Cereal Biotechnology and Biochemistry
Online ISSN: 2783-5170
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

Studying the effect of foliar humic acid and nano-chitosan application on some bread wheat seed quality characteristics under dryland conditions

Maryam Mohammadi[1], Mahmud Khoramivafa[1,2] ✉, Mohsen Saeidi[1,2] & leila zarei[1,2]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

[2] Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran.

✉ Corresponding author. E-mail: khoramivafa@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Wheat is a staple food for 2.5 billion people and provides 5% of caloric intake in the arid regions of Africa and Asia, including Iran. Humic acid and chitosan are two natural organic compounds that enhance crop tolerance to drought and improve seed quality by influencing various physiological processes. Notably, nano-chitosan is more effective than bulk chitosan due to its smaller size and higher surface-area-to-volume ratio. Additionally, the combined application of humic acid and nano-chitosan significantly enhances wheat seed quality under dry conditions by affecting molecular mechanisms. Given that drought stress poses a substantial threat to global food security, this experiment aimed to explore the potential of improving wheat grain quality through the foliar application of humic acid and chitosan in Kermanshah.

Materials and methods: The experiment was conducted as a factorial design in a randomized complete block design, with three replications during the 2023-2024 growing season, using the Hashtrood wheat cultivar under dryland conditions. The experimental factors included three levels of foliar spraying with humic acid (0, 5, and 10 g/L) and three levels of chitosan nanoparticles (0, 250, and 500 ppm). The plants were sprayed with these treatments during the stem elongation and anthesis stages. The measurements taken included grain yield, grain gluten levels, hectoliter weight, grain protein percentage, proline content, and chlorophyll concentration in the flag leaf.

Results: The results indicated that both humic acid and nano-chitosan had significant effects on grain yield and protein content ($P \leq 0.01$). Additionally, the interaction between humic acid and nano-chitosan significantly affected the gluten index, leaf proline levels ($P \leq 0.05$), total leaf chlorophyll content, and hectoliter weight ($P \leq 0.01$). The results indicated that the highest chlorophyll content in the leaves was observed with a treatment of 500 ppm nano-chitosan combined with 10 g/L of humic acid. Across all three levels of humic acid, the application of 500 and 250 ppm of nano-chitosan resulted in increased proline levels in the leaves. The highest proline content was recorded in the treatments with 500 ppm nano-chitosan and 10 g/L (0.84 mg/g leaf weight) and 5 g/L (0.82 mg/g leaf weight) of humic acid. Furthermore, increasing humic acid levels significantly elevated the grain protein content; the highest protein content (14.22%) was associated with the 10 g/L humic acid treatment compared to the control treatment (12.40%). The maximum gluten content was achieved with 500 ppm nano-chitosan and 10 g/L of humic acid, showing a 5.60% increase compared to the control. The highest hectoliter weight was observed with 10 and 5 g/L of humic acid in combination with 500 ppm of nano-chitosan (76.33 kg and 75.66 kg, respectively). Ultimately, the foliar application of humic acid and nano-chitosan resulted in grain yield increases of 83.11 kg/ha and 158.89 kg/ha, respectively.

Conclusion: The positive effects of foliar application of humic acid and nano-chitosan can contribute to food security by increasing both grain yield and quality, thereby enhancing bread productivity. However, challenges remain, such as the mechanization and labor demands for foliar application on rainfed farms primarily managed by smallholder farmers. In this context, modern agricultural techniques, such as precision agriculture, could play a significant role in addressing these challenges.

Keywords: Bread Quality, Food Security, Gluten, Productivity.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 Apr 2025, **Revised:** 27 Jun 2025, **Accepted:** 09 Sep 2025, **Published online:** 23 Sep 2025

Cite this article: Mohammadi, M., Khoramivafa, M., Saeidi, M. & zarei, L. (2025). Studying the effect of foliar humic acid and nano-chitosan application on some bread wheat seed quality characteristics under dryland conditions. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *4*(3), 328-346. DOI: 10.22126/cbb.2025.12382.1113

© The Author(s).

10.22126/cbb.2025.12382.1113

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانوکیتوزان بر برخی ویژگی‌های کیفی بذر گندم نان در شرایط دیم

مریم محمدی[۱]، محمود خرمی‌وفا[۱و۲]✉، محسن سعیدی[۱و۲] و لیلا زارعی[۱و۲]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

[۲] مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

✉نویسنده مسئول. رایانامه: khoramivafa@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه: گندم غذای اصلی ۲/۵ میلیارد نفر و تأمین‌کننده ۵۰٪ کالری در مناطق خشک آفریقا و آسیا از جمله ایران است. اسید هیومیک و کیتوزان دو ترکیب آلی طبیعی هستند که از راه تأثیر بر ویژگی‌های گوناگون گیاه زراعی مانند واکنش‌های فیزیولوژیک، بر تحمل به خشکی و کیفیت بذر تأثیر می‌گذارد. با این‌حال نانو کیتوزان به دلیل اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بالاتر کارایی بیشتری از کیتوزان بالک دارد. از سوی دیگر به‌کارگیری هم‌زمان اسید هیومیک و نانو-کیتوزان با تأثیرگذاری بر مکانیسم‌های مولکولی تاثیر بیشتری بر بهبود کیفیت بذر گندم در شرایط دیم دارد. از آنجاییکه انجام پژوهش‌های کاربردی در مورد تنش خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدهای امنیت غذایی جهانی اهمیت فراوانی دارد، این آزمایش با هدف بررسی امکان بهبود برخی شاخص‌های کیفی دانه گندم با محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان در منطقه کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی رقم هشترود گندم نان در شرایط دیم اجرا شد. فاکتورها شامل محلول‌پاشی اسید هیومیک در سه غلظت (۰، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر) و نانو کیتوزان در سه غلظت (۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بودند. محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان در ابتدای مراحل ساقه‌دهی و ابتدای گلدهی گندم انجام و صفات عملکرد دانه، میزان گلوتن، وزن هکتولیتر، درصد پروتئین، همچنین پرولین و غلظت کلروفیل کل برگ پرچم اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اسید هیومیک و نانو کیتوزان بر عملکرد و پروتئین دانه ($P\leq0/01$) معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل اسید هیومیک × نانوکیتوزان بر شاخص گلوتن، پرولین برگ ($P\leq0/05$)، محتوای کلروفیل کل برگ و وزن هکتولیتر ($P\leq0/01$) معنی‌دار بود. بیشترین محتوای کلروفیل برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان همراه با ۱۰ گرم اسید هیومیک در لیتر مشاهده شد، در حالیکه در هر سه سطح اسید هیومیک، استفاده از ۵۰۰ و ۲۵۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان، پرولین برگ را نسبت به شاهد افزایش داد. به گونه‌ای که بیشترین میزان پرولین برگ در تیمار ترکیبی ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان با ۱۰ و ۵ گرم اسید هیومیک در لیتر (به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) به‌دست آمد. افزون بر این افزایش سطوح اسید هیومیک میزان پروتئین دانه را به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه به ترتیب به کاربرد ۱۰ گرم اسید هیومیک در لیتر (۱۴/۲۲ درصد) و تیمار شاهد (۱۲/۴۰ درصد) مربوط بود. حداکثر گلوتن دانه نیز از کاربرد همزمان ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان و ۱۰ گرم در لیتر اسید هیومیک بود که نسبت به تیمار شاهد ۵/۶۰ درصد گلوتن بیشتری داشت. همچنین بیشترین میزان وزن هکتولیتر در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان و مصرف ۱۰ و ۵ گرم در لیتر اسید هیومیک با میزان ۷۶/۳۳ و ۷۵/۶۶ کیلوگرم مشاهده شد. در نهایت محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان عملکرد دانه را به ترتیب ۸۳/۱۱ و ۱۵۸/۸۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: تأثیر مثبت مصرف اسید هیومیک و نانو کیتوزان به‌طور مستقیم با افزایش عملکرد و به‌طور غیر مستقیم با افزایش کیفیت گندم تولیدی و بهبود افزایش بهره‌وری مصرف نان، به تأمین امنیت غذایی کمک می‌کند. با این‌حال چالش‌های پیش رو مانند مکانیزاسیون و نیروی کارگری مورد نیاز برای محلول‌پاشی در مزارع دیم که بیشتر تحت مدیریت کشاورزان خرده‌پا است نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در این ارتباط شاید روش‌های نوین کشاورزی مانند کشاورزی دقیق، بتواند نقش برجسته‌ای داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، بهره‌وری، کیفیت نان، گلوتن.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ **اصلاح:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۶ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۶/۱۸، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

