

Effects of Foliar Application of Zinc and Iron Nanoparticles and Some Organic Materials on Wheat Growth and Yield in Hamidiyeh County

Hossein Delfaboodi¹, Esfandiar Fateh^{2*}, Amir Aynehband³

¹ Master's student, Plant Genetic and Production Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: delfaboodi@gmail.com

² Corresponding author, Associate Professor of Plant Genetic and Production Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: e.fateh@scu.ac.ir

³ Professor of Plant Genetic and Production Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: aynehband@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

ABSTRACT

Background and objectives: The present research was conducted in order to investigate the foliar spraying of zinc and iron nanoparticles and some organic substances on the growth and yield of wheat, in the crop year of 2023-24, in Gamboa area in Hamidieh city.

Material and methods: The experimental design was factorial in the form of randomized complete block design in three replications. The first factor includes different levels of organic fertilizers in 5 levels including 1- control (without using organic fertilizers), 2- application of biochar bagasse (at the rate of 5 ton. ha⁻¹) 3- application of vermicompost fertilizer (at the rate of 5 ton. ha⁻¹), 4- Application of humic acid (in two stages of stem formation and flowering), 5- Spraying with seaweed extract (in two stages of stem formation and flowering). The second factor includes the use of zinc and iron nanoparticles in four levels, including 1- control (no use of nanoparticles), 2- zinc nanoparticles with a concentration of 2 parts per thousand, 3- iron nanoparticles with 2 parts per thousand and 4- iron and zinc nanoparticles with a concentration of 2 It was in the thousands.

Article history:
Received: 2025-6-2
Accepted: 2025-102-25

Results: The results showed that the experimental treatments had a significant effect on the studied traits. The examination of the plant height trait showed that the application of biochar, bagasse, vermicompost, and humic acid fertilizers increased the plant height by 11.8, 13.1, and 12.5%, respectively, compared to the control treatment (93.8, 94.8, and 94.3 cm, respectively). On the other hand, the average height of the plant under the conditions of foliar application with seaweed extract (88 cm) despite a 5% increase compared to the control treatment, did not have a statistically significant difference with each other. In the conditions of application of nanoparticles, the application levels of zinc nanoparticles, iron nanoparticles and zinc + iron nanoparticles respectively increased the plant height by 6.8, 8.4 and 10.5% compared to the control treatment. In terms of the weight of 1000 seeds, the use of organic compound fertilizers did not have a statistically significant difference with each other and had a higher average than the control treatment. Among the application levels of

Keywords:
Grain yield
Growth
Humic acid
Micronutrient elements
and Physiological Index

nanoparticles, the highest average weight per thousand grains was related to the application of iron + zinc nanoparticles (42.9 gr). The average seed yield in the control treatment was equal to 3336.3 Kg/ha, which had no statistically significant difference with the foliar treatment with seaweed extract (3382.5 kg/ha), but it had a significantly lower average compared to other treatment levels. In contrast, vermicompost and humic acid fertilizer application treatments (4560.5 and 4637.5 kg/ha, respectively) had the highest seed yield. Under the application levels of nanoparticles, the average grain yield in the control treatment was equal to 3630 kg per hectare, which increased by 10.1, 11.7 and 18.1% to 4038, 4056.4 and 4289 kg under the conditions of application of zinc nanoparticles, iron nanoparticles and zinc + iron nanoparticles, respectively. The highest average biomass yield was related to humic acid application treatment, which increased the average biomass yield (15332 kg/ha) by 34% compared to the control treatment. Under the application levels of nanoparticles, the treatments of application of zinc nanoparticles (13403.4 kg/ha), iron nanoparticles (13536.8 kg/ha) and application of zinc + iron nanoparticles (14706.4 kg/ha) increased biomass yield by 11, 13.4 and 23.2%, respectively.

Conclusion:In general, the use of organic fertilizers (biochar, vermicompost and humic acid) and nanoparticles (zinc and iron) led to a significant improvement in growth, grain yield and plant biomass, and the greatest effect was observed in the treatment of humic acid and zinc + iron nanoparticles.

Cite this article: Delfaboodi, H., Fateh, E., Ayneband, A. 2025. Effects of Foliar Application of Zinc and Iron Nanoparticles and Some Organic Materials on Wheat Growth and Yield in Hamidiyeh County. *Crop Production Journal*, 18 (3), 61-82.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2025.23741.2691](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23741.2691)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۷۳۹۸-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸



تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات روی و آهن و برخی مواد آلی بر رشد و عملکرد گندم در شهرستان حمیدیه

حسین دلف‌عبودی^۱، اسفندیار فاتح^{۲*}، امیر آینه‌بند^۳

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

رایانامه: delfaboody@gmail.com

^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران * مسئول مکاتبه: e.fateh@scu.ac.ir

^۳ استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ayneband@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پژوهش حاضر به منظور بررسی محلول‌پاشی نانوذرات روی و آهن و برخی مواد آلی بر رشد و عملکرد گندم، در سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ در منطقه گمبوعه در شهرستان حمیدیه اجرا شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۴	مواد و روش‌ها: آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. فاکتور اول شامل سطوح مختلف کودهای آلی در ۵ سطح شامل ۱- شاهد (بدون استفاده از کود آلی)، ۲- کاربرد بیوجار باگاس (به میزان ۵ تن در هکتار) ۳- کاربرد کود ورمی کمپوست (به میزان ۵ تن در هکتار)، ۴- کاربرد اسیدهیومیک (در دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی)، ۵- محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (در دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی) بود. فاکتور دوم شامل استفاده از نانوذرات روی و آهن در چهار سطح شامل ۱- شاهد (عدم استفاده از نانوذرات)، ۲- نانوذرات روی با غلظت ۲ در هزار، ۳- نانوذرات آهن ۲ در هزار و ۴- نانوذرات آهن و روی با غلظت ۲ در هزار بود.
واژه‌های کلیدی: رشد شاخص‌های فیزیولوژیک عملکرد دانه عناصر ریزمغذی و هیومیک اسید	یافته‌ها: نتایج نشان داد که تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی داشت. بررسی صفت ارتفاع بوته نشان داد که کاربرد کودهای بیوجار باگاس، ورمی کمپوست، اسیدهیومیک ارتفاع بوته را به ترتیب ۱۱/۸، ۱۳/۱ و ۱۲/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (به ترتیب ۹۳/۸، ۹۴/۸ و ۹۴/۳ سانتی‌متر). در مقابل میانگین ارتفاع بوته در شرایط کاربرد محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (۸۸ سانتی‌متر) علی‌رغم افزایش ۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط کاربرد نانوذرات نیز سطوح کاربرد نانوذرات روی، نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن به ترتیب ارتفاع بوته را نسبت به تیمار شاهد، ۶/۸، ۸/۴ و ۱۰/۵ درصد افزایش دادند. از نظر وزن هزار دانه نیز کاربرد کودهای ترکیبات آلی با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند و میانگین بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. در بین سطوح کاربرد نانوذرات نیز بیشترین میانگین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد نانوذرات

آهن + روی (۴۲/۹ گرم) بود. میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد برابر با ۳۳۳۶/۳ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی (۳۳۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی داری نداشتند ولی نسبت به سایر سطوح تیماری به طور معنی داری از میانگین پایین تری برخوردار بودند. در مقابل تیمارهای کاربرد کود ورمی کمپوست و هیومیک اسید (به ترتیب ۴۵۶۰/۵ و ۴۶۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. تحت سطوح کاربرد نانوذرات، میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد برابر با ۳۶۳۰ کیلوگرم در هکتار بود که در شرایط کاربرد نانوذرات روی، نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن به ترتیب با ۱۰/۱، ۱۱/۷ و ۱۸/۱ درصد افزایش به مقادیر ۴۰۳۸، ۴۰۵۶/۴ و ۴۲۸۹ کیلوگرم در هکتار رسید. بیشترین میانگین عملکرد زیست توده نیز مربوط به تیمار کاربرد اسید هیومیک بود که میانگین عملکرد زیست توده (۱۵۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) را ۳۳/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. تحت سطوح کاربرد نانوذرات نیز تیمارهای کاربرد نانوذرات روی (۱۳۴۰۳/۴ کیلوگرم در هکتار)، نانوذرات آهن (۱۳۵۳۶/۸ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد نانوذرات روی + آهن (۱۴۷۰۶/۴ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب عملکرد زیست توده را ۱۱، ۱۳/۴ و ۲۳/۲ درصد افزایش دادند.

نتیجه گیری: به طور کلی، استفاده از کودهای آلی (بیوچار، ورمی کمپوست و اسید هیومیک) و نانوذرات (روی و آهن) موجب بهبود معنی دار رشد، عملکرد دانه و زیست توده گیاه شد و بیشترین تأثیر را تیمار اسید هیومیک و نانوذرات روی + آهن داشتند.

