J. Crop Product. Process. 2025, 15(1), 89-105; DOI: 10.47176/jcpp.15.1.258513

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

The Effects of Iron Nanooxide and Humic Acid on Grain Yield and Quality and Some Physiological Attributes of Rainfed Bread Wheat (Baran cultivar)

Davood Ebadiyan[1] and Raouf SeyedSharifi[2]*

1 and 2. MSc student and Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Extended Abstract

Introduction: Water limitation under is one of the most important factors limiting crop production in arid and semi-arid regions, particularly in rainfed production systems. Several criteria have been proposed to increase the resistance of crops against water deficit. Application of iron nanooxide and humic acid can improve the performance of crop plants (including bread wheat) under water deficit conditions. Iron (Fe) is an essential micronutrient that plays a key role in the regulation of plant growth and development. The availability of Fe for plants is greatly influenced by the soil's pH level, leading to a frequent occurrence of Fe deficiency in plants grown in various types of soil. Fe uptake in plants is also severely affected under water deficit condition. Thus, the application of nano-Fe in various forms (Fe, FeO, Fe_2O_3, or Fe_3O_4) under water limitation conditions may provide an efficient way of mitigating symptoms of Fe deficiency and enhancing plant growth and agronomic performance. Also, the alleviation of the devastating effects of water limitation in arid and semi arid region on plants using humic acid is an appropriate solution for sustainable, less costly, and organic agriculture and plays a crucial role in reducing the impact of abiotic stresses such as salt and drought. Thus, this research aimed to evaluate the effect of Fe nanooxide and humic acid on relative water content, electrical conductivity and dry matter remobilization of the stem and shoots in relation to grain yield of rainfed wheat.

Materials and Methods: In order to study of the effects of nano iron oxide and humic acid on grain yield and quality and some physiological traits of rainfed wheat (Baran cultivar), an factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications under field conditions of Khatonabad, Sarab, East Azarbayjan, northwest of Iran during 2018-2019. The area is located at 37˚ 57′ N latitude and 47˚ 34′ E longitude with an elevation of 1680 m above mean sea level. The area is characterized by a semi-arid temperate climate with cold winters and moderate summers. Experimental factors included Fe nanooxide foliar application at four levels (foliar application of water as control, 0.4, 0.8 and 1.2 g L^{-1} of Fe nanooxide) and application of humic acid in four levels (foliar application of water as control, 100, 200 and 400 mg L^{-1} of humic acid) in tillering and booting stages (coincident to 24 and 40 Zadoks codes, respectively). The bread wheat cultivar 'Baran' was employed in the experiment with a target planting density of 380 seeds m^{-2}. The Fe nanooxide was purchased from the Pishgaman Nanomaterials Company, Iran. The applied Fe nanooxide had an average particle size < 30 nm g^{-1} and a specific surface area>30 m^2. To have a high-quality solution, deionized water was combined with Fe nanooxide and placed on a shaker with

Received: Jun. 26, 2024; Revised: Jan. 16, 2025; Accepted: Jan. 22, 2024; Published Online: Mar. 15, 2025.
* Corresponding Author: raouf_ssharifi@yahoo.com

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

ultrasonic equipment (40 kHz and 100 W). At the stages of spike emergence and grain filling (coincident with 59 and 69 Zadoks codes, respectively), the flag leaves of the plants were separated to measure relative water content and electrical conductivity.
The dry matter and remobilization of stem reserves to grain yield were determined as:
Dry matter remobilization to grain (g/plant) = maximum shoot dry matter after anthesis (g/plant)–shoot dry matter (without grains) in maturity (g/plant)
Dry matter contribution of assimilates to grain (%) = [remobilization/grain yield] × 100
Stem reserve remobilization to grain yield (g/plant) = maximum stem dry matter after anthesis (g/plant) – stem dry matter in maturity (g/plant)
Stem reserve contribution to grain yield (%)=[stem dry matter remobilization/grain yield] ×100
The SAS software was utilized to conduct the analysis of variances and mean comparisons. The interactions and main effects were tested by applying the least significant difference (LSD) test at the probability level of $P < 0.05$.

Results and Discussion: Application of Fe nanooxide and humic acid at the highest level, increased plant height (23%), 1000-grain weight (20.9%), and relative water content at ear emergence and grain filling (42.5 and 37%, respectively) in comparison with no application of Fe nanooxide and humic acid. The highest level of Fe nanooxide increased ear length (7.4%), grain protein and iron content and grain yield (by approximately 27, 10.7 and 27%, respectively) in comparison with no application of Fe nanooxide. More or less, similar results were obtained for humic acid application. Though, application of Fe nanooxide decreased dry matter remobilization from shoot and stem (74 and 30%, respectively) and contribution of remobilization to grain yield (22.4%), compared to no application of Fe nanooxide.

Conclusions: Based on the aforegone findings, foliar application of 1.2 g L^{-1} of Fe nanooxide and 400 mg L^{-1} humic acid could increase grain yield and quality of the examined bread wheat cultivar under rainfed conditions, due mainly to improving some physiological functions and thus grain yield attributes.

Keywords: Dry matter remobilization, Electrical conductivity, Foliar application, Relative water content

How to Cite: Ebadiyan D., SeyedSharifi R. The effects of iron nanooxide and humic acid on grain yield and quality and some physiological attributes of rainfed bread wheat (Baran cultivar). *J. Crop Product. Process*. 2025, 15(1), 89-105 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.1.258513

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۱، ص. ۱۰۵-۸۹، DOI: 10.47176/jcpp.15.1.258513

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر نانواکسیدآهن و هیومیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی دانه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم دیم رقم باران

داود عبادیان[1] و رئوف سیدشریفی[2]*

چکیده– به‌منظور بررسی تاثیر نانواکسید آهن و هیومیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی دانه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم دیم رقم باران، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه روستای خاتون آباد شهرستان سراب، در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی محلول‌پاشی با نانواکسید آهن در چهارسطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/٤، ۰/۸ و ۱/۲ گرم در لیتر) و کاربرد هیومیک اسید در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در مراحل پنجه‌دهی و آبستنی به‌ترتیب بر اساس کد ۲٤ و٤۰ زادوکس را شامل می‌شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توام نانواکسید آهن و هیومیک اسید در بالاترین سطح، ارتفاع بوته (۲۳ درصد)، وزن هزار دانه (۲۰/۹ درصد)، محتوای نسبی آب در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه (به‌ترتیب ٤۲/۵ و۳۷ درصد) را در مقایسه با عدم کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن افزایش داد. همچنین بالاترین سطح نانواکسید آهن طول سنبله (۷/٤ درصد)، محتوای آهن، پروتئین و عملکرد دانه را (به‌ترتیب ۲۷، ۱۰/۷ و ۲۷ درصد) در مقایسه با سطح شاهد افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در کاربرد هیومیک اسید به‌دست آمد. ولی کاربرد نانواکسید آهن انتقال ماده خشک از بخش هوایی و ساقه (به‌ترتیب ۷٤ و۳۰ درصد) و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه را (۲۲/٤ درصد) در مقایسه با سطح شاهد کاهش داد. براساس نتایج محلول‌پاشی ۱/۲ گرم در لیتر نانواکسیدآهن و ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید می‌تواند عملکرد کمی و کیفی دانه گندم تحت شرایط دیم را به‌واسطه بهبود اجزای عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: انتقال ماده خشک، محلول‌پاشی، هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب.

دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۰٤/۰٦، بازنگری: ۱٤۰۳/۱۰/۲۷، پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۳، اولین انتشار: ۱٤۰۳/۱۲/۲۵

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: raouf_ssharifi@yahoo.com

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱٤۰٤ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد حیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

کم آبی یکی از عمده‌ترین چالش‌های تولید گیاهان زراعی است و در مناطق مختلف، حداقل در طول دوره‌ای از رشد، عملکرد گیاهان زراعی را متاثر می‌سازد و این موضوع در مناطق تحت کشت گندم دیم، مشهودتر است. کاهش عملکرد گندم در شرایط دیم (۲۹) و محدودیت آبی در بررسی‌های متعددی گزارش شده است (٤٠ و٥٠). مقبول و همکاران (۲۵) گزارش کردند که محدودیت آبی، منجر به کاهش ۸ تا ١٦ درصد طول سنبله و ۱۹ تا ٤٢ درصد عملکرد دانه گندم شد. برخی پژوهشگران اظهار داشتند که تعداد سنبله در واحد سطح، وزن دانه در سنبله، عملکرد زیستی و شاخص برداشت مهم‌ترین متغیرهای عملکردی گندم هستند که تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرند (۲۱). در این راستا برخی پژوهشگران افزایش درصد٢٦ عملکرد دانه گندم دیم (۲۹) و افزایش ۱۹/۳ درصدی عملکرد دانه جو دیم را (۱۰) در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی در مقایسه با شاهد (شرایط دیم بدون آبیاری تکمیلی) گزارش کردند. یانگ و ژانگ (٥٢) بیان نمودند که به‌هنگام وقوع خشکی خفیف تا متوسط، انتقال مجدد از برگ به دانه سرعت می‌گیرد که این موضوع تا حدودی می‌تواند اثرات ناشی از محدودیت آبی بر عملکرد را، جبران نماید.

در خاک‌های مناطق خشک به‌دلیل pH بالا و رطوبت پایین خاک، بسیاری از عناصر همچون آهن به میزان کمی جذب می‌شوند و این درحالی است که آهن از عناصر ضروری در رشد و عملکرد غلاتی مانند گندم بوده (۲۹) و دامنه کفایت میزان آهن در بافت گیاهی گندم بین٥٠ تا ٢٥٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک است (۸ و ٣٦). در مقادیر کمتر از ٥٠ میلی‌گرم در کیلوگرم، کمبود آهن در گیاه ظاهر می‌شود (٣٦). آهن تأثیر زیادی بر فتوسنتز و پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن دارد (٥) و استفاده از آن به فرم نانو به‌دلیل نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی (۱۳)، موجب افزایش رشد اندام‌های هوایی و عملکرد دانه می‌شود. تاندون (٤٥) افزایش عملکرد گندم بر اثر مصرف آهن را ٨٦٠ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد. ناتران و همکاران (۳۱) اظهار داشتند که کاربرد نانواکسید آهن موجب افزایش صفات کمی و کیفی گندم دیم شد. نریمانی و سید شریفی (۳۰) گزارش کردند که تحت شرایط دیم، عملکرد دانه گندم در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن از افزایش ۸/۱ درصد در مقایسه با عدم کاربرد نانواکسید آهن برخوردار بود.

کاربرد هیومیک‌اسید یکی دیگر از روش‌های مناسب برای افزایش مقاومت در برابر محدودیت آبی بدون اثر مخرب زیست محیطی است. این ماده دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است که از ضایعات گیاهی و حیوانی تولید شده و یکی از اجزای اساسی خاک به‌شمار می‌رود که ضمن بهبود تخلخل خاک، به افزایش میزان تهویه، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب در خاک کمک می‌کند. همچنین اسید هیومیک جذب ریزمغذی‌ها و نیتروژن خاک را افزایش داده و موجب تحرک بیشتر عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم و سهولت جذب این عناصر و دسترسی بهتر آنها برای سیستم رشد گیاه می‌شود (٤٧). از این‌رو اسید هیومیک به‌دلیل افزایش نفوذپذیری غشای سلولی ریشه و افزایش محتوای نسبی آب برگ، قابلیت جذب آب و عناصر غذایی را افزایش و اثر سوء تنش را تعدیل می‌کند. به‌همین‌دلیل از آن به‌عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می‌شود (۳۷). مانال و همکاران (٢٤) اظهار داشتند محلول‌پاشی چهار لیتر در هکتار هیومیک اسید در خاک‌های شنی موجب افزایش وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه گندم شد. در آزمایشی محلول‌پاشی اسید هیومیک موجب افزایش ۲۱ درصدی عملکرد گندم دوروم تحت شرایط دیم شد (۹). سرور و همکاران (۳۹) افزایش ١٦ درصد عملکرد دانه گندم با کاربرد ٥٠ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید را در شرایط کمبود روی در خاک‌های آهکی گزارش کردند. انوار و همکاران (٤) بیشترین وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم را در مصرف ١٥ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید گزارش کردند. بیان شده است کاربرد هیومیک اسید از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپیدی یا محتوای مالون دی‌آلدهید، نشت الکترولیت از سلول را کاهش و عملکرد را افزایش می‌دهد (۲). آل فایاد همکاران (۳) افزایش

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک نمونه برداری سانتی‌متر	هدایت الکتریکی دسی‌زیمنس برمتر	pH	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بافت خاک
۰–۳۰	۰/٤۳	۷/۵	۰/۷۲	۰/۰۷	۸	۵۱۸	۱۱	۷/۵	۰/۷۳	لومی‌رسی

ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم را در محلول‌پاشی هیومیک اسید گزارش کردند. طرفی و شکوه‌فر (٤۷) اظهار داشتند که محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در شرایط کم آبی از طریق افزایش اجزای عملکرد نظیر تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله، منجر به افزایش عملکرد دانه گندم شد. ابوریا و همکاران (۲) گزارش کردند هیومیک اسید با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌های سازگار، تجمع پراکسید هیدروژن را کاهش و ضمن افزایش پایداری غشاء و کاهش نشت الکترولیت از سلول‌های برگ، محتوای نسبی آب را افزایش داد.

براساس آمارنامه سال ۱٤۰۱ وزارت جهادکشاورزی، سطح زیرکشت گندم دیم در کشور ۲۲٤۰۹٦۱ هکتار با میزان تولید ۸٦۹۲۰۲۰ تن و میانگین عملکرد ٤۰۰۸ کیلوگرم در هکتار بوده است. در استان آذربایجان شرقی سطح زیر کشت گندم دیم ۷٦٤۵٦ هکتار با میزان تولید ۲٦۸۰٦۷ تن و میانگین عملکرد ۳۵۰٦ کیلوگرم در هکتار بوده است. اهمیت گندم به‌عنوان یکی از گیاهان استراتژیک در کشور و نقش محدودیت آبی در دوران رشد زایشی در کاهش عملکرد این گیاه در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت شرایط دیم، و از طرفی تاثیر نانواکسید آهن و هیومیک اسید در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی، از جمله عواملی بودند که موجب شد تا اثر نانواکسید آهن و هیومیک اسید بر عملکرد و برخی صفات گندم دیم رقم باران مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل درقالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در روستای خاتون آباد شهرستان سراب، با مختصات جغرافیایی ٤۷ درجه و ۳٤ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱٦۸۰ متری از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۸–۱۳۹۷ اجرا شد. این منطقه بر اساس تقسیم بندی کوپن دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است. تعداد روزهای یخبندان آن به‌طور میانگین ۱٤۸ تا ۱۵۰ روز در سال است. میانگین دراز مدت بارندگی سالانه در منطقه مورد کشت به استناد آمار اداره هواشناشی منطقه مورد کشت، ۳۲۲ میلی‌متر گزارش شده است. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و شرایط اقلیمی منطقه در طول دوره رشدی گندم در جدول ۲ آورده شده است.

