

خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و جذب عناصر غذایی گیاه تریتیکاله در حضور نیکل تحت تأثیر کاربرد برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی خاک

چکیده

به منظور بررسی اثرات اصلاح‌کننده‌های مختلف خاک از جمله کمپوست زباله شهری، زغال زیستی حاصل از آن و بنتونیت در حضور آلاینده نیکل بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و جذب عناصر غذایی دانه گیاه تریتیکاله، آزمایشی بصورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: نیکل در سه سطح: شاهد (بدون کاربرد نیکل)، ۱۵۰ میلی گرم نیکل بر کیلوگرم خاک و ۳۰۰ میلی گرم نیکل بر کیلوگرم خاک تامین شده از منبع نیکل کلرید و اصلاح‌کننده‌های خاک در ۷ سطح: شاهد، کمپوست زباله شهری، زغال زیستی، بنتونیت، بنتونیت و زغال زیستی، بنتونیت و کمپوست زباله شهری، زغال زیستی و کمپوست زباله شهری هر کدام در سطح ۲ درصد وزنی بود. نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر صفات مورفولوژیکی معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته (۸۰/۲۹ سانتیمتر) مربوط به استفاده از کمپوست زباله شهری بود. همه صفات مرتبط با عملکرد گیاه تحت تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفت. بالاترین عملکرد دانه گیاه تریتیکاله (۱/۸۶ گرم در بوته) با کاربرد کمپوست زباله شهری بدست آمد. همه عناصر غذایی دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهمکنش نیکل و اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفتند. بالاترین مقدار فسفر دانه (۰/۲۹ درصد) با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیکل توأم با کاربرد بنتونیت و زغال زیستی حاصل شد. بیشترین غلظت روی دانه با میانگین ۴۹/۸ و منگنز دانه با میانگین ۳۸/۳ میلی گرم بر کیلوگرم در شرایط عدم کاربرد نیکل و افزودن زغال زیستی حاصل شد.

واژگان کلیدی: بنتونیت، روی، فسفر، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده

Morphological Traits, Seed Yield and Seed Nutrient Absorption of Triticale Plants in the Presence of Nickel with Application of Some Organic and Inorganic Soil Amendments

Abstract

In order to investigate the effects of various soil amendments, including municipal waste compost its biochar and bentonite in the presence of pollutant nickel, on morphological characteristics, yield, and nutrient absorption of triticale seeds, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 3 replicates in the research greenhouse of the College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University. Experimental factors included: Nickel at three levels: control (no nickel application), 150 mg nickel/kg soil, and 300 mg nickel/kg soil supplied from a nickel chloride source, and soil amendments at seven levels: control, municipal waste compost, biochar, bentonite, bentonite and biochar, bentonite and municipal waste compost, biochar, and municipal waste compost, each at a level of 2% by weight. The results showed that the effect of different levels of soil amendments on morphological traits was significant. The highest plant height (80.29 cm) was related to the use of municipal waste compost. The highest seed yield of triticale (1.86 g/plant) was obtained with the application of municipal waste compost. All seed nutrients were affected by the interaction of nickel and soil amendments at the 1% probability level. It was interesting that, the highest seed phosphorus content (0.29%) was obtained with the application of 300 mg of nickel combined with the application of bentonite and biochar. The highest seed zinc concentration with an average of 49.8 mg/kg and seed manganese with an average of 38.3 mg/kg were obtained in the absence of nickel and the addition of biochar.

Key Words: Bentonite, Biological yield, Phosphorous, Seed yield, zinc

EXTENDED ABSTRACT

Background and objectives:

Nickel is one of the heavy metals that, although beneficial to plants in very small amounts, it is toxic to plants in high concentrations. Municipal waste compost and other organic soil amendments such as biochar provide some of the nutrients needed by plants, prevent soil erosion, increase beneficial soil microorganisms, reduce the need for chemical fertilizers and pesticides, improve the physical and biological condition of the soil, help eliminate municipal

waste, and subsequently eliminate environmental pollution. The present study aimed to investigate the effects of bentonite, municipal waste compost, and resulting biochar on the yield, morphological characteristics, and nutrient uptake of triticale in the presence of nickel metal.

Materials and methods:

In order to investigate the effects of various soil amendments, including municipal waste compost and the resulting biochar in the presence of nickel, on morphological characteristics, yield, and nutrient absorption of triticale seeds, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 3 replicates in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University. Experimental factors included: Nickel at three levels: control (no nickel application), 150 mg nickel/kg soil, and 300 mg nickel/kg soil supplied from a nickel chloride source, and soil amendments at seven levels: control, municipal waste compost, biochar, bentonite, bentonite and biochar, bentonite and municipal waste compost, biochar, and municipal waste compost, each at a level of 2% by weight.

Results:

The results showed that the effect of different levels of soil amendments on morphological traits was significant. The highest leaf dry weight was obtained from the application of municipal waste compost without nickel addition. Among the soil amendments the use of municipal waste compost resulted in the highest plant height (80.29 cm) was related to. All traits related to plant yield were affected by the application of soil amendments. The highest seed yield of triticale (1.86 g/plant) was obtained with the application of municipal waste compost. All seed nutrients were affected by the interaction of nickel and soil amendments at the 1% probability level. The highest seed phosphorus content (0.29%) was obtained with the application of 300 mg of nickel combined with the application of bentonite and biochar. The highest seed zinc concentration with an average of 49.8 mg/kg and seed manganese with an average of 38.3 mg/kg were obtained in the absence of nickel and the addition of biochar, and the zinc concentration in the seed decreased with increasing nickel content. The results of correlation analysis showed that there was a positive and significant correlation between seed yield and all yield-related traits except harvest index. Among the studied elements, seed yield was only positively and significantly correlated with seed copper.

Conclusion:

Based on the findings, it can be stated that morphological traits and yield were affected by the application of soil amendments. The highest seed yield of triticale was obtained under the municipal waste compost treatment, which increased seed yield compared to the control treatment. Based on the results of the experiment, all the nutrients in triticale seed were significantly affected by different levels of soil amendments. Finally, it can be stated that the level of 300 mg of nickel chloride significantly reduced the morphological traits of triticale, and the use of municipal waste compost in the presence of high levels of nickel improved the morphological traits.

Author Contributions

Z. J: Data preparation, Software, Formal Analysis, Results Interpretation, Investigation. A. B: Supervision, Data Analysis, Editing, Final Revision. E. B: Consultation. H.B: consultation, Editing, Methodology M.N.G: Methodology, Consultation, Editing.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, informed consent, misconduct, data fabrication and/or falsification, double publication and/or submission, and redundancies have been completely observed by the authors.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) (X) به عنوان یک گیاه دو منظوره از تلاقی گندم (*Triticum aestivum* L.) و چاودار (*Secale cereal* L.) به دست آمده است، که به دلیل تولید زیست بوده بیشتر، کیفیت غذایی بالا و همچنین مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، برای کاشت در مناطق بایر و جاشیه‌ای که عمق خاک برای گندم مطلوب نبوده و زمستان شدیدی دارد، مناسب است (Karagoz et al., 2019). کیفیت علوفه تریتیکاله نسبت به جو و گندم بالاتر است و این گیاه بصورت عمده در تغذیه دام و طیور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مزیت به دلیل دارا بودن میزان بالای اسید آمینه لایسین، اسید آمینه گوشت ساز نسبت به چاودار و گندم و قابلیت گوارش بالای آن برای انواع دام می‌باشد (Khalid et al., 2023). تریتیکاله گیاهی است که به دلیل شباهت زیاد آن به گندم همواره از جنبه‌های مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرد (Vieira et al., 2022; Wan et al., 2022; Filip et al., 2023). بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) در سال ۲۰۲۰، سطح زیر کشت تریتیکاله در جهان ۳ میلیون و ۸۱۶ هزار هکتار و میزان تولید سالانه آن نزدیک به ۱۵ میلیون تن دانه بوده است (FAOSTAT, 2022).