استاد: دلف عبودی، حسین؛ فاتح، اسفندیار؛ آینه بند، امیر. (۱۴۰۴). تأثیر محلول پاشی نانوذرات روی و آهن و برخی مواد آلی بر رشد و عملکرد گندم در شهرستان حمیدیه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۳)، ۸۲-۶۱.



[10.22069/ejcp.2025.23741.2691](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23741.2691)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

گندم با نام علمی (*Triticum aestivum*) به عنوان اصلی ترین منبع انرژی و پروتئین برای بخش بزرگی از جمعیت جهان شناخته می شود و حدود ۲۰ درصد پروتئین و ۲۱ درصد کالری غذا را برای حدود ۴/۵ میلیارد نفر در ۹۴ کشور تأمین می کند اهمیت این محصول در تأمین امنیت غذایی موجب شده است که به طور گسترده در سراسر جهان کشت و مصرف شود (۱). با وجود این اهمیت، چالش های متعددی در بخش کشاورزی وجود دارد. استفاده بی رویه و طولانی مدت از کودهای شیمیایی، عدم استفاده از کودهای دارای عناصر کم مصرف، وجود خاک های آهکی و دارای میزان پایین مواد آلی، منجر به کمبود عناصر کم مصرف در اراضی کشاورزی شده است (۲). بنابراین یافتن راهکارهای پایدار و کارآمد برای تأمین عناصر غذایی ضروری، به ویژه عناصر کم مصرف، اهمیت ویژه ای دارد (۳). یکی از راهکارهای نوین، استفاده از نانو فن آوری در کشاورزی است. محققان بیان داشته اند که استفاده از نانو فن آوری در قسمت های مختلف بخش کشاورزی در حال گسترش است. همچنین بیان کردند که نانوذرات دارای ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند و نانوذرات، خواص و ویژگی های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود دارند و همین خواص آن ها بر عملکرد آن ها اثر مثبت دارد. با کمک علم نانو فن آوری، می توان مواد مختلف را در مقیاس کوچک و اتمی دستکاری کرد (۵). در واقع نانوذرات عناصر غذایی، به علت داشتن، قابلیت جذب بیشتر توسط گیاهان، باعث کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی می شوند و کاربرد نانوذرات عناصر غذایی راهکاری در راستای افزایش امنیت غذایی و کشاورزی است (۶). آهن، جزء عناصر ضروری و کم مصرف، دارای نقش مهم و حیاتی بر متابولیسم پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک است. آهن

بر مکانسیم های تنفس و اکسیداسیون-احیاء در گیاهان نقش مهمی دارد. عنصر روی یکی از عناصر کم مصرف می باشد که جهت رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی لازم است و مشخص شده است (۷). عنصر روی در محافظت از کلروپلاست، واکنش های فتوشیمیایی و متعادل کردن رادیکال های آزاد از طریق سیستم های آنتی اکسیدانتی نقش مثبت دارد همچنین مشخص شده است که عنصر روی از جمله عناصر کم مصرف ضروری جهت تغذیه گیاهان می باشد این عنصر نقش مهمی در سنتز پروتئین ها، کربوهیدرات ها و مقاومت غشای سلولی در رادیکال های اکسیژن آزاد دارد و مشخص شده است که عنصر روی در افزایش بهبود کیفیت دانه گندم اثر مثبت دارد (۸).

از موثرترین روش های تغذیه گیاه جهت افزایش عملکرد گیاهان در راستای تحقق اهداف کشاورزی اکولوژیک کاربر کودهای آلی می باشد (۹). محققان بیان داشته اند که کاربرد مقادیر کمی از کودهای آلی تأثیرات مهم و قابل ملاحظه ای بر بهتر شدن ویژگی های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک دارد و بر افزایش تولیدات و کیفیت محصولات کشاورزی اثرات مهمی دارد (۴). کود آلی هیومیک اسید می تواند برای تأمین مواد مغذی محصولات بر اساس اسید هیومیک، هیومات، اسید فولویک و اسید فولویک استخراج شده یا فعال شده استفاده شود. اسید هیومیک، دارای وزن مولکولی ۳۰/۰۰۰ تا ۳۰۰/۰۰۰ دالتون است و کاربرد این ترکیب آلی منجر به تشکیل کمپلکس های پایدار و نامحلول شده که سبب ایجاد کمپلکس های محلول با عناصر میکرو می شود. وزن مولکولی اسیدهای هیومیک بر کارایی آن ها در جابجایی مواد مغذی تأثیر می گذارد. بخش های با وزن مولکولی بالاتر تمایل دارند که کمپلکس های پایدارتری تشکیل دهند، در حالی که بخش های با

وزن مولکولی پایین تر در جابجایی مواد مغذی مؤثرتر هستند (۱۰).

اسید هیومیک می تواند خواص فیزیکی خاک و توانایی خاک در تنظیم آب، کود و گرمای هوا را بهبود بخشد (۱۱). کلونید موجود در اسید هیومیک و کلسیم موجود در خاک برای تشکیل ژل های لخته دار ترکیب می شوند که می تواند به اثرات شل شدن خاک، افزایش نفوذپذیری هوا، افزایش ظرفیت ذخیره سازی آب و بهینه سازی ساختار خاک دانه ها دست یابد (۱۲). ساختار و خواصی مشابه با درشت مولکول طبیعی اسید هیومیک دارد که ماده آلی خاک را تشکیل می دهد. در خاک های شور-قلیایی استفاده می شود و می تواند نمک های محلول در خاک را جذب کند، از کاتیون های مضر جلوگیری کند و غلظت نمک خاک و pH خاک شور-قلیایی را کاهش دهد. در واقع اسید هیومیک دارای قابلیت کلات کنندگی عناصر غذایی مختلف از قبیل پتاسیم، سدیم، روی، آهن، منیزیم و کلسیم می باشد. همچنین اسید هیومیک در افزایش تقسیم سلولی و افزایش رشد گیاهان موثر است. اسید هیومیک سبب تحریک رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه می گردد، همچنین منجر به بهبود جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، کلسیم، پتاسیم، فسفر و منیزیم توسط گیاهان می شود (۴). وجود برخی ترکیبات محرک رشد در گیاهان، مانند جلبک ها باعث شده است تا از عصاره این گیاهان، جهت تولید کودهایی که منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می شوند، استفاده گردد. محققان نشان داده اند کاربرد عصاره جلبک های دریایی، منجر به افزایش رشد گیاهان، تعداد برگ، تحریک رشد ریشه، تسریع زمان گلدهی، افزایش تشکیل میوه، تأخیر در پیری برگ و افزایش مقاومت به تنش های محیطی مانند خشکی، شوری و درجه حرارت و افزایش کمیت و کیفیت میوه افزایش قدرت جوانه زنی بذرها، به تأخیر انداختن پیری در میوه ها، افزایش عمر پس از برداشت

محصولات کشاورزی، افزایش مقاومت گیاهان در مقابل تنش های زیستی و غیرزیستی می شود (۱۳). کود آلی ورمی کمپوست غنی از مواد مغذی است و حاوی هوموس با کیفیت بالا، هورمون های رشد گیاهی، آنزیم ها و موادی است که قادر به محافظت از محصولات در برابر آفات و بیماری ها هستند (۱۴). علاوه بر این، ورمی کمپوست دارای تخلخل، هوادهی، زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالایی است و حاوی نیتروژن، کربن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نیز می باشند. هورمون های رشد گیاهی یعنی سیتوکینین ها و اکسین ها در ضایعات آلی پردازش شده توسط کرم های خاکی یافت می شوند. آن ها هم چنین متابولیت های خاصی مانند ویتامین B، ویتامین D و مواد مشابه را در کمپوست آزاد می کنند (۱۵). ترکیب مواد مغذی رایج در ورمی کمپوست به شرح زیر است: کربن آلی (۹/۵-۱۷/۹۸ درصد)، نیتروژن (۰/۵-۱/۵ درصد)، فسفر (۰/۳-۰/۱ درصد)، پتاسیم (۰/۱۵-۰/۵۶ درصد)، سدیم (۰/۰۶-۰/۳۰ درصد)، منیزیم و کلسیم (۲۲/۶۷ - ۴۷/۶۰ میلی اکی والان بر ۱۰۰ گرم خاک)، مس (۲-۹/۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، آهن (۲-۹/۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، روی (۵/۷۰-۱۱/۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، گوگرد (۱۲۸-۵۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. از این رو، ورمی کمپوست تبدیل بیولوژیکی ضایعات را به یک کود آلی ارزشمند ممکن می سازد (۱۵). کود آلی بیوچار ماده غنی از کربن است که از مواد اولیه آلی تحت احتراق حرارتی خاص در شرایط بدون اکسیژن تولید می شود. بسیاری از ضایعات آلی را می توان به عنوان خوراک برای تولید بیوچار استفاده کرد، مانند ضایعات کشاورزی و زباله های جامد شهری. در طی فرآیند تولید بیوچار، پسماند گیاهان صنعتی، فضولات دامی، بقایای گیاهان زراعی، جنگلی و باغی به بیوچار تبدیل می گردد، بیوچار یک ماده غنی از کربن است (۱۶).