در این بررسی از گندم رقم باران با تیپ رشدی زمستانه، متحمل به خشکی و سرما، خوابیدگی و ریزش دانه، با میانگین ارتفاع بوته ۸۳ سانتی‌متر و وزن هزار دانه ۳۷ گرم استفاده شد (۳۲). این رقم به‌دلیل میانگین عملکرد بالا، کیفیت خوب نانوایی، مناسب کاشت در شرایط دیم مناطق سرد و معتدل کشور است(۳۲). تیمارهای مورد استفاده محلول‌پاشی با نانواکسید آهن در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب مقطر به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/٤، ۰/۸ و ۱/۲ گرم در لیتر) و هیومیک اسید در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب مقطر به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم درلیتر) بود. علت

جدول ۲. دما و میزان بارندگی منطقه آزمایشی از کاشت تا برداشت

ماه	مهر۱۳۹۷	آبان۱۳۹۷	آذر۱۳۹۷	دی۱۳۹۷	بهمن۱۳۹۷	اسفند۱۳۹۷
میانگین دما (درجه سلسیوس)	۱۲/۱ (۱۰/۷)	٦/٦ (۵/۸)	۳/۳ (۲/۹)	۱– (۲/۱–)	۰/۳– (۰/٤–)	۰/۸ (۰/٦۹)
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۱۰/٦(۱۲/۱)	۹/۳ (۱۳)	۱٦/۱(۱۹/۸)	۲۰/۱(۲۳/٤)	۵۵/۷ (٦۷)	۲۱/۸(۲٤)
ماه	فروردین۱۳۹۸	اردیبهشت۱۳۹۸	خرداد۱۳۹۸	تیر۱۳۹۸	مرداد۱۳۹۸	
میانگین دما (درجه سلسیوس)	٦ (٤/۸)	۹/۱ (۸/۷)	۱٦/۳(۱۵/۱)	۱۹/۵(۱۹)	۲۱/۲ (۲۰/۵)	
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۳۲/۸ (۳۷)	۳۲/۵ (٤۰/٤)	۲۹/٤ (۳٤)	۰/۳ (۱/۱)	۰/۸ (۰/۵)	

اعداد داخل پرانتز میانگین دما و بارندگی در طی ده سال اخیر را نشان می‌دهد.

انتخاب مقادیر آهن و هیومیک اسید در این آزمایش به استناد نتایج آزمایش‌هایی بوده است که قبلا بر روی گندم، غلظت مناسب این مواد مشخص شده بود (۲۹ و٤۳). محلول‌پاشی نانواکسید آهن و هیومیک اسید در مرحله پنجه‌زنی و غلاف رفتن به‌ترتیب معادل ۲٤ و ٤۰ مقیاس زادوکس انجام شد (۳۳) به‌طوری‌که تمام قسمت‌های هوایی گیاه به‌طور کامل مرطوب و خیس شود. کاشت بذور در ۱۹ مهرماه سال ۱۳۹۷ براساس تراکم مطلوب و توصیه شده این رقم (۳۸۰ بذر در مترمربع) انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر بود. در این آزمایش به جز محلول‌پاشی با تیمارهای فوق‌الذکر از هیچ نوع کود شیمیایی دیگری استفاده نشد. به‌منظور بررسی میزان انتقال ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی، میزان مشارکت ذخایر ساقه و سهم فرایند انتقال مجدد از کل اندام هوایی در عملکرد دانه، پیش از ظهور سنبله در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی حدود ٦۰ بوتهٔ مشابه و یکنواخت با نخ رنگی علامت‌گذاری و از مرحله بعد از آبستنی و پیش از ظهور سنبله (معادل ۵۰ زادوکس) تا رسیدگی فیزیولوژیک، هرچهار روز یکبار با رعایت اثر حاشیه‌ایی و در هر مرحله سه بوته برداشت شد. بوته‌های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن (در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) توزین و میزان انتقال ماده خشک و دیگر صفات به استناد روابط زیر محاسبه شد (٦).

رابطه ۱

میزان ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک − حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول = میزان انتقال ماده خشک به دانه (میلی گرم در بوته)

رابطه ۲

$$\text{سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه (درصد)} = \frac{\text{میزان انتقال ماده خشک به دانه}}{\text{عملکرد دانه}} \times ۱۰۰$$

رابطه ۳

وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی از ساقه به دانه (میلی‌گرم از ساقه) − حداکثر وزن خشک ساقه پس از گرده افشانی (میلی‌گرم از ساقه) = انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای (میلی‌گرم از ساقه)

رابطه ٤

$$\text{میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (درصد)} = \frac{\text{انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه}}{\text{عملکرد دانه}} \times ۱۰۰$$

در هریک از روابط بالا با فرض بر اینکه تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است، افت تنفسی در نظر گرفته نشد. پژوهشگران دیگر نیز در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به کار گرفته‌اند (۱۱).

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، ده دیسک یک سانتی‌متری از برگ‌های پرچم در دو مرحله ظهورسنبله و پرشدن دانه به‌ترتیب معادل کد ۵۹ و ٦۹ مقیاس زادوکس، در فاصله زمانی ساعت ۱۰–۸ صبح تهیه و وزن شدند. سپس در داخل آب مقطر به مدت ٤ تا ٦ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها به حالت آماس درآیند. در مرحله بعدی نسبت به توزین نمونه‌های آماس یافته،

اقدام شد. سپس برگ‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ٤۸ ساعت قرار شد تا خشک شود، محتوای نسبی آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۰).

$$RWC = \frac{\text{وزن برگ تازه} - \text{وزن برگ خشک}}{\text{وزن برگ‌آماس} - \text{وزن برگ خشک}} \times ۱۰۰$$ رابطه۵

در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، نمونه‌های برگی برخوردار از ابعاد یکسان در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق قرار داده شده و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد.

در پایان دوره رشد و قبل از برداشت، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه از سطحی معادل یک مترمربع از هر واحد آزمایشی با رعایت اثرحاشیه‌ایی برآورد شد. برای براورد ارتفاع بوته و برخی اجزای عملکرد مانند تعداد سنبلک در سنبله اصلی ۱۰ بوته از خطوط اصلی هرکرت با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در نظر گرفته شد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار $SAS_{ver\ 9.2}$ انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، انتقال مجدد ماده خشک از ساقه، سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه و میزان انتقال ماده خشک در اندام‌های هوایی، هدایت الکتریکی در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه تحت اثرات اصلی نانواکسید آهن و هیومیک اسید در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد. اثر ترکیب تیماری هیومیک اسید و نانواکسید آهن بر محتوای نسبی آب در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

میزان انتقال مجدد از ساقه و سهم مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن میزان انتقال مجدد از ساقه و سهم مشارکت ذخایرساقه در عملکرد دانه کاهش یافت. طوری‌که در سطوح شاهد یا عدم کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن، به‌ترتیب از افزایش ۳۰ و ۵۲ درصدی میزان انتقال ماده خشک از ساقه و ۱۵/٦ و ۵۱ سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه در مقایسه با بالاترین سطح از کاربرد هیومیک اسید و نانواکسیدآهن برخوردار بود (جدول ٤). البته اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح ۰/۸ و ۱/۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن بر میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد وجود نداشت (جدول ٤).

