اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک تریتیکاله

ژیلا نظری*[۱]، رئوف سیدشریفی[۲] و حامد نریمانی[۳]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳) دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
*نویسنده مسئول: **gillanazary@gmail.com**

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک تریتیکاله، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی 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 آبستنی و سنبله‌دهی)، کاربرد کودهای زیستی (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی-کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. یک افزایش ۵۰/۷، ۴۵/۵۸، ۴۷/۳، ۶۱/۱۱، ۱۵۲/۷۴ و ۵۸/۴۵ درصدی به‌ترتیب در شاخص سطح برگ، محتوای پروتئین برگ، وزن و حجم ریشه، فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی مشاهده شد. کاربرد توأم ورمی‌کمپوست با میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل، انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه را (به‌ترتیب ۴۴/۴۶، ۱۳۰/۵۴، ۱۹/۷۹ و ۹۱/۱۴ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش داد. هم‌چنین کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به‌ترتیب ۵۹/۵۲ و ۵۴/۶۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل آبستنی (حذف پنج مرحله آبیاری) و سنبله‌دهی (حذف سه مرحله آبیاری) شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون می‌تواند با بهبود شاخص سطح برگ، وزن و حجم ریشه موجب افزایش فتوسنتز جاری و عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبی شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین برگ، فتوسنتز جاری، کودهای زیستی و وزن خشک ریشه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مقدمه

تریتیکاله[1] نتیجه تلاقی گندم و چاودار، دارای ویژگی مطلوب چاودار از جمله رشد سریع و قابلیت تولید در اراضی فقیر و کم بازده و از طرف دیگر دارای ویژگی برتر کیفی و زراعی گندم می‌باشد. دانه‌های تریتیکاله درشت‌تر از گندم بوده و از لحاظ میزان لایسین و اسیدآمینه‌های سولفوردار بر گندم برتری دارد (ابطحی و باقرزاده، ۱۳۹۳). بر اساس آمار سال ۲۰۱۷ میلادی در FAO، سطح زیر کشت و تولید جهانی تریتیکاله به‌ترتیب معادل ۴/۱۷ میلیون هکتار و ۱۵/۵۶ میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2017) و سطح زیر کشت آن در ایران بیش از ۱۶۰۰۰ هزار هکتار است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۶). محدودیت آبی مهم‌ترین تنش غیرزیستی در کاهش رشد و بهره‌وری گیاهی و تهدیدی جدی برای تولید پایدار به‌شمار می‌آید که از طریق بسته شدن روزنه‌ها، کاهش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در کلروپلاست، کاهش سطح برگ و همچنین کاهش پتانسیل آب سلول، فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Hopkins and Haner, 2004; Anjum *et al*., 2011). در این راستا یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش یا تعدیل اثرهای ناشی از آن، استفاده از کودهای زیستی همانند قارچ میکوریزا می‌باشد که با افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و ایجاد شبکه هیفی در ریزوسفر، ضمن اصلاح و حفظ ساختار خاک و کمک به انباشت آب در محیط ریشه، موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی، تولید سطح برگ بیشتر و افزایش بیوماس گیاهی می‌شود (Smith *et al*., 2008; Ghanta *et al*., 2013). عملکرد نهایی دانه را دو فرآیند فیزیولوژیک، یعنی فتوسنتز جاری و انتقال مجدد آسیمیلات‌ها در مرحله قبل از گل‌دهی تشکیل می‌دهند (Dordas and Sioulas, 2009). در هر محیطی سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه به روابط منبع و مخزن در طول پر شدن دانه مربوط می‌شود (Asseng and Van Herwaarden, 2003). پژوهشگران عقیده دارند که هر گونه کاهش در تامین آب در مراحل رشد و نمو گیاه، موجب کاهش جذب عناصر و کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه می‌شود (Scharf *et al*., 2015). Plaut و همکاران (۲۰۰۴) اظهار داشتند که محدودیت آبی در مرحله پر شدن دانه با تسریع پیری گیاه و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، موجب افزایش انتقال مجدد ماده خشک به دانه می‌شود. سیدشریفی و نظرلی (۱۳۹۲) اظهار داشتند کاربرد کودهای زیستی، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و سهم مشارکت ذخایر ساقه در پر شدن دانه را کاهش داد. آنان علت را به ایجاد شرایط بهینه توسط کودهای زیستی و افزایش سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه شاخص سطح برگ بالاتر نسبت دادند که موجب می‌شود بخش عمده‌ای از عملکرد دانه، توسط فتوسنتز جاری تامین شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد. خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که قارچ میکوریزا با تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی ضمن افزایش شاخص سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری، موجب کاهش انتقال ماده خشک از

1- × *Triticosecale* Wittmak

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه شد. عبادی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند کاربرد میکوریزا به‌دلیل گسترش سطح برگ و افزایش توانایی منبع در تخصیص بهتر منابع به مخازن موجب می‌شود که فتوسنتز جاری برای مدت زمان طولانی‌تری فعال شده و در نتیجه عملکرد دانه، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه کاهش یابد. ورمی‌کمپوست یکی دیگر از انواع کودهای زیستی است که از طریق ایجاد تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای آب و عناصر معدنی، تهویه و زهکشی مناسب، افزایش ماده آلی و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، موجب فراهمی عناصر غذایی و نیتروژن از شکل آلی به معدنی شده و کاربرد آن با کاهش اثر محدودیت آبی مانند کاهش بسته شدن روزنه‌ها و تامین دی‌اکسیدکربن مورد نیاز برای آنزیم روبیسکو می‌تواند منجر به افزایش فتوسنتز در گیاهان شود (Aggelides *et al*., 2000; Manyuchi *et al*., 2013). درزی و همکاران (۱۳۸۹) اظهار داشتند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه‌تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک را فراهم می‌کند. رشتبری و علیخانی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل افزایش جذب نیتروژن و بهبود محتوای کلروفیل، موجب افزایش سطح برگ و وزن خشک ریشه و عملکرد دانه کلزا شد. شهبازی و همکاران (۱۳۹۴) اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود رشد و توسعه ریشه ضمن افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی، موجب افزایش حجم اندام‌های فتوسنتز کننده، مقدار و ظرفیت تولید مواد پرورده شده و با افزایش فتوسنتز جاری، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. سیلیکون به‌عنوان دومین عنصر فراوان پوسته زمین، امروزه در بهبود رشد و نمو گیاهان و هم‌چنین افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در شرایط مطلوب، بسیاری از گیاهان می‌توانند بدون حضور سیلیکون رشد کنند. از این‌رو، هنوز به‌عنوان یک عنصر ضروری شناخته نشده است، اما به‌عنوان عنصر شبه ضروری برای رشد گیاهان در نظر گرفته می‌شود (Gaur *et al*., 2020). مصرف سیلیکون با کاهش نفوذپذیری غشای سلولی، ممانعت از پراکسیداسیون غشای پلاسمایی، افزایش استحکام و تاخیر پیری برگ‌ها، بهبود محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو ضمن افزایش فتوسنتز موجب افزایش پایداری گیاه در شرایط محدودیت آبی می‌شود (Liang *et al*., 2006; Ahmed *et al*., 2011). رضابیگی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند کاربرد سیلیکون تحت شرایط آبیاری مطلوب با بهبود مکانیسم جذب، تجمع و انتقال بهتر مواد کربوهیدراتی به دانه، موجب کاهش انتقال ماده خشک در گندم شد. حاجی‌پور و جبارزاده (۱۳۹۵) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون با بهبود شاخص‌های فتوسنتزی مانند افزایش استحکام برگ‌ها به‌دلیل رسوب آن در لایه اپیدرم و افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش سطح برگ و فتوسنتز شد. مصادف شدن مراحل حساس رشدی تریتیکاله در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک با شرایط آب و هوایی گرم و خشک و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