زیر نظر جهاد کشاورزی شهرستان حمیدیه اجرا گردید.

خصوصیات هواشناسی منطقه در زمان اجرای طرح:
شهرستان حمیدیه در جنوب استان خوزستان واقع شده و از نظر تقسیم بندی اقلیمی، جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود. براساس آمار ۴۰ ساله هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۱۹۹/۵ میلی متر است. متوسط حداکثر دما ۴۶/۲ درجه سانتی - گراد و متوسط حداقل دمای ماهیانه ۶/۶ درجه سانتی گراد به ترتیب در تیرماه و دی ماه رخ می دهد. هم چنین آمار هواشناسی در محدوده زمانی انجام آزمایش به صورت میانگین ماهیانه در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش: به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از شروع آزمایش، از عمق ۰-۳۰ سانتی متری قسمت های مختلف مزرعه نمونه برداری انجام شد و پس از خشک کردن و خرد کردن ذرات درشت خاک، نمونه ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و سپس در آزمایشگاه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص شد. نتایج تجزیه آزمون خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

جذب مکانیسم اصلی بیوچار برای حذف فلزات سنگین و آلاینده های آلی است. ظرفیت جذب بیوچار ارتباط مستقیمی با خواص فیزیکوشیمیایی آن مانند مساحت سطح، توزیع اندازه منافذ، گروه های عاملی و ظرفیت تبادل کاتیونی دارد، در حالی که خواص فیزیکوشیمیایی با شرایط آماده سازی متفاوت است. به طور کلی، بیوچار تولید شده در دمای بالا دارای مساحت سطح و محتوای کربن بالاتری است که عمدتاً به دلیل افزایش حجم ریز منافذ ناشی از حذف ترکیبات آلی فرار در دمای بالا است (۱۷). با توجه به اهمیت مسئله در راستای کاهش آلودگی زیست محیطی در اثر کاربرد کودهای شیمیایی و افزایش غلظت عناصر کم مصرف در دانه گیاهان این تحقیق با هدف بررسی اثر کاربرد محلول پاشی نانوذرات روی و آهن و کاربرد کودهای آلی (بیوچار باگاس، ورمی کمپوست، اسید هیومیک و محلول پاشی با جلبک دریایی) انجام شد.

مواد و روش ها

محل اجرای آزمایش: پژوهش حاضر به منظور بررسی محلول پاشی نانوذرات روی و آهن و برخی مواد آلی بر رشد و عملکرد گندم، در سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ در منطقه گمبوعه در شهرستان حمیدیه،

جدول ۱- میانگین ماهیانه شرایط آب و هوایی در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 1. Average of monthly weather conditions during growing period in crop year 2023-2024

سالیانه	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	ماه
	June	May	April	March	February	January	December	November	Month
34.05	49.9	46.9	36.1	29.7	26	25	26.5	32.3	دمای حداکثر (°C) Max temp(°C)
11.09	25.8	19.4	10.7	7.1	6.1	2.9	5.6	11.1	دمای حداقل (°C) Min temp(°C)
22.44	39	33.5	24.3	18.3	15.5	14.2	15.3	19.4	میانگین دمای روزانه (°C) Average temp(°C)
134.5	0	2	20	17.2	13.8	45.1	20.5	15.9	بارندگی (mm) Rain(mm)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Chemical and physical characteristics of soil for experimental site

عمق خاک soil depth	بافت خاک Soil Texture	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	فسفر قابل جذب P (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	نیتروژن N(%)	مواد آلی organic material (%)
0-30 cm	Loamy-Sandy	130.8	11.3	7.45	3.2	0.098	0.43

طرح آزمایشی: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل سطوح مختلف کودهای آلی در ۵ سطح شامل ۱- شاهد (بدون استفاده از کود آلی)، ۲- کاربرد بیوجار باگاس (به میزان ۵ تن در هکتار) ۳- کاربرد کود ورمی‌کمپوست (به میزان ۵ تن در هکتار)، ۴- کاربرد اسیدهیومیک (در دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی)، ۵- محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (در دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی) بود. فاکتور دوم شامل استفاده از نانوذرات روی و آهن در

س

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی ورمی کمپوست و باگاس نیشکر

Table 3. The results of chemical analysis of vermicompost and sugarcane bagasse

ورمی کمپوست Vermicompost							
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	پتاسیم محلول در آب Potassium soluble in water (%)	فسفر قابل استفاده Usable phosphorus (%)	آهن محلول Soluble Fe (ppm)	روی محلول Soluble Zink (ppm)	بور محلول Soluble boron (ppm)	منیزیم محلول Soluble Mg (%)	ماده آلی organic material (%)
1.7	0.4	0.4	4500	122	0.4	0.9	40
بیوجار باگاس نیشکر sugarcane bagasse-derived biochar							
نیتروژن کل درصد Total nitrogen (%)	پتاسیم محلول در آب درصد Potassium soluble in water (%)	فسفر قابل استفاده Usable phosphorus (%)	آهن محلول بی بی Soluble Fe (ppm)	روی محلول بی بی ام Soluble Zink (ppm)	بور محلول بی بی ام Soluble boron (ppm)	منیزیم محلول درصد Soluble Mg (%)	ماده آلی درصد organic material (%)
3	3	1	220	200	100	1.2	75

کوددهی براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) انجام شد. بر این اساس، هنگام آماده‌سازی بستر کاشت ترکیبات فسفره به صورت سوپرفسفات تریپل به مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم به صورت سولفات

آماده سازی زمین و عملیات کاشت: به منظور آماده سازی زمین برای انجام عملیات خاک‌ورزی و اجرای مناسب این عملیات از گاواهن برگردان‌دار سه خیش و دیسک و جهت تسطیح از ماله استفاده شد. عملیات

صفات مورد اندازه گیری

اندازه گیری صفات عملکرد دانه و زیست توده: در مرحله ی رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از کوادرات یک مترمربعی، از هر واحد آزمایشی نمونه برداری صورت گرفت. پس از خشک شدن، نمونه های گیاهی توزین و عملکرد زیست توده محاسبه شد. عملکرد دانه نیز پس از کوبیدن بوته های گندم به دست آمد و با استفاده از تناسب به صورت کیلوگرم در هکتار گزارش شد. با اندازه گیری مقدار دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح، شاخص برداشت نیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$100 \times (\text{عملکرد بیولوژیک} / \text{عملکرد دانه}) = \text{شاخص}$$

برداشت (درصد)

اندازه گیری صفات رشدی و اجزای عملکرد گندم: برای تعیین اجزای اصلی عملکرد ابتدا به طور تصادفی از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته را انتخاب کرده، سپس بوته ها کفبر و صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن سنبله و تعداد سنبله در بوته اندازه گیری شد. سپس از سنبله های کفبر شده ۱۰ سنبله انتخاب و دانه هایشان را جدا و شمارش و از میانگین آنها تعداد دانه در سنبله به دست آمد. برای تعیین وزن هزار دانه از دانه های برداشت شده از هر واحد آزمایشی به طور تصادفی یک نمونه ۵۰۰ تایی از دانه ها شمارش شده و توسط ترازوی دقیقی با دقت چهار رقم وزن گردیدند و با استفاده از عمل تناسب وزن هزار دانه برای هر واحد آزمایشی به دست آمد.

محاسبات آماری: تجزیه ی آماری با استفاده از برنامه آماری SAS ver 9.4 و ترسیم نمودارها با استفاده برنامه های Word و Excel انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

پتاسیم به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در خاک مصرف شد. پس از اجرای عملیات زراعی، کرت بندی و ایجاد نهادهای آبیاری، اقدام به کشت شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم چمران ۲ بود که در تاریخ ۱۶ آبان ۱۴۰۲ به صورت دستی کشت شد. بذور پس از ضد عفونی با قارچ کش با فواصل ردیف ۱۵ سانتی متر و فواصل بوته روی ردیف کاشت ۱/۶ سانتی متر (تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع) در هر تکرار به صورت خطی در کرت هایی به ابعاد ۳ در ۲ متر کشت شد. اندازه هر کرت ۶ متر مربع بود. بذور روی خطوط کشت و در عمق یک تا دو سانتی متر کشت شدند. هر کرت دارای ۱۲ خط کاشت به فاصله ۱۵ سانتی متر بود. در بین هر تکرار نیز جهت آبیاری، جوی هایی به فاصله ۲ متر مابین تکرارها در نظر گرفته شد و آبیاری مزرعه به صورت سیفونی و کرتی انجام شد. در طی دوره آزمایش، تمام آفات، در طول دوره آزمایش، آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد و با علف های هرز مبارزه شد. عملیات برداشت محصول نیز در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ انجام شد.