در غلاتی مانند گندم پس از فتوسنتز جاری، کربوهیدرات‌های غیرساختاری ذخیره شده در بخش‌های رویشی از جمله ساقه به‌عنوان منبع تامین کربوهیدرات برای پرشدن دانه به کار می‌رود که حدود ۲۵ تا ٤۰ درصد از کل وزن خشک ساقه را تشکیل می‌دهد (۱۱). به‌نظر می‌رسد افزایش دمای محیط و کاهش نزولات در طول دوره رشدی گندم تحت شرایط دیم (جدول ۱) منجر به کاهش فتوسنتز جاری می‌شود در چنین شرایطی افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده (۵۰) می‌تواند بخشی از کاهش فتوسنتز را از طریق افزایش سهم فرایند انتقال مجدد جبران نماید. عبادی و همکاران (۱۰) افزایش به‌ترتیب ۲٦/۳ و ۳۸/۷ درصدی میزان انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد دانه جو دیم را در مقایسه با شرایط دیم برخوردار از آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی گزارش کردند. فوکار و همکاران (۱۵) گزارش کردند که در شرایط دیم، افزایش دمای محیط و سرعت پیرشدن برگ‌ها موجب بالا رفتن سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه می‌شود. ولی درچنین شرایطی کاربرد اسید هیومیک، ضمن پیوند با

جدول ۳. تجزیه واریانس اثرنانواکسید آهن و هیومیک اسید برهدایت الکتریکی برگ پرچم، محتوای نسبی آب و فرایند انتقال مجدد گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		میزان انتقال مجدد		مشارکت انتقال مجدد در دانه		محتوای نسبی آب		هدایت الکتریکی	
		از ساقه	از کل اندام هوایی	از ساقه	از اندام هوایی	مرحله پرشدن دانه ٦٩ زادوکس	مرحله ظهور سنبله ٥٩ زادوکس	مرحله پرشدن دانه ٦٩ زادوکس	مرحله ظهور سنبله ٥٩ زادوکس
تکرار	٢	٠/١٤**	٣٩٤١**	١٠٦٥**	٠/٧٨**	١٤/١*	٧١/٧**	٤٥٥**	٢٧٥٦٧**
هیومیک‌اسید A	٣	٠/٠٤**	٢٤٥**	٦٦/٣**	٠/٣٦**	٥٢٧**	٦٢٣**	٦٧٦٥**	٨٤٧٦**
نانواکسیدآهن B	٣	٠/٠٠٨**	٧٧/١**	٢٠/٨**	٠/٠٧**	٧٢/٧**	٨٩/٦**	٨٥٢**	٩٨٧*
A×B	٩	٠/٠٠٠٢ ns	٠/٩٩ ns	٠/٢٦ ns	٠/٠٠٢ ns	١٠/٦*	١٢/٧*	٤٩/٣ ns	١٥٢ ns
اشتباه	٣٠	٠/٠٠٠٥	٣/٤٧	٠/٩٣	٠/٠٠١	٥/٠٩	٤/٨٥	٦١/٦	٤٧٣
ضریب تغییرات		١٠/١	٤/٥	٤/٧	٩/٩	٥/٨	١٥/٥	٥/١	٢٠/٦

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

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن و هیومیک اسید بر هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب و فرایند انتقال مجدد گندم

تیمارهای مورد بررسی		مشارکت فرایند انتقال مجدد در دانه		میزان انتقال مجدد		هدایت الکتریکی	
		از ساقه	از کل اندام هوایی	از ساقه	از کل اندام هوایی	در مرحله پرشدن دانه	مرحله ظهور سنبله
		درصد		گرم از بوته		میکروزیمنس بر سانتی‌متر	
سطوح نانواکسید آهن (گرم در لیتر)	صفر	۲۲/۲^{a}	٤۲/٥^{a}	۰/۲٦^{a}	۰/٤۸^{a}	۱٦٦^{a}	۸٤/۸^{a}
	۰/٤	۲۰/۱^{b}	٤۰/۲^{b}	۰/۳٥^{b}	۰/٤۲^{b}	۱٥۹^{b}	٥۷/۲^{b}
	۰/۸	۱۹/۸۷^{c}	۳۷/٤^{c}	۰/۲۳^{b}	۰/۳۸^{c}	۱٥۲^{c}	٥۰/٦^{b}
	۱/۲	۱۹/۲^{c}	۳٤/۷^{d}	۰/۲^{c}	۰/۷٥^{d}	۱٤۷^{c}	٤۳/۱^{c}
سطوح هیومیک اسید (میلی‌گرم در لیتر)	صفر	۲۳^{a}	٤٤^{a}	۰/۳^{a}	۰/٤۲^{a}	۱۸٤^{a}	٦٥/۲^{a}
	۱۰۰	۲۱^{b}	٤۰/٥^{b}	۰/٥۱^{b}	۰/٤^{ab}	۱٦۳^{b}	٥۷/۱^{ab}
	۲۰۰	۱۸^{c}	۳۷/۳^{c}	۰/۲۳^{c}	۰/٦٥^{b}	۱٤۹^{c}	٥۰/۳^{ab}
	٤۰۰	۱٥/۲^{d}	۳٥^{d}	۰/۹۷^{d}	۰/۳۱^{c}	۱۲۸^{d}	٤٤/۱^{b}

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال ٥ درصد با هم ندارند.

مولکول‌های آب و کاهش تلفات آب موجب می‌شود که مولکول‌های فولیک اسید (بخش ریزمولکول اسید هیومیک) به درون بافت‌های گیاهی نفوذ کرده و با پیوند شدن با مولکول‌های آب، تعرق گیاه را کاهش و به حفظ آب درون گیاه کمک کند. از طرفی انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تحت تاثیر روابط مبدا و مقصد و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (٤۲). به‌نظر می‌رسد تحت شرایط دیم کاهش نزولات در طول دوره رشدی گندم (جدول ۲) موجب تشدید اثرات ناشی از محدودیت آبی و بهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه و به‌دنبال آن، کمبود عناصر ریزمغذی مانند آهن در خاک می‌شود. در چنین شرایطی کاربرد نانواکسید آهن به‌دلیل نقش این عنصر در ساختار کلروفیل و بهبود فرایند فتوسنتزی، موجب می‌شود که تعادل مبدا و مقصد تاحدودی حفظ شده و خش عمده‌ایی از نیاز مقصدها (دانه‌ها) به‌واسطه بهبود فرایند فتوسنتزی تامین شده و بخش کمتری از آن بوسیله انتقال ماده خشک تامین شود درنتیجه میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد از ساقه در عملکرد دانه با کاربرد نانواکسید آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، کاهش یابد (۳۰). در این راستا جاشنی و همکاران (۱۸) گزارش کردند محلول‌پاشی آهن با بهبود فتوسنتز گیاه و افزایش محتوای عناصر کم‌مصرف دانه، موجب کاهش وابستگی گیاه به انتقال مجدد مواد شده و کارآیی انتقال مجدد از ساقه به دانه نسبت به شاهد به شدت کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش انتقال ماده خشک و سهم مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه گندم به‌واسطه محلول‌پاشی با نانواکسید آهن توسط نریمانی و سیدشریفی (۳۰) گزارش شده است.

میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد درعملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه تحت اثرات اصلی سطوح هیومیک‌اسید و نانواکسید آهن درسطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد افزایش کاربرد اسید هیومیک و نانواکسید آهن، موجب کاهش انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد

دانه شد (جدول ٤). بیشترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی (٠/٤٢ و ٠/٤٨ گرم در بوته) و سهم این فرایند در عملکرد دانه (٤٢/٥ و ٤٤ درصد) به‌ترتیب در عدم کاربرد هیومیک‌اسید و نانواکسید آهن به‌دست آمد (جدول ٤). طوری‌که عدم کاربرد نانواکسید آهن و هیومیک اسید، میزان انتقال ماده خشک (به‌ترتیب ٧٤/٥ و٣٥/٤ درصد) و سهم این فرایند در عملکرد دانه را (به‌ترتیب ٢٢/٤ و ٢٥/٧ درصد) در مقایسه با کاربرد مقادیر بالایی از هیومیک اسید و نانواکسید آهن افزایش داد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد افزایش دمای محیط و کاهش نزولات در طول دوره پرشدن دانه تحت شرایط دیم در منطقه مورد کشت (جدول ١) و عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (هیومیک اسید و نانواکسید آهن) از جمله مواردی هستند که موجب می‌شوند به‌دلیل افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری در برآورد نیاز مقصدها (دانه‌ها)، انتقال ماده خشک و سهم این فرایند در عملکرد دانه افزایش یابد. نتایج مشابهی نیز مبنی براینکه در شرایط تنش رطوبتی به‌دلیل محدودیت در فتوسنتز، میزان انتقال ماده خشک نسبت به آبیاری کامل افزایش می‌یابد توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (٢٣). به بیان دیگر در شرایط کاربرد نانواکسید آهن و هیومیک اسید به‌دلیل تعدیل بخشی از اثرات ناشی از افزایش دمای محیط و کاهش نزولات تحت شرایط دیم، موجب می‌شود با افزایش سهم فتوسنتز جاری، تعادل مبدا و مقصد تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی مبدا بتواند در مقصد مورد استفاده قرار گرفته و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش یابد (٤١).

