

## Effect of biochar and vermicompost on the absorb of nickel metal from soil by cherry tomato (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*)

Mahtab Mihandoost<sup>1</sup> , Maryam Rafati<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Graduated M.Sc. Student, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### Abstract

#### Introduction

Soil is one of the most important components of the ecosystem and environment for storing nutrients and performing biological, physical, and chemical processes and activities. Earth may be infected by the accumulation of heavy elements. These metals are ubiquitous, highly persistent, and non-biodegradable. The concentration of heavy metals increases due to the natural weathering of rocks, the disposal of waste, and the use of fertilizers, pesticides, and industrial effluent. It includes nickel, which is released by car brake abrasion, vehicle corrosion (especially the car oil pump), and electronic wastes in the urban environment and its accumulation in the body causes kidney complications, lung damage, high blood pressure, and it became vascular diseases. Nickel has no toxic effect on the plant at low concentrations and acts as a micronutrient, but in high concentrations, it reduces the growth and appearance of toxic symptoms in the plants. In agricultural fields, chemical fertilizers are used to increase the production of agricultural products, which despite their benefits, their excessive use reduces crop quality and the entry of toxic pollutants into the soil. In this context, organic amendments such as biochar and vermicompost could be useful to sustainably maintain or increase soil organic matter, preserving and improving soil fertility and crop yield. Biochar is a carbon-rich material obtained from the thermochemical conversion of biomass in an oxygen-limited environment. Biochar has been described as a possible tool for soil fertility improvement, potential toxic element adsorption, and climate change mitigation. Vermicompost is considered a high-nutrient biofertilizer with diverse microbial communities. It plays a major role in improving the growth and yield of different field crops, vegetables, flowers, and fruit crops. Vermicomposting is the process of conversion of organic wastes into finely degraded peat-like substances using earthworms. It is an alternative method for waste management through which vermicompost is produced with a relatively higher nutrient content than compost and manures. Therefore, this study aimed to investigate the effect of biochar and vermicompost on an accumulation of nickel metal in soil and tomato fruit.

#### Materials and Methods

For this purpose, the seeds were caught from a greenhouse in the south of Tehran, and the pots were filled with 3 kg of soil derived from the same place. This soil was mixed well before being placed in the pots. The test was performed as a factorial experiment in a randomized complete block design in which nickel nitrate was applied to the soil with 6 different concentrations (75 ppm nickel nitrate with 10% biochar, 150 ppm nickel nitrate with 10% biochar, 75 ppm nickel nitrate with 5% biochar, 150 ppm nickel nitrate with 5% biochar, 75 ppm nickel nitrate and 150 ppm nickel nitrate), and compared with pots that were only hydrated with tap water (control). All measurements were taken with three independent replicates for metal concentration. Pots were placed outdoors with tap water irrigation (five times a week) and two days a week (Monday and Friday) with nickel nitrate for 4 months. Then the concentration of nickel in the shoot (fruit), the nickel concentration in the soil, and the wet and dry weight of the fruit were measured. The bioconcentration factor (BCF) was also calculated using the ratio of total nickel concentration in fruit to the soil. Based on this, plants that have a bioconcentration factor of more than once, especially in their shoots, are suitable for metal extracting from the soil and translocating it to the fruit.

### Results and Discussion

The findings showed that the concentration of nickel in cherry tomato fruit in all nickel-contaminated treatments is higher than the world valid standards (1 ppm for the FAO, and WHO standards). So that the 150 ppm nickel with 10 % vermicompost is significantly more than the other treatments (6.54 mg/kg) and the nickel 75 ppm treatment has the lowest amount (2.28 mg/kg). This shows that the presence of biochar and vermicompost in the soil makes the nickel available to the plant for more absorption and the tomato plant because of being a micronutrient, absorbs it from the soil and translocates to the fruit. Also, the concentration of nickel in the soil of all treatments was lower than the nickel standard in agricultural soil (60 ppm for the FAO, and WHO standards) and the concentration of nickel in pots that are irrigated with 75 ppm and 150 nickel values are significantly more than the soil of the treatments with biochar and vermicompost. Moreover, the addition of these materials to the pots increases the dry and wet weight of cherry tomato fruit compared with the pots with no modifiers. In this context, it should be said that nickel acts as a micronutrient for plants, but the excessive accumulation of this metal has caused toxicity for most plants, which has reduced the efficiency of the vegetative and reproductive parts. Nickel bioconcentration factor is also more than one in biochar and vermicompost treatments that represents if 75 and 150 ppm of nickel with biochar or vermicompost modifiers are added to cherry tomato soil, due to the greater availability of nickel by these two substances, the extraction of nickel from the soil by cherry tomatoes is increased with BCF more than one.

### Conclusion

In general conclusion, it can be stated that planting cherry tomatoes in nickel-containing soil or irrigation with municipal and industrial wastewater containing nickel should be accompanied by more considerations. Also, if biochar or vermicompost is used in the soil of cherry tomato pots, nickel can be extracted from the soil with a bioconcentration coefficient of more than one, which has more negative effects on the use of tomato fruit by humans or animals through its further entry into the food chain. It is suggested that on the absorption of nickel from the soil by cherry tomatoes in concentrations higher than the treatments in this research, the evaluation of the carcinogenic and non-carcinogenic risk of nickel metal through ingestion, the absorption of other heavy metals by this plant, as well as the effect of these modifiers on other plants and agricultural products, should be studied more extensively.

**Keywords:** Bioaccumulation coefficient, Food chain, Natural remedial materials, Nickel metal, Phytoremediation

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: m\_rafati@iau-tnb.ac.ir

**Citation:** Mihandoost, M., & Rafati, M. (2023). Effect of biochar and vermicompost on the absorb of nickel metal from soil by cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 157-170. DOI: 10.22098/mmws.2022.11853.1177  
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.11.5

Received: 27 November 2022, Received in revised form: 22 December 2022, Accepted: 22 December 2022, Published online: 23 December 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2023, Vol. 3, No. 2, pp. 157-170  
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)





## اثر زغال زیستی و کود ورمی کمپوست بر جذب فلز نیکل از خاک توسط گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*)

مهتاب میهن‌دوست<sup>۱</sup>، مریم رفعتی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

استفاده از مواد به‌ساز طبیعی در خاک‌های حاوی نیکل می‌تواند موجب استخراج نیکل از خاک، تجمع آن در قسمت خوراکی گوجه گیلاسی و ورود آن به زنجیره غذایی شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر زغال زیستی و ورمی کمپوست بر تجمع فلز نیکل در خاک و میوه گوجه گیلاسی انجام شد. بدین منظور، آزمایشی به‌صورت عاملیل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد که در آن تجمع فلز نیکل در میوه و خاک گوجه گیلاسی تحت ۶ تیمار مختلف آبیاری با آب دارای نیترات نیکل (در دو مقدار متفاوت ۷۵ و ۱۵۰ ppm) و مقایسه آن با گلدان‌های آبیاری شده با آب معمولی (شاهد) مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد، غلظت نیکل در میوه گوجه گیلاسی در تمامی تیمارهای آلوده به نیکل بالاتر از استانداردهای معتبر جهانی است. به‌طوری که در تیمار ۱۵۰ ppm نیکل همراه با ورمی کمپوست ۱۰ درصد با مقدار ۶/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، به‌صورت معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها و غلظت نیکل در خاک گلدان‌هایی که با مقادیر ۷۵ و ۱۵۰ ppm نیکل آبیاری شده‌اند (به ترتیب ۴/۸۳ و ۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، به‌صورت معناداری بیش‌تر از خاک تیمارهای دارای زغال زیستی و ورمی کمپوست است و افزودن این مواد به خاک گلدان‌ها، سبب بالا بردن وزن خشک (به ترتیب ۴۶ و ۴۸ گرم) و وزن تر (به ترتیب ۱۵۳/۱ و ۱۱۹ گرم) میوه گوجه گیلاسی در مقایسه با گلدان‌هایی که فاقد این اصلاح‌کننده‌ها هستند، می‌شود. همچنین با توجه به این که ضریب تجمع زیستی در تمامی تیمارهای دارای زغال زیستی و ورمی کمپوست، بیش‌تر از یک است. می‌توان اظهار داشت که میوه گوجه گیلاسی در صورتی که در خاک گلدان‌های آن از زغال زیستی یا ورمی کمپوست استفاده شود، قادر به استخراج نیکل از خاک بوده و می‌تواند این عنصر را به سطوح بالاتر زنجیره غذایی انتقال دهد. با توجه به اهمیت این موضوع پیشنهاد می‌شود که بر جذب نیکل از خاک توسط گوجه گیلاسی در غلظت‌های بالاتر از تیمارهای این پژوهش و ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلز نیکل از طریق بلع توسط گروه‌های هدف، مطالعات بیش‌تری انجام شود.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره غذایی، ضریب تجمع زیستی، فلز نیکل، گیاه‌پالایی، به‌ساز طبیعی

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m\_rafati@iau-tnb.ac.ir

**استناد:** میهن‌دوست، مهتاب، و رفعتی، مریم (۱۴۰۲). اثر زغال زیستی و کود ورمی کمپوست بر جذب فلز نیکل از خاک توسط گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۲)، ۱۵۷-۱۷۰.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11853.1177

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.11.5

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۳، شماره ۲، صفحه ۱۵۷ تا ۱۷۰

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

خاک و کاهش اکسید نیتروژن و متان می شود ( Delavarniai et al., 2021).

