



Effect of Silver Nanoparticles and Humic Acid on Yield and Quality of Corn under Different Levels of Deficit Irrigation

Mostafa Sadeghikochsfahani¹, Morteza Samdaliri^{*2}, Ali Eftekhari³, Tofigh Ahmadi⁴
and Seyed Amirabbas Mousavi Mirkalaei⁵

¹ PhD Student, Department of Agriculture, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

² Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Chalous Branch, Chalous, Iran

^{3,4,5} Assistant Professor, Department of Agriculture, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

* Corresponding Author's Email: dr.m.samdeliri@gmail.com
(Received: July. 11, 2025 – Accepted: September. 20, 2025)

ABSTRACT

Objective: The use of humic acid and silver nanoparticles as eco-friendly strategies for managing drought stress plays a significant role in improving corn yield.

Material and methods: To investigate the effects of humic acid and silver nanoparticles, an experiment was conducted 2019–2020 and 2020–2021 growing seasons at the research farm of Islamic Azad University, Chalus Branch. A split-split plot arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was used. The main plot included three irrigation regimes (100%, 80%, and 60% of crop water requirement), the sub-plot included four levels of silver nanoparticles (0, 60, 80, and 100 $\mu\text{L/L}$), and the sub-sub-plot included three levels of humic acid (0, 500, and 1000 g/ha).

Results: Results showed that the highest grain yield (10582 kg/ha) was recorded under full irrigation with 60 $\mu\text{L/L}$ silver nanoparticles and 500 g/ha humic acid. A slightly lower yield (10,506 kg/ha) was obtained under 80% irrigation with the same level of nanoparticles and 1000 g/ha humic acid. The highest nitrogen harvest index (1.45%) occurred under full irrigation with 100 $\mu\text{L/L}$ silver nanoparticles and 500 g/ha humic acid, whereas the lowest (1.09%) was under 80% irrigation with 100 $\mu\text{L/L}$ nanoparticles and 1000 g/ha humic acid.

Conclusion: The findings of this study revealed that the simultaneous application of humic acid and silver nanoparticles can effectively enhance the yield and quality of corn under drought conditions. In particular, applying 500 g/ha of humic acid together with 60 $\mu\text{L/L}$ of silver nanoparticles under full irrigation resulted in the highest grain yield, indicating that this combination can be introduced as the most practical management strategy.

Keywords: Drought stress, Protein, Harvest index, Grain yield

Cite this article: Sadeghikochsfahani, M., Samdaliri, M., Eftekhari, A., Ahmadi, T & Mousavi Mirkalaei, S.A. 2025. Effect of Silver Nanoparticles and Humic Acid on Yield and Quality of Corn under Different Levels of Deficit Irrigation. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(1). 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1200608>.



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1200608>.

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

اثر نانوذرات نقره و اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت ذرت تحت سطوح مختلف کم آبیاری

مصطفی صادقی کوچصفهانی^۱، مرتضی سام دلیری^{۲*}، علی افتخاری^۳، توفیق احمدی^۴ و سید امیر عباسموسوی میر کلایی^۵

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

۳ و ۴ و ۵- استادیار گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: dr.m.samdeliri@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۹)

چکیده

هدف: استفاده از هیومیک اسید و نانوذرات نقره به عنوان راهکارهایی زیست سازگار در مدیریت تنش خشکی، نقش مؤثری در بهبود عملکرد ذرت دارد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثرات هیومیک اسید و نانوذرات نقره، آزمایشی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس بصورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی در کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی به عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی) و کرت فرعی شامل محلول‌پاشی نانو ذره نقره در چهار سطح (شاهد بدون مصرف، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میکرولیتر بر لیتر) و کرت فرعی شامل هیومیک اسید در سه سطح (شاهد، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم در هکتار) قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱۰۵۸۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱/۴۵ درصد حاصل شد و کمترین شاخص برداشت نیتروژن تحت تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۱/۰۹ درصد حاصل شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که مصرف هم‌زمان اسید هیومیک و نانوذرات نقره می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد و کیفیت ذرت تحت شرایط کم آبیاری ایفا کند. به طور خاص، کاربرد ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک همراه با ۶۰ میکرولیتر در لیتر نانوذرات نقره در شرایط آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه را ایجاد کرد و نشان داد که این ترکیب از نظر عملی می‌تواند به عنوان بهترین راهکار مدیریتی معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، پروتئین، شاخص برداشت، عملکرد دانه

استناد:

Sadeghikochsfahani, M., Samdaliri, M., Eftekhari, A., Ahmadi, T & Mousavi Mirkalaei, S.A. 2025. Effect of Silver Nanoparticles and Humic Acid on Yield and Quality of Corn under Different Levels of Deficit Irrigation. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(1). 1-17. DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1200608>.



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1200608>.

مقدمه

ذرت سومین گیاه زراعی مهم جهان است که به دو منظور (دانه‌ای و علوفه‌ای) استفاده می‌شود و نقش مهمی در تغذیه انسان و دام دارد (Fathi et al., 2020). سطح زیر کشت ذرت بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی، حدود ۱۹۷ میلیون و ۲۰۴ هزار هکتار و میزان تولید سالانه این گیاه حدود ۱ میلیارد و ۱۴۸ میلیون تن گزارش شده است (Faostat, 2023). در ایران در سال ۲۰۲۳ تولید سالانه آن در حدود ۱ میلیون و ۷۸۰ هزار تن و سطح زیر کشت این گیاه نیز بیش از ۲۲۳ هزار هکتار گزارش شده است (Faostat, 2023). شهرستان چالوس، با اقلیم معتدل مرطوب و خاک حاصلخیز، یکی از مناطق مستعد کشاورزی در شمال ایران محسوب می‌شود. با این حال، در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع آبی و بروز دوره‌های تنش خشکی، تولید ذرت در این منطقه با محدودیت‌هایی مواجه شده است. در واقع در سرتاسر جهان تولید محصولات زراعی با چالش‌های متعددی مانند تغییرات آب و هوایی و تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی مواجه است که افزایش بی‌سابقه تقاضای غذا این مشکلات را بزرگ‌تر می‌کند (Hafeez et al., 2023).

بحران کم‌آبی و خشکسالی یکی از اصلی‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی در دهه‌های اخیر به شمار می‌رود. بیش از ۲۵ کشور جهان با تنش شدید آبی مواجه‌اند و ایران نیز در زمره کشورهای دارای تنش آبی بالا قرار دارد. در بسیاری از مناطق کشور، کاهش بارندگی، افزایش دمای متوسط و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، موجب کاهش چشمگیر منابع آبی قابل دسترس برای کشاورزی

شده است (Maroufpoor et al., 2021). در این شرایط، تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه گیاهان زراعی نظیر ذرت، نقش دارد. در ایران، حدود ۹۰ درصد از منابع آب مصرفی به بخش کشاورزی اختصاص دارد، و با توجه به کاهش منابع، به‌کارگیری روش‌هایی برای افزایش بهره‌وری آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Pourgholam-Amiji et al., 2021). تنش خشکی مانع تولید محصول می‌شود، به این دلیل که کمبود آب بر صفات فیزیولوژیکی که بر رشد و عملکرد ذرت تأثیر به‌سزایی دارند، اثر منفی می‌گذارد (Nassiri-Mahallati et al., 2022). محققان در یک پژوهش اظهار داشتند تنش کم آبی باعث کاهش ۱۵ درصدی وزن صد دانه و ۱۰ درصدی تعداد دانه در ردیف بلال و ۲۲/۸ درصدی عملکرد دانه ذرت گردید (Nasrollahzade et al., 2017).