اعمال تیمارهای آزمایشی: تیمارهای ورمی کمپوست و بیوجار باگاس نیشکر بر اساس ۵ تن در هکتار قبل از کشت گندم در کرت های مورد نظر توزیع و به خاک داده شد. همچنین کودهای آلی اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی در تیمارهای مورد نظر در دو مرحله ساقه دهی و گلدهی محلول پاشی شد. تیمارهای محلول پاشی عناصر روی و آهن نیز در دو مرحله ساقه دهی و گلدهی انجام شد. لازم به ذکر است که کودهای آلی اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و نانوذرات روی و آهن از شرکت بایو در نمایندگی اهواز خریداری و استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، ارتفاع بوته تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح کود آلی و کاربرد نانوذرات در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی صفت ارتفاع بوته نشان داد که کم‌ترین میانگین ارتفاع بوته در تیمار عدم کاربرد کود آلی برابر با ۸۳/۸ سانتی‌متر بود که تحت سطوح کاربرد کودهای بیوپار باگاس، ورمی کمپوست، اسید هیومیک به ترتیب با ۱۱/۸، ۱۳/۱ و ۱۲/۵ درصد افزایش به مقادیر ۹۳/۸، ۹۴/۸ و ۹۴/۳ سانتی‌متر رسید. در مقابل میانگین ارتفاع بوته در شرایط کاربرد محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (۸۸ سانتی‌متر) علی‌رغم افزایش ۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد نانوذرات نیز نشان داد که میانگین ارتفاع بوته در شرایط شاهد برابر با ۸۵/۴ سانتی‌متر بود که تحت سطوح کاربرد نانوذرات روی، نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن به ترتیب با ۸، ۷ و ۱۱ درصد افزایش به مقادیر ۹۱/۲، ۹۲/۶ و ۹۴/۴ سانتی‌متر رسید. بر این اساس مشاهده شد که سطوح کاربرد نانوذرات با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ولی نسبت به تیمار شاهد برتری داشتند (جدول ۵). افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای کود آلی می‌تواند به دلیل بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و تأمین عناصر غذایی در واحدهای آزمایشی تحت تأثیر عوامل آزمایش باشد (۱۸، ۱۹). می‌توان این گونه استنباط کرد که تیمار

شاهد به علت کمبود مواد غذایی از رشد کم‌تری برخوردار بوده، درحالی‌که میزان فراهمی مواد غذایی در کلیه تیمارهای کودی مورد استفاده برای رشد رویشی گیاه بیش‌تر بوده و در این میان، تأثیر سطوح کودهای ورمی کمپوست، کمپوست باگاس نیشکر و اسید هیومیک از عصاره جلبک دریایی بیش‌تر بود. در همین ارتباط، افزایش ارتفاع گیاه گندم را در تیمار افزایش کود آلی ورمی کمپوست و اسید هیومیک را می‌توان به واسطه فراهمی فسفر و عناصر کم مصرف نسبت داد که مواد آلی از طریق توانایی کلات‌کنندگی عناصر کم مصرف سبب بهبود رشد می‌شوند (۲۰). هم‌راستا با این نتایج، مطالعات مختلفی برای ارزیابی اثرات اسید هیومیک بر رشد گیاه و پارامترهای زراعی مانند رشد ریشه و اندام هوایی، محتوای کلروفیل برگ و عملکرد انجام شده است. نشان داده شده است که هیومیک اسید با افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین و سیتوکینین و آنزیم‌های متابولیک موجب تحریک رشد ریشه و ساقه می‌شود (۲۱). بهبود وضعیت جذب ریزمغذی‌ها و عناصر غذایی به دنبال کاربرد اسید هیومیک، غلظت کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد که بر رشد ساقه تأثیر مثبت می‌گذارد (۲۲). بهبود رشد ناشی از نانوذرات آهن در گندم گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات آهن می‌توانند به طور گسترده‌ای در کشاورزی برای مقابله با تنش‌های محیطی و بهبود عملکرد گیاهان استفاده شوند. (۲۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود آلی و کاربرد نانوذرات بر صفات آزمایشی

Table 4. Analysis of variance the effect of different levels of organic fertilizer and application of nanoparticles on experimental traits

منابع تغییرات S.O.V	df	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	وزن سنبله Spike weight	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seed per spikes	وزن هزار دانه Weight of 1000 seed	عملکرد دانه در هکتار Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	شاخص برداشت harvest index
بلوک Replication	2	940	48.9	0.22	0.375	285	207	473142	1575851	10.5
عامل اول (سطوح کود آلی) First factor (organic fertilizer)	4	281*	1.30*	0.015 ^{ns}	0.33*	80**	8.5*	4657142**	45980623**	48*
عامل دوم (نانوذرات) Second factor (nanoparticles)	3	227*	1.89**	0.04**	0.61**	57**	8.2*	1125005**	19308125**	5.1 ^{ns}
کود آلی × نانوذرات organic fertilizer and nanoparticles	12	12.9 ^{ns}	1.85**	0.01 ^{ns}	0.28**	85**	3.2 ^{ns}	16969 ^{ns}	258385 ^{ns}	2.8 ^{ns}
خطا Error	40	75	0.42	0.008	0.086	3.4	2.5	223637	399860	13.5
ضریب تغییرات	-	9.53	5.81	6.26	9.87	3.53	3.80	11.81	4.70	12.25

** و * : به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد

**and*: indicates significance at the probability level of one and five percent, respectively, and ns: no significant difference

ترکیبات تیماری که حروف مشترک دارد اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۱). این نتایج بیانگر تأثیر مثبت کاربرد کودهای آلی به ویژه اسید هیومیک بود. افزایش طول سنبله را می توان به اثر هم افزایی کاربرد اسید هیومیک در بهبود حاصلخیزی و خواص فیزیکی خاک و همچنین تأمین ریز مغذی های ضروری (آهن و روی) با قابلیت جذب بالا توسط نانوذرات نسبت داد که در مجموع به بهبود رشد فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه منجر شده است. همچنین اسید هیومیک به دلیل توانایی کلات کنندگی عناصر غذایی گیاهی مانند فسفر، آهن و سایر ریز مغذی ها را ترکیب می کند و به رفع مشکل کمبود عناصر غذایی کمک می کند (۲۴) و از این طریق سبب بهبود خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه از جمله طول سنبله می شود.

طول سنبله: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، حاکی از تأثیر پذیری صفت طول سنبله از اثرات اصلی سطوح کود آلی (در سطح پنج درصد) و کاربرد نانوذرات (در سطح یک درصد) و برهمکنش کود آلی × نانوذرات (در سطح یک درصد) بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای آزمایش نشان داد که بیشترین میانگین طول سنبله مربوط به تیمار کاربرد اسید هیومیک در شرایط محلول پاشی با نانوذرات روی + آهن (۱۴/۲ سانتی متر) بود که به طور معنی داری بالاتر از سایر سطوح تیماری بود (شکل ۱). در مقابل کمترین میانگین طول سنبله مربوط به تیمارهای عدم کاربرد کود آلی تحت تمام سطوح نانوذرات و کاربرد عصاره جلبک دریایی در شرایط عدم محلول پاشی با نانوذرات بود و با سایر

کاربرد نانوذرات روی و آهن نیز می‌تواند سبب جذب بهتر عناصر روی و آهن در گیاه شود و با توجه تأثیر مثبتی که بر بهبود غلظت کلروفیل، سطح برگ و سرعت فتوسنتز دارند (۲۵)، می‌توانند سبب بهبود خصوصیات رشدی گیاه شوند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی کود آلی و کاربرد نانوذرات بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 5. Mean Comparison of main effects of organic fertilizer and the application of nanoparticles on wheat yield and yield components