ورمی کمپوست یک کود زیستی-آلی و مخلوط زیستی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی است که سبب ادامه عمل تجزیه مواد آلی خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی در بستر کشت گیاه می‌شود (Zolfaghari et al., 2022). این محصول با خاصیت تخلخل، هوادهی، ظرفیت نگهداری آب و به دلیل سرعت بالای معدنی شدن و میزان هوموس فراوان، شرایط مناسب‌تری را برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌کند (Salehi et al., 2022) و افزودن آن به خاک موجب تحریک جوانه‌زنی دانه، تحریک رشد، بهبود حاصلخیزی خاک و مقاومت در برابر فرسایش، مقاوم‌سازی در برابر عوامل بیماری‌زا و افزایش عملکرد گیاهان مختلف می‌شود (Hakim Rabet et al., 2021).

Laghlimi et al. (2015) ضمن مطالعه تأثیر زغال زیستی و ورمی کمپوست بر میزان کلروفیل دو رقم گوجه‌فرنگی ریوگراندس و روت جرز، اعلام داشت که ورمی کمپوست تأثیر بسیار مثبت، اما زغال زیستی تأثیر منفی بر میزان کلروفیل هر دو واریته گوجه‌فرنگی دارد. همچنین، Kheir et al. (2021) در بررسی اثر زغال زیستی و ورمی کمپوست بر عملکرد گندم مشاهده کردند که کاربرد این مواد باعث افزایش محصول گندم می‌شود. در مطالعه دیگر Khan et al. (2019) با بررسی اثر زغال زیستی و ورمی کمپوست گزارش کردند که کود ورمی کمپوست باعث افزایش غلظت مواد مغذی و به دنبال آن افزایش محصول نارگیل و اصلاح حاصلخیزی خاک‌های تخریب شده می‌شود. Wang et al. (2018) به منظور بررسی اثرات اصلاح‌کننده‌های زیستی ورمی کمپوست و زغال زیستی در خاک آلوده به کادمیوم گزارش کردند که فلز کادمیوم موجود در خاک به ترتیب ۶/۸-۵/۲، ۵/۵-۱۳/۵-۹/۰، ۱۲/۱-۷/۹ درصد در گروه‌های اصلاح‌شده با ورمی کمپوست، زغال زیستی و ترکیب ورمی کمپوست و زغال زیستی کاهش یافته است. با توجه به منافع زیاد استفاده از زغال زیستی و ورمی کمپوست بر خصوصیات خاک و با در نظر گرفتن تعداد زیاد محصولات کشاورزی، تاکنون تحقیقی به استفاده از این دو ماده بر جذب نیکل در گوجه گیلاسی نپرداخته است.

نیکل به عنوان فلز سنگین، در غلظت‌های پایین اثر سمی بر گیاه نداشته و به عنوان یک ریزمغذی عمل می‌کند، ولی در غلظت‌های بالا باعث کاهش رشد و ظهور علائم سمیت در گیاهان می‌شود (Baycu et al., 2006). میوه گوجه‌فرنگی سرشار از آنتی اکسیدان‌هایی مانند کاروتنوئید، لیکوپن، ویتامین C، ویتامین E و ترکیبات فنولی است که این ترکیبات نقش تعیین‌کننده در

در سال‌های اخیر، تغییرات محیط زیستی چالش‌های اساسی را برای امنیت انسانی در سراسر جهان ایجاد کرده‌اند که تشدید روزافزون معضلات محیط زیستی هم‌چون کاهش منابع آب، آلودگی خاک و نابودی تنوع زیستی در قرون آتی، به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بسیاری از کشورهای جهان تبدیل شده‌اند (Kazemi et al., 2019). افزایش استفاده از فلزات و مواد شیمیایی در فرآیندهای صنعتی باعث گسترش پساب‌های حاوی فلزات سنگین شده که کاهش کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی را در پی داشته است (Sufian et al., 2019; Moradi et al., 2021).

فلزات سنگین تمایل به تجمع در سامانه‌های زیستی دارند و زمانی که این فلزات مقدار آن‌ها بیش از حد مجاز باشد، وارد چرخه غذایی انسان شوند از لحاظ سلامتی بسیار خطرناک خواهند بود (Abbasitabar et al., 2022; Jahantab et al., 2016). از جمله این فلزات می‌توان به نیکل اشاره کرد که بر اثر سایش ترمز خودرو، خوردگی وسایل نقلیه (به‌ویژه پمپ روغن خودرو) و نفوذ از پسماندهای الکترونیکی در محیط شهری آزاد شده (Motuzova et al., 2014) و به دلیل تجزیه نشدن و تأثیر مخرب بر بافت‌های بدن موجودات زنده در غلظت‌های بسیار کم حائز اهمیت است. نیکل در سلامت انسان تأثیر دارد؛ به طوری که وجود عنصر مذکور در زنجیره غذایی خطرناک بوده و تجمع آن در بدن سبب عوارض کلیوی، صدمه ریه‌ها، فشارخون بالا و بیماری‌های عروقی می‌شود (Jorge et al., 2005).

در مزارع کشاورزی جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی از کودهای مختلفی مانند کودهای شیمیایی استفاده می‌شود که علی‌رغم مزایایی که دارند، کاربرد بی‌رویه آن‌ها سبب کاهش کیفیت محصول و ورود آلاینده‌های سمی به خاک می‌شود. در این زمینه، موادی که می‌توانند به عنوان روشی مناسب جایگزین کودهای شیمیایی شوند، زغال زیستی و کمپوست هستند. این دو ماده به عنوان به‌سازهای طبیعی خاک، از مهم‌ترین کودهای آلی مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آن به‌شمار می‌روند (Duong and Lee, 2011). زغال زیستی محصول تخریب حرارتی مواد آلی در غیاب هواست که زغال چوب تولیدشده به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک به کار می‌رود (Birria et al., 2017). این ماده علاوه بر حاصل‌خیزی و بهبود خواص زیستی خاک، موجب افزایش آب قابل‌دسترس در گیاه (Zinnia et al., 2019; Yekzaban et al., 2023)، کاهش یا حذف آلاینده‌های خاک همانند فرآیند گیاه‌پالایی و کاهش گازهای گلخانه‌ای از طریق افزایش ذخیره‌سازی کربن

گلدان‌های شاهد، تمامی گلدان‌ها با دو مقدار ۷۵ و ۱۵۰ ppm نیترات نیکل آبیاری شدند.



شکل ۱- گوجه‌های گیلاسی مورد آزمایش در این پژوهش  
Figure 1- Cherry tomato tested in this study

آبیاری تمامی گلدان‌ها به صورت روزانه انجام گرفت که دو روز در هفته با محلول نیترات نیکل (دوشنبه و جمعه) و پنج روز در هفته توسط آب معمولی در طول چهار ماه آبیاری شدند. این آبیاری به گونه‌ای انجام شد که تنها خاک مرطوب شده و هیچ آبی از انتهای گلدان خارج نشود. هفت تیمار مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از: ۱) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۷۵ ppm همراه با زغال زیستی ۱۰ درصد، ۲) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۱۵۰ ppm همراه با زغال زیستی ۱۰ درصد، ۳) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۷۵ ppm همراه با ورمی کمپوست ۱۰ درصد، ۴) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۱۵۰ ppm همراه با ورمی کمپوست ۱۰ درصد، ۵) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۷۵ ppm، ۶) پنج گلدان با غلظت نیترات نیکل ۱۵۰ ppm، ۷) پنج گلدان فاقد تیمار نیترات نیکل، زغال زیستی و ورمی کمپوست (شاهد).