استناد: محمدی، م.، خرمی‌وفا، م.، سعیدی، م. و زارعی، ل. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانوکیتوزان بر برخی ویژگی‌های کیفی بذر گندم نان در شرایط دیم. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۳)، ۳۲۸-۳۴۶. DOI: 10.22126/cbb.2025.12382.1113

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) در بیشتر نقاط جهان رشد می‌کند و یکی از محصولات اصلی تأمین غذای نزدیک به ۲/۵ میلیارد از مردم جهان است و با تأمین نزدیک به نیمی از کالری مورد نیاز در منطقه شمال آفریقا و غرب و آسیای مرکزی، یکی از منابع کلیدی پروتئین در کشورهای کمتر توسعه یافته و کشورهای با درآمد متوسط از نظر کالری و دریافت رژیم غذایی است (Singh *et al*., 2020).

بخش عمده‌ای از زمین‌های کشاورزی ایران با میانگین بارندگی کمتر از یک سوم میانگین جهانی، در اقلیمی خشک تا نیمه خشک جای دارد. در این بین بهره‌گیری از ترکیبات طبیعی مانند اسید هیومیک و کیتوزان با کاهش آسیب‌های کم‌آبی در مناطق نیمه‌خشک می‌تواند در کاهش نوسانات عملکرد و بهبود کیفیت آن اهمیت داشته باشد. بنابراین افزایش عملکرد دانه و کیفیت گندم به عنوان خوراک اصلی در جهان، برای برآوردن نیازهای رو به رشد افزایش جمعیت انسانی بسیار مهم است (Sedri *et al*., 2021).

اسید هیومیک یک ترکیب آلی طبیعی است که با بهبود باروری خاک و رشد گیاه، بر ویژگی‌های گوناگون گیاه زراعی از جمله واکنش‌های فیزیولوژیک، تحمل به خشکی و کیفیت بذر تأثیر می‌گذارد. مطالعات مختلف نشان داده اند که کاربرد اسید هیومیک می‌تواند عملکرد بذر و صفات کیفی گیاهان زراعی محصولات مختلف را بهبود بخشد (Safaei *et al*., 2014). اسید هیومیک به عنوان یک اسید آلی طبیعی آبدوست و اسیدی، با ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت جذب بالا، خواص هیدروفیزیکی خاک و دسترسی به مواد مغذی را بهبود می‌بخشد، رشد گیاه را تحریک می‌کند و مقاومت به خشکی گیاه را در مناطق خشک و نیمه خشک افزایش می‌دهد (Chen *et al*., 2022). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد اسیدهیومیک در دو مرحله ساقه‌دهی و سنبله‌دهی گندم دوروم بالاترین شاخص کلروفیل، سطح برگ پرچم، محتوای پرولین، ارتفاع بوته، نسبت پروتئین و عملکرد دانه و بدون کاربرد اسید هیومیک کمترین مقادیر این صفات را در پی داشته است (Mutlu and Tas, 2022). در بررسی اثر اسید هیومیک بر کیفیت دانه تریتیکاله، بیشترین میزان کلروفیل a، کلرفیل b، عملکرد پروتئین به ترتیب از غلظت۴۰۰ و ۶۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید به‌دست آمد؛ نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌توان ویژگی‌های کیفی و تجمع عناصر ریزمغذی اندام هوایی و دانه تریتیکاله را بهبود بخشید (Parvin *et al*., 2020). محلول‌پاشی اسید هیومیک در

مراحل ساقه‌دهی و سنبله‌دهی غلظت فسفر دانه، پروتئین و میزان گلوتن دانه گندم را به ترتیب ۱۲/۵، ۱۲/۷ و ۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Sharifi Kalyani *et al*., 2024). همچنین گزارش شده است محلول‌پاشی اسید هیومیک با انتقال بهتر مواد پرورده و بهبود رشد گیاه، سبب افزایش عملکرد دانه و کیفیت گندم دوروم شد (Delfine *et al*., 2005).