سطوح کود آلی organic fertilizer	ارتفاع پونه سانی متر Plant height (cm)	طول سنبله سانی متر Spike length (cm)	وزن سنبله گرم Spike weight (gr)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seed per spikes	وزن هزار دانه گرم Weight of 1000 seed (gr)	عملکرد دانه در هکتار کیلوگرم در هکتار Seed yield (Kg/ha)	عملکرد زیست توده کیلوگرم در هکتار Biological yield (Kg/ha)	شاخص برداشت درصد harvest index (%)
شاهد (عدم کاربرد کود آلی) control (Non-application of organic fertilizer)	83.8b	11/1b	1/44b	2.75c	51b	40/4b	3336/3c	11454/5c	29/5b
بیوجار باگاس bagasse biochar	93/8a	11b	1/46ab	3.1ab	51/3b	42/1a	4100b	13655/8b	30/2b
ورمی کمپوست vermicompost	94/8a	11/2b	1/5ab	2.98abc	51/4b	42/2a	4560/5a	13790/5b	33/3a
اسید هیومیک Humic acids	94/3a	11/8a	1/53a	3.16a	55a	42/6a	4637/5a	15332a	30/3b
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract	88ab	11b	1/47ab	2.87bc	51/3b	41/9a	3382/5c	11748/5c	28/4b
شاهد (عدم کاربرد) control (Non-application of fertilizer)	85/4b	10/9b	1/43b	3.07ab	50/9b	41/3b	3630b	11938/4c	30/4a
نانوذرات روی Nanoparticles of zink	91/2ab	11b	1/43b	2.92bc	52/2b	41/9ab	4038a	13403/4b	30/2a
نانوذرات آهن Nanoparticles of Iron	92/6a	11/2ba	1/52a	2.72c	51/2b	41/3b	4056/4a	13536/8b	30a
نانوذرات روی + آهن Nanoparticles of Zink+ Iron	94/4a	11/7a	1/53a	3.19a	55/2a	42/9a	4289a	14706/4a	29/1a

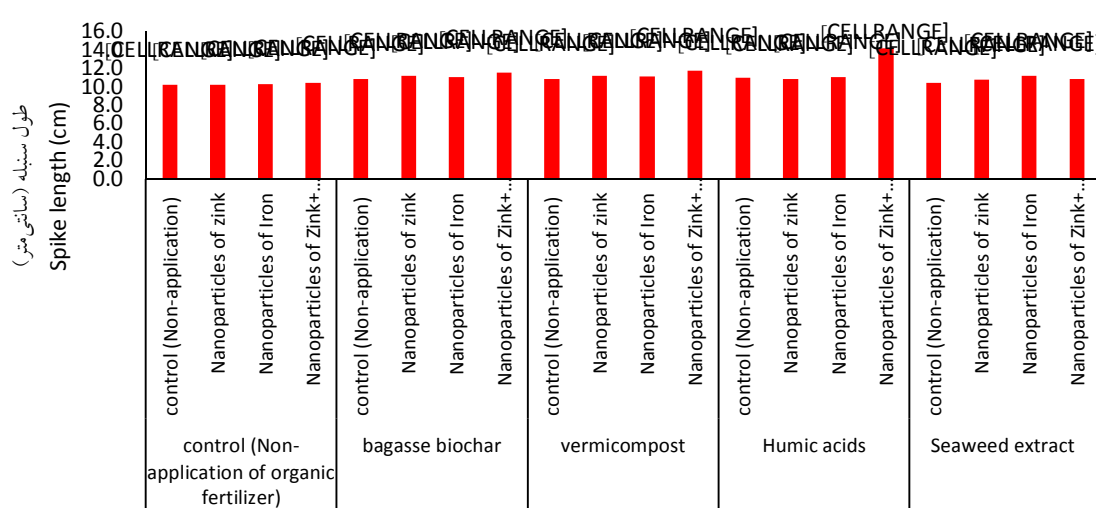
میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Within columns, the means with the same letter are not significantly different based on LSD test at the five percent probability level.

روی + آهن بیش‌تر از سایر سطوح بر طول سنبله اثر مثبت داشت. که این موضوع را به نقش مثبت آهن در کاتالیز فرآیندهای بیوشیمیایی، سنتز کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز و همچنین نقش روی در

همچنین گزارش شده که کاربرد کودهای آلی و معدنی سبب افزایش تعداد پنجه و طول خوشه در برنج شد (۲۶). هم‌چنین در بین سطوح محلول‌پاشی نانوذرات مشاهده شد که کاربرد ترکیبی نانوذرات

افزایش تولید و تنظیم کننده های رشد از جمله ایندول
افزایش آسیمیلات ها و در نتیجه بهبود خصوصیات
استیک اسید، کربوهیدرات ها و متابولیسم نیتروژن،
رشدی نسبی داد (۲۶).



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کود آلی و کاربرد نانوذرات بر صفت طول سنبله گندم

Figure 1. Mean comparison of interaction effects of organic fertilizer and the application of nanoparticles on Spike length

ستون های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Within columns, the means with the same letter are not significantly different based on LSD test at the five percent probability level.

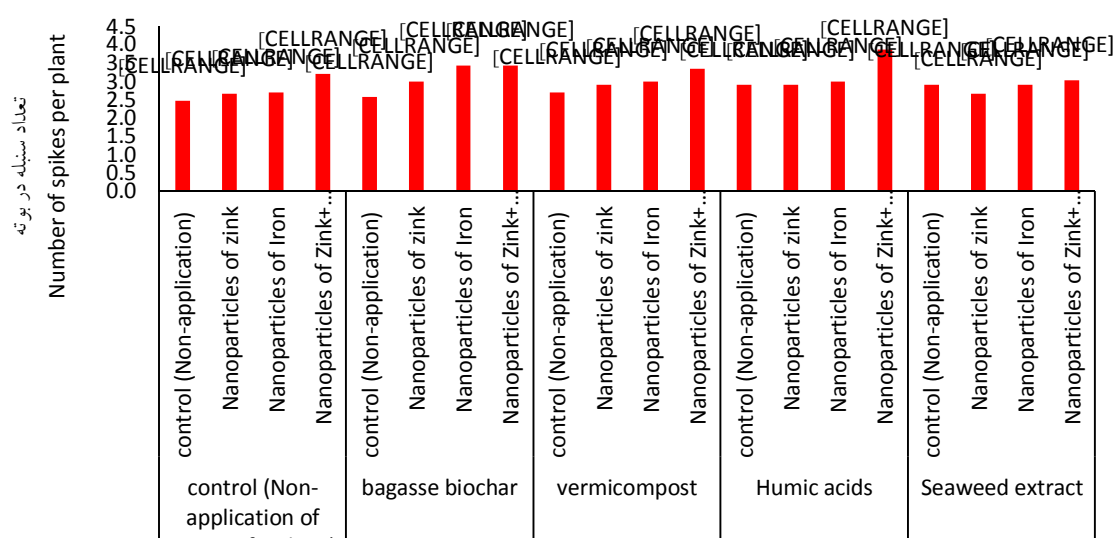
و تولید مواد فتوسنتزی را افزایش دهد که به دنبال آن تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و وزن تک سنبله افزایش می یابد. محلول پاشی نانوذرات آهن به طور چشمگیری وزن تر و خشک اندام های هوایی و ریشه گندم را افزایش داد. این بهبود به دلیل جذب بیشتر آهن و تأثیر مثبت آن بر شاخص های رشدی از جمله وزن سنبله بود (۲۹).

تعداد سنبله در بوته: براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی سطوح کود آلی (در سطح پنج درصد) و کاربرد نانوذرات (در سطح یک درصد) برهمکنش کود آلی × نانوذرات (در سطح یک درصد) تأثیر معنی داری بر تعداد سنبله در بوته داشتند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کود آلی × نانوذرات نشان داد که بیشترین میانگین تعداد سنبله در بوته مربوط به تیمار کاربرد اسید هیومیک در

وزن سنبله: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که صفت وزن سنبله تنها تحت تأثیر اثر اصلی کاربرد نانوذرات در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی وزن سنبله تحت سطوح کاربرد نانوذرات نشان داد که میانگین این صفت در شرایط شاهد و کاربرد نانوذرات روی برابر با ۱/۴۳ گرم بود که با یکدیگر اختلاف آماری معنی داری نداشتند. در مقابل تحت سطوح کاربرد نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن به ترتیب برابر با ۱/۵۲ و ۱/۵۳ گرم بود که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶/۳ و ۷ درصد افزایش را نشان دادند (جدول ۵). در تفسیر این نتایج می توان گفت که عناصر ریزمغذی مانند روی و آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ (۲۸) می تواند تأثیر مطلوبی بر سرعت فتوسنتز گذاشته

۲). در این راستا نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که اسید هیومیک به واسطه بهبود وضعیت جذب ریزمغذی‌ها و عناصر غذایی (۲۲)، سبب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش پنجه‌زنی و تعداد سنبله در واحد سطح می‌شود. همچنین تأثیر مثبت کاربرد نانوذرات روی و آهن در این پژوهش، مطابق با یافته‌های سایر محققان بود که نانوذرات اکسید روی با تعداد خوشه بیشتر سبب افزایش درصد باروری پنجه‌های برنج می‌شود (۲۷).