پیشینه پژوهش

برخلاف سایر فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، جیوه و نقره، نیکل در مقادیر بسیار کم از عناصر ضروری گیاهان محسوب می‌شود. این عنصر جزء فلزی آنزیم اوره آز است و مقادیر کمی از آن (۰/۰۱ تا ۵ میکروگرم در گرم) در وزن خشک، برای برخی از گونه‌های گیاهی ضروری است (Seregin and Kozhevnikova, 2006). مطالعات نشان داده‌اند که گیاه تریتیکاله، مانند والدین خود یعنی گندم (*Triticum aestivum*) و چاودار (*Secale cereale*)، نسبت به نیکل حساس است و غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل قابل جذب در خاک، می‌تواند موجب کاهش رشد، اختلال در جذب عناصر غذایی، و تخریب ساختار کلروپلاستی شود. همچنین، تجمع نیکل بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در اندام‌های هوایی گیاه معمولاً با بروز علائم سمیت همراه است (Kabata-Pendias, 2011; Yadav, 2010). در اراضی کشاورزی ایران بویژه مناطق مرکزی، به علت وجود مقادیر قابل توجه آهک، بالا بودن pH و قلیایی بودن خاک، احتمال کمبود نیکل وجود دارد. در شرایط معمول، خاک‌ها کمبود نیکل ندارند، اما این کمبود می‌تواند در اثر کاربرد بیش از حد کودهای حاوی مس، روی و اکسید منیزیم و شرایط نامناسب رشد حاصل شود (احمد زاده، ۱۳۹۳). در عصر حاضر، روش‌های مختلفی برای پالایش خاک آلوده به فلزات سنگین ابداع شده است، اما اکثر روش‌ها پرهزینه و زمانبر هستند. بتونیت، زغال زیستی و کمپوست اخیراً به دلیل هزینه نسبتاً کم و ظرفیت جذب زیاد، به عنوان جاذب

مناسب در پالایش خاک‌های آلوده استفاده می‌شوند (Boostani et al., 2025). بنتونیت به علت دارا بودن بار الکتریکی منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mi et al., 2021). تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن بنتونیت به خاک می‌تواند تغییرات شیمیایی و میکروبی مناسبی را در خاک‌های شنی در کشت ذرت به وجود آورد (Zhang et al., 2020). (Rathor et al., 2014) با افزودن سطوح مختلف نیکل در محلول غذایی و گلدان پی بردند که تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل در لیتر، سبب کاهش وزن خشک ذرت شد اما در خاک‌های تیمار شده کاربرد ۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک سبب کاهش وزن خشک ذرت گردید و در سطوح بالاتر نشانه‌های کلروز در اندام هوایی مشاهده شد. مصرف کمپوست، علاوه بر افزایش رشد، عملکرد و اجزای آن در گندم، سبب افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش کاربرد کودهای شیمیایی می‌شود (Abdel-Fattah and Merwad, 2015). (Phullan et al., 2017) نیز به این نتیجه رسیدند که کاربرد کمپوست همراه با کودهای شیمیایی، باعث افزایش عملکرد و مقدار جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه گندم شد. همچنین، امروزه استفاده از زغال زیستی به عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک رو به افزایش است. زغال زیستی، یک ماده آلی حاصل گرماکافت زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن است که می‌تواند به عنوان یکی از اصلاح‌کننده‌های خاک در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (یکزبان و همکاران، ۱۴۰۲). میزان تأثیر زغال زیستی بر عملکرد محصول بستگی به ویژگی‌های خاک، نوع و مقدار زغال زیستی مصرفی دارد (Boostani et al., 2025). (Keller et al., 2023) در یک مطالعه میدانی دو ساله در یک خاک لومی شنی برای ارزیابی اثرات زغال زیستی بر کیفیت خاک و رشد و عملکرد لوبیا چیتی و سورگوم انجام دادند و نشان دادند زغال زیستی به مقدار ۱۱/۲ میلی‌گرم در هکتار در سال اول حفظ رطوبت خاک پس از آبیاری را ۱۹ درصد و در سال دوم ۲۵ درصد بهبود بخشیده است. بنتونیت رس بسیار ارزان با قابلیت جذب فلزات سنگین و یکی از سوپر جاذب‌های طبیعی است که از ظرفیت جذب آب نسبتاً بالایی برخوردار است و همچنین از شسته شدن مواد معدنی در خاک جلوگیری کرده و به حاصلخیزی خاک کمک می‌کند (Tas and Tas, 2007). در مطالعه‌ای محمدی فرد و مقدم (۱۴۰۰) نشان دادند که کاربرد ۵۰ گرم در کیلوگرم بنتونیت باعث کاهش اثرات تنش رطوبتی در گیاه مرزه شده است. با وجود مطالعات فراوان در این زمینه تأثیر تلفیقی اصلاح‌کننده‌های آلی و بنتونیت در گیاه تربیتکاله مورد مطالعه قرار نگرفته است، بنابراین در پژوهش حاضر بررسی کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف آلی و معدنی مانند کمپوست زباله شهری و زغال زیستی حاصل از آن و بنتونیت بر عملکرد، خصوصیات مورفولوژیک، و جذب عناصر غذایی دانه گیاه تربیتکاله در سطوح مختلف نیکل مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش فرض بر این است که کاربرد کمپوست زباله شهری، بنتونیت، زغال زیستی و یا ترکیبی از آنها با تأثیر بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و غیرمتحرک کردن نیکل می‌تواند میزان جذب این عنصر توسط ریشه گیاه را تحت تأثیر قرار داده و همچنین این اصلاح‌کننده‌های خاک با ایجاد تغییرات در میزان جذب عناصر غذایی کم‌مصرف، عملکرد تربیتکاله را نیز بهبود بخشد.

روش شناسی پژوهش

در آغاز تحقیق و قبل از کاشت، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مورد نیاز با استفاده از مته، نمونه‌برداری مرکب صورت گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک پیش از انجام آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
شن	درصد	۵۳/۷۲
سیلت	درصد	۲۴/۳۲
رس	درصد	۲۱/۹۶
pH		۷/۹
ظرفیت تبادل کاتیونی	سانتی مول بار بر کیلوگرم	۱۲/۲
ماده آلی	درصد	۰/۶۸
قابلیت هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۰/۹۶
اسیدیته گل اشباع		۷/۶۳
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۱
پتاسیم قابل استفاده	درصد	۱۴۰
آهن قابل استفاده	میلی گرم در کیلوگرم	۰/۴۰۲
منگنز قابل استفاده	میلی گرم در کیلوگرم	۱/۷۶۸
مس قابل استفاده	میلی گرم در کیلوگرم	۰/۹۰۴
روی قابل استفاده	میلی گرم در کیلوگرم	۰/۱۶۴

بعد از این که نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل شد هوا خشک شده و بعد از عبور از الک دو میلی متری خصوصیات مختلف خاک از قبیل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، pH، درصد رس، سیلت و شن (بافت خاک) و همچنین قابلیت استفاده فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کمپوست و زغال زیستی حاصل از آن