محتوای نسبی آب برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه (به‌ترتیب معادل کد ٥٩ و ٦٩ مقیاس زادوکس)

مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد اسید هیومیک و نانواکسید آهن موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم در مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه شد (جدول ٥). طوری‌که محلول‌پاشی ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ١/٢ گرم در لیتر نانواکسید آهن، محتوای نسبی آب برگ پرچم را در مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه به‌ترتیب ٤٢/٥ و ٣٧ درصد نسبت به عدم کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن افزایش داد (جدول ٥). به‌نظر می‌رسد بخشی از بهبود محتوای نسبی آب در کاربرد هیومیک اسید ناشی از پیوندی است که مولکول‌های اسید هیومیک با مولکول‌های آب تشکیل می‌دهند که تا حدود زیادی مانع تبخیر آب می‌شود (٤٦). همچنین احتمال داده می‌شود مولکول‌های فولیک اسید (بخش ریز مولکول اسید هیومیک) به درون بافت‌های گیاهی نفوذ می‌کند و با پیوند شدن با مولکول‌های آب، تعرق گیاه را کاهش داده و با کمک به ریشه‌زایی و جذب بهتر آب و نگهداری بیشتر آب در خاک، به حفظ آب درون گیاه و افزایش محتوای نسبی آب کمک می‌کند (٢٧).

هدایت الکتریکی برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه

تجزیه واریانس نشان داد هدایت الکتریکی در مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه تحت تاثیر اثرات اصلی هیومیک اسید و نانواکسید آهن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ٣). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عدم کاربرد اسید هیومیک از افزایش به‌ترتیب ٤٧/٩ و ٤٣/٨ درصدی هدایت الکتریکی برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه در مقایسه با مقادیر بالایی از کاربرد هیومیک اسید برخوردار بود (جدول ٤). نتایج مشابهی نیز در کاربرد نانواکسید آهن به‌دست آمد. طوری‌که محلول‌پاشی مقادیر بالایی از نانواکسیدآهن از کاهش به‌ترتیب ٩٦ و ١٣ درصدی هدایت الکتریکی برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه در مقایسه با عدم کاربرد نانواکسید آهن برخوردار بود (جدول ٤). بخشی از افزایش هدایت الکتریکی در شرایط عدم کاربرد نانواکسید آهن و هیومیک اسید می‌تواند به افزایش دمای محیط و کاهش نزولات در طی مراحل رشدی گندم (جدول ٢) به‌خصوص در مراحل ظهور سنبله و دوره پرشدن دانه نسبت داده شود که اثرات ناشی از محدودیت آبی را افزایش داده و همین امر می‌تواند ضمن

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن و هیومیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پرشدن دانه، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گندم

ترکیبات تیماری	وزن هزار دانه (گرم)	محتوای نسبی آب در مرحله ظهور سنبله (درصد)	محتوای نسبی آب در مرحله پرشدن دانه (درصد)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
N0H0	۳۸/٤ h	٥۹/٤ i	٥۱/۲ k	۷۲/۷ i
N0H1	۳۹/٤ g	٦٦/٥ gh	٥۳/۲ hji	۷۸/۳ fg
N0H2	٤۰/٤ ef	۷۲/۹ de	٥٥/۳ fg	۷۹/۱ f
N0H3	٤۰/۹ de	۷٦/٤ cd	٦۱/٦ cd	۸٦/۲ c
N1H0	۳۹/۰ gh	٦٤/۸ h	٥۱/٦ kj	۷٥/۷ h
N1H1	٤۰ f	٦۷/۸ gh	٥٤/٥ fghi	۷۹/۰ f
N1H2	٤۰/۹ de	۷٤/٤ cde	٥٥/۸ fg	۸۳/٤ d
N1H3	٤۲/٤ c	۷۷/۷ bc	٦۳/۲ c	۸٦/٤ c
N2H0	۳۸/۸ gh	٦٦/۳ gh	٥۳/۱ kji	۷۷/٥ g
N2H1	٤۱/۱ d	٦۸/٥ fg	٥٥/۲ fgh	۸۰/۹ e
N2H2	٤۲ c	۷٤/٤ cde	٥۹/٦ e	۸۷ bc
N2H3	٤۲/٤ c	۸۰/۷ b	٦٤/٥ b	۸۸/۳ ab
N3H0	۳۹/٤ g	٦٦/۰ gh	٥۳/۹ ghi	۸٤/٤ d
N3H1	٤۲/٤ c	۷۱/۷ ef	٥٥/۹ f	۸٦/۱ c
N3H2	٤٤/۲ b	۷٥/۳ cde	٦۰/۸ de	۸۷/۲ bc
N3H3	٤٦/٥ a	۸٤/۷ a	۷۰/٥ a	۸۹/٤ a

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

N0، N1، N2 و N3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و محلول‌پاشی ۰/٤، ۰/۸ و ۱/۲ گرم در لیتر

H0،H1، H2 و H3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی با هیومیک اسید و محلول‌پاشی ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ گرم در لیتر

افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب به غشاء سلولی، در نهایت منجر به افزایش هدایت الکتریکی برگ پرچم شود (۱). در چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد کاربرد اسید هیومیک به‌دلیل پیوندی که با مولکول‌های آب تشکیل می‌دهند تا حدود زیادی تعرق را کاهش و به حفظ آب درون گیاه و بهبود محتوای نسبی آب در مراحل ظهور سنبله و دوره پرشدن دانه (جدول ۵) و به تبع از آن تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی تحت شرایط دیم و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ٤) در مراحل مختلف نمونه‌برداری (دوره ظهورسنبله و پرشدن دانه) منجر می‌شود. در این زمینه سینگ و همکاران (٤٤) گزارش دادند که تحت شرایط محدودیت آبی، تولید و انباشتگی گونه‌های فعال اکسیژن با تخریب پروتئین‌ها و لیپیدهای غشا، به افزایش نشت الکترولیت‌ها و هدایت الکتریکی منجر می‌شود. از این‌رو به‌دلیل مشارکت آهن در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (۸) و نقش مهمی که این آنزیم‌ها در تعدیل رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از تخریبی سیستم‌های غشایی (٥۱) و کاهش میزان هدایت الکتریکی ایفا می‌کنند، می‌تواند از دلایل اصلی کاهش هدایت الکتریکی به‌واسطه کاربرد آهن باشد. نتایج مشابهی نیز توسط نریمانی و سیدشریفی (۳۰) مبنی بر کاهش هدایت الکتریکی در محلول‌پاشی نانواکسید آهن گزارش شده است.