تغییرات جهانی در بخش کشاورزی در سطح ساختاری به دلیل توسعه سریع نوآوری‌های فناوری رخ می‌دهد. در این رابطه، پیشرفت‌هایی در فناوری‌هایی صورت می‌گیرد که می‌تواند بر کیفیت و کمیت محصول تأثیر بگذارد و در نهایت از محیط‌زیست محافظت کند (Moustafa-Farag et al., 2020). چنین تکنیک‌هایی شامل استفاده از نهاده‌های کشاورزی مقرون به‌صرفه و کاهش یافته با افزایش همزمان در تولید کشاورزی است (Janeeshma et al., 2024). در این راستا، استفاده از فناوری‌های نوین و راهکارهای نوآورانه برای افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است. توسعه فناوری نانو یکی از مهم‌ترین

دستاوردهای علمی عصر حاضر است که با ورود به حوزه کشاورزی، امکانات گسترده‌ای برای بهبود بهره‌وری، افزایش عملکرد و کاهش اثرات منفی تنش‌های زیستی و غیرزیستی فراهم کرده است (Rajput *et al.*, 2024). اخیراً، نانوذرات نقره به دلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی منحصر به فرد خود، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند (Abdel-Azeem *et al.*, 2020; Shiade *et al.*, 2024a, b). مطالعات نشان می‌دهد که قرار گرفتن گیاهان در معرض غلظت‌های بهینه نانوذرات نقره می‌تواند موجب افزایش رشد و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی آن‌ها گردد (Soliman *et al.*, 2020). این اثر مثبت به دلیل تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی و افزایش کارایی مکانیسم‌های دفاعی گیاه در حذف رادیکال‌های آزاد است که در نتیجه موجب کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و پایداری بهتر غشاهای سلولی می‌شود (Sigamoney *et al.*, 2016; Siddiqi and Husen, 2016). علاوه بر این، پژوهش‌ها حاکی از آن است که نانوذرات نقره می‌توانند در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ارتقای فتوسنتز، بهبود جذب عناصر غذایی و حتی تحریک بیان ژن‌های مرتبط با تحمل تنش نقش داشته باشند (Abdel-Azeem *et al.*, 2020). بنابراین، استفاده کنترل‌شده از این نانوذرات نه تنها رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد، بلکه می‌تواند به عنوان رویکردی نوین در مدیریت تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی مدنظر قرار گیرد.

استفاده از کودهای شیمیایی در دراز مدت منجر به تخریب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. از طرف دیگر مصرف بی‌رویه و بدون توجه به آزمون خاک و نوع گیاه، جهت دستیابی به حداکثر

عملکرد در بلند مدت باعث بروز مشکلاتی از قبیل افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، انرژی ورودی و کاهش محصول می‌شود (Fathi *et al.*, 2020). در بوم‌نظام‌های زراعی استفاده از اصول کشاورزی پایدار به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد و امروزه رویکرد جهانی در تولید گیاهان به سمت و سوی کشاورزی پایدار و به کارگیری روش‌های مدیریتی پایدار می‌باشد (Terán-Samaniego *et al.*, 2025). اسید هیومیک در اثر تجزیه مواد آلی به ویژه موادی با منشأ گیاهی به وجود می‌آید و در خاک، زغال سنگ و پیت یافت می‌شود (Nasiri, 2022). اسید هیومیک مخلوطی از مولکول‌های بسیار بزرگ با قابلیت کلات‌کنندگی عناصر غذایی، افزایش جذب آن‌ها و حاصلخیزی خاک از مهمترین اجزاء هوموس خاک هستند (Gautam *et al.*, 2021). اسید هیومیک با بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، منجر به افزایش رشد و عملکرد می‌شود و در نتیجه نیاز به مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد (Li *et al.*, 2019; Rekaby *et al.*, 2023). نتایج بررسی‌ها نشان داد که مصرف اسید هیومیک موجب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Guo *et al.*, 2022; Ahmed *et al.*, 2024).

با توجه به شرایط رو به افزایش تنش خشکی و بحران آب در کشور، به‌ویژه در استان مازندران که سطح زیادی از اراضی زیر کشت ذرت قرار دارد، استفاده توأم از نانوذرات نقره و اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک راهکار پایدار برای بهبود رشد و عملکرد ذرت مورد بررسی قرار گیرد. با وجود

صفات فیزیولوژیکی ذرت تحت شرایط کم آبی طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش ها

این تحقیق در سالهای زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، دارای عرض جغرافیایی ۱۲ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۳۱ متر از سطح دریا به اجرا شد. جهت تعیین خصوصیات خاک و در هر دو سال آزمایش قبل از اجرا نمونه گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام شد (جدول ۱).

مطالعات متعددی که به طور جداگانه اثر نانوذرات نقره یا اسید هیومیک را بر ویژگی های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان گزارش کرده اند، بررسی هم زمان و ترکیبی این دو نهاده در شرایط تنش آبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ پژوهشی اهمیت مطالعه حاضر را برجسته می کند، چرا که می تواند درک دقیق تری از اثرات هم افزایی احتمالی آن ها در بهبود افزایش عملکرد و ارتقای مقاومت ذرت تحت شرایط کم آبی ارائه دهد. بر همین اساس، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مصرف نانوذرات نقره و اسید هیومیک بر ویژگی های رشد، عملکرد و

جدول ۱- نتایج ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (سانتیمتر ۰-۳۰)	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	رس درصد	سیلت درصد	شن درصد	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)
سال اول	۷/۳	۰/۸	۳۹	۳۱	۳۰	۰/۱۳	۱۲/۵	۳۸۳
سال دوم	۷/۱	۱/۲	۳۸	۳۲	۳۰	۰/۱۲	۱۳/۵	۳۸۸

ذرت مورد استفاده هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود که هیبریدی دیررس با طول دوره رشد (بسته به شرایط محیطی) تا مرحله شیری خمیری ۱۳۵-۱۲۰ روز و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۱۵۰ روز است. قبل از کاشت زمین آبیاری شد و سپس بعد از گاو رو شدن یک شخم عمیق زده شد، بعد از آن دو دیسک به صورت عمود بر هم و به وسیله ماله زمین تسطیح شد. هر کرت شامل ۵ خط کاشت به طول ۴ متر که فواصل بین ردیف ۷۵ سانتیمتر و روی ردیف ۲۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی بوته به مقدار ۸/۸ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. عمق بذر

این آزمایش به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم آبیاری، هیومیک اسید و نانو ذره نقره بود. کرت اصلی شامل کم آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی به عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی) و کرت فرعی شامل نانو ذره نقره در چهار سطح (شاهد یا بدون مصرف، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میکرو لیتر بر لیتر) و هیومیک اسید در سه سطح (شاهد، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم در هکتار) در کرت فرعی فرعی قرار گرفت.

۳-۵ سانتیمتر به وسیله ایجاد شیار بر روی پشته ایجاد گردید.