ویژگی کمپوست	مقدار	ویژگی زغال زیستی	مقدار	واحد
فسفر کل	۲۹۰۰/۳۱	فسفر کل	۴۲۰۰/۹۶	میلی گرم در کیلوگرم
آهن کل	۱۶۳۲/۷	آهن کل	۱۷۵۷/۴	میلی گرم در کیلوگرم
منگنز کل	۱۰۶/۶	منگنز کل	۱۸۲/۲	میلی گرم در کیلوگرم
مس کل	۷۱/۶۵	مس کل	۱۷۱/۹۵	میلی گرم در کیلوگرم
روی کل	۱۵۸۵/۴	روی کل	۱۵۹۲/۶۵	میلی گرم در کیلوگرم
پتاسیم کل	۷۸۳۱/۶	پتاسیم کل	۱۶۹۸/۵۹	میلی گرم در کیلوگرم
سدیم کل	۳۹۳۷/۵	سدیم کل	۷۳۷۵/۵	میلی گرم در کیلوگرم
نیکل کل	۱۳/۹۵	نیکل کل	۲۱/۳	میلی گرم در کیلوگرم
ظرفیت تبادل کاتیونی	۴۰/۳	ظرفیت تبادل کاتیونی	۱۸/۰	میلی اکی والان درصد گرم وزن خشک

تهیه زغال زیستی از کمپوست زباله شهری در شرایط اکسیژن محدود در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کمپوست زغال زیستی به مدت ۴ ساعت انجام گرفت. تیمارهای کمپوست و زغال زیستی زباله شهری به صورت ۲ درصد وزنی به میزان ۱۰۰ گرم به گلدان‌ها اضافه شد. برای تهیه کمپوست، ۲ کیلوگرم از کمپوست زباله شهری به مدت ۲ روز در فضای باز خشک و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست و زغال زیستی نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که در جدول ۲ آورده شده است. این آزمایش به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی اجرا شد. تیمارها در این پژوهش شامل:

عامل اول: کلرید نیکل (NiCl_2) در سه سطح: شاهد (N_0)، ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک (N_1)، ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک (N_2)

عامل دوم: تیمارهای اصلاح کننده خاک در ۷ سطح: شاهد (T_0)، کمپوست زباله شهری (T_1)، زغال زیستی (T_2)، بنتونیت (T_3)، بنتونیت + زغال زیستی (T_4)، بنتونیت + کمپوست زباله شهری (T_5)، زغال زیستی + کمپوست زباله شهری (T_6). این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، واقع در ۷ کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا و در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. در این آزمایش بذر تریتیاله رقم هاشمی در زمستان ۱۴۰۲ در گلدان‌هایی حاوی ۲ کیلوگرم خاک که طبق طرح آزمایشی با مواد آلی مختلف تیمار شده بودند در عمق حدود ۲ سانتی متری خاک کشت گردید. در هر گلدان در ابتدا ۵ بوته وجود داشت که به ۳ بوته تنک گردید. در طول فصل رشد محتوی رطوبت خاک گلدان‌ها بر اساس تیمارهای آزمایش توسط روش وزنی در حدود ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بصورت روزانه کنترل شد.

پس از رسیدگی فیزیولوژیک و برداشت گیاه، ۲ بوته به طور تصادفی از هر گلدان انتخاب و ارتفاع بوته برحسب سانتیمتر به وسیله خط کش اندازه گیری شد. وزن تر اندام‌های هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه گردید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های اندام‌های هوایی در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و توزین گردیدند. صفات مختلف مانند تعداد سنبله‌چه، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. عملکرد دانه در گلدان از طریق توزین نهایی عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) در یک گلدان اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد کل ماده خشک (عملکرد زیست توده)، ۲ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید و وزن تر بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های مذکور به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد در آون خشک گردید. سپس وزن خشک بوته‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از تناسب، وزن خشک کل به دست آمد و به عنوان عملکرد زیست توده ثبت شد. شاخص برداشت از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Reeve et al., 2010).

پس از برداشت اندام هوایی و دانه تریتیاله، ماده خشک اندام هوایی و دانه توسط آسیاب برقی پودر شده و سپس ۶ گرم از آن در کوره الکتریکی با دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد، خاکستر و بعد از حل در اسید کلریدریک ۲ نرمال از کاغذ صافی عبور داده شد و بعد توسط آب مقطر به حجم رسانده شد. در عصاره حاصل، غلظت عناصر فسفر، منگنز، مس، روی و نیکل به وسیله دستگاه جذب اتمی (AAS؛ PG 990 PG Instruments Ltd. UK) در دانه گیاه اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر غذایی در دانه (میلی گرم در لیتر) از حاصلضرب وزن خشک در غلظت (درصد) آنها محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد. نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت و میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تأثیر اصلاح کننده‌های آلی و معدنی خاک بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تریتیاله در سطوح مختلف نیکل

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد نیکل و اصلاح کننده‌های خاک بر ویژگی‌های مختلف مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تریتیاله در جدول ۳ نشان داده شده است. وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات اصلی کلرید نیکل، اصلاح کننده‌های خاک و برهمکنش اصلاح کننده‌های خاک و کلرید نیکل قرار گرفت. ارتفاع بوته در سطح یک درصد تحت تأثیر سطوح مختلف کلرید نیکل و اصلاح کننده‌های خاک قرار گرفت ولی اثر برهمکنش این دو عامل بر ارتفاع بوته معنی دار نشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس در این آزمایش نشان داد که اصلاح کننده‌های خاک، وزن هزار دانه را بطور معنی داری ($p \leq 0.05$) تحت تأثیر قرار داد. اثر نیکل و برهمکنش نیکل با اصلاح کننده‌های خاک بر این صفت معنی دار نبود. همچنین تعداد دانه در بوته تحت تأثیر هیچکدام از اثرات اصلی و برهمکنش تیمارهای مورد مطالعه قرار نگرفت. اثر اصلی اصلاح کننده‌های خاک بر عملکرد دانه تریتیاله بسیار معنی دار بود ($p \leq 0.01$) ولی اثر کلرید نیکل و برهمکنش آن با اصلاح کننده‌های خاک بر این صفت معنی دار نبود.

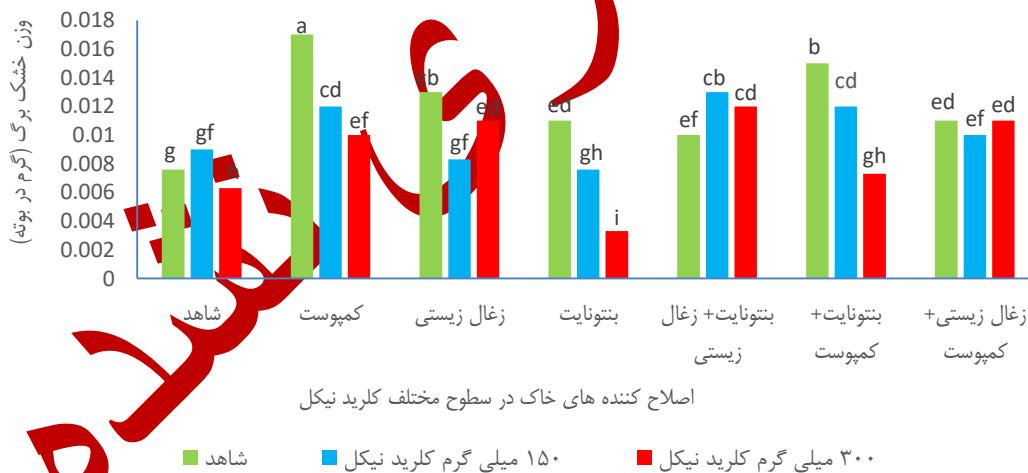
نتایج جدول ۴ نشان دهنده تاثیر معنی دار اصلاح کننده های خاک بر عملکرد زیست توده می باشد. این صفت تحت تاثیر کلرید نیکل و برهمکنش آن با اصلاح کننده های خاک قرار نگرفت. طبق نتایج تجزیه واریانس داده ها، از لحاظ شاخص برداشت بین هیچ کدام از اثرات اصلی و نیز برهمکنش تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات کلرید نیکل و اصلاح کننده های خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد گیاه تربیتکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	ارتفاع بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده
نیکل	۲	۰/۰۰۰۰۶۵**	۲۶/۳۵**	۴۳/۸ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}
اصلاح کننده خاک	۶	۰/۰۰۰۰۴**	۲۰/۱۳**	۱۰۷/۸ [*]	۰/۷۸ ^{**}	۱/۷۴ ^{**}
نیکل × اصلاح کننده خاک	۱۲	۰/۰۰۰۰۱۷**	۵/۶۸ ^{ns}	۱/۲۷ ^{ns}	۰/۰۳۴ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}
خطا	۴۲	۰/۰۰۰۰۱۲	۴/۶۵	۳۶/۴	۰/۱۵	۰/۳۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸۲	۶/۵۶	۱۳/۳۲	۲۴/۹	۲۰/۸۸

