نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۲/ صفحات ۱۵۶-۱۴۱

Effects of Irrigation Withholding at Reproductive Stages and Vermicompost and Nano Silicon Application on Quantitative and Qualitative Yield and Grain Filling Period of Safflower

Raouf Seyed Sharifi[1*], Reza Seyed Sharifi[2], Razieh Khalilzadeh[3]

Received: 10 January 2022 Accepted: 04 June 2022
1-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Prof., Dept. of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3-PhD Crop Physiology, Dept. of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia-Iran.
*Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: water limitation is one of the most important environmental stresses in arid and semi-arid regions that reduce the growth and yield of crops. Application of silicon and bio fertilizers such as vermicompost improve growth and yield of plants to various environmental stresses such as water limitation. So, the aim of this study was to investigate the effects of silicon and vermicompost on quantitative and qualitative yield and grain filling period of safflower (Padideh cultivar).

Materials & Methods: an experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications in research farm of University of Mohaghegh Ardabili during 2020. Factors experiment were included irrigation levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50% of heading bud and flowering stages as severe and moderate water limitation respectively) based on 55 and 65 BBCH code, foliar application nano silicon (foliar application with water as control, application of 25 and 50 $mg.L^{-1}$ nano silicon) and application of vermicompost (no application of vermicompost as control, application of 4 and 8 $ton.ha^{-1}$).

Results: The results showed that both application of vermicompost and foliar application 50 mg.L-1 nano silicon under full irrigation increased chlorophyll index (450.2%), number of head per plant (40%), number of gain per head (40%), 1000 grain weight (45%), grain filling period and effective grain filling period (40.9 and 31.9% respectively) in comparison with no application of vermicompost and nano silicon under irrigation withholding in heading bud stage. Also, the highest vermicompost level under full irrigation increased grain yield and oil percentage (119 and 26.2% respectively) in comparison with no application of vemicompost under irrigation withholding in heading bud stage. Based on the results, it seems that vermicompost and nano silicon application can increase grain yield of safflower under water limitation condition due to improving yield componenets and grain filling components.

Keywords: Bio-Fertilizers, Chlorophyll Index, Micro Element, Water Limitation

تاثیر قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی و کاربرد ورمی‌کمپوست و سیلیکون بر عملکرد کمی و کیفی و دوره پر شدن دانه گلرنگ

رئوف سید شریفی*[۱]، رضا سید شریفی[۲]، راضیه خلیل زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۴
۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

چکیده

هدف: محدودیت آبی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی مناطق خشک و نیمه خشک است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. کاربرد سیلیکون و کودهای زیستی همچون ورمی‌کمپوست، رشد و عملکرد گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مختلف از جمله محدودیت آبی را، بهبود می‌بخشد. از این‌رو هدف این بررسی ارزیابی اثر نانوسیلیکون و ورمی-کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی و روند پر شدن دانه گلرنگ (رقم پدیده) بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی سطوح آبیاری (آبیاری‌کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل تکمه‌دهی و گلدهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی بر اساس کد ۵۵ و ۶۵ مقیاس BBCH)، محلول‌پاشی نانو سیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم درلیتر) و کاربرد ورمی‌کمپوست (عدم مصرف به‌عنوان شاهد، کاربرد ۴ و ۸ تن در هکتار) را شامل می‌شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاربرد توام ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل، شاخص کلروفیل (۴۵/۲٪)، تعداد طبق در بوته (۴۰٪)، دانه در طبق (۴۰٪)، وزن هزار دانه (۴۵٪)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۴۰/۹ و ۳۱/۹ درصد) را نسبت به شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، نانوسیلیکون و قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی افزایش داد. همچنین بالاترین سطح از کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط آبیاری کامل عملکرد دانه و درصد روغن را (به‌ترتیب ۱۱۹ و ۲۶/۲ درصد) نسبت به عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی افزایش داد. بر اساس نتایج به نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون می‌تواند به‌دلیل بهبود اجزای عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: کودهای زیستی، عناصر ریزمغذی، شاخص کلروفیل، محدودیت آبی

مقدمه

گلرنگ یکی از مهمترین دانه‌های روغنی است که در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود. در چنین مناطقی محدودیت آبی مهم‌ترین تنش غیرزیستی موثر در کاهش رشد و بهره‌وری گیاهی و تهدیدی جدی برای تولید پایدار (انجم و همکاران ۲۰۱۱) و کاهش

جمعیت میکروبی در خاک یک منطقه (الیکوت و ویلدانق ۱۹۹۲) به‌شمار می‌آید. مصرف کودهای زیستی در چنین شرایطی نه‌تنها میکروارگانیسم‌های از بین رفته خاک را جبران می‌کند (سید شریفی و نامور ۲۰۱۷)، بلکه می‌تواند با افزایش مقاومت گیاهان به تنش رطوبتی (مایاکا و همکاران ۲۰۰۴)، به بهبود کارایی استفاده از مواد غذایی در مناطق کم حاصلخیز و خشک کمک نماید (دانگ ۲۰۰۶).

ورمی‌کمپوست یکی از انواع کودهای زیستی است که از ظرفیت بالا در حفظ آب، قابلیت دسترسی به نیتروژن و فسفر و از قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی برخوردار است (پرابا و همکاران ۲۰۰۷). این کود با کمک به افزایش ساخت کلروفیل به‌دلیل برخورداری از مقادیر بالای مواد مغذی مانند آهن و روی (تونیسن و همکاران ۲۰۱۰)، موجب شده است که کاربرد آن در بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی افزایش یابد. حبیبی و مجیدیان (۲۰۱۴) اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست در مراحل اولیه رشد با فراهم نمودن عناصر غذایی، موجب افزایش رشد رویشی و شاخص سطح برگ و در دوره پرشدن دانه‌ها که حساس‌ترین مرحله در جذب نیتروژن و تشکیل مواد فتوسنتزی است، با تولید ماده خشک بیشتر، موجب افزایش تعداد و وزن دانه و عملکرد ذرت می‌شود. رشتبری و علیخانی(۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل افزایش جذب نیتروژن و بهبود محتوای کلروفیل، موجب افزایش سطح برگ و عملکرد دانه کلزا شد. گلدانی و کمالی (۲۰۱۶) بیان کردند ورمی-کمپوست به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، منجر به افزایش پایداری غشاء و بهبود محتوای کلروفیل شد.

کاربرد سیلیکون نیز یکی از راه‌کارهایی است که می‌تواند با افزایش محتوای کلروفیل (مروارد و همکاران ۲۰۱۸)، ارتقای شاخص سبزینگی یا SPAD، بهبود میزان فتوسنتز خالص و کارایی فتوسنتزی، افزایش غلظت درون سلولی دی اکسید کربن (هادی و همکاران، ۲۰۱۵)، اثر مخرب محدودیت آبی در گیاهان را تا حد زیادی تعدیل کرده و بهره‌وری گیاهان تحت شرایط تنش را بهبود بخشد (تریپاتی و همکاران ۲۰۱۶). به همین دلیل است که موسسه بین المللی تغذیه گیاه[۱] سیلیکون را به فهرست عناصر غذایی مفید اضافه کرده است (اوئلت و همکاران ۲۰۱۷). ساجد گلجه و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود شاخص سبزینگی، موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شد. شریف (۲۰۱۷) اظهار داشت که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل نیز همانند محدودیت آبی، با بهبود خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک، موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شد.