افزایش تولید انواع گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در شرایط تنش، آشفتگی در ساختارهای سلولی و دگرگونی‌های متابولیک مانند تجزیه پروتئین‌ها و دیگر متابولیت‌ها و در پی آن کاهش رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه زراعی را به همراه دارد (Aghaee Dizaj *et al*., 2022). یکی از ترکیبات طبیعی که می‌تواند گیاه را در شرایط تنش یاری کند، کیتوزان است که از پوست سخت‌پوستان مانند میگو و خرچنگ به‌دست می‌آید. کیتوزان دارای ویژگی القاکنندگی و محرک رشد بوده و باعث تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه می‌شود (Aghaee Dizaj *et al*., 2022). از سوی دیگر نانو کیتوزان به عنوان یک نانو ماده طبیعی، به دلیل اندازه کوچک (کمتر از ۱۰۰ نانومتر)، نسبت سطح به حجم بالا، نسبت به کیتوزان بالک مؤثرتر است (Attaran Dowom *et al*., 2022). در یک بررسی گزارش شده است که کاربرد نانو کیتوزان به صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی به ویژه غلظت ۹۰ پی‌پی‌ام در مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و سنبله‌دهی گندم باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Behboudi *et al*., 2022). همچنین محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی گرم نانوذرات کیتوزان در لیتر به طور معنی‌داری عملکرد و مواد غذایی دانه گندم را در خاک‌های شنی افزایش داد (Manal *et al*., 2016)، و یا به‌کارگیری کیتوزان در غلظت های مختلف به طور معنی‌داری به افزایش هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، اسید آبسیزیک، جیبرلین، و سیتوکینین‌ها در مقایسه با گیاهان به افزایش عملکرد دانه و عناصر مغذی منجر شد (El-Bassiouny *et al*., 2023).

به طور کلی به‌کارگیری اسید هیومیک و نانو-کیتوزان با تأثیرگذاری بر ساز و کارهای مولکولی گوناگون مانند فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Dolatkhah Dashtmian *et al*., 2023)، تنظیم هورمون‌های گیاهی (El-Bassiouny *et al*., 2023)، و بهبود رشد و عملکرد گیاهان (Delfine *et al*., 2005)، کیفیت بذر گندم در شرایط دیم را بهبود می‌دهد. با این‌حال تحقیقات نشان داده است که استفاده از اسید هیومیک در ترکیب با کیتوزان می‌تواند مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی را در گیاهان تقویت کند و حتی در شرایط تنش خشکی نیز رشد را افزایش دهد. اثرات متقابل این دو ترکیب به عملکرد بهتر روزنه‌ها و بهبود

سلامت کلی گیاه به‌ویژه در شرایط خشکی که دسترسی به آب محدود است، منجر می‌شود (Makhlouf *et al*., 2022). افزون بر این، اثر هم‌افزایی نانوکیتوزان در ترکیب با اسید هیومیک، به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های رشد و جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشد، که برای حفظ کیفیت بذر در شرایط تنش بسیار مهم است (Elshamly *et a*l., 2024). برای نمونه محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانوکیتوزان با بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک و افزایش تحمل به تنش می‌تواند به بهبود قابل توجه در عملکرد و کیفیت گندم منجر شود (Jahanbani *et al*., 2023).

تنش خشکی به‌عنوان یکی از تنش‌های مهم غیر زیستی تولید گندم را در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران محدود می‌کند. برای جمعیت رو به رشد و افزایش نیازهای غذایی همراه با گرم شدن کره زمین، انجام پژوهش‌های کاربردی در مورد تنش خشکی- به عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدهای امنیت غذایی جهانی- بسیار مهم است (Sedri *et al*., 2021). از این رو هدف از انجام این آزمایش بررسی امکان بهبود برخی شاخص‌های کیفی دانه گندم با محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان در منطقه کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

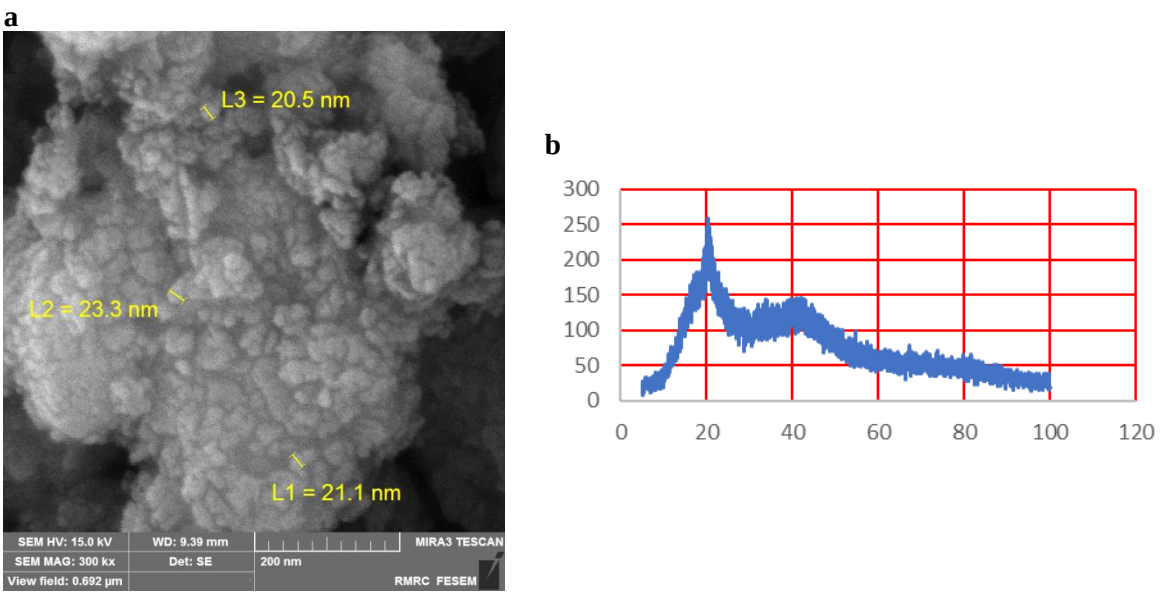
آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ارتفاع مکان آزمایش ۱۳۱۹ متر از سطح دریا، با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه بود. بیشینه و کمینه دمای مطلق سالانه محل آزمایش به ترتیب ۲۲/۶ و ۵/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۴۳۱ میلی‌لیتر بوده و بر پایه طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق نیمه خشک معتدل محسوب می‌شود.

فاکتورها شامل محلول‌پاشی اسید هیومیک در سه غلظت (۰، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر) (Alfatlawi and Alrubaiee, 2020) و نانو کیتوزان در سه غلظت (۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) (Aghaee Dizaj *et al*., 2022) بودند. نانو کیتوزان مورد استفاده از شرکت پیشگامان نانو مواد ایران با مشخصات قید شده در جدول ۱ و شکل ۱ تهیه شد.

