doi: 10.22124/CR.2022.20864.1695

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم/ شماره سوم/ پاییز ۱۴۰۰ (۲۲۳-۲۰۵)

تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی عنصر روی بر عملکرد و کیفیت نانوایی گندم تحت شرایط محدودیت رطوبت انتهای فصل

فاطمه طولابی[۱]، حمیدرضا عیسوند[۲]* و داریوش گودرزی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵

چکیده

در بخش‌هایی از ایران کمبود رطوبت و تنش خشکی در مراحل پایانی رشد گندم، سبب کاهش عملکرد آن می‌شود. استفاده از برخی تیمارهای کودی می‌تواند به کاهش آسیب‌های ناشی از این تنش کمک کند. به‌منظور بررسی اثرات کود ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی عنصر روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی گندم نان (رقم چمران۲) تحت شرایط تنش محدودیت رطوبت انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. عامل اصلی شامل تنش محدودیت رطوبت در دو سطح (آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و قطع آبیاری از ابتدای مرحله پر شدن دانه) و عامل فرعی شامل ترکیب فاکتوریل دو فاکتور یعنی ورمی‌کمپوست در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد ورمی‌کمپوست به‌میزان پنج‌تن در هکتار) و محلول‌پاشی عنصر روی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب خالص و محلول‌پاشی سه در هزار سولفات روی معادل ۰/۳۶ گرم در متر مربع) بودند. نتایج نشان داد که تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت و افزایش عدد فالینگ شد. اثر متقابل سه‌گانه تنش رطوبتی، ورمی‌کمپوست و کاربرد روی بر درصد پروتئین و رسوب زلنی معنی‌دار بود. ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، درصد پروتئین و رسوب زلنی و کمیت و کیفیت گندم به‌ویژه تحت شرایط عدم تنش رطوبتی شد. محلول‌پاشی روی نیز به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه، عملکرد زیستی، محتوای روی دانه، درصد پروتئین و رسوب زلنی را افزایش داد. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد تلفیقی و نیز جداگانه ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی موجب کاهش خسارت کمبود رطوبت بر عملکرد کمی و کیفی گندم شد و بنابراین، کاربرد آن‌ها به‌عنوان یک راهکار مناسب در منطقه خرم‌آباد به‌ویژه تحت شرایط محدودیت رطوبت آخر فصل توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگی، تنش خشکی، رقم چمران ۲، رسوب زلنی، کود آلی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳- مربی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

* نویسنده مسئول: eisvand.hr@lu.ac.ir

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین محصول زراعی است و تقریباً ۹۰ درصد گندم تولیدی در جهان، گندم نان و ۱۰ درصد آن گندم دوروم است (Vafa *et al.*, 2021). خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده و یک محدودیت عمده برای تولیدات کشاورزی است که به‌وضوح تولید و بهره‌وری محصولات زراعی را کاهش می‌دهد (Saad and Abo-Koura, 2018; Negm *et al.*, 2019). امروزه تقاضا به سمت کشاورزی ارگانیک و استفاده از کودهای آلی سوق داده شده است. در میان کودهای آلی، ورمی کمپوست یک کود ارگانیک است که با فعالیت کرم‌های خاکی تولید می‌شود (Aboelsoud and Ahmed, 2020). مواد ترشحی موجود در سیستم گوارشی کرم‌ها این توانایی را دارد که عناصر غذایی با قابلیت دسترسی پایین را به عناصر قابل دسترس برای جذب گیاه تبدیل کند. ورمی کمپوست دارای ظرفیت نگهداری آب بالا (Kahrizy and Sepehri, 2019)، حاوی مواد مغذی ضروری و هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاه است (Allardice, 2015) و باعث بهبود کیفیت خاک می‌شود (Mahmud *et al.*, 2018). کودهای شیمیایی به همراه استفاده از ورمی کمپوست به حفظ بلندمدت بهره‌وری خاک کمک می‌کنند. کاربرد ورمی کمپوست به‌دلیل وجود عناصر غذایی و برخی از مواد ضروری تحریک کننده رشد، بیشترین ارتفاع و عملکرد گندم را سبب شدند (Aboelsoud and Ahmed, 2020). مدیریت مواد مغذی نقش مهمی در ایجاد مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی ایفا می‌کند. گزارش شده است که روی با بهبود روابط آبی گیاه، ثبات غشای سلولی، تجمع اسمولیت‌ها، تنظیم روزنه‌ها و جذب آب، تنش خشکی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، کاربرد روی هورمون‌های درون‌زا (اکسین، جیبرلین و ملاتونین) را افزایش می‌دهد و فعالیت‌های آکواپورین‌ها و سیستم آنتی اکسیدانی را بهبود می‌بخشد که به نوبه خود باعث تقویت در کارایی فتوسنتز می‌شود (Umair Hassan *et al.*, 2020).

تنش‌های زنده و غیرزنده، پایین بودن کارایی نهاده‌ها و عوامل محیطی و غیرمحیطی دیگر به‌عنوان عوامل مؤثر در کاهش عملکرد و کیفیت محصول شناخته شده‌اند. وقوع خشک‌سالی‌های مداوم به‌ویژه در سال‌های اخیر بخش زیادی از اراضی کشاورزی کشور را تحت تأثیر قرار داده است و تولید و ثبات محصولات کشاورزی را با چالش جدی روبرو کرده است. با برنامه‌ریزی و استفاده اصولی از امکانات می‌توان تا حدودی از کاهش تولید محصولات کشاورزی جلوگیری کرد. مشکل عمده کشاورزی ایران کمبود آب است. از آن‌جا که زراعت گندم در بسیاری از مناطق با تنش پس از گرده‌افشانی و به دنبال آن کاهش عملکرد در واحد سطح روبروست، به‌کارگیری برخی عملیات زراعی از جمله مدیریت تغذیه گیاه، می‌تواند بر تحمل گیاه به تنش خشکی تأثیرگذار باشد (Jlker *et al.*, 2011). تنش خشکی اثر بارز و اغلب کاهنده‌ای بر بیشتر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک دارد (Abdoli and Saeidi, 2013; Amiri *et al.*, 2013). کمبود آب و درجه حرارت بالا اغلب به‌طور هم‌زمان در مراحل حساس رشد بروز و باعث کاهش تولید گندم بر اثر کاهش تعداد دانه و وزن دانه می‌شوند (Tricker *et al.*, 2018). تنش خشکی ویژگی‌های کیفی گندم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. عیوضی و همکاران (Eivazi *et al.*, 2006) کاهش مقادیر شاخص گلوتن و گلوتنین و افزایش میزان پروتئین دانه، گلیادین، شاخص سختی دانه، عدد فالینگ و میزان جذب آب آرد در شرایط تنش خشکی و شوری را گزارش کردند.

کیفیت نانوایی گندم متأثر از ژنوتیپ، محیط و اثرات متقابل آن‌ها است. گوتیری و همکاران (Guttieri *et al.*, 2001) درصد پروتئین، میزان گلوتن مرطوب، شاخص گلوتن، عدد زلنی و عدد فالینگ را ویژگی‌های مؤثر در کیفیت آرد گندم بیان کردند. عدد فالینگ مطلوب برای نان‌های مختلف متفاوت است و تنظیم عدد فالینگ قبل از پخت به‌منظور کاهش سرعت بیاتی نان و کاهش ضایعات آن ضروری است (Yarmand and Seyedin Ardabili, 2005). مدیریت تغذیه گیاه، می‌تواند در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی مؤثر باشد (Jlker *et al.*, 2011). تغذیه بهینه و متعادل گیاه در افزایش بردباری گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش چشم‌گیری دارد (Tabatabaeiyan *et al.*, 2013).

روی از جمله عناصر غذایی کم‌مصرف ضروری در تغذیه گیاهان است. عنصر روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیک سلول، مقاومت غشا در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین نیز مؤثر است. از دیگر نقش‌های روی می‌توان به تنظیم باز و

بسته شدن روزنه‌ها، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز، ساخته‌شدن تریپتوفان، مشارکت در متابولیسم نیتروژن، جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان یک کوفاکتور ساختاری و تنظیمی اشاره کرد. در خاک‌های آهکی ایران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کربنات کلسیم و pH بالا و نیز پایین بودن ماده آلی خاک، فراهمی روی و آهن در خاک برای گیاهان بسیار کم است. فراهمی اندک آهن و روی در خاک‌های آهکی زراعی ایران سبب کاهش جذب آن‌ها توسط گیاهان و به‌دنبال آن کمبود این عناصر در دام‌ها و انسان‌ها شده است (Sadeghzadeh, 2013). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تغذیه روی در افزایش تولید در واحد سطح و بهبود کیفیت (افزایش پروتئین دانه گندم)، گندم نانوایی مؤثر است (Trethowan and Reynold, 2007).