در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور بروز محدودیت آبی در بهار به خصوص در مراحل انتهایی رشد و پر شدن دانه اکثر گیاهانی مانند کلرنگ، کاهش عملکرد نهایی را به همراه دارد. از این‌رو به‌دلیل نقش ورمی‌کمپوست و سیلیکون در تعدیل یا کاهش عملکرد ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در این زمینه، موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد کمی و کیفی و روند پر شدن دانه گلرنگ در شرایط محدودیت آبی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد ورمی‌کمپوست در سه سطح (عدم مصرف به‌عنوان شاهد، کاربرد۴ و ۸ تن در هکتار)، نانواکسید سیلیکون در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه سطح آبیاری (آبیاری کامل براساس نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی مطابق با عرف متداول زارعین محلی به‌عنوان شاهد، آبیاری تا مراحل ۵۰ درصد تکمه-دهی و گلدهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم

[۱] -International of Plant Nutrition Institue (IPNI)

آبی معادل با کد ۵۵ و ۶۵ از مقیاس BBCH[1] بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف پنج متری با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتیمتر بود. به‌منظور جلوگیری از اثرنفوذ آب آبیاری و محلول‌پاشی به کرت‌های مجاور، سه ردیف نکاشت بین هر واحد آزمایشی قرار داده شد. بذر مورد استفاده رقم پدیده بود که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. به محض مساعد شدن شرایط اقلیمی، کاشت در نیمه اول اردیبهشت ماه با دست در عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متری و به صورت هیرم‌کاری انجام شد. در مرحله ۴ تا ۵ برگی، گیاهچه‌ها بر اساس فاصله حدود پنج سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) تنک شدند. محلول‌پاشی با نانوسیلیکون در دو مرحله از رشد ساقه معادل با کد ۳۱ و ۳۹ از مقیاس BBCH انجام شد (سید شریفی و خلیل زاده ۲۰۱۸). نانوسیلیکون ($Nano\text{-}SiO_2$) با اندازه ذرات ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و خلوص بالای ۹۹ درصد، محصول شرکت آمریکایی US Research Nanomaterial از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. ورمی‌کمپوست مصرفی از شرکت گلیدا خریداری و مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

برای ارزیابی مولفه‌های پر شدن دانه، نمونه‌برداری از ۱۰ روز بعد از تکمه‌دهی در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار انجام شد. هر بار دو بوته از هر واحد آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای از خطوط اصلی هر کرت انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از بوته جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد. به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) بر اساس رویه DUD دستورالعمل Proc NLIN نرم افزار SASبه استناد رابطه ۱ استفاده شد (رونانینی و همکاران ۲۰۰۴).

رابطه (۱)

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

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پرشدن دانه است، t_0 پایان دوره پرشدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) بدست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه (۱) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه GFR[2] /EFP[3]=MGW[4] استفاده شد (الیس و پیتافیلهو ۱۹۹۲). در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

دو هفته بعد از قطع آخرین آبیاری (قطع آبیاری در مرحله گلدهی معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH) در حداقل سه بوته از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، بر روی جوان‌ترین و کامل‌ترین برگ، شاخص کلروفیل بر روی سه نمونه از برگهای فوق با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای در هر واحد آزمایشی به‌وسیله دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502، مینولتای ژاپن) اندازه‌گیری شد (سید شریفی و همکاران ۲۰۱۶) و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. اندازه‌گیری روغن با روش سوکسله و با کمک حلال آلی

[1] – (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry; BBCH)

[2] -Effective Filling Period
[3] -Maximum Grain Weght
[4] -Grain Filling Rate

متانول-کلروفرم انجام شد (جوشی و همکاران ۱۹۹۸). عملکرد دانه با برداشت در نیمه اول مهر ماه از سطحی معادل یک مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS ver 9.4 و Excell و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست

مشخصه	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	EC	pH
	mg.kg^{-1}						dS.m^{-1}	
مقادیر	۱	۱۹	۱۱۰	۲۰	۲۷۵	۵۰۰۰	۱/۱۲	۷/۶۴
مشخصه	Mg	Ca	K	P	N	OC	OM	
	(٪)							
مقادیر	۰/۹۵	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴	۱/۵۵	۳۲/۹	۵۶/۸	

قبل از کاشت، تا عمق۴۰ سانتی‌متری خاک نمونه-برداری انجام و نتایج مربوطه در جدول دو و شرایط اقلیمی منطقه مورد کشت در طول دوره رشدی در جدول سه آورده شده است.

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

مشخصه	pH	عصاره اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	بافت	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
			(٪)					(٪)		mg.kg^{-1}		
مقادیر	۷/۸	۴۹	۱۴/۴	۲۳	۴۲	۳۵	لومی	۰/۶۲	۰/۰۶	۸/۲۹	۲۱۲	۱/۸

جدول ۳. پارامترهای جوی در طول دوره رشدی گلرنگ (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

ماه‌های سال	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
پارامترهای اقلیمی					
میزان بارندگی	۶/۶	۳/۷	۴/۷	۱۲/۹	۳۰/۳
میانگین دما (**C** °)	۱۸/۹	۱۸/۷	۱۸/۴	۱۶/۸	۱۲/۱
جمع ساعات آفتابی	۳۱۴/۳	۲۹۸/۵	۲۴۸/۲	۲۶۷/۹	۱۸۸/۱
متوسط رطوبت نسبی (٪)	۶۰/۵	۶۶/۲	۷۴	۷۰/۷	۷۶/۴

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توام آبیاری در ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر ارتفاع بوته، قطر طبق، دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه، شاخص سبزینگی و تمامی مولفه های پر شدن دانه (اعم از سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). اثر ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست در سطوح آبیاری بر عملکرد دانه و درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی (به‌ترتیب ۴۷/۹۹ عدد و ۳۴/۲۴ گرم) در محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون با کاربرد ۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۵) که به‌ترتیب از افزایش ۵۷ و ۶۱/۹ درصدی ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی نسبت به عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۵). 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 (دسولوکس و همکاران ۲۰۰۰). همچنین در شرایط محدودیت آبی به‌دلیل کاهش تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده جهت تولید انشعابات اولیه شاخه، تعداد شاخه‌های جانبی نیز کاهش می‌یابد. در این زمینه باریوس و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که محدودیت آبی با کاهش طول دوره رشد گیاه و همچنین تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را کاهش می‌دهد. فاروق و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی افزایش رقابت بین بخش هوایی و ریشه در گیاه برای جذب رطوبت، موجب می-شود گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه در مقایسه با اندام هوایی تخصیص داده و همین امرموجب کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی و در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود. بخشی از افزایش ارتفاع بوته در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از بهبود فعالیت میکروبی در خاک و نیز برخورداری از مقادیر بالایی از عناصر غذایی به خصوص آهن و روی باشد (جدول ۱) که ضمن کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش شاخص کلروفیل و میزان فتوسنتز، در نهایت از طریق تولید ماده خشک بیشتر منجر به افزایش ارتفاع بوته میشود (منقاش و همکاران ۲۰۱۵). طوری که بررسی گانگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد سیلیکون از طریق بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، رشد و ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد.