جدول ۱- مشخصات نانو کیتوزان مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Specification of consumed nano-chitosan in the experiment

حلالیت Solubility	جرم مخصوص حقیقی Real Specific Gravity	رنگ Color	شکل Form	وزن مولکولی Molecular Mass	فرمول مولکولی Molecular formula	اندازه Size	خلوص Purity
اسید رقیق محلول در آب Water-soluble diluted acid	1.4 g/cm^3	سفید White	پودر Powder	161 g/mol	$C_6H_{11}NO_4$	50 nm	99%



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی گسیل میدانی (FE-SEM) (a) و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS spectrum) (b) نانو ذره کیتوزان

Figure 1- FE-SEM (a) and EDS spectrum (b) images of chitosan NPs

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، پیش از کشت از شش نقطه مختلف و به‌طور تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و در آزمایشگاه خاکشناسی مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و پارامترهای هواشناسی سال آبی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مکان اجرای آزمایش

Table 1- Some soil physical and chemical characteristics and meteorological parameters of the 2023-2024 hydrological yearat the experimental site

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	OM (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	Texture	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک Soil physical and chemical characteristics
7.75	0.83	1.16	440	11.4	0.116	Loam	3.23	4.8	1.03	1.4	

2024								2023			
اوت August	ژوییه July	ژوئن June	مه May	آوریل April	مارس March	فوریه February	ژانویه January	دسامبر December	نوامبر November	اکتبر October	پارامترهای هواشناسی Meteorological parameters
39.68	39.21	36.57	25.74	22.71	16.05	10.74	12.46	14.32	18.3	25.71	میانگین دمای بیشینه Mean maximum temperature (°C)
18.50	18.99	16.17	9.68	6.55	2.82	0.43	0.69	1.43	5.46	9.44	میانگین دمای کمینه Mean minimum temperature (°C)
29.1	29.11	26.4	17.79	14.66	9.676	5.39	6.62	8.16	11.94	17.57	میانگین دمای روزانه Mean daily temperature (°C)
2	0	0	23.2	61.01	52.51	103.43	15.13	23.2	15.51	14.51	میانگین ماهانه بارش Mean monthly precipitation (mm)

پس از آماده‌سازی زمین، در نیمه اول آبان ماه سال ۱۴۰۲ کشت گندم رقم هشترود به میزان ۱۵۰ کیلو در هکتار در عمق سه تا پنج سانتی‌متری خاک با استفاده از دستگاه آسکه ۲۲۰۰ سبز کشت انجام شد. هر کرت شامل هفت خط کاشت با فاصله ۱۷ سانتی‌متر و بین کرت‌ها و بلوک‌ها ۱/۵ متر فاصله درنظر گرفته شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش در شرایط دیم انجام شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، وزن دانه‌های موجود در نمونه یک متر مربعی پس از خرمن‌کوبی و بوجاری توزین و به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) پس از حذف اثرات حاشیه از هر کرت با برداشت یک متر مربع و سپس توزین کل اندام‌ها هوایی خشک شده، اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه در هر کرت بر عملکرد بیولوژیک در همان کرت محاسبه گردید.

اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کل برگ پرچم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و بر اساس روش (Lichtenthaler & Wellburn, 1983) در مرحله ابتدای رشد خمیری دانه صورت گرفت. به‌این منظور برگ‌ها ابتدا با ده میلی‌لیتر استون ساییده شده و با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف گردید به طوری که مواد باقی مانده روی کاغذ صافی بی‌رنگ و بدون کلروفیل شدند. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محلول با استون به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده و میزان جذب نوری آن در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. در انتها مقدار کل کلرفیل برگ بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ طبق روابط زیر تعیین شدند:

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A^{663} - 0.86 \times A^{645}) \frac{V}{100W} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A^{645} - 3.6 \times A^{663}) \frac{V}{100W} \quad (2)$$

$$\text{کلرفیل کل} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b} \quad (3)$$

در اینجا V حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W وزن تر نمونه بر حسب گرم را نشان می‌دهد.

برای تعیین غلظت پرولین نمونه‌ها از روش بیتز (Bates, 1973) استفاده شد. به‌این منظور ۰/۵ گرم برگ پرچم برداشته و در هاون چینی ساییده شد تا به مرحله خمیری رسید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد به آن افزوده، محتوای هاون را هم زده و سپس با استفاده از کاغذ صافی، صاف شد. به ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین (۱۲۵ میلی‌گرم نین‌هیدرین + ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۶ مولار+ ۳

میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال + ۳ میلی‌لیتر اسید استیک) افزوده و در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس لوله‌ها را درون یخ قرار داده و زمانی که دمای محلول با دمای محیط برابر شد به آن ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه هم زده شد. سپس استانداردهای پرولین تهیه شده و مقدار جذب همراه با نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

برای تعیین مقدار پروتئین دانه، ابتدا میزان نیتروژن کل دانه با استفاده از روش کجلدال مشخص گردید. سپس مقدار پروتئین دانه از حاصلضرب عدد ثابت ۶/۲۵ در مقدار نیتروژن کل محاسبه و تعیین گردید (Helrich, 1990). برای اندازه‌گیری میزان گلوتن، دانه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، آسیاب و محتوای گلوتن دانه با استفاده از دستگاه گلوتن ایندکس (Erkaya مدل ۳۲۰۰ ساخت کشور ترکیه) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن هکتولیتر، بذرهای هر واحد آزمایشی را در داخل استوانه مدرج یک لیتری ریخته و پس از توزین، وزن آن‌ها بر حسب کیلوگرم در هکتولیتر بیان شد (Gholinezhad & Eivazi, 2020).

پس از نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها به کمک آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در برنامه SPSS بررسی و سپس تجزیه واریانس به‌کمک رویه GLM و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد به‌کمک نرم‌افزار SAS V9.1. انجام شد. برای ترسیم نمودارها از محیط اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اسید هیومیک و نانو کیتوزان بر عملکرد و پروتئین دانه ($P\leq0/01$) معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل اسید هیومیک × نانوکیتوزان بر شاخص گلوتن، پرولین برگ ($P\leq0/05$)، محتوای کلروفیل کل برگ و وزن هکتولیتر ($P\leq0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۳).

کلروفیل

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین محتوای کلروفیل برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان همراه با ۱۰ گرم اسید هیومیک در لیتر مشاهده شد (جدول ۴). Bijanzadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که بیشترین غلظت کلروفیل a و b در گیاهان تیمار شده با کاربردهای برون‌زا اسید هیومیک در هیبریدهای ذرت مشاهده شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در بین عناصر غذایی، نیتروژن و آهن سهم مهمی در ساخت کلروفیل گیاه دارند. افزایش محتوای کلروفیل برگ با محلول‌پاشی اسید هیومیک ممکن است به دلیل تسریع جذب نیتروژن و نیترات، افزایش متابولیسم نیتروژن و تولید پروتئین توسط اسید هیومیک باشد که در نهایت باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Pavani *et al.*, 2022). همچنین اسید هیومیک به طور مستقیم با

افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها و حفظ کلروفیل در برگ از فرآیند کاتابولیسم و به صورت غیر مستقیم با افزایش سیستم ریشه، جذب نیتروژن و منیزیم از خاک را تشویق می‌کند که باعث افزایش محتوای کلروفیل در برگ می‌شود (Al-Zubaidi & Awaid, 2023). از سوی دیگر با محلول‌پاشی اسید هیومیک دسترسی و جذب مواد مغذی مانند روی، آهن، منگنز و منیزیم به عنوان پیش‌سازها و کاتالیزورها در تشکیل کلروفیل به راحتی از طریق روزنه انجام می‌شود، زیرا احتمال برهمکنش بین یون‌ها بسیار کمتر است (Budiyanto & Almas, 2024). افزایش محتوای کلروفیل ناشی از اسید هیومیک ممکن است به افزایش جذب CO_2 و سرعت فتوسنتز به دلیل افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو Matuszak-Slamani *et al.*, 2022) به نقل از Tehranifar & Ameri,. 2014)، افزایش پایداری غشای سلولی مزوفیل، رشد بهتر ریشه و جذب آب، افزایش سطح برگ و احتباس آب (Farhadian *et al.*, 2024) مرتبط باشد.

اثر بهبود بخش نانو کیتوزان روی رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز ممکن است به دلیل افزایش محتوای نیتروژن و منیزیم در برگ‌ها به‌عنوان مهم‌ترین عناصر در ترکیب شیمیایی کلروفیل‌ها، تحریک بیان ژن‌های دخیل در ساخت کلروفیل با افزایش سطح سیتوکینین و افزایش دسترسی به ترکیبات آمینه آزاد شده از کیتوزان (Bakhoum *et al.*, 2020)، افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز و نابودی گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در تیلاکوئیدها و کاهش تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی (Attaran Dowom *et al.*, 2022)، سرکوب اتیلن، تحریک کلروفیلاز و افزایش فعالیت کربوکسیلاز روبیسکو (Khati *et al.*, 2017) باشد. افزون بر این، ممکن است افزایش کلروفیل برگ‌های گیاه محلول‌پاشی شده با کیتوزان ناشی از نقش آن در بهبود رشد رویشی، ارتفاع گیاه، تعداد و سطح برگ باشد (Ali, & Abd Asal 2023).

پرولین

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در هر سه سطح اسید هیومیک، استفاده از غلظت ۵۰۰ و ۲۵۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان، محتوای پرولین برگ را نسبت به شاهد افزایش داد. به گونه‌ای که بیشترین میزان پرولین برگ در تیمار ترکیبی ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان با ۱۰ و ۵ گرم اسید هیومیک در لیتر به‌دست آمد (به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) در حالی که کمترین میزان پرولین (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) در تیمار شاهد دیده شد (جدول ۴). مشابه با یافته‌های این آزمایش، با کاربرد کیتوزان در گیاهان برنج تحت تنش گرما، یک روند افزایشی برای غلظت پرولین مشاهده شد (Ahmed *et al.*, 2024).

در شرایط تنش آبی، پرولین به‌عنوان یک ترکیب محافظ اسمزی، در تنظیم اسمزی به‌عنوان یکی از سازوکارهای بنیادی فیزیولوژیک برای سازگاری با تنش خشکی، نقش عمده‌ای دارد (Bijanzadeh *et al.*, 2021). در این بین اسید هیومیک با افزایش پروتئین‌های محلول و سطح

پرولین آزاد می‌تواند به طور مؤثری با جلوگیری از هدرروی آب سلول‌ها، موجب حفظ فشار تورژسانس سلولی شود (Shen *et al*., 2020). همچنین کاربرد اسید هیومیک در شرایط محدودیت آبی با بهبود فعالیت آنزیم روبیسکو و ATP سنتتاز و افزایش محتوای کلروفیل، موجب افزایش سرعت انتقال الکترون و سرعت فتوسنتز می‌شود که در چنین شرایطی با افزایش تولید مواد فتوسنتزی، محتوای پرولین و قندهای محلول برگ نیز افزایش می‌یابد (Chen *et al*., 2022).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان بر برخی ویژگی‌های کیفی و عملکرد دانه گندم

Table 2- Analysis of variance of the foliar spraying of humic acid and nano-chitosan effects on some quality characteristics and grain yield of wheat

منابع تغییرات SOV.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	پروتئین دانه Grain Protein	شاخص گلوتن Gluten index	وزن هکتولیتر Hectoliter weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.00001^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.06^{ns}	1.46^{ns}	0.03^{ns}	36369.44**
اسید هیومیک Humic acid (H)	2	0.0052**	0.034**	8.02**	20.79**	59.29**	16216.77**
نانو کیتوزان Nano chitosan (NC)	2	0.0039**	0.179**	3.11**	8.77**	53.81**	58084.11**
اسید هیومیک × نانو کیتوزان H × NC	4	0.0004**	0.001*	0.16 ^{ns}	1.51*	3.59**	639.55^{ns}
خطا Error	16	0.00003	0.0004	0.08	0.38	0.7	356.63
CV (٪)		0.87	2.89	2.14	2.2	1.17	4.77

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک × نانو کیتوزان بر برخی ویژگی‌های کیفی دانه گندم

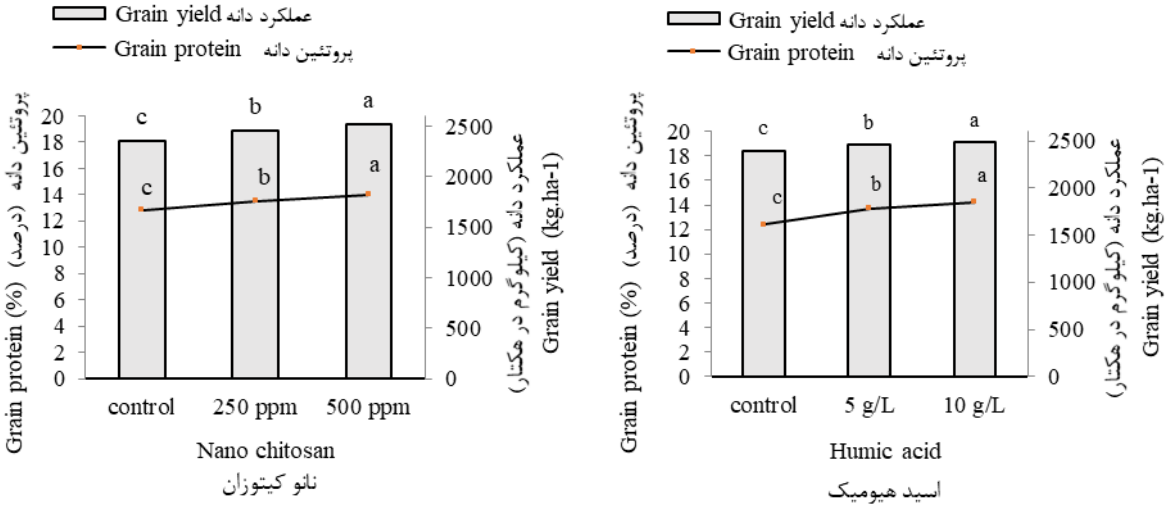
Table 3- Mean comparison of the humic acid × nano chitosan efectc some quality characteristics of wheat grain (common letters indicate no significant difference)