برای محاسبه تأثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات مورفولوژیک گوجه گیلاسی، وزن خشک و وزن تر میوه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک، نمونه‌های میوه با آب مقطر شسته، در هوای آزاد خشک شده و مجدداً در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا پس از آن وزن خشک ثبت شود. زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کوهستان کرمان بر پایه تبدیل مواد سلولزی به کربن و ورمی کمپوست از شرکت انوشه آراب با مشخصات فیزیکی و شیمیایی استاندارد تهیه شد (جدول ۱).

سلامتی انسان دارند (Moradi Kurd Gheshlaghi et al., 2020). این گیاه را می‌توان علاوه بر باغچه‌ها و گلخانه‌ها، به راحتی در محیط آپارتمانی و منازل نیز پرورش داد.

با ورود انواع کودهای شیمیایی و رشد جمعیت، رغبت کشاورزان به مصرف کودهای شیمیایی فزونی یافت؛ زیرا از یک سو میزان تولید محصولات را بیش‌تر می‌کرد و از طرف دیگر سبب افزایش درآمد آن‌ها می‌شد. به تدریج آسبایی که کودهای شیمیایی و مصرف بی‌رویه آن‌ها ایجاد می‌نمود، بروز پیدا کرد. کودها و سموم شیمیایی اهمیت زیادی در ازدیاد محصول و تقویت حاصل‌خیزی خاک‌ها دارند؛ اما سبب آلودگی محیط زیست نیز می‌شوند که پیامدهای بسیار مضرى را در بر خواهد داشت. تأثیرات نامطلوب کودها و آفت‌کش‌ها بر محیط زیست منجر به توجه بیش‌تر و استفاده از روش‌هایی شده که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد و این هدف موجب شده که بحث پایداری در کشاورزی و توجه به کشاورزی بوم‌شناختی مورد توجه قرار گیرد. یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به این هدف، زراعت گیاهان با استفاده از کود سبز یا بهبود دهنده‌های آلی و دوستدار محیط زیست، مانند ورمی کمپوست و زغال زیستی است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (Alboebadi et al., 2018; Moradi et al., 2021). در همین راستا، پژوهش حاضر سعی داشت تا تأثیر زغال زیستی و ورمی کمپوست را به عنوان دو کود آلی طبیعی بر تجمع فلز سنگین نیکل در خاک و میوه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) را مورد بررسی قرار دهد.

## ۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به منظور بررسی تأثیر بیوچار و ورمی کمپوست بر میزان جذب فلز سنگین نیکل در دو غلظت متفاوت بر گوجه گیلاسی انجام شد (شکل ۱). ابتدا خاک زراعی مناسب برای کشت گوجه گیلاسی از گلخانه‌ای در جنوب شهر تهران تهیه و به طور مناسب باهم مخلوط و یکنواخت شد. پس از آن به میزان سه کیلوگرم از این خاک در هر گلدان ریخته شده و گلدان‌ها در فضای آزاد در محوطه همان گلخانه قرار گرفتند تا با تیمارهای مختلف بیوچار و ورمی کمپوست ترکیب گشته و بذر گوجه گیلاسی در آن‌ها کاشته شود.

لازم به ذکر است که از خاک اولیه گلدان‌ها قبل از اعمال تیمار، ۵ نمونه برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه به آزمایشگاه ارسال شد. به منظور اجرای این پژوهش، ۳۵ گلدان برای کاشت گوجه گیلاسی استفاده شدند که به جز

Pyrowan, 2019) و بافت خاک به روش هیدرومتری و بر اساس مثلث خاک (Skandari et al., 2020) تعیین شد.

### ۲-۳- ضریب تجمع زیستی

برای اندام هوایی از رابطه (۱) محاسبه شد (Davodpour et al., 2020; Jafari et al., 2017).

$$BCF = \frac{\text{غلظت فلز در بافت گیاهی (مبو)}}{\text{غلظت کل فلز در خاک (مبو)}} \quad (1)$$

بر این اساس گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیش تر از ۱ به خصوص در اندام های هوایی خود بوده، جهت استخراج گیاهی مناسب هستند.

### ۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری داده ها

ابتدا نرمال بودن و همگن بودن داده ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده ها و همگنی واریانس ها، برای مقایسات آماری بیش تر از دو گروه از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) بهره گرفته شد و در صورت معنادار بودن، از آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین ها استفاده شد. برای مقایسه آماری مقادیر هر تیمار با اعداد استاندارد جهانی، از آزمون t تک نمونه استفاده شد. کلیه تجزیه تحلیل ها در سطح معناداری ۹۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS 24 انجام پذیرفت. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار EXCEL 2010 استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه گلدان ها در جدول ۲ آمده است. با توجه به مقادیر این جدول، خاک مورد استفاده دارای بافت لومی، از نظر اسیدیته خنثی بوده و مقدار هدایت الکتریکی آن در رده خاک های شور قرار نداشته که برای رشد گیاهان مناسب است.

### ۲-۱- اندازه گیری غلظت نیکل در اندام گیاهی هوایی (میوه)

برای اندازه گیری غلظت فلز نیکل در میوه، از روش عصاره گیری خاکستر خشک استفاده شد (Rafati et al., 2021). بدین ترتیب که دو گرم از هر نمونه گیاه به درون بوتله های چینی انتقال داده شده و نمونه ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت قرار گرفت. پس از آن پنج میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه ها اضافه شد. محلول مورد نظر روی اجاق برقی کمی گرم شد، سپس به کمک آب مقطر جوش و با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ به میلی لیتری صاف شد. غلظت نیکل در نمونه های گیاهی در عصاره مورد نظر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل AANALYST 200 در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه آزاد واحد تهران شمال قرائت شد.

### ۲-۲- اندازه گیری خصوصیات فیزیکی-شیمیایی و غلظت نیکل در نمونه های خاک

برای تعیین غلظت کل فلز نیکل در نمونه های خاک، روش هضم اسیدی به کار رفت (Malekmohammadi et al., 2019). بدین ترتیب که مقدار دو گرم از هر نمونه خاک را در ارلن های درب دار ریخته، به آن ۱۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه کرده و بعد ارلن ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد حمام آب گرم قرار گرفت. بعد از گذشت زمان فوق نمونه ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شده و غلظت فلز نیکل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل AANALYST 200 در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه آزاد واحد تهران شمال قرائت شد. هم چنین اندازه گیری هدایت الکتریکی و pH خاک با تهیه محلول ۱ به ۱۰ به ترتیب با استفاده از دستگاه pH متر و دستگاه هدایت سنج انجام شد (Bazgir et al., 2020). کربن آلی و مواد آلی خاک به روش والکی بلک (Moradi Kurd Gheslghahi et al., 2020)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش باور (Salmasi and

جدول ۱- نتایج تجزیه ورمی کمپوست و زغال زیستی

Table 1- Vermicompost and biochar analysis results

مقدار	زغال زیستی سلولزی	مقدار	ورمی کمپوست
8.1	pH	7.6	pH
3.5	EC (دسی زیمنس بر متر)	2.58	EC (دسی زیمنس بر متر)
50	کربن الی (درصد)	14.58	کربن الی (درصد)
0.14	نیترژن کل (درصد)	0.5	نیترژن کل (درصد)
0.92	وزن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)	9.5	درصد رطوبت
0.15	فسفر (گرم بر کیلوگرم)	1.33	فسفر (گرم بر کیلوگرم)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در گلدانها نتایج غلظت نیکل در اندام هوایی (میوه) گوجه گیلاسی