شرایط محلول‌پاشی با نانوذرات روی + آهن (۳/۹) سنبله) بود که البته از این نظر با سطوح تیماری کاربرد بیوجار باگاس و نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن (به ترتیب ۳/۴ و ۳/۴ سنبله در بوته) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۲). کمترین میانگین تعداد سنبله در بوته نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود آلی و عدم محلول‌پاشی نانوذرات (۲/۵ سنبله در بوته) بود که با سایر ترکیبات تیماری که حروف مشترک دارد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کاربرد کود آلی و نانوذرات بر صفت تعداد سنبله در بوته گندم

Figure 2. Mean comparison of interaction effects of organic fertilizer and the application of nanoparticles on Number of spikes per plant of wheat

ستون‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

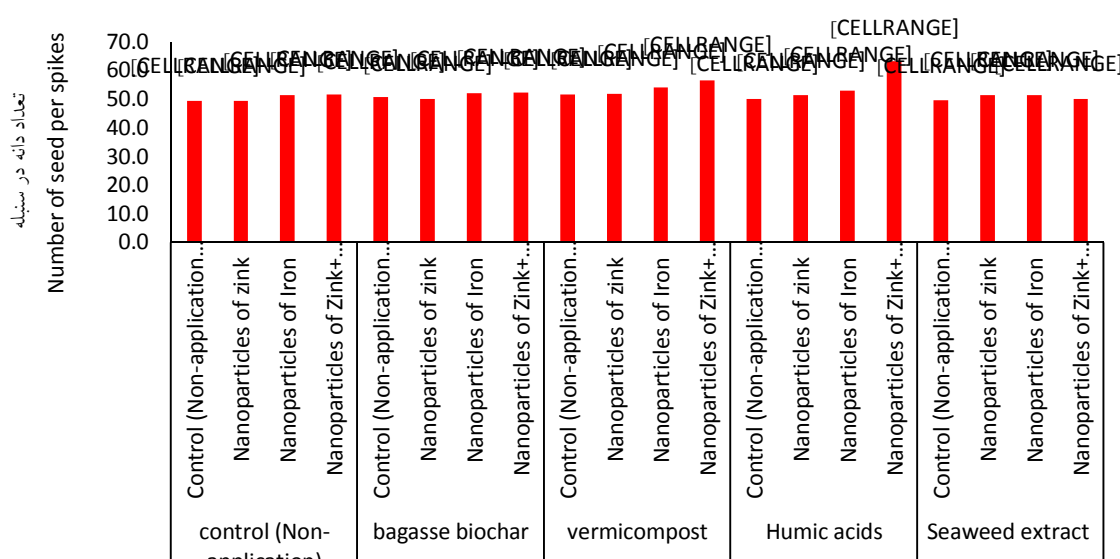
Within columns, the means with the same letter are not significantly different based on LSD test at the five percent probability level.

سنبله) بود که از این نظر نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری داشت. در مقابل کمترین میانگین تعداد دانه در سنبله مربوط به سطوح تیماری عدم کاربرد کود آلی و نانوذرات (۴/۹ دانه در سنبله)، عدم کاربرد کود آلی و نانوذرات روی (۴/۹ دانه در سنبله) و کاربرد عصاره جلبک دریایی بدون نانوذرات (۵/۹ دانه در سنبله) بود (شکل ۳).

تعداد دانه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی گویای تأثیرپذیری صفت تعداد دانه در سنبله از اثرات اصلی کود آلی و کاربرد نانوذرات و برهمکنش کود آلی × نانوذرات در سطح یک درصد بود (جدول ۴). بررسی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار کاربرد اسید هیومیک و نانوذرات روی + آهن (۱/۶۳ دانه در

این آزمایش موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گندم شده است که ممکن است به دلیل افزایش تعداد دانه در هر سنبلچه و یا افزایش تعداد سنبلچه در سنبله باشد. پژوهشگران گزارش نمودند که افزایش تعداد دانه در سنبله گندم، در شرایط فراهمی عناصر غذایی ریزمغذی نشان دهنده اثر مثبت و معنی دار استفاده از این مواد برای آمادگی اعضای زایشی برای تولید تعداد دانه بیش تر است (۳۲). که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. هم راستا با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر مثبت نانوذرات روی و آهن بر تعداد دانه در سنبله، پاینده و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که بیشترین تعداد دانه در خورجین با محلول پاشی عناصر ریزمغذی (روی و آهن) و کمترین تعداد آن با عدم محلول پاشی به دست آمد (۳۳).

افزایش تعداد دانه در سنبله با افزایش کاربرد اسید هیومیک و ورمی کمپوست را می توان به افزایش آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه مثل نیتروژن نسبت داد که موجب افزایش تشکیل و پر شدن دانه و در نتیجه تعداد دانه در سنبله می شود (۳۰). گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تأمین عناصر غذایی از جمله فسفر، تعداد دانه در سنبله را افزایش داده است زیرا عنصر فسفر نقش مهمی در دانه بندی گیاهان دارد. اما این عنصر در خاک به ویژه در اسیدیته بالا، بسیار کم تحرک است. بنابراین اسید هیومیک با کاهش میزان اسیدیته خاک در منطقه ریزوسفرو و افزایش رشد ریشه، دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می دهد (۳۱). مصرف نانوذرات عناصر ریزمغذی در



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کاربرد کود آلی و نانوذرات بر صفت تعداد دانه در سنبله گندم

Figure 3. Mean comparison of interaction effects of organic fertilizer and the application of nanoparticles on Number of seed per spikes of wheat

ستون های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Within columns, the means with the same letter are not significantly different based on LSD test at the five percent probability level.

درصد قرار گرفت (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح کود آلی، کاربرد کودهای بیوچار باگاس، ورمی کمپوست، اسید هیومیک و

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که صفت وزن هزار دانه تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح کود آلی و نانوذرات در سطح پنج

محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی با یکدیگر اختلاف آماری معنی داری نداشتند (به ترتیب ۴۲/۱، ۴۲/۲، ۴۲/۶ و ۴۱/۹ گرم) و میانگین بالاتری نسبت به تیمار شاهد (۴۰/۴ گرم) داشتند (جدول ۵). در بین سطوح کاربرد نانوذرات نیز مشخص شد که بیشترین میانگین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد نانوذرات آهن + روی (۴۲/۹ گرم) بود که البته از این نظر با تیمار کاربرد نانوذرات روی (۴۱/۹ گرم) اختلاف آماری معنی داری نداشت (جدول ۵). در مقابل کمترین میانگین وزن هزار دانه (۴۱/۳ گرم) مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوذرات) بود و از این نظر اختلاف آماری معنی داری با سایر سطوح تیماری داشت (جدول ۵). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تمامی ترکیبات کود آلی مورد استفاده توانستند وزن هزار دانه گندم را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش دهند و از این نظر کودهای آلی مورد استفاده، تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر نداشتند. مطالعات نشان داده است که وزن هزار دانه علاوه بر تأثیرپذیری از میزان فتوسنتز، از دو عامل مدت و سرعت پر شدن دانه نیز متأثر می شود (۳۴) و هر عاملی که در این دوره سبب تأثیرپذیری بر این پارامترها شود، وزن هزار دانه را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. مطالعات صورت گرفته بیانگر افزایش وزن هزار دانه با کاربرد کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست است. گزارش شده است که افزایش میزان فتوسنتز و نیز افزایش طول دوره پر شدن دانه، فراهم بودن تمام عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد به واسطه ویژگی های خاص ورمی کمپوست، از جمله دلایل این افزایش است (۳۵).

همچنین در بین ترکیبات نانوذرات مورد استفاده مشاهده شد که نانوذرات روی و همچنین کاربرد ترکیبی نانوذرات روی + آهن توانستند وزن هزار دانه

را به طور معنی داری افزایش دهند. در این راستا گزارش شده است که عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در افزایش تولید و تنظیم کننده های رشد از جمله ایندول استیک اسید، کربوهیدرات ها و متابولسم نیتروژن دارد، می تواند سبب افزایش تجمع آسیمیلات ها در دانه و افزایش وزن هزار دانه شود (۳۶). عنصر آهن نیز به عنوان یک کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم ها است و نقش مثبتی در کاتالیز فرایندهای بیوشیمیایی دارد. علاوه بر این، آهن نقش مهمی در تشکیل کلروفیل، سنتز تیلاکوئید، عملکرد آنزیم های تنفسی و انتقال انرژی را در گیاهان بر عهده دارد و از این طریق می تواند بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه تأثیر گذارد (۳۷).