روی مهم‌ترین ریزمغذی برای تحمل تنش غیر زنده است. تنش خشکی جذب ریزمغذی‌ها را محدود می‌سازد. در بررسی تأثیر محلول‌پاشی روی در مراحل رویشی و زایشی بر جنبه‌های کمی و کیفی گندم تحت شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) و کمبود آب (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه)، مشخص شد که محلول‌پاشی روی یک رویکرد کوتاه‌مدت امیدوارکننده برای بهبود بهره‌وری عملکرد و محتوای مواد مغذی دانه در گندم تحت تنش کمبود آب است (Anwar *et al.,* 2021). کمبود مواد آلی یکی از مشکلات عمده در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. با توجه به نقش مواد آلی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، کاربرد کودهای آلی می‌تواند با بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش فعالیت میکروبی آن، موجب بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاهان شود (Verma *et al.,* 2013). محققان بسیاری بر کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی تأکید کرده‌اند. مثال میتیکو و همکاران (Mitiku *et al.,* 2014) اظهار کردند که اگرچه کودهای آلی و ورمی‌کمپوست‌ها می‌توانند به‌عنوان یک منبع مواد آلی خاک و منبع مواد غذایی مورد نیاز برای رشد تولید محصولات عمل کنند، با این‌حال تأمین مقدار کافی کودهای آلی که بتواند مقدار مناسب عناصر غذایی مورد نیاز در زمین‌های کشاورزی را تأمین کند، بسیار دشوار است. بنابراین استفاده توأم و یکپارچه کودهای آلی و غیر آلی (معدنی) سبب تضمین تأمین کافی و متوازن مواد غذایی برای محصولات می‌شوند. با روش‌های مدیریت صحیح کودی، کود شیمیایی می‌تواند به‌راحتی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را در مراحل اولیه رشد تکمیل کنند، در حالی که کودهای آلی در مراحل پایانی رشد است که می‌تواند عملکرد را افزایش دهند.

ورمی کمپوست منبعی از مواد مغذی ضروری مختلف گیاهی است، علاوه بر این نیز حاوی هورمون‌های محرک رشد است که ممکن است جذب مواد مغذی بیشتر توسط گیاهان را تسهیل کند و این می‌تواند یک عامل دیگر برای تأثیر مثبت ورمی کمپوست بر محصولات زراعی باشد (Hadis *et al.,* 2018). ورمی کمپوست یک ترکیب آلی است و دارای تخلخل بالا، تهویه و زهکشی مناسب و ظرفیت نگهداری آب بالا و حاوی مواد مغذی به شکل قابل جذب برای گیاه است (Hashemi *et al.,* 2019). نادا و همکاران (Nada *et al.,* 2011) نیز اعلام کردند که افزودن ورمی‌کمپوست به محیط رشد گیاه از یک طرف از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود رشد گیاه می‌شود و از طرف دیگر به‌علت غنی بودن از عناصر غذایی سبب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاه می‌شود. کاربرد ورمی‌کمپوست، عملکرد دانه و کاه و کلش گندم (Kizilkaya *et al.,* 2012) و عملکرد دانه جو (Mahmoud and Ibrahim, 2012) را افزایش داد.

مناطق وسیعی از غرب کشور به کشت گندم اختصاص یافته است. افزایش تولید گندم در این مناطق نیازمند مدیریت صحیح کودی است، زیرا خاک‌های زراعی در اغلب این مناطق به‌دلیل عدم اجرای تناوب مناسب، بارندگی کم و دمای بالا، با کمبود مواد آلی مواجه هستند (Gerami *et al.,* 2013). همچنین، در شرایط محدودیت جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، محلول‌پاشی گیاهان با عناصر غذایی مدنظر راهکار مناسبی است (Abedi Baba-Arabi *et al.,* 2011). در راستای هدایت تحقیقات به‌زراعی بر مبنای استراتژی‌های اقلیمی و خشک‌سالی و با توجه به افت شدید منابع آبی و جدی‌تر شدن بحران آب و مشکلات حاصل‌خیزی خاک‌های ایران، این تحقیق اجرا شد که هدف آن بررسی کاربرد عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی سولفات روی به‌عنوان یک روش بسیار مؤثر برای جذب بهتر عنصر روی و نیز کاربرد ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی نانوایی گندم تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان شهر خرم‌آباد روی گندم رقم چمران ۲ در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک معتدله بر اساس منحنی آمبروژه و ضریب دومارتن است. مزرعه در موقعیت جغرافیایی طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۹ ثانیه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۱۷ متر از سطح دریا قرار دارد. برخی پارامترهای هواشناسی از نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه در جدول ۱ ارایه شده است. رقم چمران ۲ برای مناطق گرم و خشک جنوب کشور و به‌ویژه مناطقی که بیماری زنگ زرد محدودکننده است، مناسب می باشد.

جدول ۱- آمار هواشناسی سال زراعی ۱۳۹۸ - ۱۳۹۷ ایستگاه هواشناسی فرودگاه خرم‌آباد (نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه)
Table 1. Meterological statistics of the crop year 2018-2019 of Khorramabad Airport Meteorological Station (nearest station to the farm)

Month	Mean of air temperature (°C)			Rainfall (mm)
	Maximum	Minimum	Average	
September	30.7	13.6	22.2	9.0
October	19.2	8.4	13.8	139.1
November	14.1	3.1	8.6	150.8
December	11.7	0.5	6.1	127.0
January-February	12.01	1.0	6.5	115.2
February	13.5	1.3	7.4	89.3
March	18.3	6.2	12.3	309.1
April	26.3	9.3	17.8	6.1
May	36.3	16.6	26.4	0.0
Jun	40.4	19.6	30.0	0.0

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل با ۸ تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل (آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل رشد بر اساس روش مرسوم منطقه) و اعمال تنش محدودیت رطوبت آخر فصل (قطع آبیاری از بعد از مرحله دانه بستن) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دو فاکتور کود ورمی‌کمپوست در دو سطح (عدم کاربرد و مصرف ۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار) و محلول‌پاشی عنصر روی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب مقطر و محلول‌پاشی سولفات روی ۳ در هزار معادل ۰/۳۶ گرم سولفات روی در متر مربع) به‌عنوان عامل فرعی بودند.

قبل از اجرای طرح، یک نمونه خاک مرکب از شش نقطه مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری جمع‌آوری و ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. به‌طور کلی بافت خاک به روش هیدرومتری، فسفر به روش اولسن (Olsen, 1954) کربن آلی به روش والکلی- بلک (Walkley and Black, 1934) نیتروژن به روش کجلدال، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون، عناصر معدنی به روش جذب اتمی(شعله) و pH و EC از عصاره اشباع و با دستگاه pH متر و هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد.

در ۱۵ آبان ۱۳۹۷ عملیات تهیه بستر شامل شخم، اضافه کردن کودهای شیمیایی، دیسک و تسطیح انجام و کشت در تاریخ ۲۳ آبان ۱۳۹۷ انجام شد. بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی، کل کودهای مورد نیاز خاک شامل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بود که یک‌سوم کود اوره به همراه تمامی کود فسفره در زمان تهیه زمین و دوسوم باقیمانده کود اوره در دو قسط در مراحل شروع ساقه رفتن و شروع دانه‌بندی به روش نواری به خاک اضافه شدند.

بلافاصله بعد از کرت‌بندی و قبل از ایجاد خطوط کشت، کود ورمی‌کمپوست مورد نیاز به مقدار مساوی در کرت‌های مورد نظر پخش و با بیل تا عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک مخلوط شد. مشخصات کود ورمی‌کمپوست در جدول ۳ ارایه شده است. اندازه کرت‌ها شش مترمربع (به طول سه و به عرض دو متر)، فاصله بین کرت‌های تنش دو و نیم متر، فاصله کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل هشت خط کشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. تراکم کاشت نیز ۴۵۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. طی مراحل رشد و نمو، مراقبت‌های زراعی از جمله وجین علف‌های هرز

صورت گرفت. محلول‌پاشی عنصر روی در دو نوبت (بین ساعت ۹ تا ۱۰ صبح) انجام شد. اولین نوبت در ابتدای ساقه رفتن (ظهور اولین گره در پایین‌ترین قسمت ساقه) و دومین نوبت در فصل بهار در هنگام گرده‌افشانی صورت گرفت. در هر مرحله محلول‌پاشی معادل ۰/۱۸ گرم سولفات روی در هر متر مربع (طی دو مرحله محلول‌پاشی در مجموع ۰/۳۶ گرم سولفات روی در متر مربع) استفاده شد و پس از آن آبیاری تیمارهای تنش، قطع شد. برای آبیاری در شرایط بهینه رطوبتی، آبیاری‌ها به‌روش مرسوم منطقه و بر اساس نیاز گیاه تا پایان فصل رشد انجام شد. به‌منظور جلوگیری از تداخل بارندگی در تیمارهای تنش رطوبتی از شلتر استفاده شد.

جدول ۲- نتایج آزمون خاک

Table 2. Soil analysis

Soil texture	pH	EC dsm^{-1}	Organic carbon (%)	CaCo3 (%)	N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)
Clay	7.1	0.41	0.86	42.5	4.8	4.8
K ($mg.kg^{-1}$)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	Mn ($mg.kg^{-1}$)	Fe (ppm)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Na ($mg.kg^{-1}$)	Mg ($mg.kg^{-1}$)
356.4	0.87	5.77	3.252	0.92	39.6	0.6

جدول ۳- آنالیز ورمی‌کمپوست

Table 3. Analysis of vermicompost

N (%)	P (%)	K (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	OC (%)	OM (%)	C / N	(%)Moisture
1.25	0.45	0.5	1.12	1.18	15.01	26.33	20.09	50.15
pH	EC ($ds.m^{-1}$)	Ca ($mg.kg^{-1}$)	Mg ($mg.kg^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Mn ($mg.kg^{-1}$)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Cd ($mg.kg^{-1}$)
7.5	1.5	4.34	0.2	92	125	6.5	27.5	1.5

اندازه‌گیری صفات

تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک: تعداد روز از زمان کاشت (اولین آبیاری) تا زرد شدن ۵۰ درصد از سنبله‌های هر کرت ثبت شد.

عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه: یک هفته بعد از رسیدگی فیزیولوژیک، دو متر مربع با حذف حاشیه از ابتدا و انتهای کرت (۰/۵ متر) و نیز حذف خطوط حاشیه‌ای، کف‌بر و برداشت و سپس توزین و خرمن‌کوبی شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون خشک شدند و نهایتاً با ترازوی دیجیتال توزین شدند. شایان ذکر است بخش دانه نمونه قبل از خشک شدن در آون نیز توزین شد و از این وزن برای محاسبه عملکرد در هکتار استفاده شد. عملکرد دانه با احتساب محتوی رطوبتی ۱۰ درصد است. برای محاسبه شاخص برداشت، عملکرد دانه به عملکرد زیستی تقسیم و حاصل در ۱۰۰ ضرب شد. وزن هزار دانه نیز با شمارش سه عدد ۱۰۰۰ بذری توسط بذر شمار و استفاده از میانگین وزن این سه بار شمارش، محاسبه شد.

پروتئین دانه: درصد پروتئین دانه با دستگاه NIR (مدل DA N7250 ساخت شرکت Perten کشور سوئد) اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت دانه نیز توسط این دستگاه اندازه‌گیری شد و از آن برای فاکتور تصحیح در رسوب زلنی استفاده شد.

غلظت روی دانه: از روش هضم به روش خاکسترگیری خشک و عصاره گیری با اسیدکلریدریک استفاده شد. دو گرم آرد آسیاب شده درون کروزه چینی ریخته شد و کروزه‌ها به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه در داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند. بعد از خنک شدن کروزه‌ها از کوره خارج و به هر نمونه ۱۰ -۱۵ میلی‌لیتر محلول گرم اسیدکلریدریک دو نرمال اضافه شد و توسط کاغذ صافی صاف شد. عصاره حاصل درون بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری جمع‌آوری و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از محلول نهایی برای اندازه‌گیری عنصر روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (Agilent 240FS AAS, USA) استفاده شد.

رسوب زلنی: کیفیت نانوایی به روش آزمایش رسوب زلنی (Zeleny Sedimentation Test) بر اساس

دستورالعمل موجود طبق استاندارد شماره ۱۱۶ انجمن بین‌المللی غلات (International Cereal Chemistry) انجام و سپس کیفیت نانوایی بر اساس ارتفاع رسوب زلنی به‌صورت بیش از ۳۶ خیلی خوب، ۳۶-۲۵ خوب، ۲۵-۱۶ ضعیف و کمتر از ۱۵ خیلی ضعیف در نظر گرفته شد (ICC, 1994).

عدد فالینگ: میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز به‌عنوان عدد فالینگ (Falling Number) شناخته می‌شود. عدد فالینگ بر اساس دستورالعمل (AACC, 2000) و با استفاده از دستگاه FALLING NUMBER 1600 با استفاده از هفت گرم آرد بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شد.

تجزیه داده‌ها

ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab14 با آزمون آندرسون-دارلینگ.بررسی و سپس تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجان شد. میانگین ویژگی‌های بررسی شده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. لازم به ذکر است که بعد از تجزیه واریانس داده‌ها برای دو صفت عملکرد زیستی و محتوای روی دانه، مقدار واریانس خطای b (کرت‌های فرعی) از واریانس خطای a (کرت‌های اصلی) بیشتر شد که برای کاهش واریانس خطای فرعی، تجزیه واریانس با تفکیک اثر متقابل RB انجام و نتایج ارایه شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر تنش محدودیت رطوبتی بر تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۴) و کمبود رطوبت باعث کاهش تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک شد (جدول ۵). تنش کمبود رطوبت که در اواخر فصل رشد رخ می‌دهد، با تأثیر بر طول دوره پر شدن دانه، تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در گندم را کاهش می‌دهد. در آزمایش مولوی و همکاران (Molavi *et al.*, 2018) مشخص شد که در حالی که تنش خشکی تأثیری روی صفت روز تا سنبله‌دهی نداشت، اما دوره پر شدن دانه را کوتاه‌تر کرد که منجر به کاهش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک شد. در شرایط گرم و خشک نیز تنش خشکی انتهایی باعث کاهش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ارقام گندم شد (Dastfal *et al.*, 2011). بنابراین در شرایطی که گیاهان با کمبود آب به‌ویژه در مراحل حساس رشد (گلدهی و پر شدن دانه) مواجه می‌شوند، با کوتاه‌تر شدن دوره پر شدن دانه، از خسارات برخورد با شرایط نامساعد محیطی آخر فصل فرار می‌کنند.

تعداد سنبله در متر مربع

اثر ورمی کمپوست و اثر متقابل تنش محدودیت رطوبت و ورمی کمپوست بر تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش محدودیت رطوبت و ورمی کمپوست نشان داد که ورمی کمپوست صرفاً در شرایط عدم تنش رطوبتی سبب افزایش این صفت شد (جدول ۶). تعداد سنبله در متر مربع که با توجه به پتانسیل تعداد پنجه بارور در گیاه در اوایل رشد رویشی تعیین می‌شود، در هنگام گرده‌افشانی تثبیت می‌شود و تنش‌های آخر فصل تأثیری بر این صفت ندارند. معمولاً تنش‌های رطوبتی که قبل از ظهور سنبله رخ می‌دهند، با کاهش تعداد پنجه‌ها باعث کاهش تعداد سنبله بارور و درنهایت عملکرد محصول می‌گردد (Chu *et al.*, 2010). دان و همکاران (Don *et al.*, 2015) دریافتند که استفاده از ورمی‌کمپوست از طریق تحریک میکروارگانیسم‌های مفید خاک و عرضه مداوم عناصر معدنی به گیاه موجب افزایش تعداد پنجه‌ها و به‌تبع آن افزایش تعداد سنبله می‌گردد. در تحقیق دیگری مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار باعث افزایش معنی‌دار در کلیه اجزای عملکرد ازجمله تعداد سنبله شد (Adebifar, 2018). نتیجه آزمایش حاضر تأثیر مثبت ورمی کمپوست را بر این صفت نشان داد. نقش مثبت محلول‌پاشی عنصر روی (Debnat *et al.*, 2011) در افزایش اجزای عملکرد از جمله تعداد سنبله گزارش شده است. آن‌ها دلیل آن را به دسترسی بیشتر به روی از طریق محلول‌پاشی گیاه و پاسخ مناسب گیاه به کاربرد این عناصر از طریق افزایش رشد رویشی مانند تولید پنجه در بوته نسبت دادند. با توجه به نتایج مطالعات صورت گرفته به‌نظر می‌رسد علت معنی‌دار نشدن اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر تعداد سنبله در این آزمایش، زمان محلول‌پاشی است که اولین نوبت آن در ابتدای ساقه رفتن و پس از اتمام پنجه‌زنی گندم بوده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مرفولوژیک، فنولوژیک و عملکرد گندم تحت تأثیر محدودیت رطوبتی، ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی
Table 4. Analysis of variance of phonologic, morphologic and yield of wheat under moisture limitation, vermicompost and zinc foliar application

Source of variations	df	Days to physiological maturity	Spike per m^2	1000-seed weight	Grain yield	Harvest index
Replication (R)	2	11.62 ^{ns}	8355.29 ^{ns}	18.93^{ns}	441398.79^{ns}	23.16^{ns}
Moisture limitation (A)	1	228.17*	8550.37^{ns}	118.73*	5414050.04*	160.38*
R×A (Ea)	2	11.54	1960.12	6.41	200756.29	9.09
Vermicompost (B)	1	181.5 ^{ns}	23625.37**	47.71**	11262770.04**	87.59**
A×B	1	37.5 ^{ns}	4676.04*	27.95*	2331890.04**	41.09*
Zinc sulfate (C)	1	10.67 ^{ns}	2035.04^{ns}	1.5^{ns}	1549908.37**	26.36^{ns}
A×C	1	10.67 ^{ns}	330.04^{ns}	0.11^{ns}	1334345.04**	19.43^{ns}
B×C	1	32.67 ^{ns}	287.04^{ns}	0.11^{ns}	50508.37 ^{ns}	3.63^{ns}
A×B×C	1	0.67 ^{ns}	759.37^{ns}	1.33^{ns}	487635.04*	0.00002^{ns}
Eb	12	61.69	907.32	4.61	105098.65	7.34
CV (%)	-	4.5	5.75	5.21	7.16	7.84

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عدد فالینگ گندم
Table 5. Mean comparison of the drought effect on days to physiological maturity and Falling number of wheat.

Drought stress	Falling number	Days to physiological maturity
Control	260.42b*	204.83a
Moisture limitation stress	291.25a	198.67b

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

جدول۶- مقایسه میانگین برهمکنش محدودیت رطوبت×ورمی‌کمپوست، خشکی×روی، و ورمی‌کمپووست×روی بر برخی صفات گندم
Table 6. Mean comparison of the interations of moisture limitation × vermicompost, drought × zinc and vermicompost × zinc on some traits of wheat.