غلظت اسید هیومیک (گرم بر لیتر) Humic acid concentration (g/L)	غلظت کیتوزان (پی‌پی‌ام) Chitosan concentration (ppm)	محتوای کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) Total chlorophyll (mg/g FW)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) Proline (mg/g FW)	شاخص گلوتن (درصد) Gluten Index(%)	وزن هکتولیتر (کیلوگرم) Hectoliter Weight (kg)
0	0	0.60^{d}	0.49^{h}	24.66 ^{f}	67 ^{f}
	250	0.61^{d}	0.66^{e}	26.54 ^{e}	69 ^{e}
	500	0.62^{c}	0.72^{d}	28.23 ^{cd}	69.66 ^{de}
5	0	0.62^{c}	0.53^{g}	27.38 ^{de}	69 ^{e}
	250	0.66^{b}	0.78^{c}	28.16 ^{cd}	71.66 ^{c}
	500	0.66^{b}	0.82^{ab}	28.36 ^{bcd}	75.66 ^{a}
10	0	0.62^{c}	0.57^{f}	28.9 ^{bc}	71 ^{cd}
	250	0.66^{b}	0.80^{bc}	29.4 ^{ab}	73.33 ^{b}
	500	0.68^{a}	0.84^{a}	30.26 ^{a}	76.33 ^{a}
LSD (5%)		0.009	0.034	1.06	1.45

مقدار بالاتر پرولین ناشی از استفاده از نانو کیتوزان نیز ممکن است به کاهش اکسیداسیون پرولین به گلوتامات، افزایش گردش پروتئین یا کاهش مصرف پروتئین، فعال شدن ژن‌های بیوسنتز پرولین از گلوتامات (Attaran et al., 2022)، افزایش ساخت مداوم پرولین با مهار کاتابولیسم آن (Bakhoum et al., 2020)، تنظیم فعالیت آنزیم‌های بیوسنتز پرولین (پیرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز و γ-گلوتامیل کیناز) و کند کردن فعالیت پرولین اکسیداز (Ahmed et al., 2024) نسبت داده شود.

میزان پروتئین دانه

افزایش سطوح اسید هیومیک میزان پروتئین دانه را به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه به‌ترتیب به کاربرد ۱۰ گرم اسید هیومیک در لیتر (۱۴/۲۲ درصد) و تیمار شاهد (۱۲/۴۰ درصد) مربوط بود (شکل ۲). از سوی دیگر محلول‌پاشی با نانو کیتوزان نیز موجب افزایش پروتئین دانه گندم نسبت به گیاهان شاهد شد. به‌طوری که بالاترین سطح نانو کیتوزان (غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام) از بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۴/۰۲ درصد) برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان بر میزان پروتئین (= LSD (5%) 0.28) و عملکرد دانه گندم (LSD (5%) = 18.86). حروف مشترک نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 2. Mean comparison of the foliar application of humic acid and nano-chitosan on protein content (LSD (5%) = 0.28) and wheat grain yield (LSD (5%) = 18.86. Common letters indicate no significant difference.

از سوی دیگر، نقش نانو کیتوزان در افزایش پروتئین دانه ممکن است به‌دلیل محتوای نیتروژن کیتوزان و نقش مهم آن در سنتز پروتئین (Behboudi *et al*., 2019)، افزایش بیان پروتئیناز و ژن‌های بازدارنده پروتئاز و در پی آن کاهش تخریب پروتئین محلول (Attaran Dowom *et al*., 2022) باشد.

میزان گلوتن دانه

براساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، حداکثر گلوتن دانه مربوط به کاربرد همزمان غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان و تیمار ۱۰ گرم در لیتر اسید هیومیک بود و در رتبه بعدی تیمار ۲۵۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان در همین سطح اسید هیومیک قرار داشت که نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد اسید هیومیک و نانو کیتوزان) ۵/۶۰ و ۴/۷۴ درصد گلوتن بیشتری داشت. حداقل میزان آن نیز در تیمار شاهد بدون کاربرد اسید هیومیک و نانو کیتوزان (۲۴/۶۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۴).

کیفیت آرد با توجه به محتوای پروتئین و گلوتن آن تعیین می‌شود. گلوتن سرشار از گلیادین و گلوتنین است و با محتوای پروتئین کل مرتبط است (Ibrahim *et al*., 2019). از سوی دیگر ترکیب و غلظت پروتئین بر کیفیت گندم تاثیرگذار است به‌طوری که افزایش درصد پروتئین دانه اثر مثبت و مستقیم بر کیفیت آرد دارد. محلول‌پاشی

با اسید هیومیک می‌تواند از طریق بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و افزایش اندوخته شدن اسیدهای آمینه، سبب افزایش کیفت دانه گندم به خصوص پروتئین دانه شود (Parvin *et al*., 2020). افزایش نیتروژن قابل دسترس می‌تواند موجب تولید پروتئین‌های ذخیره‌ای بیشتر از قبیل گلیادین، گلوتنین و گلوبولین و در نتیجه باعث افزایش درصد پروتئین دانه شود (Taleshi *et al*., 2021). اسید هیومیک افزون بر بهبود جذب عناصر درشت و ریز مغذی از خاک، اثر حمایتی بر تنفس، فتوسنتز، سنتز پروتئین و اسید نوکلئیک در برگ دارد و فعالیت غشای سلولی و تونوپلاست (H^+-ATPase) را تنظیم می‌کند (Mutlu and Tas, 2022). افزایش محتوای پروتئین دانه با میزان کلروفیل برگ مرتبط بوده و این موضوع حاکی از آن است که غلظت بیشتر پروتئین با حفظ کلروفیل برگ رابطه مستقیم دارد (Taleshi *et al*., 2021)، که این موضوع با یافته‌های پژوهش ما نیز همخوانی دارد.