** و *: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

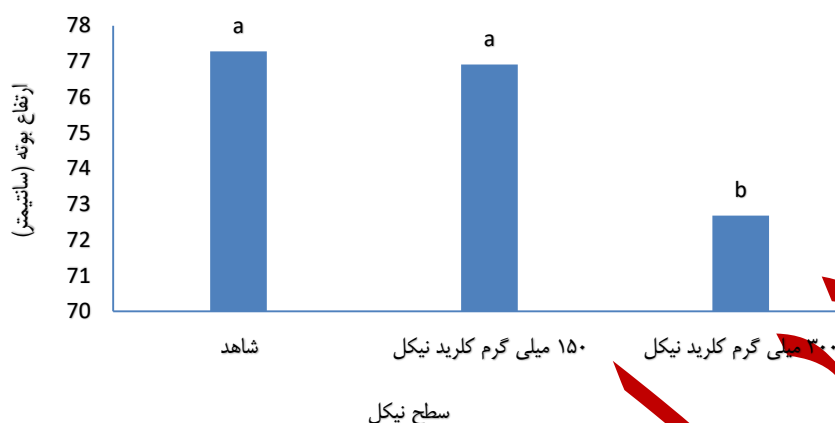
مقایسه میانگین ها نشان داد حداکثر وزن خشک برگ (۰/۰۱۷ گرم در بوته) در اثر کاربرد کمپوست زباله شهری و شرایط عدم وجود کلرید نیکل و حداقل وزن خشک برگ (۰/۰۰۳۳ گرم در بوته) از ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک کلرید نیکل همراه با بنتونیت حاصل شد (شکل ۱). محققین بیان کردند که علت افزایش ماده خشک، وجود شرایط فیزیکی و عوامل تغذیه ای مناسب در محیط کشت در حضور مواد فعال بیولوژیک است (Ibrahim et al., 2010). در تحقیقی (Reeve et al., 2010) اثر کمپوست را در رشد جوانه گندم بررسی کردند و مشاهده نمودند که وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمارهایی که کمپوست دریافت کرده بودند بیشتر بود.



شکل ۱- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح کننده های خاک بر میانگین وزن خشک برگ ستون های دارای حروف مشابه اختلاف معنی داری ($p \leq 0/05$) با یکدیگر ندارند.

مقایسه میانگین سطوح مختلف کلرید نیکل (شکل ۲) نشان داد، بیشترین ارتفاع بوته (۷۷/۲۸ سانتیمتر) مربوط به عدم کاربرد کلرید نیکل (شاهد) بود و با افزایش غلظت کلرید نیکل تا ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم کاهش معنی دار نیافت ولی با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک کلرید نیکل ارتفاع بوته به حداقل مقدار خود (۷۲/۶۸ سانتیمتر) رسید و با تیمار شاهد اختلاف معنی داری نشان داد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین برای سطوح مختلف اصلاح کننده های خاک نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری ارتفاع بوته گیاه تربیتکاله را به حداکثر مقدار خود (۸۰/۲۹ سانتیمتر) رساند که در مقایسه با سایر سطوح اصلاح کننده های خاک به

جز تیمار شاهد و زغال زیستی افزایش معنی‌دار و قابل توجهی نشان داد (جدول ۴). (Ibrahim et al., 2010) نیز گزارش کردند که مصرف کود دامی و کمپوست ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در بوته، طول سنبله و عملکرد کاه و دانه گندم را به طور معنی‌داری افزایش داد. **محمدی کله سرلو (۲۰۲۰)** نشان داد که کاربرد کودهای زیستی، محلول پاشی هیومیک اسید، تنش شوری و برهمکنش توأم این سه عامل بر ارتفاع بوته تربیتکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.



شکل ۲- تاثیر سطوح مختلف کلرید نیکل بر میانگین ارتفاع بوته ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان طول سنبله ($8/61$ سانتیمتر) در اثر کاربرد کمپوست شهری بدست آمد و کمترین طول سنبله ($6/33$ سانتیمتر) مربوط به تیمار بنتونیت بود که اختلاف بین این دو سطح ۲۶ درصد بود. تیمارهای کمپوست و زغال زیستی نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۵ و $3/7$ درصدی نشان دادند و سایر تیمارها نسبت به شاهد کاهش نشان دادند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه تربیتکاله

اصلاح‌کننده‌های خاک	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	وزن هزار دانه (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم در بوته)	عملکرد زیست توده (گرم در بوته)
شاهد	۷۶/۱۷ abc	۴۳/۸۳ b	۱/۶۲ ba	۲/۸۸ ba
کمپوست	۸۰/۲۹ a	۵۲/۱۶ a	۱/۸۶ a	۳/۴ a
زغال زیستی	۷۹/۱۲ ab	۴۶/۶ ba	۱/۸۴ a	۳/۲ ba
بنتونیت	۶۹/۹۲ d	۴۳/۷ b	۱/۰۳ c	۲/۰۳ c
بنتونیت + زغال زیستی	۷۵/۳۹ bc	۴۵/۱ b	۱/۷۴ ba	۳/۰۲ ba
بنتونیت + کمپوست	۷۳/۴۶ cd	۴۱/۰۵ b	۱/۳۷ bc	۲/۷۷ b
زغال زیستی + کمپوست	۴۵/۷۵ e	۴۴/۷ b	۱/۵ ba	۲/۹ ba

اعداد هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، اختلاف آماری معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.

بیشترین میزان وزن هزار دانه ($52/16$ گرم در بوته) در کاربرد کمپوست زباله شهری و کمترین میزان آن ($41/05$ گرم) از کاربرد توأم بنتونیت و کمپوست زباله شهری حاصل شد (جدول ۴). بر اساس یافته‌های (Nazari et al., 2023)، کاربرد توأم ورمی کمپوست، مایکوریزا و محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به ترتیب $61/8$ و $11/44$ درصدی تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تربیتکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد. در واقع افزایش وزن هزار دانه در نتیجه مصرف کود کمپوست بیانگر اثر مثبت کمپوست بر عملکرد دانه، از طریق افزایش مقدار مواد فتوسنتزی ذخیره شده است. افزایش وزن هزار دانه تحت تاثیر تیمارهای ترکیبی به علت فراهمی مناسب عناصر غذایی در طول زمان می‌باشد، به نحوی که گیاه در سراسر فصل رشد دچار محدودیت از حیث عناصر مورد نیاز نمی‌شود.