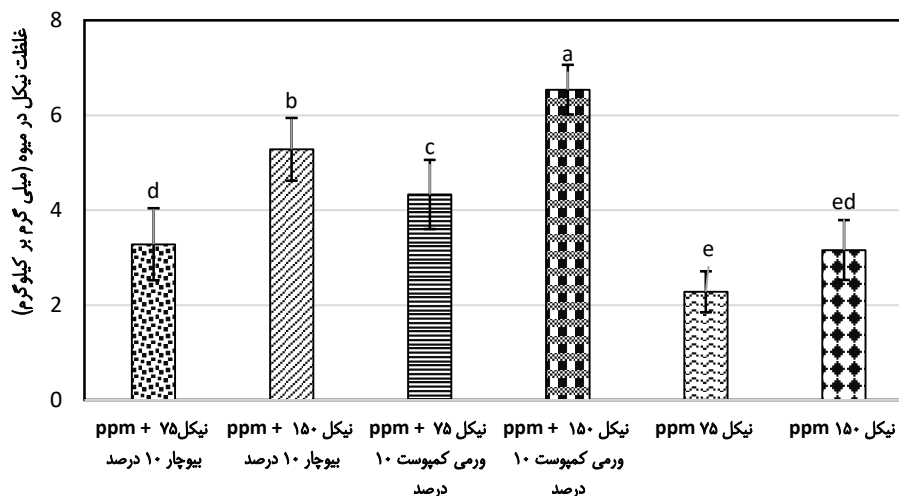
Table 2- Physical and chemical soil properties in vases results nickel concentration in aerial organ (fruit) cherry tomato

پارامتر	pH	EC (میکروزیمنس بر سانتی متر)	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان/۱۰۰ گرم)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	بافت خاک	نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم)
گوجه گیلاسی	7.1	12.8	16.4	2.35	4.37	لومی	غیرقابل تشخیص

نزدیک به دو برابر تیمارهای بدون زغال زیستی و ورمی کمپوست می شود. این موضوع نشان می دهد که حضور زغال زیستی و ورمی کمپوست در خاک، فلز سنگین نیکل را برای جذب بیش تر در دسترس گیاه قرار داده و گیاه گوجه نیز با توجه به ریزمغذی بودن آن را از خاک جذب و تا میوه انتقال می دهد. یافته های به دست آمده از مطالعه (Akan et al. (2013) که به بررسی فلزات کروم، منگنز، آهن، نیکل، سرب، روی، کادمیوم و مس در نمونه های سبزیجات در کشور نیجریه پرداختند، نشان داد برگ های سبزیجات کلم، کاهو، پیاز و اسفناج دارای غلظتی بیش تر از حد استاندارد این فلزات است که از نظر نوع فلز مورد بررسی با نتیجه تحقیق حاضر هم پوشانی دارد. نتایج مطالعات (Huang et al. (2008) که دامنه غلظت نیکل در دانه گندم در کونشان کشور چین را بین ۰/۰۴ تا ۰/۶۳ ppm در وزن خشک و کم تر از حد مجاز استاندارد گزارش کردند که با این مطالعه مغایرت دارد.

### ۲-۳- نتایج غلظت نیکل در میوه گوجه گیلاسی

نتایج آزمون تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که غلظت نیکل در میوه های گوجه گیلاسی در شش تیمار که توسط آب آلوده به نیکل آبیاری شده اند، از نظر آماری تفاوت معناداری دارد ( $P=0/000$ ,  $F=115/126$ )، به طوری که بر اساس آزمون دانکن، غلظت این عنصر در تیمار نیکل ۱۵۰ ppm همراه با ورمی کمپوست ۱۰ درصد (۶/۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم)، به صورت معناداری بیش تر از ۵ تیمار دیگر بوده و در تیمار نیکل ۷۵ ppm (۲/۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم) کم ترین مقدار است (شکل ۲). بنابراین، می توان اظهار داشت در صورتی که مقدار نیکل در پساب های آبیاری مقادیر ۷۵ یا ۱۵۰ ppm به تنهایی باشد، مقادیر آن در میوه گیاه از حد مجاز نیکل (۱ ppm مطابق با استانداردهای WHO و FAO) بالاتر می رود، حال اگر این تیمارها همراه با استفاده از زغال زیستی و ورمی کمپوست باشند، مقدار جذب این فلز در میوه گوجه گیلاسی افزایش معنادار یافته و در بعضی موارد



شکل ۲- میانگین غلظت فلز نیکل در اندام هوایی (میوه) گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

Figure 2- Mean of concentration of nickel metal in the aerial organ (fruit) of the cherry tomato in different treatments

استانداردهای WHO و FAO) نشان دهنده غلظت معنادار و کم تر نیکل در تمامی تیمارها در مقایسه با این استاندارد است (جدول ۴:  $P>0/05$ ). این نتایج نشان می دهد آبیاری با آب حاوی نیکل در بازه زمانی چهار ماهه این پژوهش، نتوانسته مقدار این عنصر را در خاک از حد استاندارد آن در خاک های کشاورزی دنیا بالاتر ببرد. البته باید توجه داشت که انباشتگی فلزات سنگین در خاک، به ویژه

نتایج آزمون t تک نمونه ای با عدد استاندارد جهانی غلظت نیکل در میوه (۱ ppm) برای استانداردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت) در جدول ۴ نشان داد که غلظت نیکل در تمامی تیمارها به صورت معناداری بیش تر از این استاندارد است. همچنین، نتایج آزمون Tstudent با عدد استاندارد جهانی غلظت نیکل در خاک های کشاورزی (۶۰ ppm،

خلاف آلاینده‌های آلی، دچار تجزیه شیمیایی یا زیستی نمی‌شوند؛ بنابراین، مدت زمان طولانی در خاک باقی می‌ماند (Hejazizadeh et al., 2016).

در خاک‌های زراعی، فرآیندی کند بوده و آبیاری با آب حاوی نیکل مثل پساب‌های شهری و صنعتی نمی‌تواند راهی ایمن برای آبیاری زمین‌های کشاورزی در درازمدت باشد (Rahimi et al., 2018). انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه مهم‌ترین مسیری است که انسان را در معرض آلودگی قرار می‌دهد، بیش‌تر فلزات سنگین بر

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه وایانس غلظت فلز نیکل در اندام هوایی (میوه) و خاک گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

Table 3- Analysis of Variance Results of nickel concentration in different air organs tomato (fruit) and soil in different treatment

Sig	میانگین مربعات	درجه آزادی	متغیر
0.000	71049.70	7	بین گروه‌ها
	844.90	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	37866.16	7	بین گروه‌ها
	609.41	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	58650.29	7	بین گروه‌ها
	1216.71	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	47673.32	7	بین گروه‌ها
	877.01	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	23844.01	7	بین گروه‌ها
	831.24	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	14311.65	7	بین گروه‌ها
	1143.75	28	داخل گروه‌ها
		35	کل
0.000	158332.83	7	بین گروه‌ها
	1597.87	28	داخل گروه‌ها
	71049.70	35	کل

جدول ۴- نتایج حاصل از مقایسه مقادیر غلظت نیکل در اندام هوایی و خاک گلدان‌های گوجه گیلاسی

Table 4- Results of comparison of the concentration of nickel values in aerial organs and pots soil cherry tomato

P-value (خاک)	t (خاک)	P-value (اندام هوایی)	t (اندام هوایی)	تیمار
0.000	1.83	0.000	1.98	نیترا نیکل 75 ppm همراه با زغال زیستی 10 درصد
0.000	1.81	0.000	2.22	نیترا نیکل 75 ppm همراه با ورمی کمپوست 10 درصد
0.000	2.57	0.006	0.87	نیترا نیکل 75 ppm
0.000	1.75	0.002	1.23	نیترا نیکل 150 ppm همراه با زغال زیستی 10 درصد
0.000	1.61	0.000	1.77	نیترا نیکل 150 ppm همراه با ورمی کمپوست 10 درصد
0.000	2.40	0.012	1.06	نیترا نیکل 150 ppm

عدد استاندارد جهانی غلظت نیکل در خاک‌های کشاورزی ۶۰ ppm است.