وزن هکتولیتر

همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان وزن هکتولیتر در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو کیتوزان در سطح ۱۰ و ۵ گرم در لیتر اسید هیومیک با میزان ۷۶/۳۳ و ۷۵/۶۶ کیلوگرم به دست آمد. این ترکیب‌های تیماری در مقایسه با ترکیب تیماری بدون کاربرد اسید هیومیک و نانو کیتوزان وزن هکتولیتر را ۹/۳۳ و ۸/۶۶ کیلوگرم افزایش دادند. (جدول ۴). وزن هکتولیتر به عنوان یک ویژگی برای مرغوبیت دانه گندم، بازتابی از فشردگی بافت، سنگینی و قدرت رویش بالای آن است. وزن هکتولیتر کمتر سبب کیفیت پایین‌تر دانه خواهد بود (Gholinezhad & Eivazi, 2020). از آنجا که طبق نتایج سایر محققین بین میزان پروتئین دانه با عملکرد دانه، میزان گلوتن دانه و وزن هکتولیتر دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد، لذا افزایش هم‌زمان شاخص گلوتن و وزن هکتولیتر دانه گندم دور از انتظار نیست (Gholinezhad & Eivazi, 2020). علت افزایش وزن هکتولیتر با مصرف مواد آلی را می‌توان به اثر مفید این مواد در ساختمان خاک و افزایش رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و انتقال آن‌ها به دانه اشاره کرد که درنتیجه آن چگالی دانه بیشتر شده و وزن هکتولیتر افزایش می‌یابد (Makvandi *et al*., 2024).

عملکرد دانه

نتایج بررسی مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که با افزایش سطوح اسید هیومیک میزان عملکرد دانه هم افزایش پیدا کرد. به گونه‌ای که بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۴۸۰/۷۷ کیلوگرم در هکتار) به سطح ۱۰ گرم در لیتر مربوط بود که نسبت به تیمارشاهد، ۸۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. از سوی دیگر تیمارهای نانو کیتوزان نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری در میزان عملکرد دانه گندم نشان دادند، بدین صورت که هر دو سطح تیمار نانو کیتوزان اثر افزایشی بر میزان عملکرد دانه داشتند و با افزایش غلظت این افزایش بیشتر شد. در واقع غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام

بیشترین میزان عملکرد دانه را داشت که نسبت به تیمار شاهد ۱۵۸/۸۹ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ۲).

همانند اسید هیومیک، نانو کیتوزان نیز عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۵). این نتایج با سایر مطالعات مطابقت دارد که نشان دادند استفاده از کیتوزان با افزایش تعداد دانه در سنبله (Behboudi *et al*., 2019) و افزایش محتوای کلروفیل برگ و سرعت خالص فتوسنتز (Ahmed *et al*., 2024) در نهایت باعث رشد بهتر گیاه و عملکرد بالاتر دانه شد. به‌نظر می‌رسد اسید هیومیک با افزایش صفات رویشی و محتوای کلروفیل برگ منجر به افزایش ماده خشک و عملکرد گندم شده است.

نانو کیتوزان می‌تواند رنگدانه فتوسنتزی و فعالیت‌های بیوشیمیایی را در گیاهان تقویت کند و با بهبود دستگاه‌های فتوسنتزی موجب افزایش زیست توده گیاهی و عملکرد شده باشد (Behboudi *et al*., 2019). از سوی دیگر، افزایش ماده خشک ممکن است به دلیل تأثیر کیتوزان و نقش آن در افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه مانند جیبرلین و زآتین باشد، زیرا کیتوزان نوعی پلی‌ساکارید است و به دلیل اینکه افزایش قندهای محلول منبع انرژی درون گیاه است، بر افزایش فتوسنتز تأثیر مثبت می‌گذارد که به افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و افزایش درصد ماده خشک منجر می‌شود (Ali & Abd Asal, 2023).

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش کلیه صفات مورد بررسی در گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کیتوزان قرار گرفتند. همچنین علاوه بر شاخص‌های کیفی همچون شاخص گلوتن، میزان پروتئین و وزن هکتولیتر، عملکرد دانه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این موضوع به طور مستقیم با افزایش عملکرد و به طور غیر مستقیم با افزایش کیفیت گندم تولیدی و بهبود افزایش بهره‌وری مصرف نان، به تامین امنیت غذایی کمک می‌کند. با این‌حال چالش‌های پیش رو مانند مکانیزاسیون و نیروی کارگری مورد نیاز برای محلول‌پاشی در مزارع دیم که بیشتر تحت مدیریت کشاورزان خرده‌پا است، باید مورد توجه قرار گیرد. در این ارتباط با مدیریت و برنامه‌ریزی شاید بتوان از روش‌های نوین کشاورزی دقیق که اکنون به‌طور گسترده برای کنترل علف‌های هرز به‌کارگرفته می‌شود بهره گرفت. همچنین استفاده از ترکیبات نانو در سنجش با شکل بالک کیتوزان، می‌تواند در کاهش مصرف نهاده و صرفه اقتصادی سهیم باشد.

References

Aghaee Dizaj, L., Mohammadi, H., & Aghaee, A. 2022. Physiological response of two oregano species medicinal plant to foliar spraying of chitosan under water deficit stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 15(1), 185-197. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3603.1881 [In persian]

Ahmed, S., Ahmed, S.F., Biswas, A., Sultana, A., & Issak, M. 2024. Salicylic acid and chitosan mitigate high temperature stress of rice via growth improvement, physio-biochemical adjustments and enhanced antioxidant activity. Plant Stress, 11, 100343. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100343

Alfatlawi, Z.H.C., & Alrubaiee, S.H.A.W. 2020. Effect of spraying different concentrations of humic acid on the growth and yield of wheat crop (IPA 99 cultivar) in different stages. Plant Archives, 20(2), 1517-1521. https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/publications/1647284820.pdf

Ali, K.K., & Abd Asal, K.N. 2023. Effect of foliar application of calcium and nano-chitosan on the growth of rose seedlings. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1158(4), 042032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042032

Al-Zubaidi, N.A.J., & Awaid, B.M.R. 2023. Effect of foliar nutrition with humic, fulvic acid and proline and their interaction between them on the vegetative growth characteristics of sunflower *Helianthus annuus* L. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences, 11, 447-453. https://doi.org/10.22194/JGIAS/11.1098

Attaran Dowom, S., Karimian, Z., Mostafaei Dehnavi, M., & Samiei, L. 2022. Chitosan nanoparticles improve physiological and biochemical responses of *Salvia abrotanoides* (Kar.) under drought stress. BMC Plant Biology, 22(1), 364. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03689-4

Bakhoum, G.S., Sadak, M.S., & Badr, E.A.E.M. 2020. Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. Bulletin of the National Research Centre, 44, 1-11. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617308

Bates, L. S., Waldren, R.A., & Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Behboudi, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Kassaee, M.Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sorooshzadeh, A., & Mokhtassi-Bidgoli, A. 2019. Evaluation of chitosan nanoparticles effects with two application methods on wheat under drought stress. Journal of Plant Nutrition, 42(13), 1439-1451. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617308

