

The effect of cow manure compost enriched with iron and zinc metal scraps on the available iron and zinc concentrations of calcareous soils with different textures

Seyed Mostafa Emadi Baladehi^{1*} , Fardin Sadeghzadeh² , Mohammad Ali Bahmanyar³ ,
Bahi Jalili⁴ 

¹ Graduated M.Sc. Student, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

² Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

³ Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

⁴ Assistant Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Abstract

Introduction

Although micronutrients are required by plants in small amounts, they play an important role in plant growth and development. Plant structure, plant enzyme system, formation and degradation of proteins, and production of plant hormones such as gibberellic acid and chlorophyll are affected by micronutrients including iron and zinc. The soil of most regions of Iran has an alkaline pH and is poor in terms of micronutrients, which has occurred as a result of lack of rainfall, a lot of salts such as carbonates and bicarbonates, unfavorable management of irrigation, destruction of vegetation, fallow, indiscriminate plowing, etc. Therefore, organic fertilizers enriched with micronutrients are suitable alternatives due to their high amounts of organic matter content, and their role in improving soil properties. Organic fertilizers have high amounts of macronutrients such as nitrogen and potassium but the amount of their micronutrients is relatively low. Therefore, mixing iron and zinc metals with the organic fertilizer induces the increased available iron and zinc in the organic fertilizer. The increase in the available concentration of iron and zinc can be due to reduction conditions by the organic fertilizer induced. Adding enriched fertilizers with iron and zinc metal scrap to the soil, while eliminating iron and zinc deficiency, reduces the cost of producing chemical fertilizers and their import, and prevents environmental pollution caused by the consumption of these fertilizers and the accumulation of metal scraps. Considering that the effect of fertilizers enriched with metal iron and zinc on the soil has not been studied so far, in this research, the effect of cow manure compost enriched with iron and zinc metal scraps on the concentrations of iron and zinc in soils with different textures was investigated.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of cow manure compost enriched with iron and zinc metal particles on the amount of iron and zinc in soils with different textures, an experiment was carried out in the form of split plots-factorial in a completely randomized block design. The main factor includes soil texture in three types heavy, medium, and light texture. The secondary factors include iron-enriched cow manure compost and zinc-enriched cow manure compost in two levels of zero and 30 t ha⁻¹. At first, the produced cow manure compost was passed through a two mm sieve to remove extra materials (gravel and straw pieces). For enrichment, two percent of iron and zinc scraps were added to 100 gr of dry matter of cow manure compost that was saturated in plastic containers and kept for 60 days under laboratory and moisture conditions. After the enrichment process, the cow manure compost with iron and zinc metal scraps of two percent was added to the soils with field moisture capacity in plastic containers after 60 days. Then, the soils were sampled and the available iron and zinc concentrations of the soils were measured.

Results and Discussion

The results showed that the use of iron-enriched cow manure compost led to an increase of available iron in different soil textures so that it reached 24.16 mg kg⁻¹ in the heavy soil texture, which was 3.8 times greater than the control treatment in the same texture. Also, the addition of zinc-enriched cow manure compost could increase available iron up to 21.51 mg kg⁻¹. Since this treatment contains highly soluble zinc, the soluble zinc can be placed on the surface of the soil colloids and thus increase the available iron. Cow manure compost treatment enriched with zinc also caused a 3499 % increase in available zinc in the heavy soil texture compared to the control treatment in the same soil texture. The reason for this increase in available iron and zinc can be related to the formation of chelate and complex with soil organic matter components. The interaction effect of cow manure compost enriched with iron and zinc caused a significant increase of available zinc in the soil compared to the application of these fertilizers alone, and the concentration of available zinc in the heavy soil texture reached 70.87 mg kg⁻¹. This can be attributed to the high amount of zinc in zinc-enriched fertilizer (4538.7 mg kg⁻¹) and the synergistic effect of iron-enriched fertilizer, which had a double effect on the chelation of zinc elements with organic matter in the soil.

Conclusion

Based on the results of this experiment, the application of 30 tons per hectare of cow manure compost enriched with iron and zinc metal scraps increased the amount of available iron and zinc in the soil, especially in the heavy soil texture. This issue is probably due to the higher content of organic substances and as a result of increasing their chelation rate with soil organic components. Therefore, it is recommended to use organic fertilizers enriched with iron and zinc along with metal scraps to solve the deficiency of these elements and improve the chemical properties of the soil according to environmental and economic considerations. Also, due to the addition of significant amounts of available iron and zinc to the soil by enriched cow manure compost, it is recommended to consume fewer amounts of enriched manure.