Treatments		Spike per m^2	1000-seed weight (g)	Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	Harvest index (%)
Control	Without vermicompost	497.0b*	40.97b	4008.2c	11833.2c	33.94b
	Vermicompost	587.67a	95a.45	6001.7a	14816.2a	40.38a
Moisture limitation stress	Without vermicompost	487.17b	36.68b	3681.7c	11743.7c	31.38b
	Vermicompost	522.0b	34.39 b	4428.3b	13584.3b	32.59b
Control	Water foliar application	536.83a	43.28a	4515.0b	12756.7b	35.21a
	Zinc foliar application	547.83a	43.64a	5494.8a	13892.7a	39.10a
Moisture limitation stress	Water foliar application	491.67a	38.69a	4036.7c	12651.7b	31.84a
	Zinc foliar application	517.50a	33.39a	4073.3c	12676.3b	32.13a
Without vermicompost	Water foliar application	86.33a	39.64a	3636.7a	11695.0a	31.22a
	Zinc foliar application	84.97a	40.01a	4053.2a	11881.8a	34.10a
Vermicompost	Water foliar application	542.17a	42.33a	4915.0a	13713.3a	35.82a
	Zinc foliar application	567.5a	42.96a	5515.0 a	14687.2a	37.14a

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

عملکرد زیستی

اثر ساده ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی و برهمکنش تنش محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست، تنش محدودیت رطوبت × محلول‌پاشی روی و تنش محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست × محلول‌پاشی روی بر عملکرد زیستی معنی‌دار بود (جدول ۸). ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی باعث افزایش عملکرد زیستی شدند، اما افزایش عملکرد زیستی با کاربرد ورمی

کمپوست در شرایط عدم تنش بیشتر از شرایط تنش بود (جدول ۶). محلول‌پاشی روی تنها در شرایط عدم تنش توانست عملکرد زیستی را افزایش دهد و در شرایط تنش بی‌تأثیر بود (جدول ۶). بررسی اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی در تیمار عدم تنش خشکی، مصرف ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی با میانگین ۱۵۹۲۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد زیستی در تیمار تنش خشکی، عدم مصرف ورمی کمپوست و عدم محلول‌پاشی روی با میانگین ۱۱۵۸۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل 1A).

در اثر خشکی آخر فصل، میزان کاهش عملکرد دانه گندم بیش از زیست‌توده بود (Abdolshahi *et al.*, 2010). در آزمایش حاضر نیز به نظر می رسد به‌علت زمان اعمال قطع آبیاری، اثر تنش محدودیت رطوبت بر عملکرد زیستی معنی‌دار نبود. در خصوص تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر عملکرد زیستی، بیان شده است که ورمی‌کمپوست حاوی مقادیر قابل‌توجهی از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نیز عناصر ریزمغذی، هیومیک اسید، هورمون‌های رشد مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین و مقادیر زیادی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، آنزیم‌ها و ویتامین‌هاست که باعث افزایش تعداد پنجه‌ها، افزایش شاخص سطح برگ و درنهایت عملکرد زیستی گیاه می‌شود (Lui *et al.*, 2017). همچنان که از نتیجه‌ی این آزمایش مشخص شد، محلول‌پاشی روی می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد زیستی گندم را افزایش دهد. این امر می‌تواند به علت افزایش در اندام‌های رویشی از جمله برگ‌ها و تولید ماده خشک بیشتر به سبب انتقال بهتر آب از خاک به گیاه باشد (Abdoli *et al.*, 2014).

وزن هزار دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش محدودیت رطوبت، اثر ورمی کمپوست و برهمکنش تنش خشکی و ورمی کمپوست بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). تنش محدودیت رطوبت باعث کاهش وزن هزار دانه شد. ورمی‌کمپوست فقط در شرایط عدم تنش وزن هزار دانه را افزایش داد (جدول۶). وقوع خشکی در دوران پر شدن دانه، به‌شدت وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وزن هزار دانه در نه رقم گندم نان در اثر قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی به بعد، کاهش یافت و علت آن تحت تأثیر قرار گرفتن تأمین مواد پرورده برای پر شدن دانه‌ها در پی بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز ذکر شد (Abdoli and Saeidi, 2013). وزن هزار دانه علاوه بر تحت تأثیر قرار گرفتن از طریق میزان فتوسنتز، از دو عامل مدت و سرعت پر شدن دانه نیز متأثر می‌شود و خشکی مدت و سرعت پر شدن دانه را کاهش می دهد (Dastoor and Asghari-Zakaria, 2014).

مطالعات صورت گرفته بیانگر افزایش وزن هزار دانه با کاربرد ورمی‌کمپوست است (Taheri Rahimabadi *et al.*, 2017). افزایش میزان فتوسنتز و نیز افزایش طول دوره پر شدن دانه، فراهم بودن تمام عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در تمام طول رشد به دلیل خواص منحصربه‌فرد ورمی‌کمپوست، از جمله دلایل این افزایش است (Don *et al.*, 2015). عنصر روی به‌دلیل نقش مهمی که در افزایش تولید و تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن دارد می‌تواند سبب افزایش تجمع آسیمیلات‌ها در دانه و افزایش وزن هزار دانه گندم شود (Damary *et al.*, 2017). با این‌حال گزارشی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد محلول‌پاشی سولفات روی در هیچ‌یک از شرایط نرمال و تنش آبی منجر به افزایش وزن هزار دانه گندم نمی‌شود (Malek-Mohammadi *et al.*, 2013). در آزمایش حاضر نیز کاربرد روی تاثیری بر وزن هزاردانه نداشت که احتمالاً به دلیل وجود مقدار قابل قبول عنصر روی در خاک مزرعه (۰/۹۲ $mg.kg^{-1}$) باشد (جدول ۲). دامنه مقدار بحرانی روی در خاک‌های تحت کشت گندم بین ۰/۱-۵ $mg.kg^{-1}$ است (Bahrampour and Akhavan, 2015). قابل ذکر است که کاربرد محلول‌پاشی روی در این آزمایش صرفا با هدف افزایش مقدار عملکرد نبود، بلکه افزایش محتوای روی دانه و سایر صفات کیفی دانه نیز مد نظر بود.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تنش محدودیت رطوبت، ورمی کمپوست، محلول‌پاشی سولفات روی و برهمکنش محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست، محدودیت رطوبت × محلول‌پاشی سولفات روی و محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست × سولفات روی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول۴). افزایش عملکرد دانه با کاربرد ورمی کمپوست در شرایط عدم تنش بیشتر از شرایط تنش بود (جدول ۶). محلول‌پاشی روی در شرایط بدون تنش محدودیت رطوبت، عملکرد دانه را افزایش داد

اما در شرایط تنش، تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول۶). بررسی برهمکنش سه‌گانه تنش محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست × محلول‌پاشی روی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم تنش، مصرف ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی با میانگین ۶۶۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار تنش محدودیت رطوبت، عدم مصرف ورمی کمپوست و عدم محلول‌پاشی روی با میانگین ۳۵۶۶/۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱B).

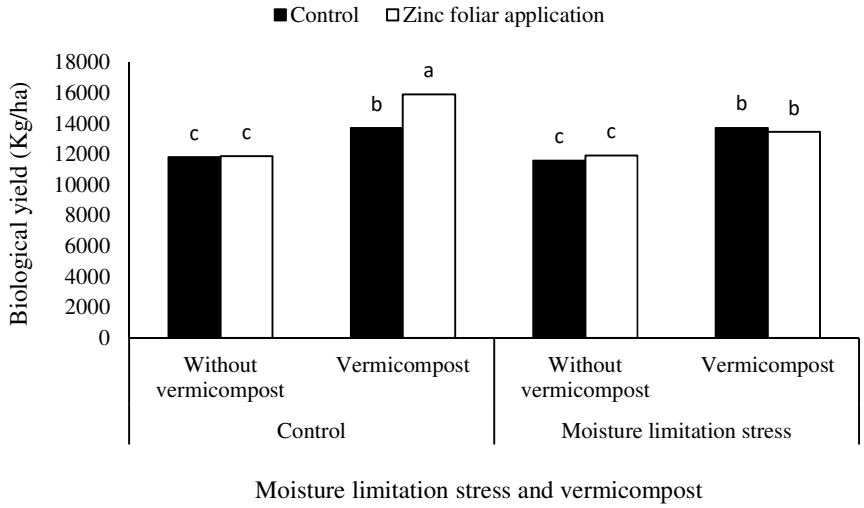
گزارش شده است که عملکرد دانه با سرعت و مدت زمان پرشدن دانه در ارتباط است و کمبود آب در دوره پر شدن دانه می‌تواند فتوسنتز را مختل کند، در نتیجه کاهش انتقال مجدد اسمیلات به دانه و کاهش دوره پرشدن دانه، و در نتیجه وزن کمتر دانه و کاهش عملکرد را در پی دارد. نقش عناصر ریز مغذی مانند روی در رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیک مانند فتوسنتز، تولید هورمون وتشکیل کلروفیل ضروری است و کمبود آن می تواند باعث عدم تعادل مواد مغذی شود و در نهایت کمیت و کیفیت محصول را کاهش دهد، به‌طور کلی، محتوای ماده خشک گیاه معیار مهم تعیین عملکرد بذراست و راه اصلی برای افزایش عملکرد دانه، دارا بودن ماده خشک کافی در گیاه است. به نظر می رسد که کاربرد ریزمغذی‌ها نقش مهمی در افزایش مقدار ماده خشک و در نتیجه عملکرد دانه دارد (Afshari, 2020). استفاده از ورمی کمپوست در شرایط کم‌آبی ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Zare *et al.*, 2017). همچنین گزارش شده است در گندم تیمار ترکیب ورمی کمپوست و بیوچار منجر به افزایش عملکرد و بهره‌وری تحت تنش خشکی شد. به‌نظر می‌رسد که به‌دلیل بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، افزایش میزان رطوبت خاک و جذب مواد مغذی عملکرد دانه به بیشترین مقدار در ٪۷۵ FC (ظرفیت زراعی مزرعه) رسیده باشد (Hafez *et al.*, 2021).