Javanmard et al., (2016) نشان دادند که محتوای بالای عناصر غذایی رهاسازی شده از کودهای آلی باعث رشد بهتر برگ‌ها و سطوح سبز گیاه شده که با بهبود فتوسنتز، تولید مواد پرورده را افزایش می‌دهد که در نتیجه میانگین وزن دانه و وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Dubey et al., 2022). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تیمار کاربرد کمپوست زباله شهری به بیشترین مقدار خود (۱/۸۶ گرم در بوته) رسید. این تیمار عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد، ۱۵ درصد افزایش داد، هرچند از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۴). (Javanmard et al., (2016) نیز نشان دادند مصرف کمپوست ساده و غنی شده زباله شهری، اثرات بهتری را در افزایش عملکرد و اجزای آن در ذرت بوجود آورد. محمدی کله سرلو (۱۳۹۹) نیز نشان داد که کاربرد کودهای زیستی، محلول پاشی هیومیک اسید، تنش شوری و برهمکنش توام این سه عامل بر عملکرد دانه تریتیاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد تریتیاله در نتیجه مصرف کمپوست می‌تواند ناشی از افزایش ماده آلی و بهبود شرایط فیزیکی از قبیل ساختمان و تهویه خاک و در نتیجه توسعه بیشتر ریشه در خاک، افزایش حاصلخیزی و ظرفیت نگهداری آب خاک، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از این کودها و جذب آنها توسط گیاه به منظور استفاده در فرآیندهای گیاهی باشد (Zemikhael and Dechassa, 2018).

مقایسه میانگین‌ها در این آزمایش نشان داد که افزودن کمپوست زباله شهری به خاک، بیشترین تاثیر را بر عملکرد زیست توده داشته است، بطوریکه بیشترین عملکرد زیست توده (۳/۳۹ گرم در بوته) در این تیمار حاصل شده است (جدول ۴). در پژوهشی گزارش شده است که مصرف توأم کودهای آلی و نیتروژن، عملکرد زیست توده در گندم را نسبت به شاهد افزایش داد (Ahmadinejad et al., 2013). افزایش عملکرد زیست توده تریتیاله تحت تاثیر کاربرد کودهای آلی می‌تواند احتمالا به دلیل افزایش تجزیه زیستی گوگرد در خاک‌های آمکی توسط میکروارگانیسم‌های هتروتروف و محتوای بالای عناصر غذایی در کودهای آلی باشد که به تدریج آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Tamrabet et al., 2009).

تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی خاک بر جذب برخی عناصر غذایی دانه گیاه تریتیاله در سطوح مختلف نیکل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در این آزمایش برای تجزیه و تحلیل عناصر غذایی جذب شده نشان داد که اثر عامل نیکل، اصلاح‌کننده‌های خاک و برهمکنش نیکل و اصلاح‌کننده‌های خاک بر روی جذب تمامی عناصر مورد مطالعه شامل فسفر، روی، منگنز، مس و نیکل معنی‌دار شد (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات کلرید نیکل و اصلاح‌کننده‌های خاک بر عناصر غذایی موجود در دانه گیاه تریتیاله

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر دانه	روی دانه	نیکل دانه	منگنز دانه
نیکل	۲	۰/۰۰۴۶**	۱۳۰۶/۲**	۹۷۱/۱**	۱۲/۹۱**
اصلاح‌کننده خاک	۶	۰/۰۰۵۸**	۳۴۱/۳**	۳/۹۳**	۱۵/۴۴**
نیکل × اصلاح‌کننده خاک	۱۲	۰/۰۰۰۵**	۲۷۴/۹**	۳/۵۵**	۱۱/۸۲**
خطا	۴۲	۰/۰۰۰۰۱۷	۹/۹	۰/۱۸	۳/۳۲
error					
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۵۵	۱۲/۷۵	۶/۰۸	۵/۶۱
مس دانه					۲/۹۵**

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که حداکثر مقدار فسفر دانه (۰/۲۹ درصد) در ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی گرم کلرید نیکل و کاربرد توأم بنتونیت و زغال زیستی حاصل شد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. کمترین میانگین فسفر دانه (۰/۲۳ درصد) در حالت عدم حضور کلرید نیکل و کاربرد بنتونیت بدست آمد. (شکل ۳).

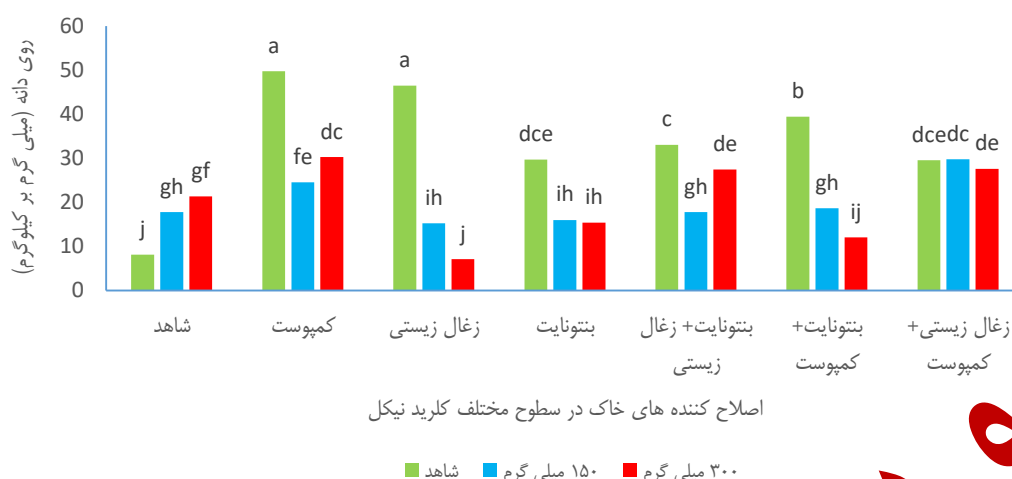
Marjovvi, & Mashayekhi (2020) نشان دادند که افزودن سطوح مختلف لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری به صورت معنی‌داری مقدار فسفر دانه گندم را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. در بررسی (Mamnabi et al., (2020) نیز کاربرد ورمی کمپوست در شرایط خشکی موجب بهبود محتوای فسفر و نیتروژن برگ و در نهایت افزایش عملکرد دانه کلزا شد.



شکل ۳- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح کننده های خاک بر میانگین فسفر دانه ستون های دارای حروف مشابه اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین ها، عدم کاربرد نیکل در حضور زغال زیستی در مقایسه با کاربرد آن در حضور تمامی اصلاح کننده های خاک باعث افزایش جذب روی دانه در تمامی گیاهان مورد مطالعه شد. گیاهان تغذیه شده با کمپوست زباله شهری و زغال زیستی در مقایسه با سایر سطوح اصلاح کننده های خاک، به ترتیب بالاترین غلظت روی دانه (۴۹/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) را داشتند (شکل ۴). در آزمایشی مشابه کاربرد دوساله کمپوست زباله شهری در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی، نیز بیشترین میزان تجمع روی در دانه برنج مشاهده شد (قلی پور، ۱۳۸۹).