تعداد طبق در بوته و قطر طبق: معنی‌دار شدن تعداد دانه در طبق و قطر طبق تحت اثر ترکیب تیماری هر سه فاکتور مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد (جدول ۴) و مقایسه میانگین ها نشان داد که تعداد دانه در طبق و قطر طبق در شرایط آبیاری کامل و محلول پاشی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و ۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست از افزایش به ترتیب ۴۰ و ۷۰ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۵). یکی از دلایل کاهش تعداد طبق در بوته به واسطه محدودیت آبی می تواند ناشی از تاثیر این عامل بر تعداد شاخه جانبی باشد. طوری که در شرایط محدودیت آبی تعداد شاخه جانبی در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۵). از آنجایی که طبق‌ها در بوته علاوه بر شاخه های اصلی بر روی شاخه یا ساقه های جانبی نیز قرار می گیرند، بدیهی است که با کاهش تعداد شاخه جانبی در هر بوته، به تبع از آن تعداد طبق در بوته نیز کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش تعداد دانه در طبق و قطر طبق تحت شرایط آبیاری کامل و کودهای زیستی توسط سید شریفی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر آبیاری، کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر اجزای عملکرد، عملکرد کمی و کیفی، و روند پر شدن دانه گلرنگ

ترکیب تیماری	ارتفاع بوته (m)	قطر طبق (cm)	دانه در طبق	طبق در بوته	شاخه فرعی	وزن هزاردانه (g)	شاخص سبزینگی (SPAD)
$I_1V_1N_1$	۷۳/۷۲g	۱/۷۷n	۳۴/۲۴l	۶/۶۲mn	۴/۱۳m	۳۴/۱۴ m	۲۹/۵۱m
$I_1V_1N_2$	۷۳/۷۲g	۱/۸۵mnl	۳۳/۷۳j	۶/۴۷ n	۴/۲۵ ml	۳۴/۶۱ lm	۲۹/۵۸m
$I_1V_1N_3$	۸۷/۴۱ e	۱/۹۶ ij	۳۵/۷۲i	۷/۵۶ kj	۴/۵۵ jk	۳۷/۶۱i	۳۲/۵۱i
$I_1V_2N_1$	۸۱/۰۹f	۱/۸۹jklm	۳۴/۰۸j	۶/۹۹ml	۴/۴۶kl	۳۵/۸۹k	۳۱/۰۲k
$I_1V_2N_2$	۸۱/۰۹ f	۱/۹jklm	۳۳/۸۶j	۶/۸۹ ml	۴/۲۷ml	۳۴/۲۲ m	۲۹/۹۱ml
$I_1V_2N_3$	۸۸/۴۶e	۲/۰۵i	۳۵/۸۸i	۷/۶۱j	۴/۶۸jk	۳۹/۲۶h	۳۳/۹۴h
$I_1V_3N_1$	۸۱/۰۹f	۱/۹۹ ih	۳۶/۵۲i	۷/۸ij	۵i	۳۶/۲jk	۳۱/۲۹kj
$I_1V_3N_2$	۹۴/۷۸d	۲/۲۱	۴۰/۷۴fg	۸/۱۹gh	۵/۶۸ fg	۳۹/۶۳ h	۳۴/۲۵h
$I_1V_3N_3$	۹۶/۸۹d	۲/۴۳f	۴۰/۹۱ ef	۹/۵۸e	۵/۸ef	۴۳/۰۶e	۳۷/۲۲e
$I_2V_1N_1$	۸۰/۰۴f	۱/۸ mn	۳۲/۴kl	۶/۹۳ml	۴/۱۷m	۳۵/۷۶ kl	۳۰/۹۱
$I_2V_1N_2$	۸۱/۰۹f	۱/۹۵ijkl	۳۵/۸i	۷/۱۹ kl	۴/۶۱ kj	۳۶/۹۲ ijk	۳۱/۹۱ ijk
$I_2V_1N_3$	۸۰f	۱/۸۶klmn	۳۳/۶۵kj	۷/۱l	۴/۲۱m	۳۵/۸۲ kl	۳۰/۹۶kl
$I_2V_2N_1$	۸۷/۴۱e	۲/۰۴i	۳۶/۷۱ i	۸/۰۳ghi	۵/۰۵i	۳۷/۲۸ij	۳۲/۲۳ij
$I_2V_2N_2$	۸۷/۴۱e	۱/۹۳ jkl	۳۶/۲۲i	۷/۷۲ ij	۴/۷۱j	۳۷/۱۶ij	۳۲/۱۲ij
$I_2V_2N_3$	۹۵/۸۴ d	۲/۱۹ h	۳۹/۷۷gf	۹/۴e	۵/۶۱ fg	۴۲/۹۲e	۳۷/۱e
$I_2V_3N_1$	۸۷/۴۱e	۲/۳۶f	۳۸/۱۹h	۸/۳۱ g	۵/۴۹ gh	۳۷/۷۹i	۳۲/۶۶i
$I_2V_3N_2$	۱۰۲/۱۶c	۲/۸cd	۴۲/۲۷c	۱۰/۰۳d	۶/۰۶d	۴۵/۹۵ cd	۳۹/۷۱cd
$I_2V_3N_3$	۱۱۰/۵۸b	۲/۸۸bc	۴۴/۵۳c	۱۰/۵۹ bc	۶/۲۸bc	۴۷/۰۹ bc	۴۰/۷bc
$I_3V_1N_1$	۸۸/۴۶e	۲/۱۹h	۳۶/۴۴i	۷/۸۳ ijh	۴/۹۹i	۳۹/۱۲h	۳۳/۸۱h
$I_3V_1N_2$	۹۴/۷۸ d	۲/۲۵ gh	۳۸/۰۲h	۸/۲۵ g	۵/۳۳h	۴۱/۰۶g	۳۵/۴۹g
$I_3V_1N_3$	۹۵/۸۴d	۲/۳۹f	۳۹/۵۷g	۸/۰۷ghi	۵/۵۶g	۴۱/۲۷fg	۳۵/۶۷fg
$I_3V_2N_1$	۹۵/۸۴d	۲/۳۳ gf	۳۹/۸۹gf	۸/۸۳f	۵/۶۳ fg	۴۲/۳۹ef	۳۶/۶۴ef
$I_3V_2N_2$	۱۰۲/۱۶c	۲/۴f	۴۲/۰۷de	۹/۵۱e	۶/۰۱de	۴۵/۰۷d	۳۸/۹۵d
$I_3V_2N_3$	۱۰۹/۵۳b	۲/۶۶e	۴۵/۹۳ b	۱۰/۱۵ d	۶/۳۷ b	۴۶/۶۳bc	۴۰/۳bc
$I_3V_3N_1$	۱۰۲/۱۶c	۲/۷۷d	۴۴/۲۷d	۱۰/۲۶cd	۶/۰۹ cd	۴۵/۲۶d	۳۹/۱۴d
$I_3V_3N_2$	۱۱۰/۵۸b	۲/۹۷ab	۴۷/۷۶a	۱۰/۸۱ b	۶/۷۵ a	۴۷/۲۱b	۴۰/۸۱b
$I_3V_3N_3$	۱۱۵/۸۵a	۳/۰۱a	۴۷/۹۹ a	۱۱/۳۶ a	۶/۶۹a	۴۹/۵۹ a	۴۲/۸۶a
LSD5%	۳/۴۵	۰/۱۰۴	۱/۲۵۷	۰/۳۸۷	۰/۲۲۳	۱/۲۶	۱/۰۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر آبیاری، کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر اجزای عملکرد، برخی صفات و مولفه های پر شدن دانه گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع بوته	قطر طبق	دانه در طبق	طبق در بوته	تعداد شاخه فرعی	وزن هزاردانه	شاخص سبزینگی	سرعت پر شدن دانه	طول دوره پر شدن دانه	دوره موثر پر شدن دانه	عملکرد دانه	درصد روغن
تکرار	۲	۷۵۴۱/۲**	۳/۸۴**	۱۱۳۵/۹**	۵۴/۱۴**	۲۱/۱**	۹۲۱**	۱۲۳۲/۹ **	۱/۲۱**	۸۷۴/۴**	۶۱۶/۳**	۲۵۶۷۶۸۲/۷**	۸۷۶/۶۵**
آبیاری (I)	۲	۲۱۲۰/۵**	۲/۰۷**	۳۰۲/۵ **	۲۵/۲۱**	۹/۷**	۲۵۴/۴**	۳۴۰/۶**	۰/۷۹**	۳۰۳/۸**	۱۰۶/۹**	۳۹۶۵۵۰۹/۸ **	۱۵۴/۵۲**
ورمی‌کمپوست (V)	۲	۱۷۸۶/۲**	۲/۶۱**	۳۶۲/۷ **	۳۶/۶۵**	۱۲/۲**	۱۹۲/۶**	۲۵۷/۸**	۰/۰۵۸ **	۲۱/۴**	۱۳/۷*	۳۰۲۰۸۱/۲**	۱۹/۷۷**
نانوسیلیکون (N)	۲	۸۸۷/۹ **	۰/۴۱۴ **	۶۲/۹**	۸/۲۹**	۱/۸۸**	۹۶/۹۷**	۱۲۹/۷**	۰/۰۱۰ **	۲۲/۹**	۱۲/۱*	۶۳۷۸۳/۵ **	۱/۷۲**
I ×V	۴	۳۱/۷**	۰/۱۳۹ **	۱۰/۴ **	۱/۱۵**	۰/۳۶**	۷/۲**	۹/۷۸**	۰/۰۰۴ **	۰/۰۷ ns	۰/۱۰۸ns	۱۹۲۴۰/۸**	۱/۲۶**
I× N	۴	۷/۶۹	۰/۰۰۴	۰/۷۸	۰/۳۸۱ **	۰/۰۴۸ **	۳/۹۹**	۵/۳۵**	۰/۰۰۵۸	۰/۰۵۴ns	۰/۴۳۴ns	۱۷۶۳/۴ns	۰/۰۶۶ns
V× N	۴	۹۸/۸۴ **	۰/۰۶۹ **	۰/۳۶۱ **	۱/۱ **	۰/۳۵**	۱۵/۶۱ **	۲۰/۸۹ **	۰/۰۰۵	۰/۵۹۲	۰/۳۷۱	۲۱/۱ns	۰/۱۰۴ns
I× V ×N	۸	۴۴/۴۹ **	۰/۰۲۴ **	۴/۳۹**	۰/۴۷**	۰/۱۲۲ **	۴/۹۵**	۶/۶۲**	۰/۰۲۵ **	۳/۰۷**	۱۹/۵**	۴۴۹/۱ns	۰/۰۲۸ns
خطا	۵۲	۴/۴۳	۰/۰۰۴	۰/۵۸۸	۰/۰۵۵	۰/۰۱۸۶	۰/۴۴۳	۰/۵۹۴	۰/۰۰۲	۰/۳۱۹	۳/۳۴	۵۹۵۵/۳	۰/۲۰۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۲	۴/۸	۹/۸	۷/۲	۵/۲	۹/۱	۹/۱	۳/۶۹	۸/۱۷	۸/۸	۱۰/۳۳	۵/۶۹