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین ارتفاع بوته (۸۹/٤ سانتی

جدول ٦. تجزیه واریانس اثر نانواکسید آهن و هیومیک اسید بر اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد سنبلک درسنبله اصلی	تعداد سنبله درمتر مربع	طول سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	شاخص برداشت	پروتئین دانه	محتوای آهن دانه
تکرار	٢	١٩٧**	٢/١٨ ns	١٧٢٣ ns	٠/٠٢ ns	٢/٠٣ ns	٤٤/٨ ns	٣٥/٠ ns	١٧٦**	٣١٠٢**
هیومیک‌اسید A	٣	١٨/٠٢ ns	٩/٧٤*	٦٤٧٩ ns	٣/٠٣**	٢٢/٢*	١٩٧ *	٤٦/٢ ns	٩/٥٧**	٣٥٣**
نانواکسیدآهن B	٣	١٧٤**	١١/٨**	١٧٠٣٥*	١/١٧*	٧/٤٤ ns	٣٢٥*	١٣٨*	٢/٨٤**	٦١٠**
اثرمتقابل A*B	٩	٥٩/١*	٣/٢٨ ns	٥٧٩٠ ns	٠/٥٣ ns	١٣/٥*	١١١ ns	٣٤/٥ ns	٠/٠٤ ns	١/٥٥ ns
اشتباه	٣٠	٢٨/٧	٢/٢٦	٤٥١٣	٠/٤٤	٧/٠٨	٩٦/٢	٣٩/٥	٠/٠٧	٢/٥٨
ضریب تغییرات		٦/٢	١٤/٣	٢٥	٨/١	٦/٥	١٨/٧	١٧/٦	٤/٢	٥/٣

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

متر) در کاربرد ١/٢ گرم در لیتر نانواکسید آهن و ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید به‌دست آمد (جدول ٥) هر چند بین این ترکیب تیماری با کاربرد ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ٠/٨ گرم در لیتر نانواکسید آهن اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود نداشت (جدول ٥). کمترین ارتفاع بوته (٧٢/٧ سانتی‌متر) نیز در عدم کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن مشاهده شد که در مقایسه با کاربرد مقادیر بالای نانواکسید آهن و هیومیک اسید، از کاهش ٢٣ درصدی برخوردار بود (جدول ٥). به‌نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی و با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاهان می‌شود (٢٨). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش ارتفاع بوته گندم در محلول‌پاشی هیومیک اسید توسط مانال و همکاران (٢٤) گزارش شده است.

تعداد سنبلک در سنبله اصلی، طول سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح

این صفات تحت تاثیر فاکتورهای مورد بررسی در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح نانواکسید آهن بر تعداد سنبلک در سنبله اصلی، طول سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح نشان داد که کاربرد نانواکسید آهن منجر به افزایش تعداد سنبلک در سنبله اصلی، طول سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح شد. طوری که کاربرد مقادیر بالای نانواکسید آهن منجر به افزایش ٧/٤، ٤٣ و٤٠ درصدی طول سنبله، تعداد سنبلک درسنبله اصلی و تعداد سنبله در واحد سطح در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ٧). در ضمن اختلاف آماری معنی‌داری در تعداد سنبلک در سنبله اصلی بین مقادیر ٠/٨ و ١/٢ گرم در لیتر نانواکسید آهن وجود نداشت. کاربرد مقادیر بالای هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن از افزایش ١٦/٥ درصدی تعداد سنبلک در سنبله اصلی برخوردار بود هرچند اختلاف آماری معنی‌داری بین کاربرد مقادیر مختلف هیومیک اسید با همدیگر وجود نداشت (جدول ٧). به‌نظر می‌رسد آهن و اسید هیومیک با افزایش لقاح و بارور شدن بیشتر گل‌ها موجب افزایش تعداد سنبلک در سنبله شده است (٥). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران مبنی بر افزایش طول سنبله گندم با محلول‌پاشی اسید هیومیک (٢٠) و عناصر کم‌مصرف به‌خصوص آهن (٤٣) توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است. تیموری و همکاران (٤٦) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و اسید هیومیک بر اجزای عملکرد گندم سرداری، بیشترین تعداد سنبلک در سنبله و طول سنبله را در محلول‌پاشی توام اسید هیومیک و آهن به‌دست آوردند.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر نانو اکسید آهن و هیومیک اسید بر اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی گندم دیم

تیمارهای مورد بررسی		طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد سنبله درمترمربع	تعداد سنبلک درسنبله اصلی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	محتوای پروتئین دانه (درصد)	محتوای آهن دانه (میلی‌گرم برکیلوگرم)
سطوح نانواکسیدآهن (گرم در لیتر)	صفر	۷/۹^{b}	۲۲۵^{b}	۸/۲۱^{b}	۲۵۰۰^{b}	۳۲/۱^{b}	۱۰/٤^{d}	٦۱/۷^{d}
	۰/٤	۷/۸۵^{b}	۲۵٦^{ab}	۱۰^{b}	۲۸۷۲^{ab}	۳۵/۱^{ab}	۱۰/۹^{c}	٦٦/٦^{c}
	۰/۸	۸/٤^{ab}	۲۸۲^{ab}	۱۱/۸^{a}	۲۹۸۹^{ab}	۳٦/۸^{a}	۱۱/۳^{b}	۷۱/۷^{b}
	۱/۲	۸/٤۹^{a}	۳۱۷^{a}	۱۱/۸^{a}	۳۱۷٦^{a}	۳۷/٤^{a}	۱۱/٦^{a}	۷۸/۳^{a}
سطوح هیومیک اسید (میلی‌گرم در لیتر)	صفر	۷/۵^{b}	–	۹/۲۷^{b}	۲٤۰۳^{c}	-	۹/۹^{d}	٦٤/۷^{d}
	۱۰۰	۸/۱۷^{a}	–	۱۰/۲^{a}	۲۸۹۷^{b}	-	۱۰/۸^{c}	٦۷/۰^{c}
	۲۰۰	۸/٤^{a}	–	۱۰/٤^{a}	۳۱۰٤^{ab}	-	۱۱/٤^{b}	٦۹/۵^{b}
	٤۰۰	۸/٦۵^{a}	–	۱۰/۸^{a}	۳۵۰۰^{a}	-	۱۲/۱^{a}	۷۷/۲^{a}

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند.

همانتارانجان و گراج (۱۷) افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد سنبلک در سنبله و طول سنبله را در کاربرد عنصر آهن در گندم، به تاثیر این عنصر بر کلروفیل برگ و غلظت ایندول استیک نسبت دادند. به بیانی دیگر آهن نقش اساسی در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز دارد و طبیعی است که با افزایش آهن در برگ، به‌دلیل افزایش محتوای کلروفیل و فرایند فتوسنتزی برگ، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و موجب می‌شود عملکرد و اجزای عملکرد دانه افزایش یابد.

. وزن هزار دانه

معنی‌دار شدن وزن هزار دانه تحت تاثیر اثر ترکیب تیماری نانواکسید آهن و هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد (جدول ۳) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (٤٦/۵ گرم) در کاربرد مقادیر بالای نانواکسید آهن و هیومیک اسید و کمترین آن (۳۸/٤ گرم) در عدم کاربرد نانواکسید آهن و هیومیک اسید به‌دست آمد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد مصرف آهن از طریق کاهش هدایت الکتریکی (جدول ٤) و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۵) ضمن تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است (۷). بخشی از افزایش وزن هزار دانه در کاربرد هیومیک اسید را می‌توان به تاثیر این مواد در افزایش فعالیت فتوسنتزی نسبت داد. در این راستا جونز و همکاران (۱۹) اظهار داشتند که محلول‌پاشی اسید هیومیک در گندم دوروم با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه شد. همچنین گوس و جانسون (۱٦) اظهار داشتند که نقش عنصر آهن در افزایش محتوای کلروفیل و توان فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش وزن هزار دانه در گیاهان می‌شوند.