نقش کودهای زیستی و نانوسیلیکون در تعدیل یا کاهش اثر محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک 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 آبستنی و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در دو سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) با اندازه ذرات ۲۰ الی ۳۰ نانومتر محصول شرکت Nanomaterial US Research بود. محلول‌پاشی با آن در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌دهی (به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. کاشت در تاریخ ۳۰ آذر ۱۳۹۸ انجام شد. آبیاری با استفاده از آبپاش انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط و سطوح ذکر شده انجام شد. به هر گلدان حدود ۱۸ کیلوگرم خاک اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ۴۰ سانتی‌متر تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. نتایج ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی

اسیدیته	بافت	عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	روی	فسفر	پتاسیم
		درصد						میلی گرم بر کیلوگرم		
۷/۸	سیلت	۴۷	۱۹	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

جهت اعمال تیمار میکوریزا از قارچ *Glomus moseae* استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود که از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۱۲۵/۶ گرم در هر گلدان) بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد. در هر گلدان ۵۰ بذر از تریتیکاله رقم سناباد برای رسیدن به تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع که مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، کشت شد. تریتیکاله رقم سناباد که از تیپ رشد بهاره، متوسطرس با متوسط ارتفاع بوته ۱۱۲-۱۱۰ سانتی‌متر و وزن هزار دانه ۴۵/۴۷ گرم، استفاده شد. در طول دوره رشد علف‌های هرز به طریقه دستی کنترل شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی ۱۰ تن در هکتار (۱۲۵/۶ گرم در گلدان) بود که از شرکت گلیدا خریداری و در هنگام کاشت با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. مشخصات ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: نتایج تجزیه کود ورمی‌کمپوست

منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	کادمیم	سرب	روی	مس	منگنز	نسبت کربن به نیتروژن	هدایت الکتریکی	اسیدیته
(درصد)				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)	
۰/۹۵	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴	۱	۱۹	۱۱۰	۲۰	۲۷۵	۲۱/۲۵	۱/۱۲	۷/۶۴

به‌منظور برآورد شاخص سطح برگ، از ۵۷ روز پس از کاشت و در فواصل زمانی هر هشت روز یک بار، نمونه‌برداری به روش تخریبی و از هر گلدان یک بوته انجام گرفت. نمونه‌ها در آون با دمای ۵±۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیش‌تر (تا زمان تثبیت وزن خشک آن‌ها) قرار گرفته و سپس توزین شدند. شاخص سطح برگ به کمک رابطه ۱ برآورد شد (Karimi and Siddique, 1991):

رابطه ۱:

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

در این رابطه t فاصله زمانی بین مراحل نمونه‌برداری و a، b و c ضرایب معادله هستند. برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، از زمان پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری انجام شد. بدین ترتیب که در این مرحله در هر گلدان تعدادی بوته‌هایی مشابه و یکنواخت علامت‌گذاری شده و از یک هفته قبل از پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک بار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته‌های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک شدند. پس از خشک کردن (در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) به اندام‌های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق رابطه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ محاسبه شدند (Barnett and Pearce, 1983):

رابطه ۲:

$$DMT = DMA - DMM$$

در این رابطه DMT[1] میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در بوته، DMA[2] حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM[3] میزان ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

1- Dry Matter Translocation
2- Dry Matter at Anthesis
3- Dry Matter at Maturity

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

رابطه ۳: $CDMAG = DMT \div GY \times 100$

در این رابطه CDMAG[1] سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته و GY[2] عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۴: $SDMT = SDMM - SDMA$

در این رابطه SDMT[3] میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته، SDMA[4] حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMM[5] وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

رابطه ۵: $CSAG = SDMT \div GY \times 100$

در این رابطه CSAG[6] سهم ذخائر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۶: $CP = GY - DMT$

در این رابطه CP[7] میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته و DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۷: $SSPG = CP – GY \times 100$

در این رابطه CCPG[8] سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد. در این رابطه‌ها کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده و فرض بر آن است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است (Ehdaie and Waines, 1993). به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، خارج‌سازی ریشه‌ها از گلدان‌ها انجام و برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه

1- Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain
2- Grain Yield
3- Stem Dry Matter Translocation
4- Stem Dry Matter at Anthesis
5- Stem Dry Matter at Maturity
6- Contribution of Stem Assimilates to Grain
7- Current photosynthesis
8- Contribution Current photosynthesis in grain

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه‌ها با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. پروتئین برگ پرچم با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه به‌طور تصادفی در هر گلدان برداشت شد، سپس میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه۹/۱ استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که برهم‌کنش توأم کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به محدودیت آبی در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند نسبتا مشابهی داشت، به طوری‌که در ابتدای فصل رشد، میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن به سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به‌نظر می‌رسد به‌دلیل افزایش سن گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها، از روند نزولی برخوردار شد. البته زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در قطع آبیاری در مرحله آبستنی و سنبله‌دهی کم‌تر از آبیاری کامل بود. کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۵۰/۷ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۸۱ روز پس از کاشت شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد عدم تامین آسیمیلات مورد نیاز برای رشد برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز از مهم‌ترین علل احتمالی کاهش شاخص سطح برگ در اثر محدودیت آبی باشد (Tesfye *et al*., 2006). برخی پژوهشگران کاهش محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز و تسریع پیری برگ‌ها در اثر محدودیت آبی را از علل کاهش رشد برگ و به تبع از آن کاهش شاخص سطح برگ نسبت داده‌اند (Praba *et al*., 2009). Mahpara و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند گیاهان به‌منظور کاهش میزان تعرق و افزایش ذخیره آب در خاک در دوره‌های حساس رشد و مراحل دانه‌بندی و پر شدن دانه، برگ‌های کوچک و باریک ایجاد کرده و در نهایت سطح برگ خود تحت شرایط محدودیت آبی را کاهش می‌دهند. Giri و همکاران (۲۰۰۴) افزایش سطح برگ با کاربرد قارچ‌های میکوریزا را به بهبود دسترسی گیاه به آب و جذب بهتر عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر و نیز افزایش فعالیت احیا کننده نیترات یعنی نیترات ردوکتاز و سنتز پروتئینی نسبت دادند. Boomsma و Vyn (۲۰۰۸) افزایش سطح برگ تحت شرایط تنش کم آبی در گیاهان کلونیزه شده با میکوریزا را، به کاهش پیری برگ به‌واسطه افزایش تولید کلروفیل یا تخریب آن نسبت دادند. Arancon و همکاران (۲۰۰۴) بهبود خواص فیزیکی و زیستی خاک مانند افزایش زیست‌توده و فعالیت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