نتایج حاصل از این آزمایش در پیمایش مقدار نیکل جذب شده نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری تحت شرایط استفاده از ۳۰۰ میلی گرم کلرید نیکل در کیلوگرم خاک باعث حصول حداکثر مقدار نیکل دانه (۱۵/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) نسبت به عدم استفاده از کلرید نیکل و عدم کاربرد اصلاح کننده های خاک گردید (شکل ۵). در این شرایط، میزان نیکل جذب شده دانه ها نسبت به تیمار شاهد یعنی عدم کاربرد اصلاح کننده های خاک دارای تفاوت معنی داری بود. محرمی (۱۴۰۳) نیز در تحقیقی که در یک کشت گلخانه ای خیار به منظور بررسی اثرات کاربرد کمپوست پسماند های شهری و همچنین کود دامی بر تجمع فلزات سنگین انجام گرفت به این نتیجه رسید که کاربرد این مواد باعث افزایش غلظت کل فلزات سنگینی مانند نیکل کادمیم و سرب هم در خاک و هم در محصول خیار شده است هر چند این افزایش برای سرب و کادمیم بیشتر از نیکل بود. احمدزاده در پژوهشی که بر روی گندم و تریتیکاله انجام داد به این نتیجه رسید که واکنش گندم و تریتیکاله در سطح مشخصی از کمبود نیکل در خاک در این دو گیاه متفاوت است نتایج نشان داد که کمبود نیکل در خاک منجر به افزایش جذب آهن و روی در گندم شد در حالی که کمبود نیکل منجر به کاهش جذب این دو عنصر در تریتیکاله شد. این به این معنی است که در تریتیکاله در سطوح کم نیکل نه تنها رقابتی برای جذب بین روی و آهن و نیکل وجود ندارد بلکه وجود مقادیری از نیکل برای جذب آهن و روی ضروری است (Ahmadzadeh & Khoshgoftarmanesh, 2019).



شکل ۴- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح‌کننده‌های خاک بر میانگین روی دانه ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.



شکل ۵- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح‌کننده‌های خاک بر میانگین نیکل دانه ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.

منگنز دانه

بیشترین میانگین غلظت منگنز در سطوح ۱۵۰ میلی گرم کلرید نیکل و زغال زیستی به میزان ۳۸/۳۲ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین میانگین در سطوح ۱۵۰ میلی گرم کلرید نیکل و بنتونیت توام با زغال زیستی به میزان ۲۸/۳ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۶).

قادری و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که بالاترین مقدار منگنز در دانه گندم با کاربرد ۲۰ تن بر هکتار کمپوست بدست آمد. مواد آلی از جمله کمپوست نقش مهمی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله عناصر کم مصرف ایفا می‌کنند. بدین صورت که اسید هیومیک و فولیک موجود در مواد آلی با کاتیون‌های عناصر کم مصرف، کمپلکس ایجاد کرده و موجب افزایش قابلیت استفاده آنها توسط گیاهان می‌شود. همچنین تجزیه مواد آلی موجب افزایش غلظت گاز کربنیک و به دنبال آن موجب کاهش pH خاک شده و بدین ترتیب غلظت عناصر غذایی کم مصرف در خاک و در نتیجه غلظت این عناصر در اندام‌های گیاهی افزایش می‌یابد (Fernandez et al., 2010).



اصلاح کننده های خاک در سطوح مختلف کلرید نیکل

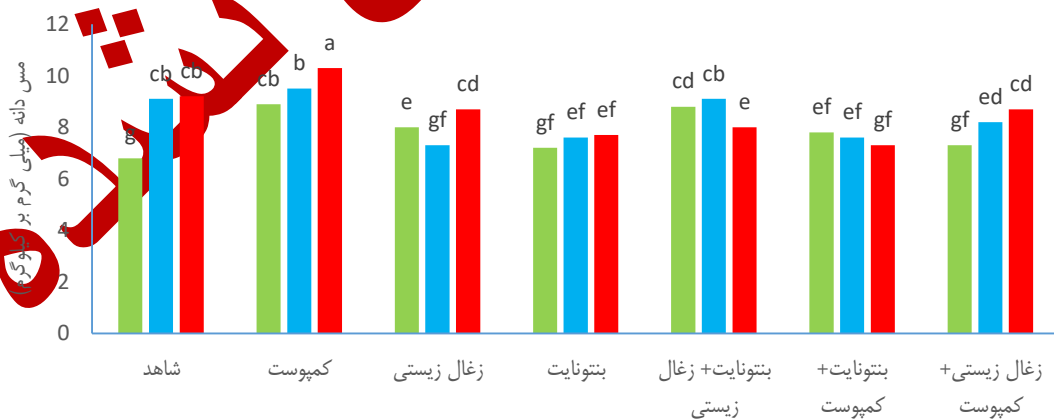
■ شاهد ■ ۱۵۰ میلی گرم کلرید نیکل ■ ۳۰۰ میلی گرم کلرید نیکل

شکل ۶- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح کننده های خاک بر میانگین منگنز دانه ستون های دارای حروف مشابه اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.

مس دانه

مقایسه میانگین های برهمکنش بیانگر این مطلب است که مقادیر بالای کلرید نیکل در ترکیب با کمپوست زباله شهری باعث حصول بیشترین مقدار مس دانه (۱۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم) گردید در حالیکه کمترین مقدار مس دانه (۶/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در شرایط عدم حضور کلرید نیکل و عدم کاربرد اصلاح کننده های خاک بدست آمد که از نظر آماری هم اختلاف معنی داری با سایر ترکیبات تیماری داشت (شکل ۷).

تحقیقات نشان می دهد که کود کمپوست باعث افزایش مقدار و میزان جذب عناصر روی و مس در درجه اول و عناصر آهن و منگنز در درجه دوم می گردد. همچنین غلظت و مقدار جذب عناصر سدیم، پتاسیم، آهن، روی و مس توسط گیاه ذرت از خاک تیمار شده با مقادیر فزاینده کود کمپوست افزایش یافته است (نظام الدینی و همکاران، ۱۳۸۷). براساس یافته های حسین زاده ساداتی (۱۳۹۱) مشخص گردید بیشترین میزان غلظت مس (۱۳/۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در دانه برنج هنگامی بدست آمد که از تیمار کمپوست زباله شهری ۴۰ تن در هکتار در رقم طارم استفاده گردید.



اصلاح کننده های خاک در سطوح مختلف کلرید نیکل

■ شاهد ■ ۱۵۰ میلی گرم کلرید نیکل ■ ۳۰۰ میلی گرم کلرید نیکل

شکل ۷- تاثیر برهمکنش کلرید نیکل و اصلاح کننده های خاک بر میانگین مس دانه ستون های دارای حروف مشابه اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) با یکدیگر ندارند.

آنالیز همبستگی پیرسون

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات در این آزمایش نشان داد که بین عملکرد دانه با همه صفات مرتبط با عملکرد به جز شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). همچنین بین عملکرد زیست توده با کلیه صفات به جز شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد. افزایش هر یک از اجزاء عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه شده است. (Alam et al., 2007) نیز مشابه این نتیجه را تایید می‌کند. بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار ($r = 0.821^{**}$) بین عملکرد دانه با عملکرد زیست توده مشاهده می‌شود. بین شاخص برداشت با هیچ کدام از صفات اجزاء عملکرد همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. وزن هزار دانه فقط با عملکرد زیست توده همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد.