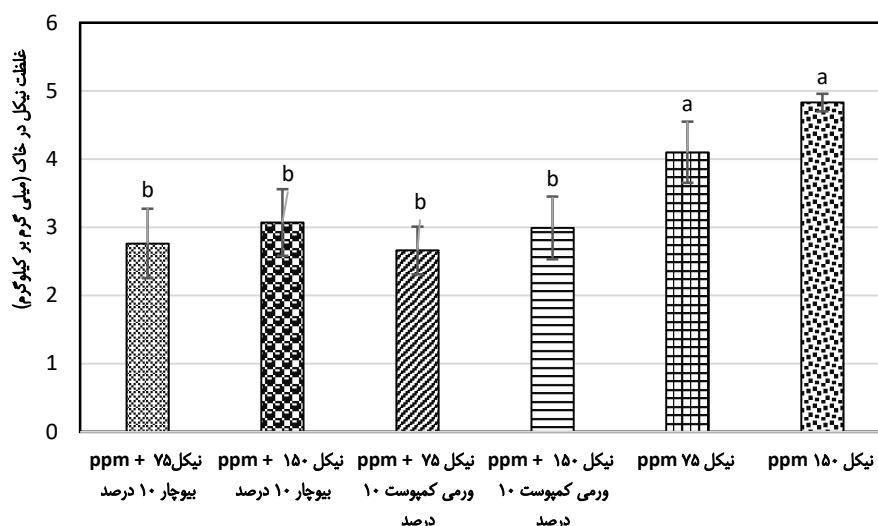
عدد استاندارد جهانی غلظت نیکل در میوه ۱ ppm است.

۱۵۰ و ۷۵ ppm) به ترتیب ۴/۸۳ و ۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، به صورت معناداری بیش‌تر از تیمارهای دارای ورمی کمپوست و زغال زیستی است (شکل ۳ و جدول ۳). در این زمینه، Wang et al. (2018) نشان دادند که کادمیوم موجود در خاک در گروه‌های اصلاح شده با ورمی کمپوست و زغال زیستی کاهش یافته که هم‌سو با این نتایج است.

۳-۳- نتایج غلظت نیکل در خاک گلدان‌های گوجه گیلاسی

نتایج آزمون تجزیه واریانس حاکی از این است که غلظت نیکل در خاک گلدان‌های گوجه گیلاسی در شش تیمار آبیاری شده با نیترا نیکل، از نظر آماری تفاوت معناداری دارد ( $F=184/941$ ،  $P=0/000$ )، به طوری که بر اساس آزمون دانکن، غلظت این عنصر در تیمارهای فاقد زغال زیستی و ورمی کمپوست (تیمارهای نیکل





شکل ۳- میانگین غلظت فلز نیکل در خاک گلدان‌های گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

Figure 3- Mean of concentration of nickel metal in cherry tomato pots soil in different treatments

انسان یا حیوان و خطرات بیش‌تر حضور آن در بدن موجودات زنده شود.

در مورد انتقال فلزات از ریشه‌ها به سایر نقاط گیاه، برخی فلزات به‌ویژه سرب میل زیادی به تجمع در ریشه داشته و به دلیل سنگین بودن، تحرک کم‌تری دارند، درحالی‌که برخی دیگر مانند کادمیوم به‌آسانی در گیاه حرکت می‌کنند (Majer et al., 2002). البته جذب فلزات سنگین توسط گیاهان نه‌تنها تحت اثر غلظت آن‌ها در خاک، بلکه به عوامل‌های دیگری چون شکل آن‌ها، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، میزان تغذیه گیاه، مرحله رشد و عوامل متعدد دیگری وابسته است.

۳-۴- نتایج ضریب تجمع زیستی در اندام هوایی (میوه) گوجه گیلاسی مقادیر عامل تجمع زیستی در میوه گوجه گیلاسی در هر تیمار در جدول ۵ ذکر شده که بر طبق این مقادیر در تیمارهای دارای زغال زیستی و ورمی کمپوست، مقدار ضریب تجمع زیستی نیکل بالاتر از عدد یک است. بنابراین می‌توان اظهار داشت، در صورتی‌که به خاک گوجه گیلاسی با مقادیر ۷۵ و ۱۵۰ ppm نیکل، زغال زیستی یا ورمی کمپوست اضافه شود (به‌علت فراهمی بیش‌تر فلز نیکل توسط این دو ماده)، استخراج این فلز از خاک توسط گوجه گیلاسی افزایش یافته و آن را به مقدار بیش‌تر و با ضریب بالاتر از یک به میوه انتقال و در آنجا تجمع می‌دهد که می‌تواند موجب ورود بیش‌تر این عنصر به زنجیره غذایی از طریق مصرف میوه‌های گوجه گیلاسی توسط

جدول ۵- مقادیر فاکتور تجمع زیستی عنصر نیکل در اندام‌های هوایی (میوه) گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

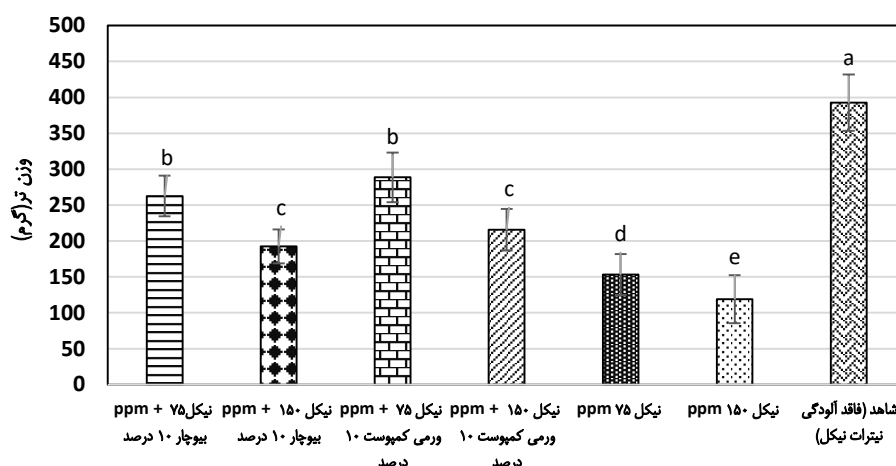
Table 5- Values of bioaccumulation factor of nickel metal in the aerial organ (fruit) of the cherry tomato in different treatments

میانگین	تیمار
1.19	نیکل 75 ppm همراه با زغال زیستی 10 درصد
1.63	نیکل 75 ppm همراه با ورمی کمپوست 10 درصد
0.56	نیکل 75 ppm
1.72	نیکل 150 ppm همراه با زغال زیستی 10 درصد
2.18	نیکل 150 ppm همراه با ورمی کمپوست 10 درصد
0.66	نیکل 150 ppm

هم‌چنین، مقدار وزن‌تر در گلدان‌هایی که با تیمارهای ۷۵ و ۱۵۰ ppm نیکل آبیاری شده و فاقد ورمی کمپوست و زغال زیستی بودند (به‌ترتیب ۱۵۳/۱ و ۱۱۹ گرم) به‌صورت معناداری کم‌تر از سایر تیمارهاست (شکل ۴ و جدول ۳).

۳-۵- نتایج تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن میوه گوجه گیلاسی

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که وزن‌تر میوه گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف، دارای اختلاف معنادار با یکدیگر است ( $F=134/490$ ,  $P=0/000$ ). بر اساس نتایج آزمون دانکن، وزن‌تر میوه گوجه گیلاسی در تیمار فاقد نیکل یا شاهد (۳۹۲/۶ گرم) به‌صورت معناداری بیش‌تر از تیمارهایی است که با آب نیکل‌دار آبیاری شده‌اند.