میکروبی، عرضه عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر را از عوامل مؤثر در افزایش سطح برگ ذکر کردند. در بررسی Najar و همکاران (۲۰۱۵) کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود شاخص سطح برگ موجب افزایش وزن ریشه شد. سیلیکون نیز به‌دلایل مختلفی از جمله تاخیر در پیری برگ، افزایش استحکام و ضخامت برگ و بر افراشته ماندن برگ‌ها موجب افزایش سطح برگ گیاهان می‌شود (Savvas *et al*., 2015). Trejo-Tellez و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد سیلیکون با بهبود حجم ریشه و افزایش محتوای کربوهیدرات و اسیدهای آمینه موجب افزایش سطح برگ شد. Epstein (۱۹۹۴) اظهار داشت کاربرد سیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش جذب عناصر و بهبود میزان فتوسنتز، موجب انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر در گیاه و افزایش شاخص سطح برگ شد. در این بررسی نیز کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون، کاهش ۳۶/۴۹ درصدی ناشی از عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۸۱ روز پس از کاشت را جبران نمود (جدول ۵).

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و فتوسنتز جاری

کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون، سطوح آبیاری و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۱/۲۸ گرم در بوته و ۵۰/۷۹ درصد) در عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی مشاهده، که این ترکیب تیماری به‌ترتیب از افزایش ۴۴/۴۶ و ۱۳۰/۵۶ درصدی انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرآیند در عملکرد دانه نسبت به شرایط کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل برخوردار بود. همچنین، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل دارای کم‌ترین انتقال ماده خشک از ساقه و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۰/۶۷۲ گرم در بوته و ۷۱/۱۶ درصد) بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، بالا بودن فتوسنتز جاری موجب می‌شود تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد، اما در شرایط محدودیت آبی، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مخزن بیش‌تر از منبع بوده و به‌دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۴). بیش‌ترین فتوسنتز جاری (۳/۱۳۴ گرم در بوته) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد که از افزایش ۵۸/۴۵ درصدی سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود. بخشی از بهبود فتوسنتز جاری و کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل می‌تواند ناشی از اثر این ترکیب تیماری در افزایش شاخص سطح برگ باشد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز در این زمینه توسط خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۴) به‌دست آمد مبنی بر اینکه در شرایط محدودیت آبی به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه کاهش سطح برگ کاهش می‌یابد، در نتیجه بخش بیشتری از سهم دانه به‌واسطه انتقال بیش‌تر ماده خشک تامین می‌شود. Ehdaie و Waines (۱۹۹۶) اظهار داشتند که میانگین انتقال مجدد در شرایط تنش از میانگین انتقال در شرایط آبیاری مطلوب بیشتر است. به‌نظر می‌رسد بخش دیگری از بهبود فتوسنتز جاری می‌تواند ناشی از مقادیر بالای عناصری مانند نیتروژن و فسفر، آهن و منگنز در ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش باشد (جدول ۲) که با کمک به بهبود محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو می‌تواند منجر به افزایش فتوسنتز در گیاهان شود (Aggelides *et al*., 2000). بدیهی است در چنین شرایطی با بهبود فتوسنتز جاری، سهم انتقال ماده خشک در عملکرد کاهش یابد. حیدرزاده و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز جاری و کاهش انتقال ماده خشک می‌شود. برنجانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که قارچ میکوریزا به‌دلیل گسترش ریشه، سطح جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش می‌دهد که این امر با افزایش رشد برگ و ذخیره مواد فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه و کاهش میزان انتقال مجدد در ذرت شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوسیلیکون نیز همانند ورمی‌کمپوست با افزایش وزن و حجم ریشه موجب افزایش فتوسنتز شود (جدول ۵). رضابیگی و همکاران (۱۳۹۹) ضمن گزارش افزایش میزان انتقال ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی، اظهار داشتند کاربرد سیلیکون تحت شرایط آبیاری مطلوب با بهبود مکانیسم جذب، تجمع و انتقال بهتر مواد هیدرات‌کربن به دانه موجب کاهش انتقال ماده خشک در گندم شد. Dehghanipoodeh و همکاران (۲۰۱۸)، افزایش وزن ریشه و سطح برگ در اثر کاربرد سیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی را از علل اصلی افزایش فتوسنتز بیان کردند. به‌طور کلی کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون با افزایش وزن و حجم ریشه، شاخص سطح برگ موجب بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه و کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه شد (جدول ۵).

درصد پروتئین برگ پرچم

کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر درصد پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون تحت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۴۵/۵۸ درصدی محتوای پروتئین برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۵). بخشی از بهبود محتوای پروتئین می‌تواند ناشی از وجود مقادیر بالایی از عناصری مانند نیتروژن و فسفر موجود در ورمی‌کمپوست و یا اثر میکوریزا بر قابلیت انحلال فسفر باشد. احتمالا افزایش محتوای پروتئین گیاه ناشی از افزایش تغذیه فسفری گیاه می‌باشد که با همزیستی میکوریزایی انجام می‌شود (Ilbas and Sahin, 2005). همچنین، از آنجایی‌که نیتروژن در گیاهان به‌صورت پروتئین تکامل می‌یابد، افزایش محتوای پروتئین تحت چنین شرایطی می‌تواند به اثر میکوریزا در افزایش جذب عناصر به‌ویژه نیتروژن و نقش ورمی‌کمپوست مورد استفاده در افزایش دسترسی به نیتروژن مورد نیاز برای تولید اسیدهای آمینه و کاهش تجزیه پروتئین‌ها باشد (علیخانی و محمودی زرندی، ۱۳۹۸). Mycin و همکاران (۲۰۱۰) افزایش پروتئین در کاربرد ورمی‌کمپوست را، به تامین مقادیر قابل توجهی از عناصر پیش نیاز برای تولید پروتئین از ورمی‌کمپوست نسبت دادند. بخشی از افزایش محتوای پروتئین محلول در کاربرد سیلیکون به‌نظر می‌رسد ناشی از سنتز پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با تنش خشکی باشد (Tale Ahmad *et al*., 2011). دانائی و عبدوسی (۱۴۰۰) افزایش محتوای پروتئین با کاربرد نانوسیلیکون را به بهبود وزن ریشه نسبت دادند که می‌تواند با کمک به جذب بیشتر عناصر از خاک منجر به افزایش محتوای پروتئین شود. در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود وزن ریشه موجب افزایش درصد پروتئین برگ پرچم شده است (جدول ۵).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثرکودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر شاخص سطح برگ تریتیکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص سطح برگ (روزهای پس از کاشت)							
		۵۷	۶۵	۷۳	۸۱	۸۹	۹۷	۱۰۵	۱۱۳
تکرار	۲	۰/۲۵۶**	۰/۶۷**	۰/۷۸۶**	۰/۹۴۱**	۰/۸۰۶**	۰/۶۰۷**	۰/۳۵۷**	۰/۱۰۵**
سطوح آبیاری	۲	۰/۰۰۹**	۰/۰۶۸**	۰/۱۳۴**	۰/۲۳**	۰/۲۲۸**	۰/۰۴۲**	۰/۰۲۴**	۰/۰۱۹**
کودهای زیستی	۳	۰/۰۲۱**	۰/۱۶۷**	۰/۰۹۲**	۰/۱۵۴**	۰/۱۵۶**	۰/۰۳۲**	۰/۰۶۱**	۰/۰۴۹**
نانوسیلیکون	۱	۰/۰۱۰۶**	۰/۰۶**	۰/۰۲۳**	۰/۰۵۱**	۰/۰۴۲**	۰/۰۰۵۴**	۰/۰۲۶**	۰/۰۲**
سطوح آبیاری×کودهای زیستی	۶	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۲**
سطوح آبیاری×نانوسیلیکون	۲	۰/۰۰۱۴**	۰/۰۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۱۹**	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
کودهای زیستی×نانوسیلیکون	۳	۰/۰۰۱۵**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۲^{ns}
سطوح آبیاری×کودهای زیستی×نانوسیلیکون	۶	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۱۴**	۰/۰۰۴۶**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۴**
خطا	۴۶	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