جدول ۶- تجزیه همبستگی بین صفات عملکرد دانه با صفات مورفولوژیک در گیاه تربیتکاله

صفات	عملکرد زیست توده	طول سنبله	تعداد دانه	تعداد سنبله	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	عملکرد دانه
عملکرد زیست توده							
طول سنبله	۰/۷۵۱ ^{**}						
تعداد دانه	۰/۷۷ ^{**}	۰/۵۵ [*]	۱				
تعداد سنبله	۰/۷ ^{**}	۰/۸۵۳ ^{**}	۰/۴۹۵ ^{**}	۱			
وزن هزار دانه	۰/۳ [*]	۰/۱۱	-۰/۱۳۸	۰/۱۲۷	۱		
شاخص برداشت	۰/۰۷۲	-۰/۱۲۵	۰/۱۵	-۰/۱۷۸	-۰/۱۶۱	۱	
عملکرد دانه	۰/۸۲۱ ^{**}	۰/۶۲۵	۰/۷۲۲ ^{**}	۰/۶۷۳ ^{**}	۰/۲۱۸	-۰/۰۳۸	۱

^{**} و ^{*}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

نتیجه‌گیری کلی

ترکیبات آلی با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه بهبود قابلیت استفاده عناصر مختلف می‌توانند سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از طرفی ترکیبات آلی حاوی مقدار مناسب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف هستند که پس از تجزیه به خاک افزوده شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان اظهار داشت که مقادیر ۳۰۰ میلی گرم تیمار نیکل منجر به کاهش صفات گیاهی اندازه‌گیری شده تربیتکاله در این آزمایش شد اما اصلاح‌کننده‌های به کار رفته در این آزمایش مانند کمپوست زباله شهری توانستند تا حدودی این اثرات منفی را کاهش دهند. اثر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر صفات مورفولوژیکی معنی‌دار بود. در بین اصلاح‌کننده‌های خاک، تیمار کمپوست زباله شهری بیشترین تأثیر را بر ارتفاع بوته و وزن خشک برگ گذاشت. صفات عملکرد و اجزاء عملکرد به جز تعداد دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفت. بطوریکه بالاترین عملکرد دانه گیاه تربیتکاله تحت تیمار کمپوست زباله شهری بدست آمد. بر اساس نتایج آزمایش همه عناصر غذایی در دانه تربیتکاله بطور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفتند. به نظر می‌رسد مواد آلی مورد استفاده در این آزمایش از جمله کمپوست زباله شهری و زغال زیستی نقش مهمی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله عناصر کم‌مصرف ایفا نمودند، بدین صورت که اسید هیومیک و فولیک موجود در مواد آلی با کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف، کمپلکس ایجاد کرده و موجب افزایش قابلیت استفاده آنها توسط تربیتکاله شدند. همچنین تجزیه مواد آلی در خاک موجب افزایش غلظت گاز کربنیک و به دنبال آن موجب کاهش pH خاک شده و بدین ترتیب غلظت عناصر غذایی کم مصرف در خاک و در نتیجه غلظت این عناصر در اندام‌های گیاهی افزایش یافت. بنتونیت نیز به عنوان یک ماده معدنی متخلخل با افزایش ظرفیت تبادل یونی در خاک منجر به افزایش جذب عناصر غذایی در تربیتکاله گردید. برهمکنش کلرید نیکل با اصلاح‌کننده‌های خاک اثر بسیار معنی‌داری بر همه عناصر غذایی دانه به ثبت رساند. مس دانه و نیکل دانه در شرایط وجود مقدار حداکثر کلرید نیکل و کاربرد کمپوست زباله شهری به بیشترین مقدار خود رسید. همچنین رقابت بین روی و منگنز با نیکل در دانه گیاه تربیتکاله به خوبی مشاهده شد، بطوریکه بیشترین مقدار روی و منگنز دانه در شرایط وجود ۱۵۰ میلی گرم کلرید نیکل و کاربرد

زغال زیستی حاصل شد و با افزایش نیکل غلظت روی و منگنز در دانه کاهش یافت. بر اساس نتایج جداول همبستگی می‌توان بیان کرد که بین عملکرد دانه با همه صفات عملکردی به جز شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین عملکرد زیست توده با کلیه صفات به جز شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک، از جمله کمپوست و زغال زیستی و ترکیب بنتونیت با زغال زیستی همه صفات مرتبط با عملکرد نسبت با تیمار شاهد افزایش چشمگیری نشان دادند و همچنین بهبود در صفات مورفولوژیکی باعث افزایش عملکرد دانه گردید. همچنین کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک باعث کاهش اثر سمیت کلرید نیکل در بیشتر صفات گردید.

منابع

- احمدزاده، فاطمه. (۱۳۹۳). نقش احتمالی فیتوسیدروفورهای ترشح شده از ریشه بر جذب نیکل توسط گندم و تریپتیکاله، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- حسین زاده ساداتی، سیده زهرا (۱۳۹۱). تاثیر باقیمانده کودهای آلی (کمپوست، ورمی کمپوست و لجن فاضلاب) بر میزان جذب عناصر غذایی، شاخص‌های رشد و عملکرد ارقام مختلف برنج (*Oryza sativa*)، *پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته زراعت*، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.
- قادری، جمال؛ نعمتی، عبالرضا، و شریعتمداری، مهدی. (۱۳۹۸). تاثیر کمپوست زباله شهری و کودهای شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گندم آبی (*Triticum aestivum* L) رقم بهار. *بوم‌شناسی کشاورزی*. ۱۱(۴)، ۱۲۹۳-۱۳۰۷.
- قلی‌پور، امیر. (۱۳۸۹). تاثیر کاربرد دو ساله کمپوست زباله شهری بر فراهمی عناصر غذایی و وضعیت عناصر سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاه برنج. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته خاک‌شناسی*. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. صفحه ۸۹.
- محرمی، سمیه. (۱۴۰۳). بررسی تاثیر استفاده طولانی‌مدت از کمپوست پسماند شهری و کود دامی بر روی قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک. *مجله آب و فاضلاب*. ۳۵(۱)، ۳۹-۲۱.
- محمدی فرد، فاطمه و مقدم، مهدی. (۱۴۰۰). تاثیر بنتونیت بر صفات بیوشیمیایی و محتوای رطوبت نسبی مرزه (*Satureja hortensis*) تحت سطوح مختلف رطوبت خاک. *مدیریت آب در کشاورزی*. ۸(۱): ۷۷-۸۸.
- محمدی کله سرلو، سعید. (۱۳۹۹). تاثیر ورمی کمپوست، هیومیک اسید و تلقیح بذر با فلاوباکتریوم بر مولفه‌های پر شدن دانه تریپتیکاله در شرایط شوری خاک. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
- نظام‌الدینی، محمد؛ فاریابی، احمد، و قازانچایی، رضا. (۱۳۸۷). تاثیر کمپوست زباله شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت. *مجموعه مقالات سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی*. اصفهان.
- یکزبان، عباس؛ موسوی، سید علی اکبر؛ ثامن، عبدالمجید و رضایی، مهرروز. (۱۴۰۲). تاثیرگذاری زغال زیستی برگ نخل و تقاله لیموترش بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی یک خاک لوم شنی. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۱)، ۶۹-۸۳.

REFERENCE

- Abdel-Fattah, M. K., & Merwad, A. M. A. (2015). Effect of different sources of nitrogen fertilizers combined with vermiculite on productivity of wheat and availability of nitrogen in sandy soil in Egypt. *Am. J. Plant Nutr. Fertil. Technol*, 5(2), 50-60.
- Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N. and Oustan, S. (2013). Effects of Organic and Nitrogen Fertilizers on Water Use Efficiency, Yield and the Growth Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). *Water and Soil Science*, 23(2), 177-194.
- Ahmadzadeh, Fatemeh, Khoshgoftarmanesh, Amir Hossein (2019) Release of phytosiderophores from roots of wheat and triticale under nickel-deficient conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182 (5). 708-714 [doi:10.1002/jpln.201800615](https://doi.org/10.1002/jpln.201800615)
- Ahmadzadeh, F. (2014). The potential role of root-secreted phytosiderophores in nickel uptake by wheat and triticale [Master's thesis, Isfahan University of Technology]. Isfahan, Iran. (In Persian).
- Alam, M. Z., Haidar, S. A., and Paul, N. K. (2007). Yield and yield component of barley cultivars in relation to nitrogen fertilizer. *Journal of Applied science Research*. 3(10): 1022-1026.