خشکی انتهای فصل غالباً عملکرد دانه گندم را کاهش می‌دهد. خشکی در مرحله پر شدن دانه مدت و سرعت پر شدن دانه گندم را کاهش داد و از طریق کاهش شدید وزن هزار دانه باعث افت عملکرد دانه شد (Dastoor and Asghari-Zakaria, 2014). در این آزمایش نیز اثر تنش محدودیت رطوبت بر وزن هزاردانه معنی دارد بود (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه با کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل وجود مقادیر زیاد عناصر غذایی و معدنی شدن تدریجی آن‌ها از شکل آلی است که سبب در دسترس بودن عناصر غذایی در هنگام نیاز گیاه می‌شود (Hadis *et al.*, 2018). ورمی‌کمپوست با تأثیر مثبت بر ذخیره رطوبتی خاک و تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه در فرآیندهای حیاتی مانند فتوسنتز، همچنین افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک، افزایش شاخص سطح برگ و افزایش جذب نور، زمینه‌ی افزایش عملکرد در گیاهان را به وجود می‌آورد (Gerami *et al.*, 2013). مطابق با این یافته‌ها، در آزمایش حاضر، ورمی‌کمپوست در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تأثیر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه داشت (جدول ۶). کاربرد روی سبب افزایش عملکرد گندم شده و این افزایش در کاربرد خاکی بیشتر است (Damary *et al.*, 2017). محلول‌پاشی روی سبب افزایش شاخص سطح برگ، کارایی جذب نور، غلظت کلروفیل و توان فتوسنتزی و نهایتاً افزایش عملکرد دانه شد (Abbasi *et al.*, 2019). سولفات روی در شرایط تنش نیز منجر به افزایش عملکرد دانه و اجزای آن شد (Ma *et al.*, 2017). این امر به‌علت نقش مؤثر عنصر روی در حفظ فعالیت فتوسنتزی شامل حفظ فعالیت چندین آنزیم متحمل به تنش خشکی از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، محافظت از غشا در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن، متابولیسم سلول، سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها است (Hemanteranjana, 2009).

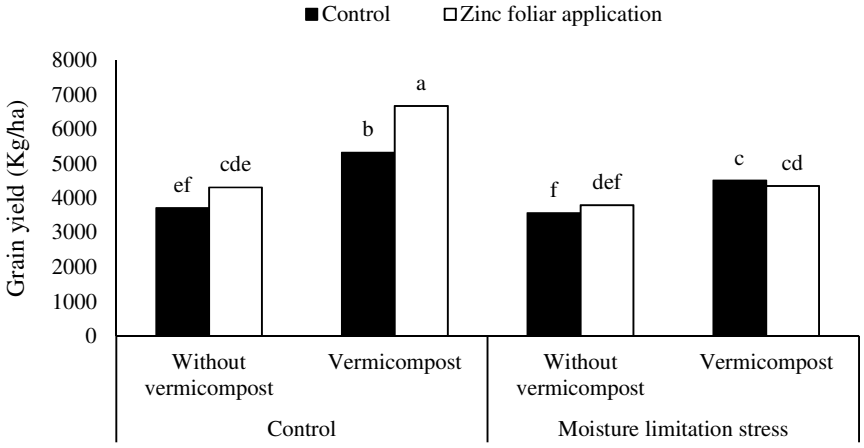
شاخص برداشت

اثر تنشی خشکی، ورمی کمپوست و برهمکنش تنش خشکی و ورمی کمپوست بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول۴). تنش خشکی سبب کاهش شاخص برداشت شد. مصرف ورمی کمپوست در شرایط عدم تنش موجب افزایش شاخص برداشت شد، اما در شرایط تنش بر این صفت تأثیری نداشت (جدول۶). شاخص برداشت بر اثر خشکی انتهای فصل به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در آزمایش حاضر محدودیت رطوبت آخر فصل عملکرد زیستی را کاهش نداد، اما عملکرد دانه را کاهش داد و منجر به کاهش شاخص برداشت شد. کود ورمی‌کمپوست از طریق بهبود رشد و افزایش عملکرد، موجب افزایش شاخص برداشت گندم می‌شود (Adebifar, 2018). آرزمجو و همکاران (Arazmjoo *et al.*, 2018) گزارش کردند که در اثر محلول‌پاشی سولفات روی، افزایش

معنی‌داری در شاخص برداشت گندم ایجاد نشد. عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2014) علت را به ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در قسمت‌های رویشی گیاه و کاهش انتقال مجدد این مواد به بخش‌های زایشی درنتیجه کاربرد روی و در نهایت بیشتر شدن سهم کاه و کلش از مواد فتوسنتزی نسبت به عملکرد دانه نسبت دادند. در این آزمایش نیز محلول‌پاشی سولفات روی، تأثیر معنی‌داری بر افزایش شاخص برداشت در گندم نداشت.



(A)



(B)

شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش تنش محدودیت رطوبت×ورمی کمپوست×محلول‌پاشی روی برعملکرد زیستی (A) و عملکرد دانه (B) گندم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the interaction of moisture limitation × vermicompost × zinc foliar application on wheat biological (A) and grain yield (B). Means followed by at least a similar letter are not significantly different Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

درصد پروتئین دانه

اثر ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی و برهمکنش تنش محدودیت رطوبت×ورمی کمپوست، تنش رطوبت × محلول‌پاشی روی، ورمی کمپوست × محلول‌پاشی روی و تنش رطوبت×ورمی کمپوست×محلول‌پاشی روی بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه تیمارها نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه با میانگین ۱۳/۳۱ درصد مربوط به تیمار تنش رطوبت- مصرف ورمی کمپوست- محلول‌پاشی روی و کمترین مقدار با میانگین ۱۱/۶۸ درصد مربوط به تیمار بدون تنش- عدم مصرف ورمی کمپوست- عدم محلول‌پاشی روی بود (شکل ۲A).

تنش خشکی اغلب باعث افزایش قابل ملاحظه درصد پروتئین دانه گندم می‌شود (Dehghanzadeh, 2017). با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش سه‌گانه، درصد پروتئن در شرایط محدودیت رطوبت بیشتر بود. مصرف ورمی کمپوست نیز باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد. عابدی‌فر (Adebifar, 2018) بالاترین غلظت پروتئین دانه را با کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست به‌دست آورد. این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، فراهمی عناصر غذایی با بهبود شرایط زیستی خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (Don *et al.*, 2015)، بهبود تغذیه گیاه به‌ویژه از نظر روی و آهن و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن (Rahmani *et al.*, 2013) باشد. محلول‌پاشی روی نیز پروتئین دانه را افزایش داد. روی نقش مهمی در پروتئین‌سازی و تولید اسیدهای آمینه دارد و عامل انتقال بهتر پروتئین به دانه گندم می‌باشد و بر اثر کمبود آن، فعالیت آنزیم RNA پلی‌مراز کاهش و تجزیه RNA شدت می‌یابد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). کاربرد ورمی کمپوست تأثیر قابل‌توجهی بر اکثر صفات مانند درصد و عملکرد پروتئین دارد (Biri *et al.*, 2016). به نظر می رسد که به دلیل آزاد شدن تدریجی مواد مغذی و جذب بیشتر آنها توسط گیاه، و افزایش محتوای نیتروژن بالاتر، دارای عملکرد پروتئین بیشتر باشد (Hashemi *et al.*, 2019).

غلظت روی دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی روی و برهمکنش تنش محدودیت رطوبت × محلول‌پاشی روی و ورمی‌کمپوست × محلول‌پاشی روی بر غلظت روی دانه معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج نشان داد که کاربرد روی باعث افزایش غلظت روی دانه شد و تأثیر آن در شرایط عدم تنش بیشتر از تنش بود (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای روی دانه با کاربرد ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی به‌دست آمد. نادا و همکاران (Nada *et al.*, 2011) افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در گندم را با ورمی‌کمپوست گزارش و علت آن را آزادسازی اسیدهای آلی موجود در ورمی‌کمپوست طی فرآیند معدنی شدن و کاهش موضعی pH خاک بیان کردند که سبب افزایش روی موجود در بخش‌های قابل تبادل، آلی و محلول خاک می‌شود. گزارش شده است که دسترسی گیاه به عناصر کم‌مصرف مانند روی در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که اضافه کردن ورمی کمپوست به خاک، به‌دلیل افزایش ماده آلی، فعالیت میکروبی و تشکیل کمپلکس‌های آلی قابل جذب در خاک، قابلیت جذب این عناصر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Zare *et al.*, 2017).

محلول‌پاشی سولفات روی در زمان‌های مختلف، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش محتوای روی دانه گندم دارد (Barut, 2018). در آزمایشی محلول‌پاشی روی نتوانست درصد پروتئین دانه را در هیچ یک از شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل افزایش دهد، ولی مقدار روی را در هر دو شرایط افزایش داد (Malek-Mohammadi *et al.*, 2013). نتیجه آزمایش حاضر نشان داد که محتوای روی دانه با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا نکرد، در حالی‌که با کاربرد توامان ورمی‌کمپوست و روی، افزایش قابل‌توجهی در این صفت مشاهده شد. به نظر می‌رسد به‌کارگیری توأم این دو فاکتور نقش مؤثری در غنی‌سازی دانه گندم داشته باشد.