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

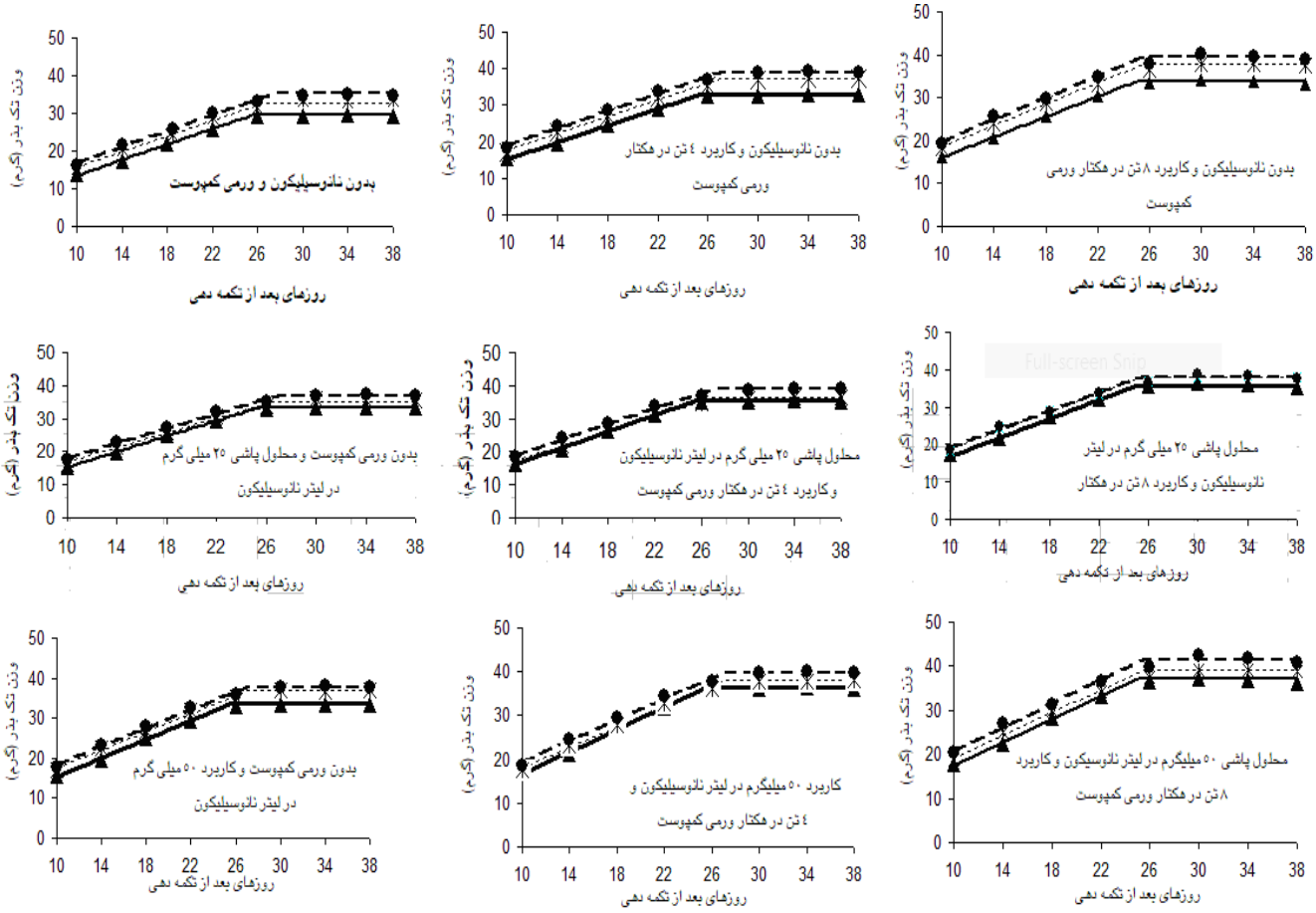
I_1، I_2، I_3 : به ترتیب قطع آبیاری در مرحله تکمه دهی، گلدهی و آبیاری کامل