ابعاد هر کرت اصلی برابر با ۵ در ۴ متر و هر کرت فرعی برابر با ۵ در ۲ متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر و بین کرت‌های فرعی ۱ متر در نظر گرفته شد تا از تداخل اثرات تیمارها به‌ویژه در تیمارهای محلول‌پاشی جلوگیری شود. در مرحله ۴ تا ۵ برگی، پس از اطمینان از سبز شدن و استقرار بوته‌ها، بوته‌های اضافی حذف شدند و در هر محل کاشت تنها یک بوته باقی گذاشته شد. بر اساس آزمایش خاک نیازی به مصرف کود پتاسیم نبود. کود نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره طی دو مرحله پیش از کاشت، ساقه رفتن (شش تا هشت برگی) و فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل پیش از کاشت استفاده شد. محلول‌پاشی هیومیک اسید و نانو نقره در طی دو نوبت (در مرحله ۱۲ برگی و ظهور گل آذین) در عصر انجام شد. همچنین برای عدم تداخل در محلول‌پاشی سه روز پس از محلول‌پاشی هیومیک اسید از نانو نقره استفاده شد.

نیاز آبی با استفاده از روش رطوبت وزنی محاسبه گردید. برای این منظور رطوبت وزنی خاک به صورت روزانه و در سطح رطوبت آبیاری انجام شد. مقدار رطوبت هر آبیاری از معادله زیر محاسبه شد (Martin et al., 1990).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{In} = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times \text{MAD} \times \rho_b \times D_r$$

In: عمق خالص آب آبیاری (cm)، θ_{FC} و θ_{PWP} : به ترتیب درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی، MAD: حداکثر تخلیه مجاز

رطوبت خاک (ضریب سهل الوصول) به صورت اعشار، pb: وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر متر مکعب) و Dr: عمق توسعه ریشه (cm) می‌باشد. وزن مخصوص ظاهری با استفاده از روش سیلندر استوانه‌ای تعیین شد. در این آزمایش، مقدار MAD برابر با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد که به‌عنوان سطح ایمن برای تأمین نیاز آبی ذرت در شرایط کم‌آبی محسوب می‌شود.

مبارزه با علف‌های هرز با مصرف سم نیکوسولفورون به میزان دو لیتر در هکتار ۴۰ روز پس از کاشت انجام شد. در برداشت نهایی پس از حصول اطمینان از رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس تشکیل لایه سیاه در انتهای دانه‌های ذرت، برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از هر کرت دو مترمربع مشخص و عملکرد آنها اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک حاصل شد. نیتروژن دانه به روش کج‌دال (Jackson, 1958) محاسبه شد. پروتئین دانه از ضرب نیتروژن دانه در عدد ۶/۲۵ حاصل شد (Sauberlich et al., 1953). تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به‌منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی‌داری داده‌ها و فراهمی لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، کود نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد گیاه ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر متقابل سال در آبیاری، سال در کود نانو نقره در سطح یک

باعث افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه می‌شود (Rekaby *et al.*, 2023; Ahmed *et al.*, 2024). در رابطه با نانوذرات نقره، مطالعات نشان داده‌اند که این نانوذرات می‌توانند با القای فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه، موجب بهبود جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شده و نهایتاً موجب استقرار بهتر گیاه شوند (Masood *et al.*, 2025). این اثرات به‌ویژه در مراحل اولیه رشد گیاه حائز اهمیت بوده و پایه‌گذار رشد مطلوب بعدی گیاه هستند. همچنین گزارش شده است که نانوذرات نقره با بهبود تحمل گیاه به تنش‌های محیطی مانند خشکی، از طریق کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش می‌گردند (Nassar *et al.*, 2022; Sigamoney *et al.*, 2016; Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2023; Siddiqi & Husen, 2016). در مجموع، افزایش عملکرد دانه تحت تیمار هیومیک اسید و نانو نقره به دلیل بهبود شرایط فیزیولوژیکی، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش فتوسنتز، و افزایش مقاومت به تنش خشکی قابل توجه است. این نتایج با یافته‌های (Soliman *et al.*, 2020; Guo *et al.*, 2022) نیز هم‌راستا است که نشان داده‌اند تیمارهای ذکرشده موجب افزایش صفاتی مانند ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد نهایی می‌شوند.

درصد و آبیاری در نانو نقره در سال در سطح پنج درصد و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد دانه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱۰۵۸۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۳). کمترین عملکرد دانه در تحت ۶۰ درصد نیاز آبی و ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول ۷۸۴۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه ذرت در این تحقیق به دلیل اثرات فیزیولوژیکی هیومیک اسید بر مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه باشد. هیومیک اسید با افزایش نفوذپذیری غشاهای سلولی، ورود عناصری مانند پتاسیم را تسهیل می‌کند. این فرآیند موجب افزایش فشار اسمزی داخلی سلول، تقسیم سلولی بیشتر و به‌دنبال آن توسعه بهتر اندام‌های گیاهی می‌شود (Tadayyon and Beheshti, 2016). همچنین هیومیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، موجب بهبود سنتز کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز می‌گردد (Li *et al.*, 2019; Gautam *et al.*, 2021). بهبود فتوسنتز نیز منجر به جذب بهتر نیتروژن شده و از تجمع نترات در بافت گیاهی جلوگیری می‌کند. این مجموعه عوامل در نهایت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر صفات عملکردی ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	درصد نیتروژن	درصد پروتئین
سال	۱	۱۵۵۹۹۶۴۰/۴۰	۱۹۳۲۳۰۹/۵۰	۱۲۳/۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸
تکرار(سال)	۴	۱۰۴۲۳۵۳/۲۰	۱۶۹۱۷۱۶۴/۲۰	۶۱/۶۶	۰/۰۰۱	۰/۰۲
آبیاری	۲	۳۷۲۹۱۰۸/۴۷	۹۸۲۳۳۳/۲۰	۶۰/۱۰	۰/۰۱۱	۰/۴۵
آبیاری در سال	۲	۸۷۷۵۲۰۸/۵۰*	۳۸۶۵۷۸۳۳/۳۰*	۸۷/۱۸	۰/۰۲۹*	۰/۰۶
خطای آبیاری	۸	۱۸۹۹۷۲۰/۵۳	۱۲۳۲۱۳۳۷/۲۰	۱۰۹/۶۸	۰/۰۰۶	۰/۲۶
نانو نقره	۳	۱۱۰۶۹۰۱۴/۰۸	۳۲۷۵۱۶۵۷/۳۰	۳۷/۳۰	۰/۰۲۲	۰/۸۴
هیومیک اسید	۲	۶۱۱۹/۲۳	۳۸۱۲۴۷/۰۰	۰/۵۶	۰/۱۱۷	۴/۶۵
نانو در سال	۳	۵۰۵۶۸۳۵/۶**	۲۳۵۸۱۳۰/۰۰*	۲۸/۸۵	۰/۰۱۵*	۰/۵۶*
هیومیک در سال	۲	۱۰۳۳۹۹/۵۱	۱۱۶۵۲۲۸/۰۰	۲/۹۳	۰/۰۳۵**	۱/۳۵**
آبیاری در نانو	۶	۲۹۹۸۳۵۵/۵۶	۱۵۸۶۷۸۲/۷۰	۶۴/۷۲	۰/۰۰۷	۰/۲۵
آبیاری در هیومیک	۴	۴۹۴۶۲۴/۸۸	۳۰۳۱۷۴/۳۰	۱۲/۴۶	۰/۰۱۱	۰/۴۴
آبیاری در نانو در سال	۶	۲۱۷۴۳۷۶/۵۸*	۸۷۸۷۰۴۳/۶۰	۵۵/۶۹*	۰/۰۰۶	۰/۲۵
آبیاری در هیومیک در سال	۴	۲۴۱۷۷۸/۰۵	۱۷۴۶۴۲۷/۶۰	۱۹/۷۰	۰/۰۰۹	۰/۳۶
نانو در هیومیک	۶	۳۸۱۴۵۸/۸۳	۳۴۴۷۴۰۰/۵۰	۹/۰۲	۰/۰۱۰*	۰/۴۰*
نانو در هیومیک در سال	۶	۵۰۱۱۳۳/۷۷	۳۵۷۱۲۵۷/۵۰	۳۴/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۸
آبیاری در نانو در هیومیک	۱۱	۲۷۷۸۳۰/۹۴	۳۹۱۲۵۰۲/۹۰	۲۲/۳۹	۰/۰۰۳	۰/۱۲
آبیاری در نانو در هیومیک در سال	۱۱	۱۳۷۳۰۷۶/۵۴*	۱۶۶۹۹۹۶۷**	۵۲/۹۷*	۰/۰۰۹*	۰/۳۳*
خطای کل	۱۳۴	۶۸۷۷۲۳/۵۰	۵۹۱۴۹۵۹/۰۰	۲۳/۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۱۷
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۹۹	۱۰/۹۶	۱۲/۱۳	۹/۸۷	۸/۵۶