رسوب زلنی

تجزیه واریانس داده‌ها اثر معنی‌دار ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی و برهمکنش تنش رطوبت × ورمی کمپوست، تنش رطوبت×روی، ورمی کمپوست × روی و برهمکنش سه‌گانه آنها را بر رسوب زلنی نشان داد (جدول ۷). تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی در افزایش رسوب زلنی در شرایط عدم تنش بیشتر از تأثیر آن در شرایط تنش بود (جدول ۹). بیشترین رسوب زلنی مربوط به تیمار مصرف ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت (جدول ۹). بررسی برهمکنش سه‌گانه نشان داد که با

کاربرد ورمی کمپوست، تنش رطوبتی تفاوت معنی‌داری بر رسوب زلنی نداشت، اما در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست، عدم محلول‌پاشی روی سبب کاهش آن شد. در کل بیشترین رسوب زلنی (۳۶/۶۷ میلی‌متر) در شرایط تنش رطوبت، مصرف ورمی کمپوست و محلول‌پاشی روی و نیز عدم تنش رطوبت، ورمی کمپوست و محلول پاشی روی (۳۶/۳۳ میلی‌متر) مشاهده شد که هر دو در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین آن (۳۰ میلی‌متر) مربوط به تیمار عدم تنش خشکی، عدم مصرف ورمی کمپوست و عدم محلول‌پاشی روی بود (شکل 2B).

در آزمایش امیری فر و همکاران (Amirifar *et al.*, 2011)، ارتفاع رسوب اغلب ژنوتیپ‌ها به‌علت افزایش درصد پروتئین در شرایط تنش افزایش یافت. در پژوهش حاضر افزایش غیرمعنی‌دار عدد زلنی در اثر تنش رطوبت آخر فصل مشاهده شد که نشان می‌دهد شدت یا مدت تنش خشکی در این تحقیق زیاد نبوده است. رسوب زلنی با مصرف ورمی‌کمپوست، افزایش یافت که بیانگر افزایش کیفیت نانوایی است. در آزمایش کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2013) نیز با مصرف سه تیمار (لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود دامی)، مقدار گلوتن مرطوب، پروتئین خام آرد و حجم نان افزایش یافت، در حالی‌که رسوب زلنی تنها با مصرف لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری افزایش یافت و با مصرف کود دامی تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. کاربرد روی نیز باعث افزایش عدد زلنی و کیفیت نانوایی گندم شد. باروت (Barut, 2018) اظهار داشت که کاربرد سولفات روی باعث افزایش رسوب زلنی و کیفیت نانوایی می‌شود و علت آنرا افزایش درصد پروتئین دانه در نتیجه مصرف روی دانست.

عدد فالینگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر عدد فالینگ معنی‌دار بود و سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش عدد فالینگ شد، به‌طوری که بیشترین و کمترین میزان این صفت به‌ترتیب در شرایط تنش خشکی با میانگین ۲۹۱/۲۵ ثانیه و عدم تنش با میانگین ۲۶۰/۴۲ ثانیه مشاهده شد (جدول ۵). آزمون فالینگ یکی از روش‌های تعیین فعالیت آنزیم‌های آمیلولیتیک موجود در دانه گندم است و عدد فالینگ کم، سطح بالای آنزیم آلفا آمیلاز را نشان می‌دهد. آنزیم آلفا آمیلاز تخریب نشاسته را سرعت می‌بخشد و در نهایت منجر به کاهش کیفیت نهایی محصولات تولیدی از گندم می‌شود (Yu *et al.*, 2015). در مواردی که فعالیت آنزیم کم باشد، نان به سرعت بیات می‌شود و ضایعات نان افزایش می‌یابد (Gholinezhad and Eivazi, 2020). وقوع تنش خشکی می‌تواند عدد فالینگ در گندم را ۹/۲۰ درصد افزایش دهد (Amiri *et al.*, 2018). در آزمایش حاضر نیز عدد فالینگ تحت تأثیر تیمار تنش خشکی افزایش یافت و همانند ورمی‌کمپوست، محلول‌پاشی روی نیز تأثیری بر عدد فالینگ نداشت. در آزمایش داماری و همکاران (Damary *et al.*, 2017) محلول‌پاشی عناصر روی و بور به صورت‌های جداگانه و همزمان تأثیری بر این پارامتر نداشت. سوبولوسکا و همکاران (Sobolewska *et al.*, 2020) نیز نشان دادند که محلول‌پاشی توأم عناصر منگنز و روی نتوانست عدد فالینگ را به‌طور مؤثری تحت تأثیر قرار دهد.

جدول ۷- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های کیفی گندم تحت تاثیر تنش محدودیت رطوبت، ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی

Table 7. Analysis of variance of some qualitative traits of wheat under moisture limitation, vermicompost and zinc foliar application

Source of variations	df	Grain protein	Zeleny sedimentation	Falling number
Replication (R)	2	0.23^{ns}	0.54^{ns}	798.17^{ns}
Moisture limitation stress (A)	1	5.64^{ns}	6.0^{ns}	2604.17^{**}
R×A (Ea)	2	0.43	0.87	450.17
Vermicompost (B)	1	0.43^{**}	48.17^{**}	0.67^{ns}
A×B	1	0.29^{**}	2.66^{**}	0.17^{ns}
Zinc sulfate (C)	1	0.23^{**}	32.67^{**}	0.67^{ns}
A×C	1	0.18^{**}	1.5^{*}	0.17^{ns}
B×C	1	0.03^{*}	2.67^{**}	0.000^{ns}
A×B×C	1	0.22^{**}	1.5^{*}	0.17^{ns}
Eb	12	0.04	0.32	0.22
CV (%)	-	1.65	0.5	1.16

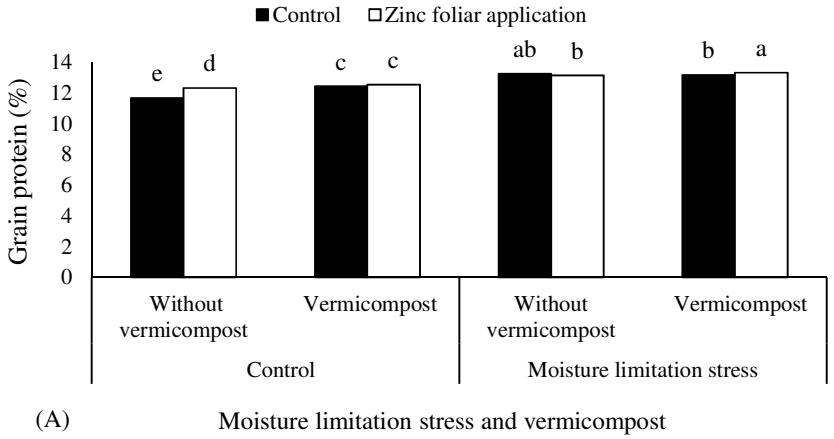
^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- تجزیه واریانس عملکرد زیستی و محتوای روی دانه گندم تحت تاثیر محدودیت رطوبت، ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی روی

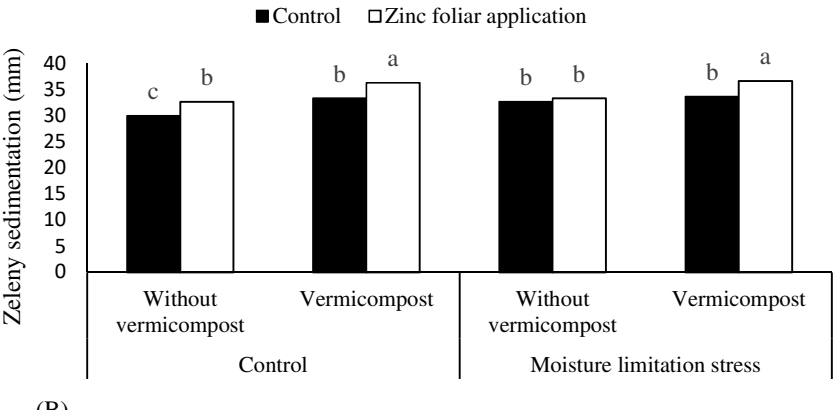
Table 8. Analysis of variance of biological yield and grain zinc content of wheat under moisture limitation, vermicompost and zinc foliar application

Source of variations	df	Grain zinc content	Biological yield
Repliction (R)	2	3.49^{**}	177632.17^{ns}
Moisture limitation stress (A)	1	0.07^{ns}	2618882.67^{ns}
R×A (Ea)	2	0.05	231308.17
Vermicompost (B)	1	0.01^{ns}	34901640.17^{**}
A×B	1	0.17^{ns}	1957388.17^{**}
R×B	2	0.071	331562.67
Zinc sulfate (C)	1	43.82^{**}	2020720.67^{**}
A×C	1	0.68^{*}	1852592.67^{*}
B×C	1	0.95^{*}	929053.50^{ns}
A×B×C	1	0.16^{ns}	2797568.17^{**}
Eb	10	0.14	243531.39
CV (%)	-	1.88	4.00

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



(A) Moisture limitation stress and vermicompost



(B) Moisture limitation stress and vermicompost

شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش تنش محدودیت رطوبت × ورمی کمپوست × محلول‌پاشی روی بر درصد پروتئین دانه (A) و رسوب زلنی (B) گندم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the interaction of moisture limitation stress × vermicompost × zinc foliar application on grain protein (A) and Zeleny sedimentation (B) of wheat. Means followed by at least a similar letter are not significantly different Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش تنش محدودیت رطوبت × ورمی‌کمپوست، تنش محدودیت رطوبت × محلول‌پاشی روی و ورمی‌کمپوست × محلول‌پاشی روی بر صفات کیفی دانه گندم