Keywords: Available iron, Enriched organic fertilizer, Incubation, Micronutrients, Soil texture

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: mostafaemadibaladehi@gmail.com

Citation: Emadi Baladehi, S.M., Sadeghzadeh, F., Bahmanyar, M.A., & Jalili, B. (2023). The effect of cow manure compost enriched with iron and zinc metal scrap on the available iron and zinc concentrations of soils with different textures. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 212-224.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11886.1185

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.13.5

Received: 4 December 2022, Received in revised form: 20 December 2022, Accepted: 20 December 2022, Published online: 20 December 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 212-224

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تأثیر کود کمپوست گاوی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی بر غلظت آهن و روی قابل جذب خاک‌های آهکی با بافت مختلف

سید مصطفی عمادی بالادهی^{۱*}، فردین صادق‌زاده^۲، محمد علی بهمنیار^۳، بهی جلیلی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۳ استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۴ استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

عناصر کم‌مصرف با وجود این‌که به مقدار کم مورد نیاز گیاهان هستند، ولی نقش برجسته‌ای در رشد و نمو گیاهان دارند. با توجه به این‌که خاک‌های اکثر مناطق ایران دارای اسیدیته قلیایی و فقیر از عناصر کم‌مصرف هستند، اما کودهای آلی غنی شده از عناصر کم‌مصرف به واسطه داشتن مقادیر بالای عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن و پتاسیم می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی حاوی عناصر مذکور باشند. در این پژوهش اثر کود کمپوست گاوی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی بر میزان آهن و روی قابل دسترس خاک‌های آهکی با بافت مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور آزمایشی به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتور اصلی شامل بافت خاک (سنگین، متوسط و سبک) و عوامل فرعی شامل کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کود کمپوست گاوی غنی شده با روی در دو سطح صفر و ۳۰ تن بر هکتار بودند. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، کاربرد ۳۰ تن بر هکتار کودهای کمپوست گاوی غنی شده با آهن و روی سبب افزایش میزان آهن و روی قابل جذب خاک به‌ویژه در بافت خاک سنگین شد که دلیل آن را می‌توان بالا بودن مواد آلی و در نتیجه افزایش میزان کلات شدن آن‌ها با اجزای آلی در این بافت خاک دانست. به‌علاوه کاربرد کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن منجر به افزایش آهن قابل جذب در بافت‌های مختلف خاک شد. به‌طوری‌که در بافت خاک سنگین مقدار آن ۳/۸ برابر تیمار شاهد در همان بافت خاک شد. اثر متقابل کودهای کمپوست گاوی غنی شده با آهن و روی نیز سبب افزایش معنادار روی قابل جذب خاک‌ها نسبت به کاربرد مجزای این کودها شد و غلظت روی قابل جذب در بافت خاک سنگین این تیمار به ۷۰/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. بنابراین استفاده از کودهای آلی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی جهت رفع کمبود این عناصر در خاک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن قابل جذب، انکوباسیون، بافت خاک، عناصر کم‌مصرف، کود آلی غنی شده

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mostafaemadibaladehi@gmail.com

استناد: عمادی بالادهی، سیدمصطفی، صادق‌زاده، فردین، بهمنیار، محمدعلی، و جلیلی، بهی (۱۴۰۲). تأثیر کود کمپوست گاوی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی بر غلظت آهن و روی قابل جذب خاک‌های آهکی با بافت مختلف. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۲۴-۲۱۲.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11886.1185

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.13.5



تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۱۲ تا ۲۲۴

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

از مشکلات اساسی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اکثر خاک‌های ایران می‌توان به کمبود مواد آلی، اسیدیته بالا و شوری اشاره کرد که در نتیجه کمبود بارندگی، زیادی املاح نظیر کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها، مدیریت نامطلوب آبیاری، تخریب پوشش گیاهی، آیش و شخم بی‌رویه و غیره رخ داده است. این ویژگی‌ها در نهایت منجر به کاهش حاصل‌خیزی خاک از طریق کاهش دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف می‌شود (Wahba et al., 2019). بخش وسیعی از خاک‌های ایران به دلیل آهکی بودن و پایین بودن مواد آلی دچار کمبود عناصر کم‌مصرف نظیر آهن و روی شده که سبب کاهش تولید و کیفیت عملکرد گیاهان شده است (Asadi et al., 2022). عناصر کم‌مصرف با وجود این‌که به مقدار کم مورد نیاز گیاهان هستند، ولی نقش برجسته‌ای در رشد و نمو گیاهان دارند که از جمله نقش آن‌ها می‌توان به فعالیت‌های آنزیمی، رشد، تمایز سلولی، تشکیل گل، میوه و بهبود کیفیت محصول اشاره کرد (Tripathi et al., 2015). در سال‌های اخیر نیز کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک به دلایلی از جمله سیستم‌های زراعی متمرکز یا فشرده، فرسایش خاک سطحی و مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی افزایش یافته است (Dhaliwal et al., 2019). بنابراین تأمین این عناصر می‌تواند موجب توازن عناصر غذایی در خاک و در نهایت افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول شود (Karami Chameh et al., 2012).