V_1 ،V_2 ،V_3: به ترتیب عدم کاربرد و کاربرد ۴ و ۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست N_1 ،N_2،N_3 : به ترتیب عدم کاربرد و محلول پاشی ۲۵ و ۵۰ میلیگرم در لیتر نانوسیلیکون.

تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه (به‌ترتیب ۴۷/۹۹ عدد و ۳۴/۲۴ گرم) در محلول-پاشی۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و ۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۵) که به‌ترتیب از افزایش ۴۰ و ۴۵ درصدی تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد ورمی کمپوست و عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه-دهی برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد بخشی از دلایل کاهش تعداد دانه در شرایط محدودیت آبی، ناشی از عدم تامین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد و تکامل بذر باشد (بوش و همکاران ۲۰۱۹). برخی محققان کاهش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی و مدت کوتاهی پس از آن را، به عقیم شدن دانه-های گرده و اختلال در گرده افشانی نسبت دادند (ریچاردز و همکاران ۲۰۰۱). بخشی از افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در طبق در کاربرد ورمی-کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل می-تواند ناشی از اثر این عوامل در افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۵) و بهبود مولفه‌های پر شدن دانه (جدول ۶) باشد که در نهایت موجب افزایش وزن هزار دانه شده است. طوری که بیشترین طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۳۵/۴۶ و ۲۹/۰۹ روز) در کاربرد ۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل و کمترین این مقادیر (به ترتیب ۲۵/۱۶ و۲۲/۰۴ روز) در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بدست آمد (جدول ۵)، همان ترکیب تیماری که بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را نیز به خود اختصاص داده است. از آنجایی که وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، از این‌رو تنش‌های محیطی که موجب کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه شوند به‌طور معنی‌داری وزن دانه و به تبع از آن وزن هزار دانه را کاهش می‌دهند. در این زمینه فردریک و همکاران (۱۹۹۰) اظهار داشتند در شرایط محدودیت آبی به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کاهش یافته و همین امر موجب می شود که وزن هزار دانه نیز کم شود.

شاخص سبزینگی(SPAD): نتایج نشان داد با افزایش محدودیت آبی شاخص سبزینگی کاهش یافت. ولی با کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون، مقدار این شاخص افزایش یافت (جدول ۵). حداکثر این شاخص (۴۲/۸۶) در شرایط آبیاری کامل، سطوح بالایی از کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون و حداقل آن (۲۹/۵۱) در شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی و عدم کاربرد نانوسیلیکون و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی کاهش فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل و اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستم II موجب میشود الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، با تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها، به کاهش کلروفیل منجر شود (سیموا استویلووا ۲۰۰۸). برخی محققان اظهار داشته‌اند محدودیت آبی با افزایش غلظت تنظیم کننده های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن که تحریک کننده فعالیت آنزیم کلروفیلاز هستند (اورابی و همکاران ۲۰۱۰) موجب پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل می‌شوند. ولی در حضور کودهای زیستی، ساخت اتیلن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد بنابراین به‌دلیل کاهش تجزیه کلروفیل، محتوای آن افزایش می‌یابد (ویسی ۲۰۰۳). بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۱) که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند می‌تواند از دیگر دلایل افزایش شاخص کلروفیل تحت چنین شرایطی باشد. تئونیسن و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش کلروفیل را به عناصر موجود در ورمی‌کمپوست نسبت دادند. نردی و همکاران (۲۰۰۲) عنوان نمودند که عناصر و ترکیبات موجود در ورمی‌کمپوست مثل تنظیم‌کننده‌های رشد عمل می‌کنند و با خواص شبه سیتوکینینی خود می‌توانند موجب بهبود کلروفیل و جلوگیری از پیری برگ شوند.

مولفه های پر شدن دانه: بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که 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 به صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش-ترین سرعت پر شدن دانه (۱/۳۲۶ میلی گرم در روز)، طول دوره پر شدن دانه (۳۴/۴۶ روز) و دوره موثر پر شدن دانه (۲۹/۰۹ روز) در ترکیب تیماری کاربرد هشت تن در هکتار ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۶)، که این ترکیب تیماری به‌ترتیب موجب افزایش ۴۰/۹، ۳۱/۹ و ۲۵/۴ درصدی طول دوره پر شدن دانه، دوره موثر و سرعت پر شدن دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی گیاه سعی می‌کند با کوتاه کردن طول دوره پر شدن دانه، هر چه سریع‌تر مراحل رشدی خود را به پایان رسانده و از برخورد با شرایط تنش فرار کند. نتایج مشابهی نیز توسط لمون و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر اینکه محدودیت آبی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه گندم می-شود گزارش شده است. بخشی از کاهش طول دوره پر شدن دانه علاوه بر محدودیت آبی می‌تواند با افزایش دمای محیط در ارتباط باشد (جدول ۳). طوری‌که بررسی پارامترهای اقلیمی ثبت شده در طول دوره پر شدن دانه نیز نشان میدهد علاوه بر اثر محدودیت آبی، دمای هوا نیز در این دوره از رشد گیاه بالا بوده است که اثرات ناشی از محدودیت آبی را تشدید می‌کند. در این راستا بیان شده است که در طی مرحله پر شدن دانه، خشکی اگر با دمای بالا همراه باشد می‌تواند موجب تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه شود (پاک‌نژاد و همکاران ۲۰۰۶). در واقع در شرایط آبیاری کامل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه افزایش داشته و با افزایش محدودیت آبی صفات ذکر شده روند نزولی را داشتند. در این زمینه پژوهشگران اظهار داشتند که تنش‌های محیطی سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه گیاه می‌شود ولی با تأمین آب کافی، طول دوره موثر پر شدن دانه نیز بیشتر می‌شود (اوک و همکاران ۲۰۰۳). بخشی از افزایش وزن دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد نانوسیلیکون و ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از تاثیر این فاکتورها بر افزایش شاخص سبزینگی (جدول ۵) باشد که ضمن بهبود فتوسنتز و کمک به نقل و انتقال مواد به دانه، به افزایش مولفه‌های پر شدن دانه (اعم از سرعت و طول دوره پر شدن دانه) منجر میشود (بنجاری و همکاران ۲۰۰۶). هادی و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که تعادل تغذیه‌ای گیاه بر اثر تنش خشکی بر هم می‌خورد ولی میتوان با محلول‌پاشی برخی عناصر ریز مغذی، این مواد را به سرعت در دسترس گیاه قرار داد و انجام فرآیند فتوسنتز و کارایی آن را افزایش و میزان انتقال مواد به سمت دانه‌ها را به واسطه‌ی افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها بهبود بخشید. در این آزمایش نیز بررسی مولفه های پر شدن دانه حاکی از آن است که در شرایط محلول‌پاشی، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه از مدت زمان طولانی-تری نسبت به عدم محلول‌پاشی برخوردار بوده و موجب می‌شود که به‌دلیل بهبود فرآیند فتوسنتز و کارایی آن در انتقال مواد به سمت دانه ها، مواد به سهولت در دسترس گیاه قرار گرفته و وزن دانه نیز افزایش یابد.