Bijanzadeh, E., Naderi, R., & Egan, T.P. 2019. Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Plant Nutrition, 42(13), 1483-1495. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617312

Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., Wei, Z. & Liu, Z. 2022. Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. Agricultural Water Management, 263, 10744.7 https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107447

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for sustainable Development, 25(2), 183-191. https://doi.org/10.1051/agro:2005017

Dolatkhah Dashtmian, A., Hosseini Mazinani, S. M., & Pazoki, A. 2023. Exogenous chitosan nanoparticles modulated drought stress through changing yield, biochemical attributes, and fatty acid profile of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Gesunde Pflanzen, 75(6), 2463-2476. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00912-6

El-Bassiouny, H.M.S., Abdallah, M.M.S., Al-Ashkar, N.M., & Bakry, B.A. 2023. Potential impacts of chitosan on growth, yield, endogenous phytohormones, and antioxidants of

wheat plant grown under sandy soil conditions. Agronomy Research, 21(1), 39–61 https://doi.org/10.15159/AR.23.020

Elshamly, A.M., Iqbal, R., Elshikh, M.S., Alwasel, Y.A., & Chaudhary, T. 2024. Chitosan combined with humic applications during sensitive growth stages to drought improves nutritional status and water relations of sweet potato. Scientific Reports, 14(1), 6351. https://doi.org/10.1038/s41598-024-55904-x

Farhadian, M., Fallah, S., Kaul, H. P., & Salehi, A. 2024. Effects of cow manure and humic acid on *Echinacea purpurea* (L.) performance and essential oils accumulation under drought conditions. Industrial Crops and Products, 222: 119826. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119826

Gholinezhad, E., & Eivazi, A. 2020. Evaluation of the Interaction of Water Stress and Superabsorbent on the Characteristics Related to the Quality of Bread Wheat Cultivars (*Triticum aestivum*). Journal of Crop Production and Processing, 10 (1), 23-37. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1399.10.1.7.3 [In Persian]

Helrich, K. 1990. Association of official analytical chemists. Journal of AOAC, Incorporated, 15(1), 673.

Ibrahim, M.E., Hussein, A.M.S., Ali, A.A., & Elkoussy, A. H. 2019. Effect of mineral and organic fertilizers on yield and technological traits of some bread wheat varieties. Menoufia Journal of Plant Production, 4(1), 19-38. https://dx.doi.org/10.21608/mjppf.2020.174196

Jahanbani, A., Asghari Zakaria, R., Ashrafi, V., Ghasemi Kalkhoran, M. & Shahriary, R. 2023. Effect of foliar application of chitosan and humic acid on yield and yield components of bread wheat under end-season drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 16(4), 905-918. https://doi.org/10.22077/escs.2023.5127.2111

Khati, P., Chaudhary, P., Gangola, S., Bhatt, P., & Sharma, A. 2017. Nanochitosan supports growth of *Zea mays* and also maintains soil health following growth. 3 Biotech, 7: 1-9. https://doi.org/10.1007/s13205-017-0668-y

Lichtenthaler, H. & Wellburn, A. R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 603, 591-592. http://dx.doi.org/10.1042/bst0110591

Makhlouf, B.S.I., Khalil, S.R.A.E., & Saudy, H.S. 2022. Efficacy of humic acids and chitosan for enhancing yield and sugar quality of sugar beet under moderate and severe drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(2), 1676-1691. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00762-7

Makvandi, M., Bakhshandeh, A., Moshatati, A., Moradi Telavat, M., & Khodaei joghan, A. 2024. The Effect of combined use of nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost on wheat grain quality and yield under terminal heat stress conditions in Ahwaz. Journal of Crops Improvement, 26(1), 51-74. https://doi.org/10.22059/jci.2023.358472.2810 [In Persian]

Manal, F.M., Thalooth, A.T., Amal, G.A., Magda, H.M., & Elewa, T. A. 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 ChemTech Research, 9(8), 154-61. https://sphinxsai.com/2016/ch_vol9_no8/1/(154-161)V9N8CT.pdf

Matuszak-Slamani, R., Bejger, R., Włodarczyk, M., Kulpa, D., Sienkiewicz, M., Gołębiowska, D., Skórska, E., & Ukalska-Jaruga, A. 2022. Effect of humic acids on

soybean seedling growth under polyethylene-glycol-6000-induced drought stress. Agronomy, 12(5): 1109. https://doi.org/10.3390/agronomy12051109

Mutlu, A., & Tas, T. 2022. Foliar application of humic acid at heading improves physiological and agronomic characteristics of durum wheat (*Triticum durum* L.). Journal of King Saud University-Science, 34(8), 102320. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102320

Parvin, L., Gharineh, M.H., Khodaei Joghan, A., & Moshatati, A. 2020. The Effect of humic acid foliar application on some qualitative characteristics and micronutrients accumulation in the shoot and grain of Triticale (X Tritico-secale Wittmack). Journal of Crop Production and Processing; 10 (1), 99-112. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1399.10.1.10.6 [In Persian]

Pavani, T., Deshmukh, P.W., & Yadav, O.S. 2022. Effect of foliar application of humic acid on yield parameters and quality of chilli. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 11(3), 235-239. https://doi.org/10.22271/phyto.2022.v11.i3c.14423

Safaei, Z., Azizi, M., Davarynejad, G., & Aroiee, H. 2014. The effect of foliar application of humic acid and nanofertilizer (Pharmks®) on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Medicinal Plants and By-products, 3(2), 133-140. https://doi.org/10.22092/jmpb.2014.108725

Sedri, M.H., Roohi, E., Niazian, M., & Niedbała, G. 2021. Interactive effects of nitrogen and potassium fertilizers on quantitative-qualitative traits and drought tolerance indices of rainfed wheat cultivar. Agronomy, 12(1), 30. https://doi.org/10.3390/agronomy12010030

Sharifi Kalyani, F., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Jalali Honarmand, S., struik, P., & farooq, M. 2024. The effect of foliar application of Vitaspirin and some organic and inorganic compounds on the quantity and quality of grain yield of dryland wheat. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 3(4), 498-516. https://doi.org/10.22126/cbb.2025.11566.1097 [In Persian]

Shen, J., Guo, M.J., Wang, Y.G., Yuan, X.Y., Wen, Y.Y., Song, X.E., Dong, S.Q., & Guo, P.Y. 2020. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. Plant Signaling & Behavior, 15(8), 1774212. https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1774212

Tehranifar, A., & Ameri, A. 2014. Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristics of Fragaria × Ananassa “Camarosa”. Acta Horticulturae, 1049, 391–394. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1049.54

Taleshi, K. , Osooli, N., & Khavari, H. 2021. 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. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008479.1400.52.5.14.8 [In Persian].