اسیدیته و هدایت الکتریکی از جمله مشخصات مهم خاک هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاهان نقش دارند (Moshiri et al., 2022). اسیدیته با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و به‌طور کلی با رشد و بازدهی گیاهان ارتباط دارد. برای قابلیت جذب بسیاری از عناصر مورد نیاز گیاهان، حدودی از اسیدیته همواره مناسب‌تر و گاهی ضروری‌تر است. اسیدیته قلیایی باعث می‌شود که حلالیت عناصر غذایی ضروری برای گیاه کاهش پیدا کند و کمبود عناصر غذایی مانند فسفر، آهن، روی و منگنز در گیاه مشاهده شود (Neina, 2019). هدایت الکتریکی نیز توانایی خاک را در هدایت جریان الکتریکی نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین اثرات هدایت الکتریکی این است که از آن به‌عنوان شاخصی از میزان دسترسی به عناصر غذایی در خاک استفاده می‌شود. هر چه قدر هدایت الکتریکی بالاتر باشد، بار منفی ذرات در خاک افزایش می‌یابد (Friedman, 2005).

یکی از راه‌های بهبود ویژگی‌های خاک استفاده از کودهای آلی است. کودهای آلی یکی از مهم‌ترین عواملی هستند که به افزایش بهره‌وری و کشاورزی پایدار کمک می‌کنند و می‌توانند مشکل کشاورزان را با بهبود حاصل‌خیزی خاک از طریق افزایش

ماده آلی خاک، بالابردن سطح عناصر غذایی، بهبود ساختمان و بافت خاک با خاکدانه‌سازی، افزایش CEC، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود خصوصیات زیستی خاک، حل کنند (Adugna, 2018; Chahal et al., 2020). با وجود این‌که کودهای آلی هم‌چون کود کمپوست گاوی، منبع مناسب و ارزشمندی از عناصر غذایی پرمصرف نظیر نیتروژن و پتاسیم و میزان بالای مواد آلی هستند و سبب بهبود ویژگی‌های مختلف خاک می‌شوند، اما میزان عناصر کم‌مصرف برای گیاه را به خوبی فراهم نمی‌کنند (Kissinger et al., 2007). استفاده از کودهای آلی غنی شده با عناصر کم‌مصرف یکی از راه‌های جبران این عناصر در خاک است که می‌تواند باعث افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آن‌ها در خاک شود (Tabarteh Farahani et al., 2017). زیرا در خاک‌های کشور ما به‌علت آهکی بودن، زیست‌فراهمی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی کاهش می‌یابد. در چنین موقعیتی غنی‌سازی کودهای آلی با منابع عناصر کم‌مصرف می‌تواند باعث افزایش زیست‌فراهمی آن‌ها در خاک شود (Jokar and Ronaghi, 2015). از اهداف اصلی غنی‌سازی کودهای آلی، به حداقل رساندن مصرف بیش از حد کودها برای عملکرد مطلوب و کیفیت محصولات بدون آسیب رساندن به خاک و محیط زیست است (Bhadu et al., 2017). علاوه بر این کودهای آلی سبب کمپلکس شدن عناصر فلزی در خاک می‌شوند که این امر دارای اهمیت بالایی است. این عمل سبب افزایش حلالیت این عناصر شده و بر قابلیت دسترسی بسیاری از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیز اثر می‌گذارد. بدین‌صورت که افزودن کودهای آلی غنی شده با منابع آهن و روی سبب کلات شدن آهن به‌وسیله بخش‌های آلی خاک نظیر اسیدفولویک و اسیدهیومیک و بنیان‌های آلی مانند سیترات، اکسالات و مالات که دارای وزن مولکولی پایینی هستند، می‌شود. این فرآیند در نتیجه تأثیر مواد آلی در ایجاد شرایط احیایی است که در پی تجزیه مواد آلی به‌وسیله ریزجانداران، ریزنقاط احیایی در منافذ خاک به‌وجود آمده که سبب می‌شوند میزان آهن و روی در خاک افزایش یابد (Lindsay, 1974; Sekhon, 2003). با توجه به این‌که میزان عناصر کم‌مصرف در خاک‌های با اسیدیته بالا موجب تشکیل ترکیبات نامحلول شده و رسوب می‌کنند، از این جهت افزودن یک عامل جهت کمپلکس کردن عناصر کم‌مصرف باعث افزایش میزان محلول این عناصر شده و آن‌ها را با سرعت بیشتری به منطقه ریشه گیاه منتشر می‌کند (Barber, 1995). در این راستا Chen et al. (1982) در پژوهشی نشان دادند که اختلاط کود دامی با سولفات آهن تأثیر به‌سزایی در رفع کمبود آهن در خاک آهکی داشته است. هم‌چنین Meena et al. (2018) نیز گزارش کردند که استفاده از عناصر کم‌مصرف از