شاخص برداشت

بیشترین شاخص برداشت در سطوح بالای نانواکسید آهن و کمترین آن در سطح شاهد یا بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. همچنین بین کاربرد ۰/۸ و ۱/۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). بخشی از افزایش شاخص برداشت می‌تواند ناشی از تاثیر هیومیک اسید و نانواکسید آهن بر افزایش اجزای عملکردی همچون تعداد سنبلک در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح (جدول ۷) باشد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش شاخص برداشت کلزا با محلول پاشی آهن توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است

عملکرد دانه

براساس جدول تجزیه واریانس عملکرد دانه تحت تاثیر سطوح نانواکسید آهن و هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٦). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ۱/۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن منجر به افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ٦). همچنین کاربرد ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن منجر به افزایش ٤٥ درصدی عملکرد دانه در واحد سطح شد (جدول ۷). بخشی از بهبود عملکرد دانه با کاربرد نانواکسید آهن می‌تواند ناشی از مقادیر بالای pH و مقادیر پایین آهن در خاک مزرعه آزمایشی (جدول ۱) و کمی نزولات و افزایش دمای محیط (جدول ۲) در طول دوره رشدی گندم به‌خصوص در دوره پرشدن دانه باشد که امکان دسترسی گیاه به آهن موجود در خاک را که از عناصر تعدیل‌کننده در شرایط تنش است با مشکل مواجه می‌سازد و در این راستا مقایسه آهن موجود در دانه در شرایط عدم مصرف آهن در مقایسه با محلول‌پاشی با نانواکسید آهن، بیانگر این مدعاست (جدول ۷).

بابایی و همکاران (٥) نیز دلیل اصلی کاهش عملکرد در شرایط کمبود عناصر کم مصرف به‌خصوص آهن در برخی گیاهان رشد کرده در خاک‌های آهکی را به غیر قابل جذب بودن آهن در این نوع از خاک‌ها نسبت دادند.

بخش دیگری از بهبود عملکرد دانه با کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن را می‌توان به اثرات ناشی از کاربرد این تیمارها در بهبود محتوای نسبی آب (جدول ٥) و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ٤) نسبت داد که ضمن تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی و کندتر شدن روند پیری در برگ‌ها، منجر به افزایش توان فتوسنتزی گیاه و افزایش اجزای عملکردی نظیر تعداد سنبلک در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح (جدول ۷) شد و همین امر می‌تواند از دلایل افزایش عملکرد دانه در شرایط دیم با کاربرد تعدیل کننده‌های تنش (نانواکسید آهن و هیومیک اسید) باشد.

فتحی و زاهدی (١٤) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و روی بر واکنش دو ژنوتیپ ذرت در شرایط تنش به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی نانو ذرات آهن، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش ۲۱ درصدی عملکرد دانه گندم در محلول‌پاشی اسیدهیومیک (۹) و افزایش تا ۹۱۹ کیلوگرمی عملکرد دانه در محلول‌پاشی آهن در گیاه توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (٤۳).

محتوای آهن وپروتیین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن، بر محتوای آهن و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن، محتوای آهن و پروتئین دانه افزایش یافت. طوری‌که کاربرد مقادیر بالایی از نانواکسید آهن، محتوای آهن و پروتئین دانه را به‌ترتیب ۲۷ و ۱۰/۷ درصد و محلول‌پاشی هیومیک اسید به‌ترتیب ۱۹/۳ و۲۲ درصد در مقایسه با سطح شاهد (عدم کاربرد نانواکسید آهن و هیومیک اسید) افزایش داد (جدول ۷). افزایش عملکرد دانه و محتوی پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی با اسید هیومیک و نیتروژن بر گندم دوروم توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (۱۹).

نانواکسید آهن در مقایسه با دیگر ترکیبات کودی آهن‌دار، انتقال آهن به برگ‌ها و دانه را افزایش می‌دهد (۲۲). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش عملکرد و مقدار آهن دانه با استفاده از محلول‌پاشی آهن توسط محمد و همکاران (٢٦) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی آهن، میزان آهن فعال درون گیاه و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز که برای چرخه اسیدهای آمینه ضروری است و در نتیجه میزان پروتئین را افزایش می‌دهد. افزایش پروتئین دانه با کاربرد آهن توسط پورغلام و همکاران (٣٤) در کلزا و افزایش این صفت توسط رآوی و همکاران (٣٥) در گلرنگ با محلول‌پاشی آهن مشاهده شد. ال فولای و همکاران (۱۲) بیان کردند که محلول‌پاشی آهن موجب افزایش

غلظت پتاسیم، نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی و دانهٔ گندم شد. هیومیک اسید نیز از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و میکرو (۳۸ و ٤۹) منجر به افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌شود. در آزمایشی روی ارقام گندم مشاهده شد که کاربرد اسید هیومیک میزان پروتئین را افزایش داد (٤۸).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته، طول سنبله، شاخص برداشت، عملکرد و اجزای عملکرد، محتوای پروتئین و آهن دانه، محتوای نسبی آب برگ در سطوح بالایی از کاربرد هیومیک اسید و نانواکسید آهن به‌دست آمد ولی هدایت الکتریکی، میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه، سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه، انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه با بکارگیری نانواکسید آهن و هیومیک اسید کاهش یافت. براساس نتایج این بررسی، به‌منظور افزایش عملکرد گندم می‌توان کاربرد ۱/۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن و ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید را پیشنهاد نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان نامه نویسنده اول مقاله می‌باشد که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از یکایک همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام می‌دارند.

منابع مورد استفاده

1. Abid, M., S. Ali, L. Kang, R. Zahoor, Z. Tian, D. Jiang, J. Snider and T. Dai. 2018. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports* 8: 1-15.
2. Abu-Ria, M. E., E. M. Elghareeb, W. M. Shukry, S. A. Abu-Hamed and F. Ibraheem. 2024. Mitigation of drought stress in maize and sorghum by humic acid: differential growth and physiological responses. *BMC Plant Biology* 24: 514.
3. Al-fayyadh, D. Z., A. A. Hasson, A. K. Hussein and R. K. Hassan. 2020. Effect of humic acid spray on growth characteristics of wheat varieties. *Journal of Life Science and Applied* 1: 13-24.
4. Anwar, S., F. Iqbal, W. A. Khattak, M. Islam, B. Iqbal and S. Khan. 2016. Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. *Agriculture Research Articles* 3: 558-565.
5. Babaei, K. H., R. Seyed Sharifi, A. R. Pirzad and R. Khalilzadeh. 2017. Effects of bio-fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat under salinity stress. *Journal of Plant Interactions* 12: 381-389.
6. Barnett, K. H. and P. B. Pearce. 1983. Source-sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science* 23: 101-109.
7. Borowski, E. and S. Michalek. 2011.The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 10: 183-193.
8. Cakmak, I., W. H. Pfeiffer and B. McClafferty. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry* 87: 10-20.
9. Delfine, S., R. Tognetti, E. Desiderio and A. Alvino. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development* 25: 183-191.
10. Ebadi, N., R. SeyedSharifi and H. Narimani. 2020. Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on grain yield, dry matter remobilization and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed condition. *Journal of Crop Production and Processing* 10: 123-135. (In Farsi).
11. Ehdaie, B., G. A. Alloush and J. G. Waines. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserve to grain yield in wheat. *Field Crops Research* 106: 34-43.
12. El-Fouly, M. M., Z. M. Mobarak and Z. A. Salama. 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science* 5: 314-322.