***، * به ترتیب نشان دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال، آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد دانه ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرو لیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)		
			۰	۵۰۰	۱۰۰۰
اول	۶۰٪	۰	۷۸۴۱ u	۹۱۳۹/۳۳ ru	۸۹۵۳/۳۳ rstu
		۶۰	۹۰۵۰/۳۳ p-u	۸۸۵۷ q-u	۸۷۷۴/۳۳ rstu
		۸۰	۸۰۲۴/۳۳ stu	۹۵۱۳/۶۷ n-q	۸۳۳۶ o-u
		۱۰۰	۸۳۱۱ o-u	۷۹۸۴/۶۷ tu	۸۸۵۴/۶۷ qrstu
	۸۰٪	۰	۹۴۷۷/۳۳ n-r	۹۵۴۴ nopq	۹۴۱۷/۳۳ m-r
		۶۰	۱۰۲۳۵/۶۷ efg	۹۹۹۵ g-k	۱۰۵۰۶/۳۳ ab
		۸۰	۸۸۳۱/۳۳ stu	۹۰۰۹/۳۳ q-u	۸۹۷۹/۶۷ p-u
		۱۰۰	۸۲۸۴/۳۳ p-u	۸۲۳۰ qrstu	۸۳۷۹ rstu
	شاهد (۱۰۰٪)	۰	۹۶۴۰ no	۹۹۳۲ hijk	۹۲۸۱/۳۳ n-t
		۶۰	۱۰۴۱۶ abc	۱۰۵۸۲/۶۷ a	۱۰۲۴۴/۳۳ a-g
دوم	۶۰٪	۸۰	۸۵۳۶/۳۳ rstu	۸۹۴۵ rstu	۸۱۳۹/۶۷ rstu
		۱۰۰	۸۲۳۵/۶۷ qrstu	۸۴۰۶ p-u	۸۰۳۷ stu
		۰	۸۹۳۳ qrstu	۸۸۱۱/۶۷ o-u	۸۷۷۷ qrstu
		۶۰	۹۰۶۲/۳۳ p-u	۹۶۰۲/۶۷ mnop	۱۰۲۳۵/۶۷ a-g
	۸۰٪	۸۰	۹۵۲۷/۶۷ opq	۹۹۵۱/۳۳ ijk	۱۰۰۴۷/۶۷ hijk
		۱۰۰	۱۰۱۷۸/۳۳ ghi	۹۷۲۱ ijklm	۸۸۴۴/۶۷ rstu
		۰	۸۸۷۵/۶۷ qrstu	۹۳۱۱/۶۷ m-t	۹۵۳۸ opq
		۶۰	۹۴۳۷/۳۳ opqr	۱۰۱۵۹/۳۳ ghij	۱۰۲۴۶ defg
	شاهد (۱۰۰٪)	۸۰	۱۰۲۴۹ defg	۹۷۷۳ hijkl	۱۰۲۸۲ a-f
		۱۰۰	۱۰۲۸۶ a-e	۹۱۲۷ pqrstu	۸۵۷۷/۳۳ qrstu
	۶۰٪	۰	۱۰۱۷۵ d-i	۱۰۴۳۹ abc	۹۷۰۷/۶۷ klmn
		۶۰	۹۹۵۸ hijk	۱۰۳۸۰/۶۷ abcd	۱۰۱۹۳/۳۳ efgh
		۸۰	۹۳۴۰/۶۷ n-s	۸۸۰۹/۶۷ rstu	۹۱۹۰/۳۳ pqrst
		۱۰۰	۸۳۴۸/۳۳ o-u	۸۷۸۳ qrstu	۸۸۹۴/۶۷ rstu

در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

عملکرد بیولوژیک

سال در آبیاری و نانو نقره در سال در سطح پنج درصد و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۲). این نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، کود نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد بیولوژیک ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر متقابل

نشان‌دهنده حساسیت بالایی عملکرد بیولوژیک به ترکیب تیمارها در شرایط اقلیمی متفاوت دو سال آزمایش است. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در سال اول و در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) به همراه مصرف ۶۰ میکرولیتر در لیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید به میزان ۲۶۲۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. پس از آن، تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی همراه با مصرف ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در همان سال با ۲۵۴۳۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بالایی را نشان داد. در مقابل، کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی، بدون مصرف نانو نقره و با مصرف ۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۱۸۰۹۹ کیلوگرم در هکتار بود. افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمارهای حاوی هیومیک اسید، احتمالاً به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود متابولیسم سلولی، افزایش فتوسنتز، و توسعه ریشه بوده است. به گزارش محققان (Ahmed *et al.*, 2024) اسید هیومیک با فعال‌سازی