شکل ۴- میانگین وزن تر میوه گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

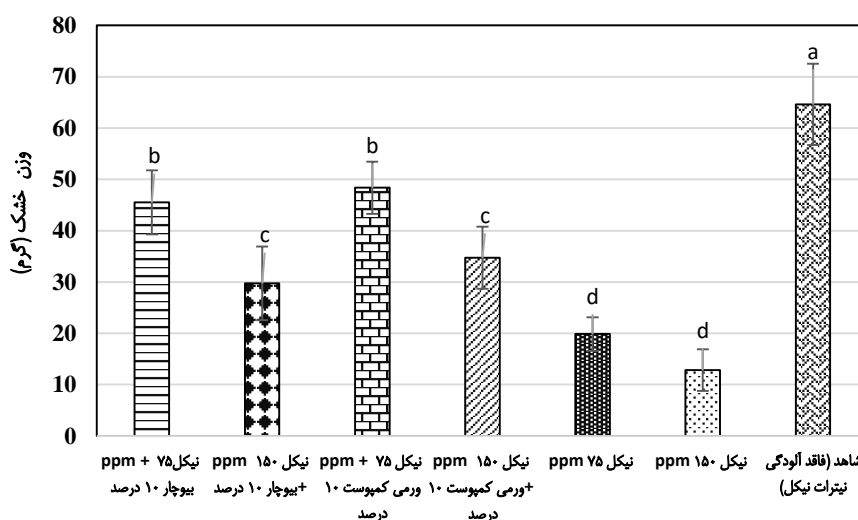
Figure 4- Mean of wet weight of cherry tomato fruit in different treatments

اصلاح حاصلخیزی خاک‌های تخریب‌شده با استفاده از این مواد می‌شود که این نتیجه نیز با نتایج تحقیق حاضر هم‌پوشانی دارد. همچنین Yang et al. (2015) در رابطه با تأثیر ورمی کمپوست بر عملکرد گوجه‌فرنگی و کیفیت و باروری خاک در گلخانه، پژوهشی انجام داده و به این نتیجه رسیدند که ورمی کمپوست با افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک باعث افزایش عناصر غذایی و به دنبال آن بهبود عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شده است. Tammeorg et al. (2014) نیز تأثیر استفاده از زغال زیستی و کمپوست بر افزایش سطح برگ زعفران را مثبت ارزیابی کردند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

استفاده از آب‌های آلوده به نیکل تا مقدار ۱۵۰ ppm در خاک برای آبیاری گوجه گیلاسی، موجب افزایش میزان تجمع این عنصر در میوه گوجه به مقدار دو تا سه برابر بیشتر از استانداردهای مجاز سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت شود می‌شود؛ بنابراین، کاشت گیاه مذکور در خاک‌های حاوی نیکل یا آبیاری خاک با پساب‌های شهری و صنعتی حاوی نیکل باید با ملاحظات بیشتری همراه باشد. علاوه بر این، در صورتی که در کنار این آبیاری از زغال زیستی و ورمی کمپوست به‌عنوان اصلاح‌کننده و کود آلی خاک استفاده شود، با فراهمی بیشتر نیکل در خاک برای جذب، میزان استخراج این فلز از خاک افزایش یافته و منجر به تجمع بیشتر آن در میوه گوجه گیلاسی تا شش برابر حد مجاز می‌شود که این امر اثرات منفی بیشتری برای استفاده از میوه گوجه توسط انسان یا حیوان از طریق ورود بیشتر آن به زنجیره غذایی را به دنبال دارد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس برای وزن خشک میوه گوجه گیلاسی نیز همانند وزن تر بوده و در تمامی تیمارهای مورد بررسی، این پارامتر دارای اختلاف معنادار با یکدیگر است ( $F=54/936$ ،  $P=0/001$ ) که بر اساس نتایج آزمون دانکن، مقدار وزن خشک میوه گوجه گیلاسی در تیمار شاهد (۶۵ گرم) به‌صورت معناداری بیش‌تر از تیمارهایی است که با آب نیکل‌دار آبیاری شده‌اند. همچنین، مقدار وزن خشک میوه در گلدان‌هایی که با ۷۵ یا ۱۵۰ ppm نیکل آبیاری شده‌اند و فاقد ورمی کمپوست و زغال زیستی بودند (به ترتیب ۲۰ و ۱۳ گرم)، نیز به‌طور معناداری از بقیه تیمارها کم‌تر است (شکل ۵) و (جدول ۳). در این زمینه باید گفت، درست است نیکل به‌عنوان یک ریزمغذی برای گیاهان عمل می‌کند، اما تجمع بیش‌ازحد این فلز برای اکثر گیاهان سمیت ایجاد کرده که سبب کاهش کارایی بخش‌های رویشی و زایشی گشته و در نتیجه از کیفیت محصول تولیدی آن می‌کاهد (Zhang et al., 2019). افزودن زغال زیستی و ورمی کمپوست به خاک گلدان‌ها سبب افزایش وزن خشک و تر میوه گوجه گیلاسی در مقایسه با گلدان‌هایی است که فاقد این اصلاح‌کننده‌ها هستند. در واقع، استفاده از زغال زیستی و ورمی کمپوست در کنار افزایش میزان تجمع فلز نیکل در داخل میوه‌ها، سبب افزایش وزن تر و وزن خشک آن‌ها نیز شده است که این امر می‌تواند به دلیل وجود عناصر مغذی در این دو اصلاح‌کننده باشد. در همین راستا، Divband et al. (2017) بیان کردند که افزودن زغال زیستی باگاس نیشکر، باعث افزایش معنادار کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب و ظرفیت تبادل آنیونی و کاتیونی خاک می‌شود. در مطالعه دیگر Khan et al. (2019) با بررسی اثر زغال زیستی و ورمی کمپوست گزارش کردند که کود ورمی کمپوست باعث افزایش غلظت مواد مغذی و به دنبال آن باعث افزایش محصول نارگیل و



شکل ۵- میانگین وزن خشک میوه گوجه گیلاسی در تیمارهای مختلف

Figure 5- Mean of dry weight of cherry tomato fruit in different treatments

محیطی (مانند تنش خشکی، شوری و غیره) و همچنین اثر این اصلاح‌کننده‌ها بر سایر گیاهان و محصولات کشاورزی، به‌ویژه محصولاتی که جایگاه قابل‌توجهی در سبد غذایی جوامع انسانی دارد، مطالعات گسترده‌تری انجام شود.

با توجه به اهمیت این موضوع پیشنهاد می‌شود که بر جذب نیکل از خاک توسط گوجه گیلاسی در غلظت‌های بالاتر از تیمارهای این پژوهش، ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلز نیکل از طریق بلع توسط گروه‌های هدف، جذب سایر فلزات سنگین توسط این گیاه، تأثیر زغال زیستی و ورمی کمپوست بر مقاومت گیاه در انواع مختلف تنش‌های

#### منابع

بی‌ریا، میلاد، معزی، عبدالامیر، عامری خواه، هادی (۱۳۹۶). تأثیر بیوجار باگاس نیشکر بر رشد گیاه ذرت در خاک آلوده به کادمیوم و سرب. آب و خاک، ۳۱(۲)، ۶۰۹-۶۲۶.

جهانتاب، سفندیار، جعفری، محمد، متشعزاده، بابک، طولی، علی، و ضرغام، نصرت‌الله (۱۳۹۵). ارزیابی پتانسیل گیاه پالایی گونه‌های گیاهی مرتعی در خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی با تأکید بر فلز سنگین نیکل. علوم محیطی، ۱۴(۳)، ۱۰۷-۱۲۰.

حجازی‌زاده، ابوالفضل، غلامعلی‌زاده آهنگر، احمد، و قربانی، مریم (۱۳۹۵). تأثیر بیوجار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان (*Heliantus Annus L.*). دانش آب و خاک، ۲۶(۲)، ۲۵۹-۲۷۱.

حکیم رباط، شهرزاد، و کتابچی، ساغر (۱۳۹۹). اثر کودهای کمپوست، ورمی کمپوست و چای آن‌ها بر بیماری پژمردگی آوندی باکتریایی و شاخص‌های رشدی در گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی. پژوهش‌های کاربردی در گیاهپزشکی، ۹(۴)، ۶۱-۷۴. doi:10.22034/arp.2021.12362

داودپور، رضوان، سبحان اردکانی، سهیل، چراغی، مهرداد، عبدی، نوراله، و لرستانی، بهاره (۱۳۹۹). بررسی قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت آرسنیک و برخی فلزات سنگین توسط گونه گون (*Astragalus spp.*). پژوهش‌های گیاهی، ۲۳(۲)، ۴۷۷-۴۸۸. doi:20.1001.1.23832592.1399.33.2.16.8

آبوعبادی، هدا، مرادی، مصطفی، و جهانتاب، اسفندیار (۱۳۹۷). تأثیر بیوجار و کمپوست زباله شهری بر گیاه‌پالایی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH) خاک به‌وسیله کنار *Ziziphus spina-christi (L.) Wild*. حفاظت زیست بوم گیاهان، ۱۲(۶)، ۲۶۱-۲۷۷.