وزن و حجم ریشه

بیش‌ترین وزن و حجم ریشه به‌ترتیب ۰/۶۸۲ گرم در بوته و ۱/۴۵ سانتی‌متر مکعب در بوته در کاربرد توأم ورمی-کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل مشاهده شد، که این ترکیب تیماری از افزایش به‌ترتیب ۴۷/۳ و ۶۱/۱۱ درصدی وزن و حجم ریشه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵). Michele و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که با افزایش شدت تنش، فتوسنتز برگ کاهش یافته و نیازهای قندی برای تنظیم اسمزی سلول افزایش می‌یابد در نتیجه دسترسی به مواد فتوسنتزی کاهش یافته و رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌شود. قارچ میکوریزا با افزایش جذب آب و مواد غذایی و به‌دنبال آن فتوسنتز برگ و اختصاص کربن به ریشه به‌طور مؤثری باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شود (Hu and Schmidhalter, 2005). Auge (۲۰۰۱) علت افزایش وزن ریشه در کاربرد قارچ‌های میکوریزا را به افزایش جذب آب و عناصر غذایی، افزایش فتوسنتز برگ و اختصاص کربن به ریشه نسبت داد. Duc و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش با بهبود شاخص سطح برگ و شرایط فتوسنتزی گیاه موجب افزایش وزن ریشه می‌شود. به‌نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست با افزایش سطح برگ، ایجاد تخلخل زیاد و امکان تهویه مناسب (نورافکن و همکاران، ۱۳۹۴)، افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نهایت به رشد و توسعه بیش‌تر وزن تر و خشک ریشه کمک می‌کند (Skutink *et al*., 2001).

سیلیکون تحت شرایط تنش با حفاظت از استوانه آوندی به‌عنوان یک حامل مکانیکی که باعث سخت شدن دیواره سلولی استوانه آوندی و بافت آندودرمی می‌شود، رشد طولی ریشه را افزایش می‌دهد (Datnoff *et al*., 2001)، از این‌رو تغذیه بهینه سیلیکون موجب افزایش سطح کل جذب کننده عناصر و در نهایت رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود (Sun *et al*., 2005). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل با بهبود فتوسنتز جاری موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه شده و در نهایت موجب افزایش وزن خشک و حجم ریشه شد (جدول ۵).

عملکرد تک بوته

کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد (۴/۰۲ گرم در بوته) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد، که از افزایش ۵۹/۵۲ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود. بخشی از کاهش عملکرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

دانه در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از اثر این عامل در کاهش سطح برگ و یا کاهش فتوسنتز جاری باشد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز مبنی بر اینکه محدودیت آبی منجر به کاهش فتوسنتز و عملکرد دانه می‌شود توسط Ruuska و همکاران (۲۰۰۶) و خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شده است. امام (۱۳۸۶) اظهار داشت کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به‌علت کاهش اندازه منبع (برگ‌ها و ساقه‌ها)، ظرفیت مخزن فیزیولوژیک (تعداد سلول-های آندوسپرم و فعالیت آنزیمی دانه) و یا هر دو مورد باشد. بخشی از بهبود عملکرد دانه در کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و نانوسیلیکون می‌تواند ناشی از اثر این مواد در افزایش وزن و حجم ریشه، بهبود شاخص سطح برگ و به تبع از آن بهبود فتوسنتز جاری باشد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد گیاهان تلقیح شده با میکوریزا از طریق توسعه ریشه و استفاده از روابط آبی و تغذیه‌ای بهتر می‌توانند از شرایط تنش به‌طور موقت فرار کنند (پاینده و دروگر، ۱۳۹۸). Wright و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده گیاهان برخوردار از میکوریزا به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند.

ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند به‌دلیل برخورداری از مقادیر بالای نیتروژن و فسفر موجود در آن (جدول ۲) موجب بهبود شاخص سطح برگ، فتوسنتز جاری و عملکرد گیاه شود. شهبازی و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود رشد و توسعه ریشه، دسترسی به آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهد که با افزایش حجم اندام‌های فتوسنتزکننده منجر به افزایش مقدار و ظرفیت تولید مواد پرورده شده و در نتیجه با افزایش فتوسنتز جاری موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌گردد. در بررسی پزشکپور و همکاران (۱۳۹۳) نیز افزایش مقادیر ورمی‌کمپوست، از طریق اثر بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاس موجب افزایش عملکرد دانه نخود شد. Pandiyan و همکاران (۲۰۲۰) نیز افزایش افزایش عملکرد دانه به‌واسطه کاربرد ورمی‌کمپوست را به بهبود وزن ریشه و شاخص سطح برگ نسبت دادند. مطالعه‌ها نشان داده‌اند مصرف سیلیکون موجب افزایش سطح برگ و در نتیجه، افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Gottardi *et al.*, 2012). Epstein (۱۹۹۴) بیان نمود که کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش آبی از طریق افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز را افزایش داده و موجب انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زایشی شده و در نهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. در این بررسی به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون با افزایش وزن و حجم ریشه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد (جدول ۵).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۴: تجزیه واریانس اثرکودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		انتقال ماده خشک از اندام هوایی	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه	پروتئین برگ	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱/۱۱۰**	۱۱۱۹/۳**	۰/۵۵۵**	۵۴۸/۸**	۴/۶۵۶**	۴۱۶۳/۲**	۱۲۴/۰۷**	۰/۳۳**	۱/۳۳۹**	۱۰/۳**
سطوح آبیاری	۲	۰/۱۲۴**	۷۸۷/۳**	۰/۰۰۶**	۲۰۲/۴**	۳/۷۷۹**	۷۸۷/۳**	۲۱/۵۶**	۰/۰۴**	۰/۳۱۶**	۲/۵**
کودهای زیستی	۳	۰/۲۱۹**	۱۰۹۰/۸**	۰/۰۲۷**	۳۱۷/۶**	۴/۹۲۳**	۱۰۹۰/۸**	۱۶/۱۲**	۰/۰۶۶**	۰/۳۵۴**	۳/۰۸**
نانوسیلیکون	۱	۰/۱۵۳**	۷۷۹/۴**	۰/۰۱۳**	۲۰۳/۱**	۳/۲۴۷**	۷۷۹/۴**	۶/۵۷**	۰/۰۵۶**	۰/۲۴۸**	۱/۹**
سطوح آبیاری×کودهای زیستی	۶	۰/۰۰۸**	۳۹/۷۳**	۰/۰۰۰۶**	۴/۹۵**	۰/۰۷۲**	۳۹/۷۳**	۰/۱۶۶*	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۴**	۰/۰۳۹**
سطوح آبیاری×نانوسیلیکون	۲	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۳۴۳^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/۱۸۸*	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}
کودهای زیستی×نانوسیلیکون	۳	۰/۰۰۲*	۲۸/۵۷**	۰/۰۰۱۲**	۴/۲۵۶**	۰/۰۷۵**	۲۸/۵۷**	۰/۴۲**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۶۵**	۰/۰۵۳**
سطوح آبیاری×کودهای زیستی×نانوسیلیکون	۶	۰/۰۱۳**	۲۶/۰۴۳**	۰/۰۰۰۳**	۲/۳۴۸*	۰/۰۸۲**	۲۶/۰۴**	۰/۲۱۹**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۶**	۰/۰۵۷**
خطا	۴۶	۰/۰۰۰۶	۳/۵۴۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۹۳۸	۰/۰۱۵	۳/۵۴۱	۰/۰۵۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۹۹