پمپ پروتون در غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه، جذب نیتрат و فعالیت آنزیم ATPase را افزایش می‌دهد. این فرآیند در افزایش کارایی جذب مواد غذایی نقش اساسی دارد. دیگر محققان (Abu-Ria *et al.*, 200) نیز نشان دادند که اسید هیومیک قادر است جوانه‌زنی و رشد ساقه گیاه ذرت را از طریق تحریک فرآیندهای رشد سلولی بهبود بخشد. علاوه بر این، مطالعات متعدد (Chen *et al.*, 2022; Jing *et al.*, 2024; Alsudays *et al.*, 2024) بیانگر آن‌اند که افزایش تجمع ماده خشک توسط هیومیک اسید می‌تواند ناشی از افزایش فتوسنتز، توسعه زیست‌توده ریشه، افزایش جذب نیترات و فعالیت آنزیم فسفاتاز باشد. در این مطالعه نیز به نظر می‌رسد افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت تحت تیمار هیومیک اسید، با افزایش فعالیت فتوسنتزی، جذب عناصر معدنی و توسعه بهتر اندام‌های رویشی مرتبط باشد. این نتایج با یافته‌های قبلی پژوهشگران که به نقش ترکیبات هیومیکی در بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط مختلف محیطی اشاره کرده‌اند، همخوانی دارد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال، آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد بیولوژیک ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرو لیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	۱۰۰۰	۵۰۰	۰
اول	۶۰٪	۰	۲۱۸۵۱/۸۲ ijklm	۲۲۵۱۲/۶۶ hijkl	۱۸۰۹۹/۷۹ m	۲۲۰۷۶/۸۲ ijkl
		۶۰	۲۲۳۵۴/۹ ijkl	۲۲۰۷۶/۸۲ ijkl	۲۴۳۷۰/۳۲ abcdef	۲۲۰۷۶/۸۲ ijkl
		۸۰	۲۲۶۰۲/۷۹ ijkl	۲۰۶۹۴/۴۵ ijklm	۱۹۷۰۸/۳۶ jklm	۲۲۶۰۲/۷۹ ijkl
		۱۰۰	۱۹۶۶۵/۹۴ klm	۲۳۱۰۳/۸ hijkl	۲۰۷۴۷/۹ jklm	۱۹۶۶۵/۹۴ klm
	۸۰٪	۰	۲۲۸۴۱/۶۳ jkl	۲۴۰۵۹/۶ defgh	۲۰۷۰۸/۳ ijklm	۲۲۸۴۱/۶۳ jkl
		۶۰	۲۲۶۴۴/۶ jkl	۲۰۴۵۰/۰۵ jklm	۲۴۱۰۷/۲۵ abcdefgh	۲۲۶۴۴/۶ jkl
		۸۰	۲۰۵۰۰/۹۷ klm	۲۱۹۴۲/۰۱ ijklm	۲۱۸۳۰/۶۷ klm	۲۰۵۰۰/۹۷ klm
		۱۰۰	۲۰۷۱۰/۹۶ ijklm	۲۱۹۰۳/۷۵ jklm	۱۹۴۵۷/۲۲ lm	۲۰۷۱۰/۹۶ ijklm
	شاهد (۱۰۰٪)	۰	۲۴۷۰۶/۲۱ abcd	۲۲۳۶۲/۲۹ fghijkl	۲۲۸۵۰/۴۶ ijkl	۲۴۷۰۶/۲۱ abcd
		۶۰	۲۲۵۶۸/۹۸ ijkl	۲۶۲۳۲/۵۵ a	۲۳۷۸۶/۵۴ fghi	۲۲۵۶۸/۹۸ ijkl
		۸۰	۲۱۹۳۶/۴۲ hijklm	۲۳۳۳۳/۷۳ ijkl	۱۹۵۲۱/۲۸ lm	۲۱۹۳۶/۴۲ hijklm
		۱۰۰	۲۰۲۴۸/۸ hijklm	۲۴۹۳۵/۶۷ abc	۲۳۲۹۵/۸۲ ijkl	۲۰۲۴۸/۸ hijklm
دوم	۶۰٪	۰	۲۳۲۸۰/۲۵ ijkl	۲۲۲۲۸/۵۸ ghijkl	۲۲۹۶۴/۷۳ ijkl	۲۳۲۸۰/۲۵ ijkl
		۶۰	۲۱۹۰۲/۴۲ ijklm	۲۴۴۲۵/۰۵ abcde	۲۱۵۶۰/۰۲ ijklm	۲۱۹۰۲/۴۲ ijklm
		۸۰	۲۲۸۸۵/۳۵ ijkl	۲۴۲۰۲/۱۱ defg	۲۲۱۳۹/۳ ijkl	۲۲۸۸۵/۳۵ ijkl
		۱۰۰	۲۲۰۱۸/۸۶ klm	۲۰۲۰۲/۹۲ hijklm	۲۱۳۶۵/۶۳ ijklm	۲۲۰۱۸/۸۶ klm
	۸۰٪	۰	۲۳۳۶۸/۹ hijkl	۲۲۳۱۱/۲۴ hijkl	۲۳۱۸۸/۵ ghijkl	۲۳۳۶۸/۹ hijkl
		۶۰	۲۳۷۱۹/۶۴ fghi	۲۴۸۵۰/۴ abc	۲۵۴۳۰/۷۴ ab	۲۳۷۱۹/۶۴ fghi
		۸۰	۲۱۴۷۲/۹۵ klm	۲۳۱۰۶/۱۷ ghijkl	۲۱۵۲۹/۳۳ lm	۲۱۴۷۲/۹۵ klm
		۱۰۰	۲۳۴۶۵/۳۵ jk	۱۹۹۲۶/۲۵ ijklm	۲۳۶۰۵/۹۴ fghij	۲۳۴۶۵/۳۵ jk
	شاهد (۱۰۰٪)	۰	۲۲۳۸۴/۹۱ hijkl	۲۲۶۵۳/۲۹ hijkl	۲۲۱۱۹/۷۵ ijkl	۲۲۳۸۴/۹۱ hijkl
		۶۰	۲۲۰۷۱/۰۴ ijkl	۲۰۸۱۵/۶۴ ijklm	۲۲۳۷۷/۷۴ fghijkl	۲۲۰۷۱/۰۴ ijkl
		۸۰	۲۲۰۰۷/۵۹ fghijklm	۲۰۴۳۹/۱ klm	۲۲۷۶۸/۱۷ hijkl	۲۲۰۰۷/۵۹ fghijklm
		۱۰۰	۲۲۷۷۸/۶۳ ghijkl	۲۴۳۵۳/۸ defg	۲۰۲۵۱/۸۸ hijklm	۲۲۷۷۸/۶۳ ghijkl

در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

شاخص برداشت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۲، اثر متقابل نانو نقره در آبیاری در سال و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی

با مصرف ۶۰ میکرو لیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۵۱/۸۷ درصد حاصل شد کمترین شاخص برداشت تحت ۸۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۸۰ میکرو لیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۳۵/۱۷ و سپس تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۸۰ میکرو لیتر

کردند هیومیک اسید باعث افزایش شاخص برداشت شده است. نتایج مطالعه محققان نیز نشان می‌دهد مصرف هیومیک اسید باعث افزایش شاخص برداشت گیاه ذرت گردیده است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (Wulandari *et al.*, 2019; Prakoso *et al.*, 2020).

