai, X., 2012. Physiological effects under the condition of spraying Nano-SiO<sub>2</sub> onto the *Indocalamus barbatus* McClure leaves. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*. 36, 161-164.
- Li, Q. F., Ma, C.C., Shang, Q.L., 2007. Effects of silicon on photosynthesis and anti-oxidative enzymes of maize under drought stress. *Ying Yong Shengtai Xue Bao*. 18, 531-536.
- Mayaka, S., Tirosh, T., Glick, B.R., 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. *Plant Science*. 166, 525-530.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., Mittler, R., 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell and Environment*. 33, 453-467.
- Miransari, M., 2010. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stresses. Review article. *Plant Biology*. 12, 563-569.
- Mitani, N., Chiba, Y., Yamaji, N., Ma, J.F., 2009. Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. *The Plant Cell*. 21, 2133-2142.
- Moghadasan, Sh., Safipour Afshar, A., Saeid Nematpour, F., 2016. The role of Mycorrhiza in drought tolerance of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 9, 521-532. [In Persian with English Summary].
- Monaghash, F., Maleki, A., Zolnorian, H., 2015. Effect of application methods of vermicompost and chemical fertilizers on tuber yield and some morphological traits of potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Crop Ecophysiology*. 9, 417-428. [In Persian with English Summary].
- Murchie, E.H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P., Peng, S., 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *Journal of Experimental Botany*. 53, 2217-2224.
- Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., Zare Mehrjerdi, M., 2013. Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*. 3, 483-492.
- Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., Tahmasebi, Z., 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology*. 5, 49-66. [In Persian with English Summary].
- Nourbakhsh, F., Chalavi, V., Akbarpour, V., 2016. Effect of vermicompost and nitroxin on vegetative growth and some biochemical properties of rosemary herb (*Rosmarinus officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*. 30, 178-184. [In Persian with English Summary].
- Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayaraj, S., Rao, D.S., 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology Jayraaj, Research and Environmental Sciences*. 9, 321-326.
- Rahimi, M.M., Hashemi, A.R., 2016. Yield and yield components of vetch (*Vigna radiata*) as affected by the use of vermicompost and phosphate bio-fertilizer. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10, 529-540. [In Persian with English Summary].
- Rastogi, A., Tripathi, D.K., Yadav, S., Chauhan, D.K., Živčák, M., Ghorbanpour, M., Brestic, M., 2019. Application of silicon nanoparticles in agriculture. *Biotech*. 9, 90.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161, 1189-1202.
- Richards, R.A., Condon, A.G., Rebetzke, G.J., Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., McNab, A., 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT.



- Ronanini, D., Savin, R., Hal, A.J., 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*. 83, 79-90.
- Savvas, D., Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196, 66-81.
- Seyed Sharifi, R., Namvar, A., 2017. Bio fertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. [In Persian].
- Siqueira, S.C., Moreira, M.A., Mosquim, P.R., José, I.C., Ferreira, F.A., Sedyama, C.S., 1999. Simulation of the transgenic soybean tolerant to glyphosate through explant cultivation. *Planta Daninha*. 17, 95-107.
- Theunissen, J., Ndakidemi, P., Laubscher, C., 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences*. 5, 1964-1973.
- Tsuno, Y., Yamaguchi, T., Nakano, J., 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. *Bulletin of the Faculty of Agricultural, Tottori University*. 47, 1-10.
- Wang, L.J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G.J., Cheng, J.S., Luo, H.B., Li, S.H., 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*. 10, 34.
- Wright, D.P., Scholes, J.D., Read, D.J., 1998. Effects of VA Mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. *Plant, Cell and Environment*. 21, 209-216.
- Yang, J., Zhang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*. 169, 223-236.
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Xu, G., Zhu, Q., 2004. Activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling. *Journal of Plant Physiology*. 135, 1621-1629.
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q., Wang, W., 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. *Field Crop Research*. 71, 47-55.