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری

ترکیب تیماری	شاخص سطح برگ (روز پس از کاشت) ۵۷	۶۵	۷۳	۸۱	۸۹	۹۷	۱۰۵	۱۱۳	انتقال ماده خشک از اندام هوایی (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (درصد)	انتقال ماده خشک از ساقه (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه (درصد)	فتوسنتز جاری (گرم در بوته)	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (٪)	پروتئین برگ (درصد)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$I_1 \times B_1 \times N_1$	۰/۴۹۳^{ij}	۰/۷۵۳^{mno}	۰/۸۹۴^{hi}	۰/۹۷۹^{ij}	۰/۸۶۷^{jk}	۰/۷۶۴^{lm}	۰/۵۵۹^{no}	۰/۲۸۵^{pqr}	۱/۲۳^{bcd}	۴۱/۸۳^{de}	۰/۷۹۹^{ab}	۲۷/۱۷^{efg}	۱/۷۱^{kl}	۵۸/۱۶^{jk}	۱۰/۷۷^{lm}	۰/۵۳۹^{kl}	۱/۰۷^{kl}	۲/۹^{jk}
$I_1 \times B_2 \times N_1$	۰/۵۰۳^{hi}	۰/۸۵۱^{ghi}	۰/۸۸۸^{hi}	۰/۹۷۶^{ij}	۰/۹۱۲^{hi}	۰/۷۷۴^{kl}	۰/۵۸۹^{lm}	۰/۳۱۱^{mno}	۱/۰۱۸^{e}	۳۲/۲۱^{fg}	۰/۷۸۵^{cd}	۲۴/۸۴^{hi}	۲/۱۴^{hi}	۶۷/۲۸^{hi}	۱۱/۱۹^{ijk}	۰/۵۷۵^{ij}	۱/۱۳^{ij}	۳/۱۶^{hi}
$I_1 \times B_3 \times N_1$	۰/۵۰۳^{hi}	۰/۹۰۱^{def}	۰/۹۹۷^{cd}	۱/۱۰۹^{cd}	۱/۰۶۹^{ab}	۰/۸۷۵^{bc}	۰/۶۳۷^{ghi}	۰/۳۵۶^{ghi}	۱/۰۱۲^{ef}	۲۸/۱۱^{hijk}	۰/۷۶۵^{f}	۲۱/۲۵^{kl}	۲/۵۸۸^{cde}	۷۱/۸۸^{defg}	۱۲/۶۶^{cd}	۰/۶۲۸^{def}	۱/۲۸^{ef}	۳/۶^{de}
$I_1 \times B_4 \times N_1$	۰/۵۸۶^{c}	۰/۹۷۴^{a}	۱/۰۳۹^{ab}	۱/۱۵۲^{ab}	۱/۰۷۲^{ab}	۰/۸۹۶^{a}	۰/۷۰۴^{ab}	۰/۴۱۷^{ab}	۰/۹۴۹^{ghi}	۲۳/۶^{lmn}	۰/۷۰۷^{j}	۱۷/۵۸^{n}	۳/۰۷^{a}	۷۶/۳۹^{abc}	۱۳/۳۱^{ab}	۰/۶۸^{a}	۱/۴۵^{a}	۴/۰۲^{a}
$I_1 \times B_1 \times N_2$	۰/۴۹۹^{hi}	۰/۷۸۶^{klm}	۰/۸۹۷^{hi}	۱/۰۲^{gh}	۰/۹۸۱^{ef}	۰/۸۵۳^{de}	۰/۶۱۹^{ijk}	۰/۳۳۶^{jkl}	۱/۰۱۹^{e}	۲۹/۳۶^{ghij}	۰/۷۹۱^{bcd}	۲۲/۷۹^{jk}	۲/۴۵۱^{efg}	۷۰/۶۴^{efgh}	۱۱/۷۲^{fgh}	۰/۶^{gh}	۱/۲۱^{gh}	۳/۴۷^{ef}
$I_1 \times B_2 \times N_2$	۰/۵۲۴^{f}	۰/۹۵۱^{abc}	۱/۰۳۵^{ab}	۱/۱۵۶^{ab}	۱/۰۷۳^{ab}	۰/۸۵۶^{cd}	۰/۶۸۵^{bcd}	۰/۴^{bcd}	۰/۹۲۶^{hij}	۲۳/۰۹^{n}	۰/۶۹۲^{k}	۱۷/۲۵^{n}	۳/۰۸۴^{a}	۷۶/۹۰^{a}	۱۲/۹۴^{bc}	۰/۶۸^{a}	۱/۴۴^{a}	۴/۰۱^{a}
$I_1 \times B_3 \times N_2$	۰/۵۴۴^{e}	۰/۹۵۵^{ab}	۱/۰۳۵^{ab}	۱/۱۵۶^{ab}	۱/۰۷۶^{ab}	۰/۸۵۶^{cd}	۰/۶۸۵^{bcd}	۰/۴^{bcd}	۰/۹۲۶^{hij}	۲۳/۰۹^{n}	۰/۶۹۲^{k}	۱۷/۲۵^{n}	۳/۰۸۴^{a}	۷۶/۹۰^{a}	۱۲/۹۴^{bc}	۰/۶۸^{a}	۱/۳۸^{bc}	۳/۷۹^{bc}
$I_1 \times B_4 \times N_2$	۰/۶۱۳^{a}	۰/۹۵۶^{ab}	۱/۰۵۷^{a}	۱/۱۷۷^{a}	۱/۰۹۹^{a}	۰/۸۸۵^{ab}	۰/۷۱۳^{a}	۰/۴۲۶^{a}	۰/۸۸۶^{j}	۲۲/۰۳^{m}	۰/۶۷۲^{l}	۱۶/۷۱^{n}	۳/۱۳۴^{a}	۷۷/۹۶^{a}	۱۳/۵۱^{a}	۰/۶۸۲^{a}	۱/۴۵^{a}	۴/۰۲^{a}
$I_2 \times B_1 \times N_1$	۰/۴۸^{k}	۰/۶۷۲^{rs}	۰/۷۹۱^{mn}	۰/۸۲۴^{pq}	۰/۷۵۶^{op}	۰/۷۳۱^{op}	۰/۵۲۶^{qrs}	۰/۲۶^{stu}	۱/۲۵^{abc}	۴۸/۰۷^{ab}	۰/۸۰۱^{ab}	۳۰/۸۰^{ab}	۱/۳۵^{no}	۵۱/۹۲^{mn}	۹/۸۱^{qr}	۰/۴۷۹^{op}	۰/۹۶^{no}	۲/۶^{mn}
$I_2 \times B_2 \times N_1$	۰/۴۹۶^{i}	۰/۷۳۶^{nop}	۰/۸۶۸^{ij}	۰/۹۵۳^{jk}	۰/۸۸۹^{ij}	۰/۷۸۴^{jk}	۰/۵۴۶^{opq}	۰/۲۷۸^{qr}	۱/۲۳^{bcd}	۴۴/۷۲^{cd}	۰/۸^{ab}	۲۹/۰۹^{cd}	۱/۵۲^{lmn}	۵۵/۲۷^{kl}	۱۰/۵۲^{mno}	۰/۵۰۸^{mn}	۱/۰۲^{lm}	۲/۷۵^{lm}
$I_2 \times B_3 \times N_1$	۰/۵۰۲^{hi}	۰/۸۱۹^{ijk}	۰/۹۳۶^{fg}	۱/۰۴۵^{fg}	۰/۹۵۶^{fg}	۰/۸۰۸^{hi}	۰/۶۰۹^{jkl}	۰/۳۲۷^{klm}	۱/۰۱۴^{e}	۳۰/۹۱^{fgh}	۰/۷۷^{ef}	۲۳/۴۷^{ij}	۲/۲۶۶^{gh}	۶۹/۰۸^{ghi}	۱۱/۵۶^{ghi}	۰/۵۶۳^{jk}	۱/۱۶^{hij}	۳/۲۸^{gh}