- Boostani, H. R., Jalalpour, Z., Behpouri, A., Bijanzadeh, E., and Najafi-Ghiri, M.: Comparative efficacy of individually and combined application of compost, biochar, and bentonite on Ni dynamics in a calcareous soil, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-2147>, 2025.
- Dubey, P.K., Singh, A., Chaurasia, R., Pandey, K.K., Bundela, A.K., Singh, G.S., & Abhilash, P.C. (2022). Animal manures and plant residue-based amendments for sustainable rice-wheat production and soil fertility improvement in eastern Uttar Pradesh, North India. *Ecological Engineering*, 177, 106551.
- FAOSTAT (2022). Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fernandez-Luqueno, F., Reyes-Varela, V., Martinez-Suarez, C., Saomon-Hernandez, G., Yanez-Meneses J., CeballosRamerez, J.M., and Dendooven, L. (2010). Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresource Technology* 101: 396–403.
- Filip E., Woronko K., Stępień E., and Czarniecka N., 2023, An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.), *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8): 7524. <https://doi.org/10.3390/ijms24087524>
- Ghaderi, J., Nemati, A., & Shariatmadari, M. (2019). The effect of municipal waste compost and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Bahar. *Agricultural Ecology*, 11(4), 1293-1307. (In Persian)
- Gholipour, A. (2010). *The effect of two-year application of municipal waste compost on nutrient availability and heavy metal status in soil and different rice plant tissues* [Master's thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources]. Sari, Iran. (In Persian).
- Hosseinzadeh Sadati, S.Z. (2011). The effect of residual organic fertilizers (compost, vermicompost and sewage sludge) on nutrient absorption, growth and yield indicators of different varieties of rice (*Oryza sativa*), master's thesis in agriculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. (In Persian).
- Ibrahim, M., Hassan, A.U., Arshad, M., & Tanveer, A. (2010). Variation in root growth and nutrient element concentration in wheat and rice: effect of rate and type of organic materials. *Soil and Environment*, 29, 47-52.
- Javanmard, A., Nazari, B., Jalilian, A., & Dashti, S. (2016). Response of wheat to vermicompost and chemical fertilizers residual in soil, 87-103. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(4), 87-103.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press.
- Karagoz, H., Kucukozdemir, U., Dumlu, B., & Yalcin, Z. (2019). Determination of yield, quality and winter hardiness characteristics of some triticale (*xTriticosecale* Wittmack) genotypes in Pasinler and Erzincan locations. *Ekin journal of crop breeding and genetics*, 5(2), 74-83.
- Keller, L., Idowu, O. J., Ulery, A., Omer, M., & Brewer, C. E. (2023). Short-Term Biochar Impacts on Crop Performance and Soil Quality in Arid Sandy Loam Soil. *Agriculture*, 13(4), 782.
- Khalid A., Hameed A., and Tahir M., 2023, Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality, *Frontiers in Nutrition*, 10: 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>
- Mamnabi, S., Nasrollanzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., and Raei, Y. (2020). Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. *Journal of Biological Sciences*, 27: 3. 797-804.
- Marjovi, A., & Mashayekhi, P. (2020). Chemical Effect of municipal Compost and Sewage Sludge on Soil and Wheat Crop. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9), 2349-2363.
- Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., Ma, B., & Liu, J. (2021). Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. *European journal of soil biology*, 102, 103251.
- Mohammadi-Fard, F., & Moghaddam, M. (2021). The effect of bentonite on biochemical traits and relative water content of summer savory (*Satureja hortensis*) under different soil moisture levels. *Water Management in Agriculture*, 8(1), 77-88. (In Persian)
- Mohammadi-Kolahsarlou, S. (2020). *The effect of vermicompost, humic acid, and seed inoculation with Flavobacterium on grain filling components of triticale under soil salinity conditions* [Master's thesis, University of Mohaghegh Ardabili]. Ardabil, Iran. (In Persian).
- Moharami, S. (2024). Investigating the Effect of Long-term Municipal Waste and Manure Application on Soil Heavy Metal Availability in Soil. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 35(1), 21-39. doi: 10.22093/wwj.2023.424366.3383. (In Persian).
- Nazari, Z., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Narimani, H. (2023). Evaluation of yield and grain filling components of triticale (*X Triticosecale* Witt.) affected by application of mycorrhizal fungi, vermicompost and nano-silicon under water deficit conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(1), 53-69.

- Nezamaldini, M., Faryabi, E., & Ghazanchae, R. (2008). The effect of municipal waste compost on yield and yield components of corn. *Proceedings of the 3rd National Congress on Recycling and Use of Renewable Organic Resources in Agriculture*. Isfahan, Iran. (In Persian)
- Phullan, N. K., Memon, M., Shah, J. A., Memon, M. Y., Sial, T. A., Talpur, N. A., & Khushk, G. M. (2017). Effect of organic manure and mineral fertilizers on wheat growth and soil properties. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 559-565.
- Rathor, G., N. Chopra, and T. Adhikari. (2014). Effect of variation in Nickel concentration on growth of maize plant: A comparative over view for pot and hoagland culture. *Research Journal of Chemical Sciences*. 10, 30-32.
- Reeve Jennifer R., Lynne Carpenter, B., John, P.R., Alan, L.Y., William, F.B. (2010). Influence of biodynamic preparations on compost development and resultant compost extracts on wheat seedling growth. *Bioresource Technology*. 101(14): 5658-5666.
- Seregin, I., & Kozhevnikova, A. D. (2006). Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(2), 257-277.
- Tamrabet, L. A. H. B. I. B., Bouzerzour, H., Kribaa, M. O. H. A. M. E. D., & Makhoul, M. (2009). The effect of sewage sludge application on durum wheat (*Triticum durum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 741-745.
- Tas, S., and Tas, B. (2007). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2): 178-183.
- Vieira E., Albuquerque C., Rigueira J., Gomes V., Coelho M., Júnior V., Monção F., Santana I., Hora F., and Gomes M. (2022). Production and nutritional value of wheat and triticale cultivars in different harvest times in the Minas Gerais semiarid, *Semina Ciências Agrárias*, 43(1): 381-396. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p381>
- Wan C., Dang P., Gao L., Wang J., Tao J., Qin X., Feng B., and Gao J., 2022, How does the environment affect wheat yield and protein content response to drought? a meta-analysis, *Frontiers in Plant Science*, 13: 896985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.896985>
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
- Yekzaban, A., Moosavi, A. A., Sameni, A., and M. Rezaei. (2023). Effect of palm leaf and lemon peel biochar on some physical and mechanical properties of a sandy loam soil. *Water and soil management and modeling (WSMM)*, 3(1), 69-83. <https://sid.ir/paper/396323/>. (In Persian).
- Zemikhael, B., & Dechassa, N. (2018). Effect of mineral fertilizer, farmyard manure, and compost on yield of bread wheat and selected soil chemical properties in Enderta district, Tigray regional state, Northern Ethiopia. *East African Journal of Sciences*, 12, 29-40.
- Zhang, H., Chen, W., Zhao, B., Phillips, L. A., Zhou, Y., Lapen, D. R., & Liu, J. (2020). Sandy soils amended with bentonite induced changes in soil microbiota and fungistasis in maize fields. *Applied Soil Ecology*, 146, 103378.