آزمایشات آماده‌سازی شدند. تجزیه و اندازه‌گیری‌های مربوطه شامل تعیین بافت خاک با روش هیدرومتری (Gee and Buader, 1982)، اسیدیته در گل اشباع و قرائت با استفاده از الکتروُد شیشه‌ای دستگاه pH (متر) و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و قرائت توسط دستگاه EC (متر) (Westerman, 1990)، رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از روش کاغذ صافی (Hamblin, 1981)، کربن آلی به روش والکی بلک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید (Bashour and Sayegh, 2007)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب با روش استخراج بی‌کربنات سدیم و با کمک دستگاه اسپکتوفتومتر (Olsen and Sammers, 1982) و پتاسیم قابل جذب خاک با استخراج از استات آمونیوم و با کمک دستگاه فلیم فتومتر (Schneider, 2005) انجام شد. عناصر کم‌مصرف قابل جذب شامل آهن و روی توسط DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) و عناصر کم‌مصرف کل به روش هضم با مخلوط اسیدکلریدریک و اسیدنیتریک (Estefan et al., 2013) عصاره‌گیری شدند. قرائت عناصر کم‌مصرف قابل جذب و کل نیز با دستگاه جذب اتمی انجام شد. در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ارائه شده است.

طریق تکنیک غنی‌سازی کود دامی با پنج کیلوگرم روی در هکتار نسبت به کاربرد سولفات روی باعث بهبود یا حفظ وضعیت عناصر غذایی در خاک شد.

با توجه به پژوهش‌های گذشته در مورد افزودن منابع معدنی آهن و روی به کودهای آلی و تأثیر آن در غنی شدن کودهای آلی، می‌توان دریافت که اضافه نمودن ضایعات فلزی آهن و روی به کود کمپوست گاوی در رطوبت بالا سبب غنی‌سازی این کود از این عناصر شده و در صورت افزودن به خاک سبب افزایش مقدار آهن و روی قابل جذب خاک خواهد شد. لذا در این پژوهش اثر کاربرد کود کمپوست گاوی غنی شده با ذرات فلزی آهن و روی بر مقدار آهن و روی قابل دسترس در خاک‌هایی آهکی با بافت مختلف مطالعه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمونه‌برداری و تجزیه خاک

نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری شامل سه بافت خاک سنگین، متوسط و سبک که به ترتیب از باغ مرکبات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، زمین زراعی و زمین ساحلی منطقه گهرباران شهرستان ساری در استان مازندران تهیه شد. سپس با اختلاط نمونه‌ها، یک نمونه مرکب حاصل شد و نمونه‌های خاک که در هوا خشک شده بودند برای انجام

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soils

مقدار			واحد	ویژگی
بافت خاک سبک (Light soil texture)	بافت خاک متوسط (Medium soil texture)	بافت خاک سنگین (Heavy soil texture)		
شنی (Sand)	لومی سیلتی (Silty loam)	رسی سیلتی (Silty clay)	-	بافت خاک (Soil Texture)
4	26	42	درصد	رس (Clay)
6	65	50	درصد	سیلت (Silt)
90	9	8	درصد	شن (sand)
7.7	7.6	7.7	-	اسیدیته (pH)
1.9	1.1	1.1	دسی زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی (EC)
12	28	36	درصد	رطوبت ظرفیت زراعی (FC)
18.3	22.6	26.4	درصد	کربنات کلسیم (CaCO ₃)
0.21	1.3	1.5	درصد	کربن آلی (OC)
0.02	0.13	0.14	درصد	نیتروژن کل (Total N)
8	10.7	12.1	میلی‌گرم بر کیلوگرم	فسفر قابل جذب (Available P)
141	293	315	میلی‌گرم بر کیلوگرم	پتاسیم قابل جذب (Available K)
3	3.2	4.2	میلی‌گرم بر کیلوگرم	آهن قابل جذب (Available Fe)
0.41	0.42	0.43	میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی قابل جذب (Available Zn)
2.4	2.7	2.8	درصد	آهن کل (Total Fe)
403	445	420	میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی کل (Total Zn)