شکل ۱- تاثیر آبیاری، کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون روند پر شدن دانه گلرنگ

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست در سطوح آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری کامل در بالاترین سطح از کاربرد ورمی‌کمپوست، از افزایش ۱۱۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد ورمی-کمپوست در شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۷).

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیر آبیاری، کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر مراحل نمونه برداری و مولفه های پر شدن دانه گلرنگ

ترکیب تیماری	مراحل نمونه برداری پر شدن دانه (روزهای بعد از تکمه دهی)								سرعت پرشدن دانه ($mg.day^{-1}$)	دوره موثرپر شدن دانه (day)	طول دوره پر شدن دانه(day)
	۱۰	۱۴	۱۸	۲۲	۲۶	۳۰	۳۴	۳۸			
$I_1V_1N_1$	۱۳/۷۶o	۱۷/۳۹p	۲۲/۱۵p	۲۶/۰۱l	۲۹/۲۹ n	۲۹/۴۱s	۲۹/۶۴o	۲۴/۴۹k	۱/۰۵۷l	۲۲/۰۴n	۲۵/۱۶q
I_1 V_1N_2	۱۵/۴۲n	۲۰/۳۹mn	۲۴/۳۹o	۲۸/۹k	۳۱/۷۸m	۳۳/۷۲ rq	۳۳/۷۲rq	۳۳/۵۸j	۱/۰۹۱kl	۲۲/۱۴n	۲۵/۸۶pq
I_1 V_1N_3	۱۶۱/۳۶m	۲۱/۶۶kj	۲۵/۷۷lm	۳۰/۲۸j	۳۳/۱۲kl	۳۴/۸۳po	۳۵/۱۳n	۳۴/۹i	۱/۱۱۱kjl	۲۳/۱۵ml	۲۶/۵ po
I_1 V_2N_1	۱۸/۳۳ef	۲۴/۲۶de	۲۸/۸۶ de	۳۴/۰۲cd	۳۷/۰۹c	۳۹/۰۱def	۳۹/۳۵de	۳۹/۰۹c	۱/۱۴۲kji	۲۲/۹m	۲۶/۱۵p
$I_1V_2N_2$	۱۵/۴۱n	۱۹/۴۸o	۲۴/۸۱no	۲۹/۱۲k	۳۲/۸۱l	۳۲/۹۴r	۳۳/۲n	۳۳/۰۳j	۱/۱۵۴hijk	۲۳/۱۱ml	۲۶/۶vpo
$I_1V_2N_3$	۱۷/۲۷vijk	۲۲/۸۴fgh	۲۷/۳۱hi	۳۲/۳vfg	۳۵/۵۹ghf	۳۷/۲۶kji	۳۷/۳۹gh	۳۷/۶de	۱/۱۷۹ghij	۲۳/۶۵kl	۲۷/۸۲mn
$I_1V_3N_1$	۱۶/۳۴m	۲۰/۶۴ m	۲۵/۸۷l	۳۰/۵j	۳۳/۷۲kj	۳۴/۲۲po	۳۴/۰۲n	۳۳/۲۲j	۱/۲۴۵ bcdefg	۲۳/۱۵ ml	۲۶/۴۲p
$I_1V_3N_2$	۱۸/۳۱ ef	۲۴/۲۱e	۲۸/۹۹cd	۳۳/۳vde	۳۶/۶۴cde	۳۸/۱۵fgh	۳۸/۲۵fe	۳۷/۸۲de	۱/۱۶۴hijk	۲۴/۰۵k	۲۷/۴۲ no
$I_1V_3N_3$	۱۹/۴۳b	۲۵/۷۲b	۲۹/۸۹b	۳۵/۰۲b	۳۸/۰۵b	۴۰/۴۶ b	۳۹/۸۶cb	۳۹/۱۶c	۱/۲۰۴ cdefgh	۲۴/۱۶k	۲۸/۶۹ ml
I_2 V_1N_1	۱۵/۶۲n	۱۹/۷۴no	۲۵/۱۵mn	۲۹/۵۲k	۳۳/۲۵kl	۳۳/۳۹rq	۳۳/۶۴n	۳۳/۴۸j	۱/۱۶۶hij	۲۴/۱۶k	۲۸/۶۹ml
I_2 V_1N_2	۱۶/۵۲ ml	۲۱/۸۴kj	۲۶/۰۷kl	۳۰/۹۳ji	۳۴j	۳۶/۰۸mn	۳۵/۷mlk	۳۵/۹۳ gh	۱/۱۸۴fghij	۲۵/۱۶ji	۲۹/۱۵۲kl
I_2 V_1N_3	۱۷/۴۵ghij	۲۳/۱gf	۲۷/۴۸ghi	۳۲/۴fg	۳۵/۳۲ghi	۳۷/۱۴kjl	۳۷/۴vgfh	۳۷/۲۲ ef	۱/۲۲۲ cdefgh	۲۵/۷۷ gh	۲۹/۸۹kj
$I_2V_2N_1$	۱۶/۵۲ml	۲۰/۸۸ml	۲۶/۶kj	۳۱/۲۲i	۳۵/۱۶hi	۳۵/۱no	۳۵/۵۸ml	۳۵/۴hi	۱/۲۵۹ abcde	۲۴/۹۲j	۲۹/۴۹kl
$I_2V_2N_2$	۱۶/۸۵ kl	۲۲/۲۸hji	۲۶/۶۲kj	۳۱/۵۷hi	۳۴/۷۱i	۳۶/۲ml	۳۶/۴۵ijk	۳۶/۶vfg	۱/۲۶۳ abcde	۲۵/۵۶hi	۳۰/۵ji
$I_2V_2N_3$	۱۸/۳۲ef	۲۴/۲۵de	۲۸/۸۵bc	۳۴/۰۱cd	۳۷/۰۸c	۳۹def	۳۹/۳۲dc	۳۹/۰۷c	۱/۳۰۹ab	۲۶/۱۷fg	۳۱/۴ ghi
$I_2V_3N_1$	۱۷/۴۲hij	۲۲/۰۱kij	۲۷/۵۸ghi	۳۲/۵۱fg	۳۵/۹۵efg	۳۶/۴۹kml	۳۶/۲۷kjl	۳۵/۴۲hi	۱/۳۲۵a	۲۵/۱۶ji	۲۹/۷۹kj
$I_2V_3N_2$	۱۸/۴۵ de	۲۴/۳۹ cde	۲۹/۲ cd	۳۳/۶۲de	۳۶/۹cd	۳۸/۴۱efg	۳۸/۵۲ed ۳۸/۵۲	۳۸/۰۸d	۱/۱۹۶ cdefgh	۲۶/۸۷cde	۳۰/۹۵hi
$I_2V_3N_3$	۱۸/۸cd	۲۴/۸۹cd	۲۸/۹۴cde	۳۳/۹۱cd	۳۶/۸۳cd	۳۹/۱۷cde	۳۸/۵۸de	۳۷/۹۱de	۱/۲۴۶ bcdefg	۲۷/۱۸bc	۳۲fg
I_3 V_1N_1	۱۵/۶۴n	۱۹/۷۷no	۲۵/۱۹ mn	۲۹/۵۷k	۳۳/۲kl	۳۳/۴۴rq	۳۳/۷n	۳۳/۵۲j	۱/۱۹۶ cdefgh	۲۵/۷۱ ghi	۳۱/۷۴fgh
I_3 V_1N_2	۱۷/۰۹ kj	۲۲/۶۱ghi	۲vji	۳۲/۰۲gh	۳۳/۲hi	۳۷/۳۵hij	۳۶/۹۷hij	۳۷/۱۹ef	۱/۱۹۲ efgh۰	۲۶/۳۷ef	۳۲/۲۶efg
I_3 V_1N_3	۱۷/۷۷gh	۲۳/۵۲f	۲۷/۹۸gf	۳۲/۹۸ef	۳۵/۹۶efg	۳۷/۸۲ghij	۳۸/۱۴gef	۳۷/۸۹de	۱/۲۲۲ cdefgh	۲۷/۰۲cd	۳۳/۱de
$I_3V_2N_1$	۱۶/۹۵kl	۲۱/۴۲kl	۲۷/۲۹hi	۳۲/۰۴gh	۳۶/۰۸ef	۳۶/۲۳m	۳۸/۵۱ ijk	۳۶/۳۲g	۱/۲۵۵abcdef	۲۶/۴۷def	۳۲/۶۵ef
$I_3V_2N_2$	۱۷/۶۴ ghi	۲۳/۳۲f	۲۷/۸۷fgh	۳۳/۰۴ef	۳۶/۳۳de	۳۸/۰۲ghi	۳۸/۱۵gef	۳۸/۳۸cd	۱/۲۱ cdefgh	۲۶/۹۹cd	۳۳/۷۸cd
$I_3V_2N_3$	۱۸/۷۶ cde	۲۳/۸۳cde	۲۹/۵۴bc	۳۴/۸۲b	۳۷/۹۶b	۳۹/۹۲b	۴۰/۲۷b	۴۰b	۱/۲۶۷abcd	۲۷/۴bc	۳۴/۸ab
$I_3V_3N_1$	۱۷/۸۸fg	۲۲/۶hji	۲۸/۳۲ef	۳۳/۳۹de	۳۶/۹۱cd	۳۷/۴۶hij	۳۷/۲۴hi	۳۶/۳vg	۱/۲۷۲abc	۲۷/۰۳ cd	۳۲/۹۹de
$I_3V_3N_2$	۱۸/۹۴c	۲۵/۰۴bc	۲۹/۹۸b	۳۴/۵۱bc	۳۷/۸۹b	۳۹/۴۵ cd	۳۹/۵۵bc	۳۹/۱۱c	۱/۲۷۲ abc	۲۷/۶۴b	۳۴/۲۹ bc
$I_3V_3N_3$	۲۰/۴۴a	۲۷/۰۶ a	۳۱/۴۶a	۳۶/۸۶a	۴۰/۰۲a	۴۲/۵۸a	۴۱/۹۴a	۴۱/۲a	۱/۳۲۶a	۲۹/۰۹a	۳۵/۴۶ a
LSD 5%	۰/۴۵	۰/۶۸۳	۰/۶۳۴	۰/۷۱۵	۰/۷۰۲	/.۸۶۳	۰/۸۳۷	۰/۸۱۲	۰/۰۷۳۳	۰/۵۷۶	۰/۹۲۶