آخوان کاظمی، مسعود، حسینی، طیبیه، و بهرامی پور، فرشته (۱۳۹۸). واكوی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر امنیت بین‌المللی. مطالعات روابط بین‌الملل، ۱۲(۴۶)، ۹-۳۹. doi:20.1001.1.24234974.1398.12.46.1.4

اسکندری، فهیمه، بصیری، رضا، و مرادی، مصطفی (۱۳۹۹). بررسی اثر گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii Lindl*) و زرین (*Cupressus sempervirens L. var. horizontalis*) روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کهگیلویه و بویر احمد. پژوهش‌های گیاهی، ۳۳(۴)، ۸۹۴-۹۰۶. doi:20.1001.1.23832592.1399.33.4.12.8

بازگیر، مسعود، حیدری، مهدی، زینلی، نسیم، و کهزادیان، مهرداد (۱۳۹۹). تأثیر تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعت و رهاسازی از زراعت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اکوسیستم جنگل زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز، استان ایلام). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۱)، ۲۰۰-۲۱۴. doi:10.30495/jest.2020.26084.3506

*officinalis L*) تحت تاثیر ورمی کمپوست و هیومیک اسید. تولید و ژنتیک گیاهی، ۳(۱)، ۸۵-۹۴.

صوفیان، جعفر، گلچین، احمد، مرادی، صلاح‌الدین، جهانیان، لیلا، غیرتی آرانی، لیلا (۱۳۹۸). بررسی تاثیر کاربرد کادمیوم و شوری محلول‌های آبی بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی (*Lemna minor L*). پژوهش‌های گیاهی، ۳۲(۳)، ۶۱۰-۶۲۲  
doi:20.1001.1.23832592.1398.32.3.6.3

عباسی تبار، حمید، سلگی، عیسی، شایسته، کامران، و مرتضوی، ثمر (۱۴۰۱). بررسی منابع، ساختار شیمیایی، اثرات بهداشتی و محیط زیستی فلزات سنگین در خاک. *انسان و محیط زیست*، ۲۰(۱)، ۷۶-۶۳  
doi:20.1001.1.15625532.1401.20.1.4.3

کشاوری فرد، سپیده، سلگی، موسی، باقری، حسین، و شهرجردی، ایمان (۱۳۹۹). کاربرد بیوجار و اسید هیومیک برای مقاومت به تنش خشکی در گل آهار. *زیست‌شناسی کاربردی*، ۳۳(۱)، ۱۴۸-۱۷۴.

مرادی کردقشلاقی، پریسا، گلمحمدی، عبدالله، روشنیان فرد، علی، و قنبری، علیرضا (۱۳۹۹). تعیین میزان ویتامین C و pH گوجه فرنگی در شرایط مختلف انبارداری. بیست و هفتمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، صفحه ۸-۱

مرادی، مصطفی، برازیون‌نژاد، زهره، بصیری، رضا، جهانتاب، اسفندیار، و مرادی، غلامحسین (۱۴۰۰). گیاه پالایی خاک‌های آلوده به لجن مخازن نفتی توسط گونه کهور *Prosopis juliflora (Sw.)DC.* محیط زیست و مهندسی آب، ۷(۴)، ۶۵۸-۶۶۸  
doi:10.22034/jewe.2021.279242.1537

ملک‌محمدی، سعید، بهبهانی‌نیا، آریتا، و فراهانی، مریم (۱۳۹۸). بررسی میزان آلودگی سرب و روی در خاک‌های سطحی اطراف شهرک صنعتی شکوهیه قم. *انسان و محیط زیست*، ۱۷(۴)، ۱۳-۲۴.  
doi:20.1001.1.15625532.1398.17.4.2.6

یکزبان، عباس، موسوی، سید علی‌اکبر، ثامنی، عبدالمجید، و رضایی، مهروز (۱۴۰۲). تاثیرگذاری زغال زیستی برگ نخل و تفاله لیموترش بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی یک خاک لوم شنی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۶۹-۸۳  
doi:10.22098/mmws.2022.11264.1111

## References

Abbasitabar, H., Solgi, E., Shayesteh, K., & Mortazavi, S. (2022). Investigation of sources, chemical structure, health and environmental effects of heavy metals in soil. *Human and Environment*, 20(1), 63-76.  
doi:20.1001.1.15625532.1401.20.1.4.3 [In Persian]

Alboebadi, H., Moradi, M., & Jahanta, E. (2018). The effect of biochar and municipal waste compost on phytoremediation of heavy metals and total petroleum hydrocarbons by *Ziziphus Spina-Christi (L.) Willd* *Journal of plant ecosystem conservation*, 6(12), 261-277. [In Persian]

دلورنیا، فاطمه، زعفریان، فائزه، حسن‌پور، رقیه، و پیردشتی، همت‌اله (۱۴۰۰). ارزیابی اثر گذاری اصلاح‌کننده آلی و باکتری محرک رشد در فرآیند گیاه پالایی گیاه ذرت (*Zea mays L.*) تحت تنش فلز سنگین کادمیم. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱(۴)، ۱۴۷-۱۶۲.  
doi:10.22034/saps.2021.43955.2607

دیوبند هفشجانی، لاله، ناصری، عبدعلی، هوشمند، عبدالرحیم، عباسی، فریبرز، سلطانی محمدی، امیر (۱۳۹۶). بررسی تاثیر کاربرد بیوجار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۰(۱)، ۶۳-۷۲.  
doi:10.22055/jise.2017.12667

ذوالفقاری، مریم، تولید، سمیه، صدیقی دهکردی، فریده، و محمودی سورستانی، محمد (۱۴۰۱). بررسی رشد، عملکرد و اسانس گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) تحت تیمارهای میکوریزا، ورمی کمپوست و کود شیمیایی. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۲(۱)، ۳۵-۴۶.

رحیمی، طیبه، معزی، عبدالامیر، و حجتی، سعید (۱۳۹۷). اثر مقادیر بیوجار و نیکل بر غلظت نیکل و برخی عناصر کم مصرف در ذرت. *پژوهش‌های خاک*، ۳۲(۴)، ۵۲۷-۵۳۶  
doi:10.22092/ijsr.2019.118560

رفعتی، مریم، محمدی روز بهانی، مریم، و ناصری منفرد، هنا (۱۳۹۹). تجمع فلزات سنگین سرب و نیکل در برگ و خاک گونه‌های برهان و کنوکارپوس در شهر اهواز. *جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۳(۴)، ۳۷۹-۳۸۷  
doi:10.22059/jfwp.2021.296621.1072

سلماسی، رامین، و پیروان، حمیدرضا (۱۳۹۸). بررسی آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، یک پژوهش موردی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۱(۱)، ۲۵-۳۲  
doi:10.30495/JEST.2018.13742

شاملو، زهرا، بهبهانی‌نیا، آریتا، و سبحان، سهیل (۱۴۰۰). بررسی تجمع غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیم در نعنا (*Mentha piperital*) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) تحت تیمار لجن دفعی فاضلاب. *پایدار، توسعه و محیط زیست*، ۲(۱)، ۱۳-۲۳.  
doi:20.1001.1.24233846.1400.2.1.2.3

صالحی، مهتاب، سیاهوشی، فائزه، و داوودی، فاطمه (۱۴۰۱). بررسی خصوصیات کمی و ترکیبات اسانس گل همیشه بهار (*Calendula*

Akan, J., Kolo, B., Yikala, B., & Ogugbuaja, V. (2013). Determination of some heavy metals in vegetable samples from biu local government area, Borno State, North Eastern Nigeria. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2, 40-46.  
doi:10.11648/j.ijema.20130102.11

Akhavan Kazemi, M., Sadat Hoseini, M., & Bahramipoor, F. (2019). Analysis of the impact of climate change on international security. *Research Letter of International Relations*, 12(46), 9-39.  
doi:20.1001.1.24234974.1398.12.46.1.4 [In Persian]