Table 9. Mean comparison of the interactions of moisture limitation stress × vermicompost, moisture limitation stress × zinc foliar application, and vermicompost × zinc foliar application on wheat grain qulity

Treatment		Grain protein (%)	Grain zinc content ($mg.kg^{-1}$)	Zeleny sedimentation (mm)
Control	Without vermicompost	12.0c	19.69a	31.33c
	Vermicompost	12.49b	19.91a	34.83b
Moisture limitation stress	Without vermicompost	13.19 a	19.52a	33.0c
	Vermicompost	13.23 a	19.39a	35.17a
Control	Water foliar application	12.06c	18.28c	31.67c
	Zinc foliar application	12.43b	21.32a	34.5a
Moisture limitation stress	Water foliar application	13.2a	18.27c	33.17b
	Zinc foliar application	13.22a	20.64b	35.0a
Without vermicompost	Water foliar application	12.46c	18.06b	31.33c
	Zinc foliar application	12.73b	21.16a	33.0b
Vermicompost	Water foliar application	12.8b	18.5b	33.5b
	Zinc foliar application	12.92a	20.8a	36.5a

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

وقوع تنش خشکی از ابتدای مرحله پرشدن دانه، سبب کاهش قابل توجه عملکرد دانه شد. کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع بوته، درصد پروتئین دانه و کیفیت نانوایی (رسوب زلنی) گندم به‌ویژه تحت شرایط عدم تنش، شد. محلول‌پاشی عنصر روی اثر قابل ملاحظه‌ای در افزایش غلظت روی دانه و کیفیت نانوایی داشت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر کاربرد ورمی‌کمپوست و سولفات روی تا حدودی از خسارت تنش خشکی کاست و در حقیقت باعث افزایش تحمل به تنش شد. بنابراین استفاده توأم سولفات روی و ورمی‌کمپوست با تأثیر مثبت بر صفات کیفی گزینه مناسبی برای غنی سازی آرد گندم است. با توجه به اثرات مثبت ورمی‌کمپوست و سولفات روی در بهبود صفات کمی و کیفی گندم، کاربرد این نوع تیمارهای کودی به‌عنوان عامل‌های کاهش دهنده اثرات منفی تنش به‌ویژه در مناطقی که با تنش خشکی انتهای فصل مواجه هستند، توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بدین وسیله از زحمات سرکار خانم مهندس چهارلنگ‌بدیل و همچنین کارشناسان آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان که در انجام این پژوهش صمیمانه همکاری داشتند، قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. USA.

Abbasi, N., Cheraghi, J. and Hajinia, S. 2019. Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. **Crop Physiology Journal** 11: 85-104. (In Persian with English abstract).

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2013. Effect of water deficiency stress during seed growth on yield and its component, germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 4: 110-118.

Abdoli, M., Esfandiari, E., Mausavi, S. and Sadeghzaeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phonological stages on yield formation and grain zinc content of gread wheat (cv. Kohdasht). **Azarian Journal of Agriculture** 1: 11-17.

Abdolshahi, R., Omidi, M., Talai, A. R. and Yazdi Samadi, B. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. **Applied Ecology and Environmental Research** 3: 159-177.

Aboelsoud, H. M. and Ahmed, A. A. 2020. Effect of biochar, vermicompost and polymer on wheat and maize productivity in sandy soils under drought stress. **Environment, Biodiversity and Soil Security** 4: 85-102.

Abedi Baba-Arabi, S., Movahhedi-Dehnavi, M., Yadavi, A. R. and Adami, E. 2011. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yied of spring sunflower under drought stress. **Electronic Hournal of Crop Production** 4: 75-95. (In Persian with English abstract).

Adebifar, M. 2018. Evaluation seed yield, its components and protein concentration of wheat in response to different level of nitrogen and vermicompost. **Journal of Crop Nutrition Science** 4: 47-61.

Afshari, M. 2020. Assessment effect of water deficit stress and foliar application of zinc sulfate on seed yield, grain protein and antioxidant enzymes. **Journal of Crop Nutrition Science** 6 (2):13-25.

Allardice, R. 2015. Does the application of vermicompost solid and liquid extracts influence the growth, N-nutrition and soil microbial diversity of the legume, *Lupinus angustifolius*. Dissertation of Ph. D. Stellenbosch University, Stellenbosch.

Amiri, R., Bahraminejad, S. and Sasani, S. 2013. Evaluation of genetic diversity of breed wheat genotypes based on physiological traits in non- stress and terminal drought stress conditions. **Cereal Research** 2: 289-305. (In Persian with English abstract).

Amiri, R., Sasani, S., Jalili-Honarmand, S., Rasaei, A., Seifolahpour, B. and Bahraminejad, S. 2018. Genetic diversity of bread wheat genotypes in Iran for some nutrititional value and baking quality traits. **Physiology and Molecular Biology of Plants** 24: 147-157.

Amirifar, E., Aghaee Sarbarze, M., Haghparast, R. and Khosroushahli, M. 2011. Yield stability, bread making quality and drought tolerance in bread wheat genotypes. **Seed and Plant Improvment Journal** 27 (2): 233-255. (In Persian with English abstract).

Anwar, S., Khalilzadeh, R., Khan, S., Bashir, R., Pirzad and Malik, A. 2021. Mitigation of drought stress and yield improvement in wheat by zinc foliar spray relates to enhanced water use efficiency and zinc contents. **International Journal of Plant Production** 1-13.

Arazmjoo, E., Behdani, M., Mahmoodi, S. and Sadeghzadeh, B. 2018. Response of some bread wheat cultivars to foliar application of Zn and Fe different forms in two locations with different soil properties. **Iranian Journal of Field Crops Research** 16: 203-216. (In Persian with English abstract).

Bahrampour, T. and Akhavan, K. 2015. The sampling of soil, water and plan and proper fertilizer recommendations. Ministry of Jihad- e- Agriculture. Technical Manual 51: 1-40. (In Persian).

Barut, H. 2018. Effect of foliar urea, potassium and zinc sulphate treatments before and after flowering on grain yield, technological quality and nutrient concentrations of wheat. **Applied Ecology and Environmental Research** 17: 4325-4342.

Biri, A., Kaba, S., Taddesse, F., Dechassa, N., JJ, S., Zewidie, A. and Chavhan, A. 2016. Effect of vermicompost and nitrogen application on *Striga incidence*, growth, and yield of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Monech] in Fedis, Eastern Ethiopia. **International Journal of Life Sciences** 4 (3): 349-360.

Chu, C. J., Weiner, J., Maestre, F. T., Wang, Y. S., Morris, C., Xiao, S., Yuan, J. L., Du, J. Z. and Wang, G. 2010. Effect of positive interactions, size symmetry of competition and abiotic stress on self-thinning in simulated plant populations. **Annals of Botany** 106: 647-652.

Damary, J., Fretes, M., Diosnel A. and Milciades M. 2017. Wheat response to the application of zinc and boron. **International Journal of Current Research in Life Sciences** 6: 765-767.

Dastfal, M., Barati, V., Emam, Y., Haghighatnia, H. and Ramazanpour, M. 2011. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in Darab region. **Seed and Plant Production Journal** 27: 195-217. (In Persian with English abstract).

Dastoor, A. and Asghari-Zakaria, R. 2014. Evalution of wheat and grain-filling rate of wheat genotypes under non stress and post anthesis drought stress conidition. **Journal of Agroecology** 6: 561-570. (In Persian with English abstract).

Debnat, M. R., Jahiruddin, M., Rahman, M. M. and Hague, M. A. 2011. Determining optimum rate of Goron application for higher yield of wheat in old Brahmaputra floodplain soil. **Journal of the Bangladesh Agricultural University** 9: 205-210.

Dehghanzadeh, H. 2017. Effect of irrigation regimes on some quantity and quality traits of bread wheat cultivars in Isfahan province. **Journal of Plant Ecophysiology** 8: 25-34. (In Persian with English abstract).

Don, C., Lichtendonk, W., Plijter, J. J. and Hamer, R. 2015. Potential of vermicompost produced from plant waste on the gronth and butrientstatus in vegetatle production. **International Journal of the Physical Sciences** 5: 1964-1973.

Eivazi, A., Abdollah, S., Salekdeh, H., Majidi, A., Mohammadi, A. and Pirayeshfar, B. 2006. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat *(Triticum aestivum* L.) varieties. **Iranian Journal of Crop Sience** 7: 252-267. (In Persian with English abstract).

Gerami, F., Ayenehband, A. and Fateh, S. 2013. Effect of green manures and nitrogen fertilizer levels on early growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural Science and Sustainble Production** 23: 1-17. (In Persian with English abstract).

Gholinezhad, E. and Eivazi, A. 2020. Evaluation of the interaction of water stress and superabsorbent on the characteristics related to the quality of bread wheat cultivars (*Triticum aestivum*). **Journal of Crop Production and Processing** 10: 23-37. (In Persian with English abstract).

Guttieri, M. J., Stark, J. C., Obrien, K. and Souza, E. 2001. Relative sensivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficient. **Crop Science** 41: 327-335.

Hadis, M., Metek, G. and Haile, W. 2018. Response of bread wheat to integrated application of vermicompostand NPK fertilizers. **African Journal of Agricultural Research** 13: 14-20.

Hafez, E. M., Omara, A. E. D., Alhumaydhi, F. A. and El-Esawi, M. A. 2021. Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. **Physiologia Plantarum** 172 (2): 587-602.