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

I_1 ، I_2 ، I_3 : به ترتیب قطع آبیاری در مرحله تکمه دهی، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و آبیاری کامل

V_1، V_2 ، V_3: به ترتیب عدم کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد ۴ و ۸ تن در هکتار ورمی کمپوست

N_1، N_2 ، N_3: به ترتیب عدم کاربرد نانوسیلیکون، محلول پاشی ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر آبیاری و ورمی‌کمپوست برعملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ

ترکیب تیماری	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	درصد روغن
$I_3 \times V_3$	۱۸۲۵/۵۱a	۲۹/۶۲a
$I_3 \times V_2$	۱۷۰۳/۷۴b	۲۹/۰۹۶b
$I_3 \times V_1$	۱۵۱۱/۳۶c	۲۸/۶۲c
$I_2 \times V_3$	۱۴۷۸/۹۳cd	۲۸/۰۷۷d
$I_2 \times V_2$	۱۴۱۸/۴۲d	۲۶/۶۶e
$I_2 \times V_1$	۱۳۳۵/۷۷e	۲۵/۶۱f
$I_1 \times V_3$	۱۰۰۴/۰۳f	۲۵/۱۳g
$I_1 \times V_2$	۹۳۷/۰۶f	۲۴/۳۹g
$I_1 \times V_1$	۸۳۱/۲۵g	۲۳/۴۶i
LSD	۷۵/۲۱	۰/۴۳۷

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.
: به ترتیب قطع آبیاری در مرحله تکمه دهی، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و آبیاری کامل I_3 ، I_2 ،I_1
V_3، V_2 ،V_1: به ترتیب عدم کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد ۴ تن در هکتار و ۸ تن در هکتار

بخشی از افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از وجود مقادیر بالایی از عناصر غذایی موجود در ورمی-کمپوست و نقش آن در بهبود حاصلخیزی خاک و فراهم نمودن عناصر ضروری گیاه به خصوص آهن و روی باشد (جدول ۱) که در ساختار کلروفیلی گیاه و ارتقا توان فتوسنتزی آن نقش اساسی دارد و بخش دیگری از افزایش عملکرد میتواند ناشی از تاثیر ورمی-کمپوست در افزایش اجزای عملکرد (جدول ۵) و مولفه-های پر شدن دانه در تمامی سطوح آبیاری باشد (جدول ۶).