نانو نقره و عدم مصرف هیومیک اسید در سال اول مشاهده شد (جدول ۵). عملکرد دانه و عملکرد زیستی نیازمند موازنه صحیح بین اندازه دستگاه فتوسنتزی و تداوم آن، سرعت فتوسنتز، سرعت انتقال و توزیع مواد فتوسنتزی به اندام‌ها، تعداد و اندازه دانه و ظرفیت آنها از نظر تجمع مواد فتوسنتزی می‌باشد. در مطالعه‌ای محققان (Tadayyon & Beheshti, 2016) عنوان

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال، آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر شاخص برداشت ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرو لیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)		
			۰	۵۰۰	۱۰۰۰
اول	۶۰٪	۰	۴۳/۷ g-k	۳۶/۷۳ j-m	۳۹/۷۷ klm
	۶۰	۶۰	۴۰/۸۳ j-m	۳۷/۱ i-m	۳۹/۸ klm
	۸۰	۸۰	۳۵/۴۳ lm	۳۹/۹ j-m	۴۰/۰۷ klm
	۱۰۰	۱۰۰	۴۱/۹۷ i-m	۳۸/۵۳ j-m	۳۸/۸۷ lm
	۸۰٪	۰	۴۱/۴۳ j-m	۴۵/۹۷ d-g	۳۹/۱ klm
	۶۰	۶۰	۴۵/۴ efgh	۴۱/۳ i-m	۵۱/۸۷ a
	۸۰	۸۰	۴۳/۲۳ g-k	۴۱/۲۷ j-m	۴۱/۷۳ klm
	۱۰۰	۱۰۰	۳۹/۸ j-m	۴۲/۴۷ klm	۳۷/۸۳ h-m
	شاهد (۱۰۰٪)	۰	۳۹/۰۵ j-m	۴۳/۵ g-k	۴۱/۷ klm
	۶۰	۶۰	۴۶/۱۷ defg	۴۴/۵۳ e-i	۳۹/۶۷ k-m
دوم	۸۰	۸۰	۳۹/۰۳ j-m	۴۵/۸۳ efg	۳۵/۱۷ m
	۱۰۰	۱۰۰	۴۰/۷۱ j-m	۳۶/۲ klm	۴۴/۴ f-j
	۶۰٪	۰	۳۸/۸۳ i-m	۳۸/۵۴ m	۳۹/۷ j-m
	۶۰	۶۰	۴۱/۷ i-m	۴۴/۵ d-i	۴۲/۵ j-m
	۸۰	۸۰	۴۱/۸ i-m	۴۵/۱۳ e-h	۴۱/۸ i-m
	۱۰۰	۱۰۰	۴۶/۷۴ a-e	۴۶/۳۷ def	۴۳/۹ h-k
	۸۰٪	۰	۳۸/۸ i-m	۴۰/۲۷ klm	۴۲/۸۷ i-m
	۶۰	۶۰	۳۹/۹۷ i-m	۴۰/۶۷ klm	۴۱/۲۷ klm
	۸۰	۸۰	۴۸/۱۷ abc	۴۵/۴ fgh	۴۴/۴۷ f-j
	۱۰۰	۱۰۰	۴۵/۰۳ d-h	۳۹/۱ lm	۴۳/۵۳ jk
شاهد (۱۰۰٪)	۰	۰	۴۶/۰۷ d-g	۴۸/۰۳ abc	۴۳/۰۷ h-l
	۶۰	۶۰	۴۵/۱۳ e-h	۴۶/۹۷ a-d	۴۹/۱۳ ab
	۸۰	۸۰	۴۳/۵۷ h-k	۳۸/۷ lm	۴۵/۵۳ e-h
	۱۰۰	۱۰۰	۳۷/۱۳ i-m	۴۳/۶۴ ijk	۳۶/۵۳ k-m

در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر متقابل سال در آبیاری، سال در کود نانو نقره و نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد و هیومیک اسید در سال در سطح احتمال یک درصد و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای نیتروژن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در ۱۰۰ درصد نیاز آبی با عدم مصرف نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱/۴۵ درصد بود و کمترین شاخص برداشت نیتروژن در تحت ۸۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۱/۰۹ درصد بود (جدول ۶). پژوهشگران به بررسی اثر هیومیک اسید و ورمی کمپوست بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت پرداختند (Liu et al., 2019). نتایج آنها نشان داد کود اسید هیومیک و ورمی کمپوست می‌توانند بر ساختار جامعه قارچ در مرحله شش برگ و ساختار جامعه باکتریایی در مرحله برداشت تأثیر بگذارند، که در نتیجه باعث بهبود در

دسترس بودن مواد مغذی خاک و جذب عناصر غذایی ذرت می‌شود. کود اسید هیومیک و ورمی کمپوست می‌توانند باعث افزایش جذب نیتروژن گیاه ذرت در دوره رشد رویشی و جذب مواد مغذی فسفر و پتاسیم در دوره رشد تولید مثل و مرحله برداشت ذرت شوند، که نقش مهمی در افزایش عملکرد ذرت در خاک شور ساحلی ایفا کرده است. بنابراین، مصرف کود اسید هیومیک می‌تواند به عنوان عملی برای بهبود خاک شور ساحلی استفاده شود. مواد هیومیک نقش بسیار مهمی در فرآیندهای مختلف محیطی دارند. آنها چرخه کربن و نیتروژن را تنظیم می‌کند. همچنین فرآیندهای زندگی موجودات و گیاهان در خاک را تحریک می‌کنند (Wyszkowski et al., 2023). گزارشات نشان می‌دهد هیومیک اسید به دلیل تأثیری که بر متابولیسم اولیه و ثانویه در گیاهان دارند و دسترسی به مواد مغذی (به طور عمده نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن و روی) را بهبود می‌بخشند (Wyszkowski et al., 2023; Hemati et al., 2022; Savarese et al., 2022).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سال، آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر نیتروژن ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرولیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	
			۵۰۰	۱۰۰۰
اول	۶۰٪	۰	۱/۳۶ g-l	۱/۳۷ f-j
		۶۰	۱/۲۹ rstu	۱/۲۶ r-v
		۸۰	۱/۴۴ ab	۱/۴۱ a-d
		۱۰۰	۱/۳ q-u	۱/۲۴ stuv
	۸۰٪	۰	۱/۴۳ abc	۱/۳۱ o-t
		۶۰	۱/۴ d-g	۱/۲۹ q-u
		۸۰	۱/۴۱ a-e	۱/۲۵ r-v
		۱۰۰	۱/۳۶ h-l	۱/۰۹ w
	شاهد (۱۰۰٪)	۰	۱/۴۵ a	۱/۲۹ q-u
		۶۰	۱/۳۷ g-k	۱/۳۵ i-m
دوم		۸۰	۱/۴ a-f	۱/۳۴ l-p
		۱۰۰	۱/۲۹ q-u	۱/۲۸ q-v
	۶۰٪	۰	۱/۳۵ mn	۱/۲۶ r-v
		۶۰	۱/۲۶ q-v	۱/۲۶ s-v
		۸۰	۱/۳۸ gh	۱/۲۷ s-v
		۱۰۰	۱/۳۴ mno	۱/۲۲ r-v
	۸۰٪	۰	۱/۳۵ h-m	۱/۲۶ r-v
		۶۰	۱/۳۳ nop	۱/۳۳ n-q
		۸۰	۱/۳۸ ghi	۱/۳۳ n-q
		۱۰۰	۱/۳۳ n-q	۱/۲۱ uv
شاهد (۱۰۰٪)		۰	۱/۲۸ r-v	۱/۳ q-u
		۶۰	۱/۳۵ j-m	۱/۲۸ r-v
		۸۰	۱/۳۴ l-o	۱/۲۷ q-v
		۱۰۰	۱/۳۱ q-u	۱/۲۶ s-v

در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

پروتئین دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۲، اثر متقابل نانو نقره در سال و نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد و اثر هیومیک اسید در سال در سطح یک درصد بر پروتئین دانه ذرت معنی‌دار بود. اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح

پنج درصد بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین پروتئین دانه در آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۹/۰۶ درصد حاصل شد و سپس تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید

(Tadayyon & Beheshti, 2016) نیز بیان داشتند درصد پروتئین گیاه دان سیاه تحت تاثیر مصرف هیومیک اسید افزایش می‌یابد. در آزمایش‌های جداگانه مزرعه‌ای روی گندم و ذرت مشاهده شد که مصرف اسید هیومیک به صورت محلول‌پاشی میزان پروتئین را افزایش داد (Nasiroleslami *et al.*, 2021; Azeem *et al.*, 2021).