Hashemi, S. Z., Zakernejad, S. and Payandeh, K. 2019. Integrated effect of nitrogen fertilizer and vermicompost on quantitative and qualitative traits of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under water stress situation. **Journal of Crop Nutrition Science** 5 (4): 51-63.

Hemanteranjana, A. 2009. Advancements in micronutrient research. Scienticfic Publishers. 465 p.

ICC. 1994. International Association for Cereal Science and Technology. 1994. Standard method No. 116/1. Determination of sedimentation value (Ac. to zeleny) as an approximate measure of baking quality. ICC Secretariat, Vienna, Austria.

Jlker, E., Tatar, O., AykutTonk, F. and Tosun, M. 2011. Determination of tolerance level of some wheal genotypes to post- anthesis drought. **Turkish Journal of Field Crops** 16: 59-63.

Kahrizy, S. and Sepehri, A. 2019. Effect of vermicompost, nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under terminal drought stress. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production** 29 (1): 67-83. (In Persian with English abstract).

Kazemzadeh, M., Peighambardoust, S. H. and Najafi, N. 2013. Effect of organic and nitrogen fertilizers on physicochemical properties and bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). **Journal of Food Research** 23: 179-197. (In Persian with English abstract).

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, M., Sedghi, M. and Barmaki, S. 2016. Effect of zinc and biofertilizer on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, should sugars and proline in Triticale under salinity condition. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 44 (1): 116-124.

Kizilkaya, R., Hepsen Turkav, F. S., Turkmen, C. and Durmus, M. 2012. Vermicompost effects on wheat yield and nutrient contents in soil and plant. **Archives of Agronomy and Soil Science** 58: S175-S179.

Lui, Z., Rong, Q., Zhou, W. and Liang, G. 2017. Effect of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microtial community and soil quality in yellow clayey soil. **PloS ONE** 12 (3): eO 172767.

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J. and Gud, I. 2017. Phisiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated allevation of drought stress. **Frontiers in Plant Science** 8: 860. doi: 10.3389/fpls.2017.00860.

Mahmoud, E. K. and Ibrahim, M. M. 2012. Effect of vermicompost and its mixtures with water treatment residuals on soil chemical properties and barley growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 12: 431-440.

Mahmud, M., Abdullah, R. and Yaacob, J. S. 2018. Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2) under field conditions. **Agronomy** 8 (9): 183.

Malek-Mohammadi, M., Maleki, A., Siaddat, S. A. and Beigzade, M. 2013. The effect of zinc and potassium on the quality yield of wheat under drought stress conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 6: 1164-1170.

Mitiku, W., Tamado, T., Singh, T. N. and Teferi, M. 2014. Effect of integrated nutrient management on yield and yield components of food Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Kaffa zone, Southwestern Ethiopia. **Science, Technology and Arts Research Journal** 3: 34-42.

Molavi, Z., Biabani, A., Nakhzari Moghadam, A. and Rahemikarizaki, A. 2018. Effect of drought stress on phenology, yield and yield componenets of different wheat cultivars in semiarid region. **Applied Research of Plant Ecophysiology** 5:67-87. (In Persian with English abstract).

Nada, W. M., Rensburg, L. V., Claassens, S. and Blumenstein, O. 2011. Effect of vermicompost on soil and plant properties of coal spoil in the Lusatian region (Eastern Germany). **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 42: 1945-1957.

Negm, M. E., El-Kallawy, W. and Hefeina, A. G. 2019. Comparative study on rice germination and seedling growth under salinity and drought stresses. **Environment, Biodiversity and Soil Security** 3: 109-117.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO3, USDA Cir.939. U.S. Washington.

Rahmani, A., Mirza, M. and TataeiAghdai, S. R. 2013. Effects of different fertilizers (macro and micro element) on quality and quality of essential oil and other byproducts of *Rosa domascena* Mill. In Iran. **Journal of Medicinal and Aromatic Plants** 29: 747-759. (In Persian with English abstract).

Saad, M. M. and Abo-Koura H. A. 2018. Improvement of sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) growth and yield under drought stress by inoculation with *Bacillus cereus* and foliar application of potassium silicate. **Environment, Biodiversity and Soil Security** 2: 205-221.

Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 13: 905-927.

Sobolewska, M., Wenda–Piesik, A., Jaroszewska, A. and Stankowski, S. 2020. Effect of habitat and foliar fertilization with K, Zn and Mn on winter wheat grain and baking qualities. **Agronomy** 10: 1-21.

Tabatabaeiyan, J., Bakhshande, A., Gharine, M. A., Alemisaeid, K. H. and Khoshgoftar, A. H. 2013. Interactions between water stress and zinc sulphate foliar application in late stages of growth on the yield and water efficiency of wheat. **Ecology and Environmental Research** 16: 97-110.

Taheri Rahimabadi, E., Ansari, M. H. and Razavi Nematollahi, A. 2017. Influence of low manure and its vermicomposting on the grain yield and quality of rice (*Oryza sativa L.*) in field conditions. **Applied Ecology and Environmental Research** 16: 97-110. .

Trethowan, R. M. and Reynolds, M. 2007. Drought resistance genetic approaches for improving productivity under stress. In: Buck, H. T., Nisi, J. E. and Salomón, N. (Eds.). Wheat production in stressed environments. Developments in Plant Breeding, vol 12. https://doi.org/10.1007/1-4020-5497-1_37.

Tricker, P. J., Elhabti, A., Schmidt, J. and Fleury, D. 2018. The physiological and genetic basis of combined drought and heat tolerance in wheat. **Journal of Experimental Botany** 69 (13): 3195-3210. https://doi.org/10.1093/jxb/ery081.

Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. and Guoqin, H. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. **Agriculture** 10 (9): 396.

Vafa, Z. N., Sohrabi, Y., Sayyed, R. Z., Luh Suriani, N. and Datta, R. 2021. Effects of the combinations of rhizobacteria, mycorrhizae, and seaweed, and supplementary irrigation on growth and yield in wheat cultivars. **Plants** 10 (4): 811.

Verma, R. K., Verma, R. S., Rahman, L. V., Yadav, A. D., Patra, D. and Kajra, A. 2013. Utilization of distillation waste based vermicompost and other organic and inorganic fertilizers on improving production potential in Geranium and soil health. **Communication in Soil Science and Plant Analysis** 45 (2): 141-152.

Walkley, A. and Black, I. A., 1934. An examination of the digeston method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid thtration method. **Soil Sciences** 37: 29-38.

Yarmand, M. S. and Seyedin Aradabili, K. 2005. Effect of gluten and barley malt flour on staling and quality of barbari flat bread. **Iranian Journal of Agricultural Science** 36:591-602. (In Persian with English abstract).

Yu, N., Lavrenz, R., Siler, L., Ng, P. K. W., Souza, E. and Lewis, J. M. 2015. Evaluation of α-amylase activity and falling number around maturity for soft white and soft red wheat varieties in Michigan. **Cereal Research Communications** 43: 672-681.

Zare, L., Ronaghi, A., Moosavi, S. A. A. and Ghasemi, R. 2017. The Effect of vermicompost on reducing the adverse effects of water stress on growth and chemical composition of corn in a calcareous soil. **Water and Soil** 30 (5): 1607-1619. (In Persian with English abstract).

Zeleny, L. 1974. A Simple sedimentation test for estimating bread- baking and gluten qualities of wheat flour. **Cereal Chemistry** 24: 465-475.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/CR.2022.20864.1695

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 11, No. 3, Autumn 2021 (205-223)

Effects of vermicompost and zinc element foliar application on yield and baking quality of wheat under terminal moisture limitation stress conditions

Fatemeh Toulabi[1], Hamid Reza Eisvand[2*] and Darush Goodarzi[3]

Received: July 17, 2021 Accepted: October 27, 2021

Abstract

In some regions of Iran, drought stress generally reduces yield at the final stages of wheat growth. This experiment was performed to investigate the effects of vermicompost and zinc foliar application on yield, yield components and quality traits of bread wheat (Chamran 2) under terminal moisture limitation stress, during 2018-19 in the research farm of the faculty of Agriculture of Lorestan University. The experiment was carried out as split-factorial based on a Randomized Complete Block Design with eight treatments and three replications. The main factor was moisture limitation stress (full irrigation until the end of the growing season and cessation of irrigation from the beginning of grain filling) and sub-factors were vermicompost (no application, and application of vermicompost 5 t ha^{-1}) and foliar application of zinc (distilled water and zinc sulfate solution 3/1000 (w/v) equals to 0.36 g zinc sulfate m^{-2}). The results showed that moisture limitation stress significantly reduced the 1000-grain weight, grain yield, harvest index, and Falling number. Interaction of moisture limitation × vermicompost × zinc was significant for grain protein and Zeleny sedimentation. Application of vermicompost increased grain yield, biological yield, harvest index, grain protein and Zeleny sedimentation thereby improved quantity and quality of wheat grain particularly under non-moisture limitation condition. Zinc foliar application also significantly increased the grain yield, biological yield, grain zinc content, protein percentage and Zeleny sedimentation. Combined and separate application of vermicompost and zinc foliar application reduced the damage of moisture limitation stress on the quantitative and qualitative yield of wheat. Therefore, use of them is recommended as a crop management practice in Khorramabad climatic condition particularly where terminal moisture limitation stress is usually occur.

Keywords: Chamra 2 cultivar, Drought stress, Foliar nutrition, Organic fertilizer, Zeleny sedimentation

1. M. Sc. Student, Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
3. Scientific Member, Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
[*] Corresponding author: eisvand.hr@lu.ac.ir