$I_2 \times B_4 \times N_1$	۰/۵۲۸^{f}	۰/۹۵۳^{ab}	۰/۹۴۰^{fg}	۱/۰۴۳^{fg}	۰/۹۶^{fg}	۰/۸۰۸^{hi}	۰/۶۶۵^{def}	۰/۳۸۲^{def}	۰/۹۸۹^{efg}	۲۶/۷۲^{jk}	۰/۷۳۱^{hi}	۱۹/۷۵^{lm}	۲/۷۱۱^{cd}	۷۳/۲۷^{de}	۱۲/۱^{ef}	۰/۶۳۹^{cde}	۱/۳۴^{cd}	۳/۷^{cd}
$I_2 \times B_1 \times N_2$	۰/۴۹۱^{ijk}	۰/۷۰۳^{pqr}	۰/۸۳۱^{kl}	۰/۸۶۷^{no}	۰/۸۲۲^{lm}	۰/۷۵۵^{mn}	۰/۵۴۸^{op}	۰/۲۷۶^{qrs}	۱/۲۱^{cd}	۳۹/۹۳^{e}	۰/۷۹۶^{abc}	۲۶/۲۷^{fgh}	۱/۸۲^{jk}	۶۰/۰۶^{j}	۱۰/۱۸^{opq}	۰/۴۷۷^{op}	۱/۱۱^{jk}	۳/۰۳^{ij}
$I_2 \times B_2 \times N_2$	۰/۵۱^{gh}	۰/۸۸۵^{efg}	۰/۸۶۸^{ij}	۰/۹۱۲^{lm}	۰/۸۰۱^{mn}	۰/۷۵۶^{mn}	۰/۵۷۸^{mn}	۰/۳۰۲^{nop}	۱/۰۱۶^{e}	۳۳/۴۲^{f}	۰/۷۸^{de}	۲۵/۶۵^{gh}	۲/۰۲۴^{ij}	۶۶/۵۷^{i}	۱۱/۰۵^{jkl}	۰/۵۸۹^{hi}	۱/۱۲^{jk}	۳/۰۴^{ij}
$I_2 \times B_3 \times N_2$	۰/۵۶۵^{d}	۰/۹۱۸^{cde}	۰/۹۷۹^{de}	۱/۰۱۳^{bc}	۱/۰۴۸^{bc}	۰/۸۲^{gh}	۰/۶۴۶^{fgh}	۰/۳۶۴^{fgh}	۰/۹۶۹^{fgh}	۲۷/۶۰^{ijk}	۰/۷۲۲^{i}	۲۰/۵۶^{lm}	۲/۵۴۱^{def}	۷۲/۳۹^{def}	۱۲/۱^{ef}	۰/۶۶۳^{abc}	۱/۲۴^{fg}	۳/۵۱^{ef}
$I_2 \times B_4 \times N_2$	۰/۶^{b}	۰/۹۵۳^{ab}	۱/۰۱۷^{bc}	۱/۰۸۹^{de}	۱/۰۰۳^{de}	۰/۸۴۱^{ef}	۰/۶۹۵^{abc}	۰/۴۰۸^{abc}	۰/۹۰۶^{ij}	۲۳/۲۳^{mn}	۰/۶۸۲^{kl}	۱۷/۴۸^{n}	۲/۹۹۴^{ab}	۷۶/۷۶^{ab}	۱۲/۴۶^{de}	۰/۶۶۵^{ab}	۱/۴۱^{ab}	۳/۹^{ab}
$I_3 \times B_1 \times N_1$	۰/۴۷۹^{k}	۰/۶۵۵^{s}	۰/۷۵۳^{o}	۰/۷۸۱^{r}	۰/۷۱^{q}	۰/۷۰۶^{q}	۰/۵۱۷^{rs}	۰/۲۴۳^{u}	۱/۲۸^{a}	۵۰/۷۹^{a}	۰/۸۰۵^{a}	۳۱/۹۴^{a}	۱/۲۴^{o}	۴۹/۲۰^{n}	۹/۲۸^{s}	۰/۴۶۳^{p}	۰/۹^{p}	۲/۵۲^{n}
$I_3 \times B_2 \times N_1$	۰/۴۸^{k}	۰/۷۲^{opq}	۰/۸۰۹^{lm}	۰/۸۰۳^{qr}	۰/۷۲۹^{pq}	۰/۷۴۲^{no}	۰/۵۰۷^{s}	۰/۲۵۱^{tu}	۱/۲۶^{ab}	۴۹/۴۱^{ab}	۰/۸۰۳^{ab}	۳۱/۴۹^{ab}	۱/۲۹^{o}	۵۰/۵۸^{mn}	۹/۶۱^{rs}	۰/۴۹۳^{no}	۰/۹۳^{op}	۲/۵۵^{n}
$I_3 \times B_3 \times N_1$	۰/۴۸۲^{jk}	۰/۷۶۹^{lmn}	۰/۸۱۲^{lm}	۰/۸۹^{mn}	۰/۸۴۵^{kl}	۰/۷۵۳^{mn}	۰/۵۹۹^{kl}	۰/۳۱۹^{lmn}	۱/۲۲^{bcd}	۴۲/۹۵^{de}	۰/۷۷۹^{de}	۲۷/۴۵^{ef}	۱/۶۲^{klm}	۵۷/۰۴^{jk}	۱۰/۶^{mn}	۰/۵۲۲^{lm}	۱/۰۴^{lm}	۲/۸۴^{kl}
$I_3 \times B_4 \times N_1$	۰/۵۱۷^{fg}	۰/۸۶۸^{fgh}	۰/۹۱۶^{gh}	۱^{hi}	۰/۹۳۴^{gh}	۰/۷۹۷^{ij}	۰/۶۲۷^{hij}	۰/۳۴۷^{hij}	۱/۰۰۹^{ef}	۲۹/۸۵^{ghi}	۰/۷۵۱^{g}	۲۲/۲۱^{jk}	۲/۳۷۱^{fg}	۷۰/۱۴^{fgh}	۱۱/۳۶^{hij}	۰/۶۱۵^{efg}	۱/۱۹^{gh}	۳/۳۸^{fg}
$I_3 \times B_1 \times N_2$	۰/۴۷۸^{k}	۰/۸۰۲^{jkl}	۰/۷۷۲^{no}	۰/۸۴۲^{opq}	۰/۷۳۷^{pq}	۰/۷۲^{pq}	۰/۵۶۹^{n}	۰/۲۹۴^{opq}	۱/۲^{d}	۴۲/۲۵^{de}	۰/۷۹۴^{abc}	۲۷/۹۵^{de}	۱/۶۴^{kl}	۵۷/۷۴^{jk}	۱۰/۳۵^{nop}	۰/۵۵۳^{jk}	۱/۰۴^{lm}	۲/۸۴^{kl}
$I_3 \times B_2 \times N_2$	۰/۴۸۱^{jk}	۰/۸۳۶^{hij}	۰/۸۵^{jk}	۰/۹۳۳^{kl}	۰/۸۴۵^{kl}	۰/۷۹۵^{ij}	۰/۶۲۷^{hij}	۰/۳۴۵^{ijk}	۱/۰۱۴^{e}	۳۰/۰۸^{ghi}	۰/۷۷^{ef}	۲۲/۸۴^{j}	۲/۳۵۶^{fg}	۶۹/۹۱^{fgh}	۱۰/۸۸^{klm}	۰/۶۱۳^{fgh}	۱/۱۸^{hi}	۳/۳۷^{fg}
$I_3 \times B_4 \times N_2$	۰/۵۴۴^{e}	۰/۹۳۵^{bcd}	۰/۹۵۹^{ef}	۱/۰۶۶^{ef}	۱/۰۲۵^{cd}	۰/۸۳^{fg}	۰/۶۷۵^{cde}	۰/۳۹^{cde}	۱/۲۲^{fgh}	۲۶/۲۶^{klm}	۰/۷۲۲^{i}	۱۹/۵۶^{m}	۲/۷۲۱^{cd}	۷۳/۷۳^{bcd}	۱۱/۹۳^{fg}	۰/۶۵۱^{bcd}	۱/۳۱^{de}	۳/۶۹^{cd}
LSD	۰/۰۱۳۱	۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۱۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱۵	۰/۰۱۸۲	۰/۰۲۰۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۴۳۴	۳/۰۹۲۸	۰/۰۱۳۸	۰/۵۹۱۸	۰/۲۰۴۸	۳/۰۹۲۸	۰/۳۹۹۷	۰/۰۲۴۱	۰/۰۵۶۴	۰/۱۶۳۷