عملکرد دانه: بررسی نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی حاکی از تأثیرپذیری صفت عملکرد دانه از اثرات اصلی فاکتورهای کود آلی و نانوذرات در سطح یک درصد بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح کود آلی، میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد برابر با ۳۳۳۶/۳ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی (۳۳۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی داری نداشتند ولی نسبت به سایر سطوح تیماری به طور معنی داری از میانگین پایین تری برخوردار بودند. در مقابل تیمارهای کاربرد کود ورمی کمپوست و اسید هیومیک (به ترتیب ۴۵۶۰/۵ و ۴۶۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. بر این اساس نتایج نشان داد که، تیمارهای کاربرد بیوجار باگاس، ورمی کمپوست و اسید هیومیک نسبت به تیمار عدم کاربرد کود آلی، به ترتیب ۲۲۱/۹، ۳۶/۷ و ۳۹ درصد عملکرد دانه را افزایش دادند (جدول ۵). مقایسه میانگین سطوح کاربرد نانوذرات نیز نشان داد که میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد برابر با ۳۶۳۰ کیلوگرم در هکتار بود که به طور معنی داری پایین تر از

می تواند بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه تأثیر گذارد (۳۷).

عملکرد زیست توده: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی بیانگر تأثیرپذیری عملکرد زیست توده از اثرات اصلی کود آلی و نانوذرات در سطح یک درصد بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد که تحت سطوح کاربرد کودهای آلی، میانگین عملکرد زیست توده نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش یافت. بر این اساس مشاهده شد که میانگین عملکرد زیست توده در شرایط شاهد برابر با ۱۱۴۵۴/۵ کیلوگرم در هکتار بود که تیمار محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی (۱۱۷۴۸/۵ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی داری نداشت. بیشترین میانگین عملکرد زیست توده نیز مربوط به تیمار کاربرد اسید هیومیک بود که میانگین عملکرد زیست توده (۱۵۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) را ۳۳/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و از این نظر با سایر سطوح تیماری اختلاف آماری معنی داری نداشت (جدول ۵). سطوح کاربرد بیوچار باگاس و ورمی کمپوست نیز به ترتیب ۱۹/۲ و ۲۰/۴ درصد عملکرد زیست توده را افزایش دادند. در تیمار کاربرد نانوذرات نیز مشاهده شد که کمترین میانگین عملکرد زیست توده مربوط به تیمار عدم کاربرد نانوذرات (۱۱۹۳۸ کیلوگرم در هکتار) بود. تیمارهای کاربرد نانوذرات روی (۱۳۴۰۳/۴ کیلوگرم در هکتار)، نانوذرات آهن (۱۳۵۳۷/۸ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد نانوذرات روی + آهن (۱۴۷۰۶/۴ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب عملکرد زیست توده را ۱۱، ۱۳/۴ و ۲۳/۲ درصد افزایش دادند. بر این اساس مشخص شد که کاربرد نانوذرات روی + آهن به طور معنی داری بالاترین عملکرد زیست توده را داشت (جدول ۵). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد تیمارهای بیوچار، ورمی کمپوست و اسید

سایر سطوح تیماری بود (جدول ۵). در مقابل عملکرد دانه تحت سطوح کاربرد نانوذرات روی، نانوذرات آهن و نانوذرات روی + آهن به ترتیب با ۱۰/۱، ۱۱/۷ و ۱۸/۱ درصد افزایش به مقادیر ۴۰۳۸، ۴۰۵۶/۴ و ۴۲۸۹ کیلوگرم در هکتار رسید و از این نظر بین تیمارهای کاربرد نانوذرات روی و آهن اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت (جدول ۴). نتایج این پژوهش حکایت از آن داشت که هم راستا با افزایش سطوح کودهای آلی، عملکرد دانه نیز افزایش یافت. کودهای آلی نه تنها خود منبعی غنی از عناصر پرمصرف و کم مصرف می باشند، بلکه با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مانند کاهش فشردگی و افزایش تخلخل خاک، تشکیل و پایداری خاکدانه ها، افزایش سرعت نفوذ و ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم های مفید خاک و همچنین بهبود جذب سایر عناصر غذایی توسط گیاه موجب افزایش رشد و عملکرد محصول می گردند. افزایش عملکرد دانه با کاربرد ورمی کمپوست و اسید هیومیک به دلیل وجود مقادیر زیاد عناصر غذایی و معدنی شدن تدریجی آن ها از شکل آلی است که سبب در دسترس بودن عناصر غذایی در هنگام نیاز گیاه می شود. محلول پاشی روی سبب افزایش شاخص سطح برگ، جذب نور، غلظت کلروفیل و توان فتوسنتزی و نهایتاً افزایش عملکرد دانه شد (۳۸). در واقع تحقیقات نشان داده است که عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در افزایش تولید و تنظیم کننده های رشد از جمله ایندول استیک اسید، کربوهیدرات ها و متابولیسم نیتروژن دارد، می تواند سبب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و نهایتاً افزایش قدرت منبع و مخزن فیزیولوژیک شود (۳۶). همچنین عنصر آهن نیز نقش مهمی در تشکیل کلروفیل، سنتز تیلاکوئید، عملکرد آنزیم های تنفسی و انتقال انرژی را در گیاهان بر عهده دارد و از این طریق

هیومیک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد شدند. در این میان بیشترین عملکرد زیست‌توده در شرایط کاربرد اسید هیومیک به دست آمد. عملکرد زیست‌توده گندم حاصل رشد اندام‌های هوایی گیاه است در این تحقیق به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد زیست‌توده در تیمار مصرف اسید هیومیک سبب افزایش شاخص سطح برگ و رشد رویشی گیاه شده است. همچنین اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر موجب توسعه ریشه گیاه و تاثیر مثبت بر توسعه شاخه و برگ و عملکرد گیاه می‌شود. از طرفی اسید هیومیک از طریق تاثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله افزایش متابولیسم در درون سلول‌ها و همچنین افزودن مقدار کلروفیل در برگ‌ها سبب ماندگاری بیشتر برگ‌ها می‌شود و در نتیجه عملکرد تولیدی و بیوماس تولیدی در گیاهان زراعی افزایش می‌یابد (۳۹). با توجه به اینکه اسید هیومیک حاوی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد، می‌توان گفت که اسید هیومیک با کلات کردن عناصر ضروری، باعث افزایش جذب عناصر غذایی شده و باروری و تولید را در گیاه افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند در افزایش سرعت رشد محصول موثر باشد و در نتیجه موجب افزایش عملکرد زیست‌توده گیاه شود (۳۱). محلول‌پاشی هیومیک اسید سبب افزایش میزان کربوهیدرات در ساقه و برگ گیاهان می‌شود. این کربوهیدرات از طریق ساقه به ریشه انتقال داده می‌شود و بعد از ریشه به خاک منتقل می‌شود که این عمل علاوه بر فراهمی مواد غذایی برای میکروارگانیسم‌ها، اسید و سایر ترکیبات آلی را به محیط ریشه رها می‌کند که سبب افزایش فراهمی مواد غذایی به گیاه می‌شود که این عمل سبب افزایش عملکرد زیست‌توده خواهد شد (۴۰). همچنین نتایج این پژوهش با یافته‌های محققان که اسید هیومیک از طریق توسعه مکانیسم‌هایی همچون توسعه رشد و

بیوماس ریشه موجب افزایش جذب برخی از عناصر و توسعه سطوح فتوسنتزکننده شده و گیاه مواد پرورده تولید شده را جهت توسعه اندام‌های خود اختصاص داده و در نهایت زیست‌توده گیاه افزایش پیدا کرده است (۳۰).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیبات کودهای آلی به‌طور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند که البته میزان این تغییر تحت تیمار کاربرد عصاره جلبک دریایی معنی‌دار نبود. در مقابل تحت شرایط کاربرد اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست، صفات عملکردی گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین کاربرد نانوذرات ترکیبی آهن + روی توانست نسبت به تیمار شاهد و کاربرد نانوذرات به تنهایی عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم را بیشتر افزایش دهند. به نظر می‌رسد مصرف کودهای آلی ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک در تلفیق با نانوذرات آهن + روی از طریق تأثیر بر توانایی جذب و حفظ رطوبت و عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بر خصوصیات رشدی گندم تأثیر گذاشته و در نهایت موجب بهبود عملکرد دانه شده است. در مجموع می‌توان بیان کرد در شرایط آب و هوایی مشابه شهرستان حمیدیه، کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست یا کاربرد اسید هیومیک و کاربرد تلفیقی نانوذرات روی + آهن، بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه گندم داشتند. همان‌طور که در نتایج پژوهش اشاره شد، کاربرد ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک هر دو تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم داشتند و تفاوت آماری معنی‌داری بین تأثیر این دو مشاهده نشد. با این حال، با توجه به ملاحظات اقتصادی و هزینه بالاتر ورمی‌کمپوست (۵

تن در هکتار) در مقایسه با اسید هیومیک، پیشنهاد با شهرستان حمیدیه، اسید هیومیک به عنوان یک کود می شود که برای افزایش عملکرد دانه در شرایط مشابه آلی برتر توصیه شود.