13. El-Ramady, H., T. Alshaal, M. Abowaly, N. Abdalla, H. S. Taha, A. Al-Saeedi and A. Sztrik. 2017. Nanoremediation for Sustainable Crop Production. In Nanoscience in Food and Agriculture, Springer.
14. Fathi, A. and M. Zahedi. 2014. The effect of foliar application of iron and zinc oxide nanoparticles on growth and ionic content of maize genotypes differing in salinity of the soil, *Journal of Crop Production and Processing* 4: 295-305. (In Farsi).
15. Fokar, M., A. Blum and H. T. Nguyen. 2006. Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. *Euphytica* 104: 9-15.
16. Goos, R. J. and B. Johnson. 2000. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1255-1268.
17. Hemantaranjan, A. and O. K. Grag. 2000. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum asetivum* L. *Journal of Plant Nurtition* 7: 23-46.
18. Jashni, R., E. Fateh and A. Aynehband. 2017. Effect of thiobacillus and nitrocara biological fertilizers and foliar application of zinc and iron on some qualitative characteristic and remobilization of rapeseed (*Brassica napus* L.). *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)* 40: 1-15.
19. Jones, C. A., J. S. Jacobsen and A. Mugaas. 2004. Effect of humic acid phosphorus availability and spring wheat yield. *Fact Fertilizer* 32: 421-426.
20. Kauser, A. and F. Azam. 1985. Effect of humic acid on wheat seeding growth. *Environmental and Experimental Botany* 25: 245-252.
21. Leilah, A. and S. Al-Khateeb. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Enviroment* 61: 483-496.
22. Liu, X. M., F. R. Zhang, Z. B. Feng, Sh. Q. Zhang, X. Sh. He, R. Wang and Y. Wang. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 11: 14-18.
23. Liu, Y., P. Zhang, M. Li, L. Chang, H. Cheng, S. Chai and D. Yang. 2020. Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 155: 262-270.
24. Manal, F. M., A. T. Thalooth, A. G. Amal, H. M. Magda and T. A. Elewa. 2016. Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Chemistry and Technology* 9: 154-161.
25. Maqbool, M. M., A. Ali, T. Haq, M. N. Majeed and D. J. Lee. 2015. Response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to induced water stress at critical growth stages. *Sarhad Journal of Agriculture* 31: 53-58.
26. Mohamad, W., M. Iqbal and S. M. Shal. 1990. Effect of mode of application of zinc and iron on yield of wheat. *Sarhad Journal of Agriculture* 6: 615-618.
27. Nakhyeinejad, S. and G. R. Moosavi. 2015. Effect of irrigation interval, humic acid and sulfur fertilizer on morphological and yield traits of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Plant Echophysiology* 8: 40-51. (In Farsi).
28. Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological and Biochemistry* 34:1527-1536.
29. Narimani, H., R. Seyed Sharifi, R. Khalilzadehrazieh and G. Aminzadeh. 2018. Effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on chlorophyll content and grain filling components of wheat (*Triticunm aestivum* L.) under rain fed condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12: 735-746. (In Farsi).
30. Narimani, H. and R. SeyedSharifi. 2019. Effects of supplementary irrigation and nano-iron oxide on dry matter remobilization, yield and some biochemical traits of wheat under rainfed conditions. *Cereal Research* 9: 1-16. (In Farsi).
31. Natran, M., H. Khalaj, M. Labbafi Hossinabadi, M. Shams Abadi and A. Razlazi. 2004. The effect of foliar application of nano-iron chelate on the quantity and quality of wheat. In: Proceeding of 2th National of Nanotechnology Application in Agriculture. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. 15-16 October. (In Farsi).
32. Ostaii, M., M. Hassanpour Hosni, H. Esmailzad, D. Sadeghzadeh, B. Sadeghzadeh, A. Amiri, R. Eslami, R. Rezaii, S. Golkari, K. Soleimani, Gh. R. Abedi Asl, E. Rohi, H. Pashapour, R. Haghparast, M. Aghaee, M. M. Ahmadi, A. Daryaee, F. Afshari, M. Torabi, M. A. Dehghan, V. Mardokhi, R. Hoshyar, S. T. Dadrezaii and S. M. Ata Hosseini. 2015. Baran a new winter bread wheat cultivar for dryland condition in cold and moderate regions of Iran. *Research Achivevement for Field and Horticulture Crops* 3: 233-242. (In Farsi).
33. Pask, A., J. Pietragalla, D. Mullan and M. P. Reynolds. 2012. Physiological Breeding II: A field Guide to Wheat Phenotyping. CIMMYT, Mexico.
34. Pourgholam, M., N. Nemati and M. Oveysi. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on prolin, protein and nitrogen leaf of rapeseed (*Brassica napus*). *Annals of Biological Research* 4: 200-203.
35. Ravi, S., H. T. Channal, N. S. Hebsur, B. N. Patil and P. R. Dharmatti. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tincturious*). Application of humic

substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1407-1426.
36. Rengel, Z., G. D. Batten and D. E. Crowley. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density inedible portions of field crops. *Field Crops Research* 60: 27-40.
37. Salwa, A. 2011. Effect of amendments humic and amino acids on increases soils fertility yields and seeds quality of peanut and sesame on sandy sandy soils. *Agriculture and Biological Science* 7: 115-125.
38. Samavat, S. and M. Malakuti. 2005. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. *Water and Soil Researchers Technical* 463: 1-13.
39. Sarwar, M., S. Ahmed, M. Arsalan and M. Khan. 2017. Humic acid affects zinc availability and wheat yield in zinc deficient calcareous soil. *Journal of Applied Agriculture and Biotechnology* 2: 19-25.
40. Sattar, A., X. Wang, S. Ul-Allah, A. Sher, M. Ijaz, M. Irfan, T. Abbas, S. Hussain, F. Nawaz, A. Al-Hashimi, B. M. Munqedhi and M. Skalicky. 2022. Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. *Saudian Journal of Biological Science* 12:156-159.
41. Seyed Sharifi, R. and H. Nazarly. 2014. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 23: 45-57. (In Farsi).
42. Seyed Sharifi, R. 2018. Effects of uniconazole and bio fertilizers on grain filling period and contribution of remobilization in grain yield of wheat under different moisture regimes in greenhouse condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11: 515-531. (In Farsi).
43. Seyed Sharifi, R., M. Ghasemi Kalkhoran and H. Narimani. 2024. Effects of some stress modulators (methanol, nano silicon, and humic acid) on yield, activity of some antioxidant enzymes and biochemical traits of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops* 22: 327-342. (In Farsi).
44. Singh, M., J. P. Srivastava and A. Kumar. 1992. Cell membrane stability in relation to drought tolerance in wheat genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 168: 186-190.
45. Tandon, H. L. S. 1995. Micronutrients in soils, Crops and Fertilizers. A Source Book–Cum–Directery. Fertilizer Development and Consumtion Organisation, New Delhi.
46. Teimoori, N., G. Heidari and F. Hosseinpanahi, A. Siosemardeh and Y. Sohrabi. 2019. Effects of foliar application of humic acid and iron on yield and yield components of Sardari wheat ecotypes under dryland condition. *Plant Production and Genetic* 1: 3-12. (In Farsi).
47. Tourfi, F. and A. Shokuhfar. 2019. Effect of humic acid on yield, yield components and physiological parameters of wheat in deficit irrigation conditions. *Quarterly Journal of Plant Production* 9: 121-132. (In Farsi).
48. Ulukan, H. 2008. Effect of soil applied humic acid at different sowing time on some yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.) hybrids. *International Journal of Botany* 4: 164-175.
49. Verlinden, G., B. Pycke, J. Mertens, F. Debersaques, K. Verheyen, G. Baert, J. Bries and G. Haesaert. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 3: 1407-1416.
50. Wang, X., Z. Mao, J. Zhang, M. Hemat, M. Huang, J. Cai, Q. Zhou, T. Dai and D. Jiang. 2019. Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to post-anthesis drought stress in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Enviromental and Experimental Botany* 166: 103804.
51. Wyszkowski, M. and N. Kordala. 2024. Effects of humic acids on calorific value and chemical composition of maize biomass in iron-contaminated Soil Phytostabilisation. *Energies* 17: 1691.
52. Yang, J. and J. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytol*ogy 169: 223-236.