- Bazgir, M., Hydari, M., Zeynali, N., & Kohzadean, M. (2020). Effect of land use change from forest to agriculture and abundance of agriculture on soil physical and chemical properties in Zagros forest Ecosystem. *Journal of Environmental Science Technology*, 22(1), 200-214. doi:10.30495/jest.2020.26084.3506 [In Persian]
- Biria, M., Moezzi A., & Ameri Khah, H. (2017). Effect of sugarcane bagasse, biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 609-626. [In Persian]
- Baycu, G., Doganay, T., Hakan, O., & Sureyya, G. (2006). Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution*, 143, 545-554. doi:10.1016/j.envpol.2005.10.050
- Davodpour, R., Sobhan Ardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N., & Lorestani, B. (2020). Bio concentration and stabilization potential studies of arsenic and some heavy metals in *Astragalus spp.* *Journal of Plant Research*, 23(2), 477-488. doi:20.1001.1.23832592.1399.33.2.16.8 [In Persian]
- Delavarniai, F., Zaefarian, F., Hasanpour, R., & Pirdashti, H. (2021). Evaluating the effect of organic amendment and growth-promoting bacteria in the phytoremediation process of maize (*Zea mays L.*) under cadmium heavy metal stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 147-162. doi:10.22034/saps.2021.43955.2607 [In Persian]
- Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hooshmand, A., Abbasi, F., & Soltani Mohammadi, A. (2017). Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties a sandy loam soil. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), 63-72. doi:10.22055/jise.2017.12667 [In Persian]
- Duong, T.T., & Lee, B.K. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 554-562. doi:10.1016/j.jenvman.2010.09.010
- Hakim Rabet, S., & Ketabchi, S. (2021). The effect of compost fertilizers, vermicompost and their tea on control of bacterial vascular wilt and growth indices in tomato seedlings. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 9(4), 61-74. doi:10.22034/arp.2021.12362 [In Persian]
- Hejazizadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A., & Ghorbani, M. (2016). Effect of Biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus L.*). *Water and Soil Science*, 26(2), 259-271. [In Persian]
- Huang, M., Zhou, S., Sun, B., & Zhao, Q. (2008). Heavy metals in wheat grain: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of The Total Environment*, 405(1-3), 54-61. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.07.004
- Jafari, M., Moameri, M., Jahantab, E., & Zargham, N. (2017). Effects of municipal solid waste compost and biochar on the phytoremediation potential of bromus tomentellus boiss. In greenhouse condition. *Journal of Rangeland*, 11(2), 194-206. doi:20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5
- Jahantab, A., Jafari, M., Motasharezadeh, B., Tavili, A., & Zargham, N. (2016). Evaluation of the phyto-remediation of rangeland plants in soils contaminated with petroleum, with an emphasis on heavy metal Ni. *Environmental Sciences*, 14(3), 107-120. doi:20.1001.1.23222700.2018.6.2.1.8 [In Persian]
- Jorge, L., Gardea-Torresdeya, B., Jose, R., Peralta-Videab, G., & Dela Rosaa, J.G. (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1797-1810. doi:10.1016/j.ccr.2005.01.001
- Keshavarz Fard, S., Solgi, M., Bagheri, H., & Shahrjerdi, I. (2019). The application of biochar with humic acid for resistance to drought stress in *Zinnia*. *Applied Biology*, 33(1), 148-174. doi:10.22051/jab.2020.24372.1279 [In Persian]
- Khan, M.B., Cui, X., Jilani, G., Lazzat, U., Zehra, A., Hamid, Y., Bussain, H., Tang, L., Yang, X., & He, Z. (2019). Eisenia fetida and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of bio solids via enhancing vermicompost quality. *Science of The Total Environment*, 684, 597-609. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.370
- Kheir, A.M.S., Esmat, F.A., Ahmed, M., Eissa, M.A., & Majrashi, A. (2021). Biochar blended humate and vermicompost enhanced immobilization of heavy metals, improved wheat productivity, and minimized human health risks in different contaminated environments. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105-117. doi:10.1016/j.jece.2021.105700
- Laghlimi, M., Baghdad, B., Hadi, H.E., & Bouabdli, A. (2015). Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: a review. *Open Journal of Ecology*, 5, 375-388. doi:10.4236/oje.2015.58031
- Majer, B.J., Tscherko, D., Paschke, A., Wennrich, R., Kundi, M., Kandeler, E., & Knasmuller, S. (2002). Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia* and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 515(2), 111-124. doi:10.1016/S1383-5718(02)00004-9

- Malekmohammadi, S., Behbahaninia, A., & Farahani, M. (2019). Survey of lead and zink pollution in surface soils around the Shokouhieh industrial Estate. *Human and Environment*, 17(4), 13-24. doi:20.1001.1.15625532.1398.17.4.2.6 [In Persian]
- Moradi, M., Barazionnezhad, Z., Basiri, R., Jahantab, E., & Moradi, G. (2021). Phytoremediation of contaminated soils to sludge of oil reservoirs using *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Environment and Water Engineering*, 7(4), 658-668. doi:10.22034/jewe.2021.279242.1537 [In Persian]
- Moradi Kurd Gheslraghi, P., Golmohammadi, A., Roshanian Fard, A., & Ghanbari, A. (2020). Determine the amount of vitamin C and tomato pH in different warehousing conditions. 27<sup>th</sup> National Iranian Food Science and Technology Congress, Tehran. Iran, Pp. 1-8. [In Persian]
- Motuzova, G.V., Minkina, T.M., Karpova, E.A., Barsova, N.U., & Mandzhieva, S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 241-246. doi:10.1016/j.gexplo.2014.01.026
- Rafati, M., Mohammahi Roozbahani, M., & Naseri Monfared, H. (2021). Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of *Albizia lebeck* and *Conocarpus erectus* from the city of Ahwaz. *Forest and Wood Products*, 73(4), 379-387. doi:10.22059/jfw.2021.296621.1072 [In Persian]
- Rahimi, T., Moezzi, A., & Hojatti, S. (2018). Effect of biochar and nickel levels on concentration of nickel and some micronutrients in corn. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 32(4), 528-537. doi:10.22092/ijsr.2019.118560 [In Persian]
- Salmasi, R., & Pyrowan, H.R. (2019). Investigating the remediation of soils polluted with heavy metals as a case study. *Journal of Environmental Science Technology*, 21(1), 25-32. doi:10.30495/JEST.2018.13742 [In Persian]
- Salehi, M., Siahvashi, F., & Davoodi, F. (2022). The evaluation of quantitative characteristics and essential oil composition of *Calendula officinalis* L. affected vermicompost and humic acid. *Plant Production and Genetics*, 3(1), 85-94. doi:10.34785/J020.2022.357 [In Persian]
- Shamlou, Z., & Sobhan, S. (2019). Investigation of accumulation of lead and cadmium in Mint (*Mentha piperital*) and spinach (*Spinacia oleracea*) under treated sewage sludge. *Journal of Sustainability, Development & Environment*, 2(1), 13-23. doi:20.1001.1.24233846.1400.2.1.2.3 [In Persian]
- Skandari, F., Basiri, R., & Moradi, M. (2020). Effect of *Quercus brantii* Lindl and *Cupress sempervirens* L. var. *horizontahis* on soil physical and chemical properties in Kohgiluyeh and boyerahmad. *Journal of plant research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 894-906. doi:20.1001.1.23832592.1399.33.4.12.8 [In Persian]
- Sufian, J., Golchin, A., Moradi, S., Jahanban, L., & Gheiratie Arani, L. (2019). Growth and nutrients concentration of duckweed (*Lemna minor* L.) as affected by cadmium and salinity application of aqueous solutions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(3), 610-622. doi:20.1001.1.23832592.1398.32.3.6.3 [In Persian]
- Tammeorg, P., Simojoki, A., Makela, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., & Helenius, J. (2014). Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191, 108-116. doi:10.1016/j.agee.2014.01.007
- Wang, Y., Xu, Y.A., Li, D., Cong Tang, B., Man, S.L., Jia, Y.F., & Xu, H. (2018). Vermicompost and biochar as bio-conditioners to immobilize heavy metal and improve soil fertility on cadmium contaminated soil under acid rain stress. *Science of The Total Environment*, 621, 1057-1065. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.121
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., & Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160, 98-105. doi:10.1016/j.agwat.2015.07.002
- Yekzaban, A., Moosavi, A., Sameni, A., & Rezaei, M. (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*, 3(1), 69-83. doi:10.22098/mmws.2022.11264.1111 [In Persian]
- Zhang, Q., Chen, H., Xu, C., Zhu, H., & Zhu, Q. (2019). Heavy metal uptake in rice is regulated by pH-dependent iron plaque formation and the expression of the metal transporter genes. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 392-398. doi:10.1016/j.envexpbot.2019.03.004
- Zolfaghari, M., Tolideh, S., Sedighi Dehkordi, F., & Mahmoodi Sourestani, M. (2022). Evaluation of growth, yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under mycorrhiza, vermicompost and chemical fertilizer treatments. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 35-46. [In Persian]