درصد روغن: معنی‌دار شدن اثر ترکیب تیماری آبیاری در ورمی‌کمپوست بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد (جدول ۵) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین سطح از کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط آبیاری کامل از افزایش ۲۶/۲ درصدی محتوای روغن در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست برخوردار بود (جدول ۷). کاهش درصد روغن در اثر محدودیت آبی می‌تواند به-علت اختلال در فرآیندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد زیرا محدودیت آبی در مراحل نهایی رشد گیاه به دلیل تسریع در رسیدگی و کاهش طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (جدول ۶)، درصد روغن را کاهش ولی محتوای پروتئین را افزایش می‌دهد. درچنین شرایطی فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده دردانه وجود نداشته و از این‌رو درصد روغن کاهش می‌یابد (سیدشریفی، ۲۰۱۶). بخشی از بهبود محتوای روغن در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند به دلیل فراهمی عناصر ریز مغذی موجود در آن از نظر آهن و روی باشد (جدول ۱). در این راستا برخی محققان بهبود درصد روغن با کاربرد ریزمغذی‌ها را به نقش فعال این عناصر در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی، تولید پروتئین و به عنوان کاتالیزور واکنش‌های شیمیایی اکسایشی و احیا نسبت داده‌اند (بایبوردی ۲۰۱۶).

نتیجه گیری

اثر سه جانبه ورمی‌کمپوست، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر تمامی صفات مورد بررسی در آزمایش (به جز عملکرد دانه و درصد روغن) در سطح احتمال یک

درصد معنی‌دار شد. طوری‌که کاربرد توام ورمی-کمپوست و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته شد. همچنین این ترکیب تیماری با بهبود شاخص کلروفیل و افزایش مولفه‌های پر شدن دانه در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون می‌تواند به‌دلیل بهبود اجزای عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه گلرنگ را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

سپاسگزاری

مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه محقق اردبیلی است که بدینوسیله از همکاران محترم در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، معاونت و مدیریت محترم پژوهشی و دیگر همکاران ارجمند در دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی میگردد.

منابع مورد استفاده

Anjum AS, Xia X, Wang L, Farrukh-saleem M, Man C and Lei W.2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 6: 2026-2032.

Banerjee M, Yesmin RL and Vessey JL. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Handbook of microbial biofertilizers. Food Production Press, U.S.A. 137-181.

Barrios AN, Hoogenboom G and Nesmith DS. 2005. Drought sress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a Bean cultivar, Scientia Agricola, 61, 18-22.

Bosh Z, Danesh Shahraki A, Ghobadinia, M and Saeedi K. 2019. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on agro-morphological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(2): 525-537. (In Persian).

Bybordi A. 2016. Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47(7), 832-850.

Dang TH, Cai GS, Guo MD and Heng LK. 2006. Effects of nitrogen management on yield and water use efficiency of rain fed wheat and maize in Northwest China. Pedosphere, 16(4), 495-504.

DeSclaux D, Huynh TT and Roumet P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science, 40: 716-722.

Elliott LF and Wildung RE. 1992. What biotechnology means for soil and water conservation? Journal of Soil Water Conservation, 47: 17-20.

Ellis RH and Pieta-Filho C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research, 2: 19-25.

Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29, 185-212.

Fredrick JR, Below FE and Hesketh JD. 1990. Carbohydrate, nitrogen and dry matter accumulation and partitioning of maize hybrids under drought stress. Annals of Botany, 66: 407-415

Gholdani M and Kamali M. 2016. Evaluation of culture Media including vermicompost, compost and manure under drought stress in Iranian Petunia (*Petunia hybrida*). Plant Production, 39: 91-100. (In Persian).

Gong HZ, Chen K, Wans S and Zhang C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science, 169: 313-321.

Guttieri MJ, Stark JC, Brien KO and Souza E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science, 41: 327-335.

Habibi S and 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(11), 15-26. (In Persian).

Hadi H, Seyed Sharifi R and Namvar A. 2015. Phytoprotectants and Abiotic Stress. Urmia University. 452 pp. (In Persian).

Joshi NL, Mali PC and Sexena A. 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 180: 59-63.

Lemon J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the sperance port zone. Department of Agriculture and Food Publish, P. 25.

Lemon J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the sperance port zone. Department of agriculture and food publisher. Western Australia, Perth. Bulletin 4707.

Mayaka S, Tirosh T and Glick BR. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. Plant Science, 166(2), 525-530.

Merwad ARM, Desoky ESM and Rady MM. 2018. Response of water deficit-stressed Vigna unguiculata performances to silicon, proline or methionine foliar application. Scientia Horticulturae, 228: 132-144.

Nardi S, Pizzeghello D, Muscolo A and Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry, 34(11): 1527-1536

Orabi SA, Salman SR and Shalaby AF. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (Cucumis sativus L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal of Agricultural Sciences, 6: 252- 259.

Ouellette S, Goyette MH, Labbé C, Laur J, Gaudreau L, Gosselin A, Dorais M, Deshmukh RK and Bélanger R. 2017. Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions Front. Plant Science, 8: 949.

Ouk M, Shu F, Ken F, Jaya Mark BC and Harry N. 2003. Routine selection for drought resistance in rain fed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Cambodia. In: Proceedings of the International Conference on Research on Water in Agriculture, CARDI, Cambodia. 25 – 29.

Paknezhad F, Majid Hervan A, Nourmohammadi A, Sayyadat A and Wazan S. 2010. Evaluation of the effect of drought stress on effective traits on the accumulation of materials in grain of different wheat cultivars. Agricultural Science, 13: 149-137.

Prabha ML, Jayraaj IA, Jayaraj S and Rao DS. 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.

Rashtbari M and Alikhani HA. 2012. Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22 (2); 113 – 127.

Richards RA, Condon AG, Rebetzke GJ, Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI and McNab A. 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT.

Ronanini D, Savin R and Hal AJ. 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.

Sajed Gollojeh K, Khomari S, Shekhzadeh P, Sabaghnia N and Mohebodini M. 2020. The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. Electronic Journal of Crop Production. 12: 4. 137-156. (In Persian).

Seyed Sharifi R and Namvar A. 2017. Bio fertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (In Persian).

Seyed Sharifi R, Khalilzadeh R, Jalilian J. 2016. Effects of biofertilizers and cycocel on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Archive of Agronomy and Soil Science, 63 (3): 308-317.

Seyed Sharifi R and Khalilzadeh R J. 2019. Morphology and Growth and Development Stages of Crops. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (In Persian).

Seyed Sharifi R, Seyed Sharifi R and Narimani H. 2021. Effect of methanol and seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on grain filling components, chlorophyll content and yield of safflower under various irrigation levels. Journal of Crop Improvement, 23(4): 691-706.

Seyed Sharifi R. 2016. Oil Seeds. Jahad Daneshgahi Ardabil press. 282 pp.

Sharifi P. 2017. Effect of silicon nutrition on yield and physiological characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress conditions. International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), 8 (1): 144-153.

Simova-Stoilova L, Demirevska K, Petrova T, Tsenov N and Feller U. 2008. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. Plant Soil Environment, 54: 529-536.

Theunissen J, Ndakidemi P and 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(13): 1964-1973.

Tripathi DK, Singh S, Singh VP, Prasad SM, Chauhan DK, Dubey NK. 2016b. Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultivar and hybrid differing in arsenate tolerance. Frontiers in Environmental Science, 4:46.

Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 225: 571-586.