هیومیک در سال اول با ۸/۹۹ درصد پروتئین دانه را داشت. کمترین پروتئین دانه در تحت ۸۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول ۶/۸۱ درصد مشاهده شد (جدول ۷). راهوما و محمد (Rahouma & Mahmud, 2021) در پژوهشی عنوان کردند مصرف هیومیک اسید تاثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه دارد که با نتایج این مطالعه هم راستا است. محققان

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر سال، آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر پروتئین دانه ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرولیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)		
			۰	۵۰۰	۱۰۰۰
اول	۶۰٪	۰	۷/۷۷ opqr	۸/۴۹ hij	۸/۵۶ efghi
		۶۰	۸/۱۸ nopq	۹/۰۶ a	۷/۹۱ opqr
		۸۰	۸/۱۲ nopq	۸/۹۹ ab	۸/۸ abcd
		۱۰۰	۷/۵۵ qr	۸/۱۱ opq	۷/۷۸ opqr
		۰	۸/۱۲ nopq	۸/۹۴ abc	۸/۲۱ nopq
		۶۰	8 opqr	۸/۷۲ cdef	۸/۰۳ pqr
		۸۰	۸/۲ nopq	۸/۷۹ abcd	۷/۸۱ opqr
	۸۰٪	۱۰۰	۸/۱۷ nopq	۸/۴۹ ghij	۶/۸۱ s
		۰	۷/۳۷ rs	۸/۰۹ nopq	۸/۰۸ nopq
		۶۰	۷/۶۳ nopqr	۸/۵۴ fghij	۸/۴۵ ghijk
		۸۰	۷/۷ pqr	۸/۷۷ abcde	۸/۳۶ ijklm
		۱۰۰	۷/۶۳ nopqr	۸/۰۸ opq	۸/۰۱ pqr
		۰	۸/۱۴ opq	۸/۴۳ hijkl	۷/۸۸ opqr
		۶۰	۸/۳۵ ijklm	۷/۹ pqr	۷/۸۹ pqr
دوم	۶۰٪	۸۰	۸/۱۹ nopq	۸/۶۴ defg	۷/۹۶ opqr
		۱۰۰	۸/۷۴ def	۸/۴۱ ijkl	۷/۶۱ opqr
		۰	۸/۰۱ nopqr	۸/۴۷ hijk	۷/۸۸ pqr
		۶۰	۷/۹۱ opqr	۸/۳۳ klm	۸/۲۹ jklmn
		۸۰	۸/۰۶ nopq	۸/۶ fgh	۸/۲۹ lmn
		۱۰۰	۸/۲۴ mnop	۸/۲۹ lmn	۷/۵۵ qr
	۸۰٪	۰	۷/۵۸ pqr	۷/۹۷ pqr	۸/۱ opq
		۶۰	۸/۰۲ opqr	۸/۴۷ hijk	۸/۰۲ opqr
		۸۰	۸/۲ nopq	۸/۳۸ jkl	۷/۹۶ opqr
		۱۰۰	۸/۲۶ mno	۸/۱۹ nopq	۷/۹ pqr

در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

نتیجه گیری

دانه منجر شد؛ هرچند در سطوح بالاتر نانو نقره (۸۰ و ۱۰۰ میکرولیتر) در برخی موارد روند افزایشی متوقف یا معکوس شد که نشان‌دهنده اثر غلظت و تعامل آن با تنش رطوبتی است. از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به بررسی یک رقم ذرت در یک منطقه خاص با شرایط اقلیمی مرطوب و خاک لوم رسی اشاره کرد که تعمیم نتایج را محدود می‌کند. همچنین، اثرات تجمع نانو نقره در خاک و گیاه و پیامدهای زیست‌محیطی آن بررسی نشده است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود آزمایش در مناطق مختلف اقلیمی و در چند سال متوالی تکرار شود تا پایداری و قابلیت تعمیم نتایج بررسی گردد. همچنین، مطالعه اثرات بلندمدت نانو ذرات بر خاک، بررسی اقتصادی مصرف آن‌ها، و تحلیل زیست‌محیطی ضروری به نظر می‌رسد.

نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در سال اول و در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) به همراه مصرف ۶۰ میکرولیتر در لیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید به میزان ۲۶۲۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در مقابل، کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی، بدون مصرف نانو نقره و با مصرف ۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۱۸۰۹۹ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد نانو ذرات نقره و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت داشته باشد. به‌ویژه، استفاده از ۶۰ میکرولیتر بر لیتر نانو نقره همراه با ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید، در سطوح مختلف آبیاری، به افزایش عملکرد

REFERENCES

- Abdel-Azeem, A., Nada, A. A., O'Donovan, A., Thakur, V. K., & Elkelish, A. (2020). Mycogenic silver nanoparticles from endophytic *Trichoderma atroviride* with antimicrobial activity. *Journal of renewable Materials*, 8(2), 171-185.
- Abu-Ria, M. E., Elghareeb, E. M., Shukry, W. M., Abo-Hamed, S. A., & Ibraheem, F. (2024). Mitigation of drought stress in maize and sorghum by humic acid: differential growth and physiological responses. *BMC Plant Biology*, 24(1), 514.
- Ahmed, S., Kalhoro, S. A., Ahmed, B., Sarfaraz, Q., Rodeni, M. A., Hameed, K., & Ullah, S. (2024). Impact of Humic Acid on the Morphological Components and Growth Parameters of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Under Dry Climate of Uthal. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 5(02), 226-236.
- Alsudays, I. M., Alshammary, F. H., Alabdallah, N. M., Alatawi, A., Alotaibi, M. M., Alwutayd, K. M., ... & Awad-Allah, M. M. (2024). Applications of humic and fulvic acid under saline soil conditions to improve growth and yield in barley. *BMC Plant Biology*, 24(1), 191.
- Azeem, K., Naz, F., Jalal, A., Galindo, F. S., Teixeira Filho, M. C., & Khalil, F. (2021). Humic acid and nitrogen dose application in corn crop under alkaline soil conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(10), 657-663.

- Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., ... & Liu, Z. (2022). Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management*, 263, 107447.
- Faostat, F. A. O. (2023). Production crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data.QC> [URL].
- Fathi, A., Barari Tari, D., Fallah Amoli, H., & Niknejad, Y. (2020). Study of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in corn production systems: influence of different tillage systems and use of fertilizer. *Communications in soil science and plant analysis*, 51(6), 769-778.
- Gautam, R. K., & Navaratna, D. (2021). Humic Substances: Its Toxicology, Chemistry and Biology Associated. In Humic Substances (pp. 97-110). *IntechOpen* London.
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of plant Nutrition*, 46(9), 2198-2230.
- Guo, Y., Ma, Z., Ren, B., Zhao, B., Liu, P., & Zhang, J. (2022). Effects of humic acid added to controlled-release fertilizer on summer maize yield, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emission. *Agriculture*, 12(4), 448.
- Hafeez, A., Ali, B., Javed, M. A., Saleem, A., Fatima, M., & Soudy, F. A. (2023). Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics-assisted breeding. *Planta*, 258(5), 97.
- Hemati, A., Alikhani, H. A., Ajdanian, L., Babaei, M., Asgari Lajayer, B., & van Hullebusch, E. D. (2022). Effect of different enriched vermicomposts, humic acid extract and indole-3-acetic acid amendments on the growth of Brassica napus. *Plants*, 11(2), 227.
- Jackson, M. L. (1958). Soil chemical analysis.,(Constable & Co Ltd: London). pp: 183-192.
- Janeeshma, E., Habeeb, H., Shackira, A. M., Sinisha, A. K., Mirshad, P. P., Khoshru, B., ... & Mitra, D. (2024). Strigolactone and analogues: a new generation of plant hormones with multifactorial benefits in environmental sustainability. *Environmental and Experimental Botany*, 105775.
- Jing, J., Zhang, S., Yuan, L., Li, Y., Chen, C., & Zhao, B. (2022). Humic acid modified by being incorporated into phosphate fertilizer increases its potency in stimulating maize growth and nutrient absorption. *Frontiers in Plant Science*, 13, 885156.
- Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., ... & Tan, D. (2019). Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Scientific reports*, 9(1), 12014.
- Liu, M., Wang, C., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Applied soil ecology*, 142, 147-154.
- Maroufpoor, S., Bozorg-Haddad, O., Maroufpoor, E., Gerbens-Leenes, P. W., Loáiciga, H. A., Savic, D., & Singh, V. P. (2021). Optimal virtual water flows for improved food security in water-scarce countries. *Scientific Reports*, 11(1), 21027.

- Martin, D. L., Stegman, E. C., & Fereres, E. (1990). Irrigation scheduling principles. *IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990.* p 155-203.
- Masood, S., Khan, N. R., Fayyaz, M., Qayum, M., Khatoon, A., & Jamil, M. (2025). Synthesis of Plant-Derived Smoke-Mediated Silver Nanoparticles and its Stimulatory Effects on Maize Growth Under Wastewater Stress. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(1), 65-75.
- Moustafa-Farag, M., Mohamed, H. I., Mahmoud, A., Elkelish, A., Misra, A. N., Guy, K. M., ... & Zhang, M. (2020). Salicylic acid stimulates antioxidant defense and osmolyte metabolism to alleviate oxidative stress in watermelons under excess boron. *Plants*, 9(6), 724.
- Nasiri, Y. (2022). Evaluation of organic and biofertilizer inputs application on yield, yield components and essential oil content of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 32(2), 97-113. (In Persian).
- Nasiroleslami, E., Mozafari, H., Sadeghi-Shoae, M., Habibi, D., & Sani, B. (2021). Changes in yield, protein, minerals, and fatty acid profile of wheat (*Triticum aestivum* L.) under fertilizer management involving application of nitrogen, humic acid, and seaweed extract. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 2642-2651.
- Nasrollahzade Asl, V., S. Moharramnejad, M. Yusefi, A. Bandehhagh, and L. Ibrahimi. 2017. Evaluation of Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.) Hybrides Under Water Limitation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 27(2), 85-96. (In Persian).
- Nassar, M. A. A., & Al-Qaltaqge, O. T. (2022). Relationship of Irrigation Intervals, Silicon, and Nano-Silver to Maize Productivity Under Soil Affected by Salinity. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*, 13(1), 49-56.
- Nassiri Mahallati, M., Bahamin, S., Fathi, A., & Beheshti, S. A. (2022). The effect of drought stress on yield and yield components of maize using meta-analysis method. *Applied Field Crops Research*, 35(1), 53-35. (In Persian).
- Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Khoshravesh, M., & Azamathulla, H. M. (2021). Improving rice water productivity using alternative irrigation (case study: north of Iran). *Water Supply*, 21(3), 1216-1227.
- Prakoso, T., Sulistyaningsih, E., & Purwanto, B. H. (2020). Effect of humic acid on the growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) cultivars on andisol. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 5(1), 25-34.
- Rahouma, A., & Mahmud, A. (2021). Maize growth and yield response to different rates of humic acid and zinc. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42(4), 823-829.
- Rajput, P., Kumar, P., Priya, A. K., Kumari, S., Shiade, S. R. G., Rajput, V. D., ... & Rensing, C. (2024). Nanomaterials and biochar mediated remediation of emerging contaminants. *Science of The Total Environment*, 916, 170064.
- Rekaby, S. A., Al-Huqail, A. A., Gebreel, M., Alotaibi, S. S., & Ghoneim, A. M. (2023). Compost and humic acid mitigate the salinity stress on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd L.) and improve some sandy soil properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2651-2661.

- Sauberlich, H. E., Chang, W. Y., & Salmon, W. D. (1953). The amino acid and protein content of corn as related to variety and nitrogen fertilization. *The Journal of nutrition*, 51(2), 241-250.
- Savarese, C., Cozzolino, V., Verrillo, M., Vinci, G., De Martino, A., Scopa, A., & Piccolo, A. (2022). Combination of humic biostimulants with a microbial inoculum improves lettuce productivity, nutrient uptake, and primary and secondary metabolism. *Plant and Soil*, 481(1), 285-314.
- Shiade, S. R. G., Fathi, A., Rahimi, R., & DahPahlavan, S. (2024a). Crop Adaptation to Climate Change: Improvements in Photosynthesis. In *Handbook of Photosynthesis* (pp. 676-684). CRC Press.
- Shiade, S. R. G., Rahimi, R., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Fazeli, A., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2024b). Enhancing seed germination under abiotic stress: exploring the potential of nano-fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(3), 5319-5341.
- Siddiqi, K. S., & Husen, A. (2016). Engineered gold nanoparticles and plant adaptation potential. *Nanoscale research letters*, 11, 1-10.
- Sigamoney, M., Shaik, S., Govender, P., & Krishna, S. B. N. (2016). African leafy vegetables as bio-factories for silver nanoparticles: a case study on *Amaranthus dubius* C Mart. Ex Thell. *South African Journal of Botany*, 103, 230-240.
- Soliman, M., Qari, S. H., Abu-Elsaoud, A., El-Esawi, M., Alhaithloul, H., & Elkelish, A. (2020). Rapid green synthesis of silver nanoparticles from blue gum augment growth and performance of maize, fenugreek, and onion by modulating plants cellular antioxidant machinery and genes expression. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 1-16.
- Tadayyon, A., & Beheshti, S. (2016). Effect of foliar applications of humic acid, Iron and Zinc on some characteristics of negro (*Guizotia abyssinica* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*.38:283-296. (In Persian).
- Terán-Samaniego, K., Robles-Parra, J. M., Vargas-Arispuro, I., Martínez-Téllez, M. Á., Garza-Lagler, M. C., Félix-Gurrola, D., ... & Espinoza-López, P. C. (2025). Agroecology and Sustainable Agriculture: Conceptual Challenges and Opportunities—A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 17(5), 1805.
- Wulandari, P., Sulistyaningsih, E., Handayani, S., & Purwanto, B. H. (2019). Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) on acid soil to different rates of humic acid and NPK fertilizer. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(2), 76-84.
- Wyszkowski, M., Kordala, N., & Brodowska, M. S. (2023). Trace element content in soils with nitrogen fertilisation and humic acids addition. *Agriculture*, 13(5), 968