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N_1 و N_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

نتیجه‌گیری

قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون موجب افزایش انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری کامل و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون شد. بیش‌ترین فتوسنتز جاری، درصد پروتئین برگ، وزن خشک و حجم ریشه در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط آبیاری کامل مشاهده شد. همچنین، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۵۹/۵۲ و ۵۴/۶۱ درصدی به‌ترتیب نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل آبستنی و سنبله‌دهی شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون با افزایش وزن و حجم ریشه و شاخص سطح برگ موجب بهبود عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی می‌شود.

منابع

ابطحی، س. م. و باقرزاده، ک. ۱۳۹۳. بررسی مقایسه‌ای تولید علوفه و دانه چاودار، جو، تریتیکاله و ماشک در شرایط دیم. زراعت دیم ایران. ۳ (۲): ۱۰۵-۱۱۳.

امام، ی. ۱۳۸۶. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز. ۱۹۲ ص.

انصاری، س.، میرمحمدی میبدی، س. ع. م.، ارزانی، ا. و گلکار، پ. ۱۳۹۶. ارزیابی صفات زراعی و کیفی در ژنوتیپ‌های مختلف تریتیکاله. پژوهش‌های زراعی ایران . ۱۵ (۴): ۸۷۲-۸۸۴.

برنجانی، ش.، مجدم، م.، لک، ش.، پاینده، خ. و شکوفه‌فر، ع. ۱۴۰۰. اثر سوپرجاذب و سویه‌های مایکوریزا بر عملکرد کمی و میزان انتقال مجدد ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کمبود آب. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳ (۵۰): ۶۷-۸۳.

پاینده، خ. و دروگر، ن. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد کمی و کیفی ذرت (*Zea mayz* L.) تحت فواصل مختلف آبیاری و اثر تلفیق قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱ (۴۴): ۱۲۹-۱۴۲.

پزشکپور، پ.، اردکانی، م.، پاک‌نژاد، ف. وزان، س. ۱۳۹۳. اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، همزیستی میکوریزی و حل‌کننده فسفات زیستی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد نخود. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۳): ۵۳- ۶۵.

حاجی‌پور، ه. و جبارزاده، ز. ۱۳۹۵. واکنش‌های رشد و فتوسنتزی گل داودی به محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلسیم. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۶ (۱۹): ۱۲۹-۱۳۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

حیدرزاده، س.، جلیلیان، ج.، پیرزاد، ع. و جامعی، ر. ۱۳۹۹. تغییرات تسهیم و انتقال مجدد مواد پرورده در ماشک دیم (*Vicia sativa*) رقم مراغه تحت تاثیر کودهای بیولوژیک و آبیاری تکمیلی در سیستم تلفیقی درخت گیاه زراعی. پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱۱ (۲): ۳۶-۴۹.

خیری‌زاده آروق، ی.، سیدشریفی، ر.، صدقی، م. و برمکی، م. ۱۳۹۴. اثر کودهای زیستی و نانواکسید روی بر انتقال مجدد و برخی شاخص‌های رشدی تریتیکاله درشرایط محدودیت آبی. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۲۶): ۳۷-۵۶.

دانائی، ا. و عبدوسی، و. ۱۴۰۰. اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperta* L.) تحت تنش شوری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۷ (۱): ۹۸-۱۱۲.

درزی، م.، حاج سیدهادی، م. و رجالی، ف. ۱۳۸۹. کاربرد ورمی‌کمپوست و کود فسفات زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۶ (۴): ۴۵۲-۴۶۵.

رشتبری، م. و علیخانی، ح. ۱۳۹۱. تاثیر و کارایی کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست بر روی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲ (۲): ۱۱۳-۱۲۷.

رضابیگی، س.، بیژن‌زاده، ا. و بهپوری، ع. ۱۳۹۹. تاثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر انتقال مجدد مواد پرورده و عملکرد دو رقم گندم نان و ماکارونی در شرایط تنش آبی آخر فصل. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۷ (۳): ۵۵-۷۱.

سیدشریفی، ر. و نظرلی، ح. ۱۳۹۲. تاثیر پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد PGPR بر عملکرد دانه، کارایی مصرف کود و انتقال ماده مجدد ماده خشک آفتابگردان در سطوح مختلف کود نیتروژنه. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳ (۳): ۲۷-۴۵.