References

1. Kaium Chowdhury, M., Hasan, M., Bahadur, M., Rafiqul Islam, M., Abdul Hakim, M., & Aamir Iqbal, M. (2021). Evaluation of Drought Tolerance of Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes through Phenology, Growth, and Physiological Indices. *Agronomy*, 1170 (1), 44-51. 10.3390/agronomy11091792.
2. Li, M., Wang, S., Tian, X., Zhao, J., Li, H., Guo, C., Chen, Y., & Zhao, A. (2015). Zn distribution and bioavailability in whole grain and grain fractions of winter wheat as affected by applications of soil N and foliar Zn combined with N or P. *Journal of Cereal Science*, 61, 26-32.
3. Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139.
4. Waqas, M., Ahmad, B., Arif, M., Munsif, F., Khan, A.L., Amin, M., Kang, S., Kim, Y., & Lee, I. (2014). Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2269-2276.
5. Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature nanotechnology*, 14(6), 532-540. Doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5.
6. Verma, K., Song, X., Joshi, A., Tian, D., Rajput, V., Singh, M., Arora, J., Minkina, T., & Li, Y. (2022). Recent Trends in Nano-Fertilizers for Sustainable Agriculture under Climate Change for Global Food Security. *Nanomaterials*, 12(1), 173.
7. Kumar, S., Kumar, S., & Mohapatra, T. (2021). Interaction between macro and micro-nutrients in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12 (1), 1-9. Doi: 10.3389/fpls. 2021.665583.
8. Suman, M., Sangma, P. D., & Singh, D. (2017). Role of micronutrients (Fe, Zn, B, Cu, Mg, Mn and Mo) in fruit crops. *International Journal Current Microbiology Application Science*, 6(6), 3240-3250.
9. Assefa, S., & Tadesse, S. (2019). The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity-a review. *Agricultural Research & Technology Open Access Journal*, 22(2), 556192.
10. Sun, Q., Liu, J., Huo, L., Li, Y. C., Li, X., Xia, L., ... & Li, B. (2020). Humic acids derived from Leonardite to improve enzymatic activities and bioavailability of nutrients in a calcareous soil. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(3), 200-205.
11. Fu, B. D. (2016). Research progress on application of humic acid in soil improvement. *Protection Forest Science and Technology*, 3, 83-84.
12. Guanglei, S., Zhansheng, Z., & Feineng, J. (2016). Effects of humic acid-containing solid waste fertilizer on spinach yield and benefits. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 57(11), 1876-1878.
13. Hernández-Herrera, R., Santacruz-Ruvalcaba, M., Ruiz-López, J., & Norrie Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26, 619-628.
14. Sinha RK, Herat S., & Bharambe G. (2010). Brahambhatt a Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: Converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. *Waste Management & Research*, 28(1), 872-881. DOI: 10.1177/0734242X09342147.
15. Mupambwa, H. A., & Mnkeni, P. N. S. (2018). Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 10577-10595.
16. Verheijen, G., Zhuravel, A., Silva, F., Amaro, A., Ben-Hur, M., & Keizer, J. (2019). The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water

- holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*, 347, 194-202.
17. Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002-1022.
 18. Hariadi, H., Rezaldi, F., Hidayanto, F., Sumiardi, A., Fathurrohman, M. F., Kolo, Y., & Mubarak, S. (2023). Effect of biotechnological fermentation waste kombucha flower telang (*Clitoria ternatea* L) as liquid fertilizer on the growth of sawey (*Brassica chinensis* var. parachinensis). *Jurnal Biologi Tropis*, 23(3), 173-180.
 19. Djaya, M. S., & Ni'mah, G. K. (2024). pengaruh pemberian berbagai jenis pupuk organik terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman buah naga (*hylocerios costaricensis*). *ziraah majalah ilmiah pertanian*, 49(3), 658-664.
 20. Ghasemzadeh Ganjeie, M., Khavari, S., & Fazli Kakhaki, S. F. (2023). Effects of organic fertilizers (compost, cow dung and poultry manure) and urea on the yield and some agronomic characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Land management (Soil and Water sci)*, 11(1), 1-9. [In Persian]
 21. Olaetxea, M., Mora, V., Baigorri, R., Zamarreño, A. M., & García-Mina, J. M. (2020). The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. *Molecules*, 26(1), 3-17.
 22. Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11(7), 1297.
 23. Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., ... & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269-277.
 24. Khan, R. U., Khan, M. Z., Khan, A., Saba, S., Hussain, F., & Jan, I. U. (2018). Effect of humic acid on growth and crop nutrient status of wheat on two different soils. *Journal of plant nutrition*, 41(4), 453-460.
 25. Rehman, A., & Farooq, M. (2016). Zinc seed coating improves the growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-10. DOI:10.1007/s11738-11016-12250-11733.
 26. Kakar, K., Xuan, T. D., Noori, Z., Aryan, S., & Gulab, G. (2020). Effects of organic and inorganic fertilizer application on growth, yield, and grain quality of rice. *Agriculture*, 10(11), 544.
 27. Zhang, H., Wang, R., Chen, Z., Cui, P., Lu, H., Yang, Y., & Zhang, H. (2021). The effect of zinc oxide nanoparticles for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield and quality. *Agriculture*, 11(12), 1247.
 28. Abbasi, N., Cheraghi, J., & 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, *Scientific Journal of Crop Physiology*, I.A.U. Ahvaz, 11(43), 85-158. [In Persian]
 29. Rostamizadeh, E., Iranbakhsh, A., Majd, A., Arbabian, S., & Mehregan, I. (2021). Physiological and molecular responses of wheat following the foliar application of Iron Oxide nanoparticles. *International Journal of Nano Dimension*, 12(2), 30. Pourmorad, M., Malakouti, M.M., & Tehrani, M. 2018. Study on the Effect of Humic Acid and Fulvic Acid on the Wheat Yield and Water Use Efficiency under Drought Stress, *Journal of Water and Soil*, 32(5), 977-985. [In Persian]
 31. Taleshi, K., Osooli, N., & Khavari, H. (2022). Effect of Humic Acid and Complete Micronutrient Fertilizer on Growth and Economic Yield of Different Bread Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(5), 1351-1364. [In Persian]
 32. Teimoori, N., Heidari, G.R., Hoseinpanahi, F., Siosehmarde, A., & Sohrabi, Y. (2019). Response of Physiological Characteristics of Sardary Wheat Ecotypes to Foliar Application

- of Humic Acid Before and After Flowering in Dryland Conditions. *Plant. Production Technology*, 11(1), 173-190. [In Persian]
33. Payandeh, K.H., Mojadam, M., & Derogar, N. (2018). Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(38), 23-37. [In Persian]
34. Toulabi, F., Eisvand, H.Z., & Goodarzi, D. 2021. Effects of vermicompost and zinc element foliar application on yield and baking quality of wheat under terminal moisture limitation stress conditions. *Cereal Research*, 11(3), 205-223. [In Persian]
35. Hariadi, H., Rezaldi, F., Hidayanto, F., Sumiardi, A., Fathurrohman, M. F., Kolo, Y., & Mubarak, S. (2023). Effect of biotechnological fermentation waste kombucha flower telang (*Clitoria ternatea* L) as liquid fertilizer on the growth of sawey (*Brassica chinensis* var. parachinensis). *Jurnal Biologi Tropis*, 23(3), 173-180.
36. Damary, R., Markova, T., & Pryadilina, N. (2017). Key challenges of on-line education in multi-cultural context. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 237, 83-89.
37. Puig, S., Ramos-Alonso, L., Romero, A. M., & Martínez-Pastor, M. T. (2017). The elemental role of iron in DNA synthesis and repair. *Metallomics*, 9(11), 1483-1500.
38. Karami, H., Maleki, A., & Fathi, A. (2018). Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(3), 15-29.
39. Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., Danish, S., Zafar-ul-Hye, M., Brtnicky, M., & Datta, R. (2020). Application of Single Superphosphate with Humic Acid Improves the Growth, Yield and Phosphorus Uptake of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Calcareous Soil. *Agronomy*, 10(9), 12-24. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091224>.
40. Sassi-Aydi, S., Aydi, S., & Abdelly, C. (2014). Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: Lessons from a drought-sensitive cultivar. *Hort Science*, 49(5), 550-555.