شهبازی، ش.، فاتح، ا. و آینه‌بند، ا. ۱۳۹۴. مطالعه اثر کاربرد هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم نواحی گرمسیری. تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی). ۳۸ (۲): ۹۹-۱۱۰.

عبادی، ن.، سیدشریفی، ر. و نریمانی، ح. ۱۳۹۹. تاثیر آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت شرایط دیم. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۱۰ (۲): ۱۲۳-۱۳۵.

علیخانی، س. و محمودی زرندی، م. ۱۳۹۸. اثر مایه‌زنی توام اندومیکوریز و باکتری‌های ریزوبیوم ملیلوتی و سودوموناس آئروژینوزا بر گیاه یونجه (*Medicago sativa*) در شرایط تنش آبی. پژوهش‌های گیاهی. ۳۲ (۱): ۷۵-۸۵.

نورافکن، ح.، پویان‌فر، م. و محمدی‌راد، ز. ۱۳۹۴. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه دارویی پنیرک *Malva silvestris* L. بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۱ (۳): ۶۹-۷۶.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Aggelides, S. M. and Londra, P. A. 2000. Effect of compost produced from townwastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. Bioresource Technology. 71: 235-259.

Ahmed, M., Ul-hassen, F. and Khurshid, Y. 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? Agricultural Water management. 98 (12): 1808-1812.

Anjum, A. S., 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.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D. 2004. Influence of vermicompost on field strawberries: effect on growth and yield. Journal of Bioresource Technology. 93: 145-153.

Asseng, S. and Van Herwaarden, A. F. 2003. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. Plant and Soil. 256: 217-239.

Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. 11: 3-42.

Barnett, K. H. and Pearce, P. B. 1983. Source-Sink ratio alteration and its effect on Physiological parameters in maize. Crop Science. 23: 101-109.

Boomsma, C. R. and Vyn, T. J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis. Field Crops Research. 108: 14-31.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248.

Datnoff, L. E., Synder, G. H. and Korndorfer, G. H. 2001. Silicon in agriculture. Elsevier. Amesterdam, PP: 285.

Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M. and Shiranibidabadi, S. 2018. Effect of silicon on growth and development of strawberry under water deficit conditions. Horticultural Plant Journal. 4 (6): 226-232.

Dordas, C. A. and Sioulas, C. 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. Field Crops Research. 110: 35-43.

Duc, N. H., Vo, A. T., Haddidi, I., Daood, H. and Posta, K. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi improve tolerance of the medicinal plant *Eclipta prostrata* (L.) and induce major changes in polyphenol profiles under salt stresses. Frontiers in Plant Science. 11 (612299): 1-18.

Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1993. Variation in water use efficiency and its components in wheat. Crop Science. 31: 1282-1288.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1996. Genetic variation of parenthesis assimilates of grain yield in spring wheat. Journal of Genetic and Breeding. 50: 47-56.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 91 (1): 11-17.

FAO., 2017. Food and agriculture organization of the united nation. Quaterly bulletin of Statistics. Remote, Italy.

Gaur, S., Kumar, J., Kumar, D., Chauhan, D. K., Prasad, S. M. and Seivastava, P. K. 2020. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 202: 110885.

Ghanta, R., Dutta, S. and Mukhopadhyay, R. 2013. Investigation on *Arbuscular mycorrhiza* alliances in some threatened medicinal herbs of *Burdwan district*, West Bengal, India. Journal of Medicinal Plants Research. 7 (7): 315-323.

Giri, B. and Mukerji, K. G. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Susana aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions, evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhiza. 14: 307-312.

Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, l., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, l. and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) later plants. Plant Physiology and Biochemistry. 56: 14-23.

Hopkins, W. G. and Huner, N. P. 2004. Introduction to plant physiology (3rd ed.). John wiely and sons. Inc. New York, PP: 576.

Hu, Y. and Schmidhalter, U. 2005. Drought and Salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Plant nutrition. 168: 541-549.

Ilbas, A. I. and Sahin, S. 2005. *Glomus fasiculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agriculture Scandinavica Section B-Soil and Plant Science. 55 (4): 287-292.

Karimi, M. M. and Siddique, H. M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research. 42: 13-20.

Liang, Y., Zhu, Y. and Christie, P. 2006. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. Environmental Pollution. 147 (2): 422-428.

Mahpara, S., Hussain, T. and Farooq, J. 2014. Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). Cercetari Agronomice in Moldova. 4 (160): 133-140.

Manyuchi, M. M., Chitambwe, T., Muredzi, P. and Kanhukamwe, Q. 2013. Continuous flow through vermireactor for medium scale vermicomposting. Asian Journal of Engineering and Technology. 1: 5-9.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Michele, A., Douglas, T. and Frank, A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology. 200: 205-215.

Mycin T. R., Lenin M., Selvakumar, G. and Thangadurai, R. 2010. Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. Journal of Experimental Science. 1 (8): 12-16.

Najar, I. A., KAHAN, A. B. and Hai, A. 2015. Effect of macrophyte vermicompost on growth and productivity of brinjal (*Solanum melongena*) under field conditions. International Journal of Recycling of Organic. 4: 73-83.

Pandiyan, C. V., Balaji, K., Saravanan, S., Gunasekaran, S., Srinivasan, G. R., Saghana, P. R. K. and Manivel, G. 2020. Effect of vermicompost application on soil and growth of the plant *Sesamum indicum* L. Preprints. 2020020080: 1-18.

Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S. and Wrigley, C. W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. Field Crops Research. 86 (2-3): 185-198.

Praba, M. L., Cairns, J. E., Babu, R. C. and Lafitte, H. R. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. Journal of Agronomy and Crop science. 195: 30-46.

Ruuska, S. A., Rebetzke, G. J., Van Herwaarden, A. F., Richards, R. A., Fettel, N. A., Tabe, L. and Jenkins, L. D. 2006. Genotypic variation in water soluble carbohydrate accumulation in wheat. Functional Plant Biology. 33: 799-809

Savvas, D. and Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. Scientia Horticulturae. 196: 66-81.

Scharf, P. C., Shannon, D. K. and Latchern, N. R. 2015. Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. Agronomy Journal. 107: 445-458.

Skutink, E., Llukaszews, A., Serek, M. and Rabiza, J. 2001. Effect of growth regulators on postharvest characteristics of *Zantedeschia aethiopica*. Postharvest Biology Technology. 21: 241-246.

Smith, S. E. and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3rd edit. London Academic Press, 751-787.

Sun, C. W., Liang, Y. C. and Romheld, V. 2005. Effects of foliar-and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *Cucumis sativus*. Journal of Plant Pathology. 54: 678-685.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Tale Ahmad, S. and Haddad, R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activitie and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breed. 47 (1): 17-27.

Tesfye, K., Walke, S. and Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three gran legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. European Journal of Agronomy. 25: 60-70.

Trejo-Téllez, L. I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H. F., Ramírez-Olvera, S. M., Bello-Bello, J. J. and Gómez-Merino, F. C. 2020. Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. PeerJ. 8 (e9224): 1-28.

Wright, D. P., Scholes, J. D. and Read, D. J. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. Plant Cell Environment. 21: 209-216.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]