۲-۲- غنی‌سازی کود کمپوست گاوی

(متر) و هدایت الکتریکی کود کمپوست گاوی با دستگاه EC (متر) با نسبت ۱:۵ اندازه‌گیری شدند. کربن آلی با روش هضم‌تر (Nelson and Sommers, 1982) و نیتروژن کل کود به روش کج‌لدال (Bremner and Mulvaney, 1982) تعیین شدند. اندازه‌گیری فسفر به روش رنگ‌سنجی زرد (معرف مولبیدات وانادات) و پتاسیم کل با دستگاه فلیم فتومتر پس از تهیه عصاره خاکستر انجام شد. عصاره خاکستر پس از فرارگرفتن کود به مدت چهار ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی و هضم با HCl ۲ نرمال تهیه شد. مقادیر قابل جذب آهن و روی توسط DTPA و با نسبت ۱:۱۰ عصاره‌گیری شد (Lindsay and Norvell, 1978). مقادیر کل آهن و روی در عصاره خاکستر و مقادیر قابل جذب آن در عصاره DTPA توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کودهای کمپوست گاوی استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است.

در ابتدا کود کمپوست گاوی تولید شده به‌منظور خارج کردن مواد اضافی (سنگ‌ریزه و تکه‌های کاه) از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. جهت غنی‌سازی، به ۱۰۰ گرم ماده خشک کود کمپوست گاوی که درون ظروف پلاستیکی اشباع شده بودند، دو درصد ضایعات آهن و روی دارای فرم فلزی (ظرفیت صفر) اضافه و به مدت ۶۰ روز در شرایط آزمایشگاهی و با حفظ رطوبت خوابانده شدند. هم‌چنین، برای تعیین مقدار مصرف آب مقطر برای اشباع کردن کود، ۱۰۰ گرم ماده خشک کود کمپوست گاوی را با آب مقطر اشباع کرده که حجم آب مقطر برابر ۲۴۰ میلی‌لیتر بود و رطوبت آن نیز محاسبه شد.

۲-۳- تعیین خصوصیات کود کمپوست گاوی غنی شده

پس از پایان زمان انکوباسیون غنی‌سازی کود، کودها در هوا خشک شده و تجزیه مربوطه شامل اسیدیته توسط دستگاه pH

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کودهای کمپوست گاوی

Table 2- Some physical and chemical characteristics of cow compost fertilizers

مقدار			واحد	ویژگی
کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن (Iron-enriched cow manure) (compost)	کود کمپوست گاوی غنی شده با روی (Zinc-enriched cow manure) (compost)	کود کمپوست گاوی (Cow manure) (compost)		
8.4	8.6	7.8	-	اسیدیته (pH)
3.4	4	2.4	دسی زمینس بر متر	هدایت الکتریکی (EC)
-	-	24.1	درصد	رطوبت اولیه (Moisture)
203.1	202.2	-	درصد	رطوبت اشباع (Moisture)
6.6	7.1	8.1	-	نسبت کربن به نیتروژن (C/N)
11.3	10.7	15.4	درصد	کربن آلی (OC)
1.7	1.5	1.9	درصد	نیتروژن کل (Total N)
0.29	0.26	0.31	درصد	فسفر کل (Total P)
0.55	0.51	0.81	درصد	پتاسیم کل (Total K)
46	759.1	69.2	میلی‌گرم بر کیلوگرم	آهن قابل جذب (Available Fe)
4987.4	160.3	30.8	میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی قابل جذب (Available Zn)
2922.3	6877.6	2618.6	میلی‌گرم بر کیلوگرم	آهن کل (Total Fe)
14558.8	248.2	182.7	میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی کل (Total Zn)

برسند. پس از گذشت این مدت، خاک‌ها در هوا خشک شده و تحلیل‌های مربوطه روی آن‌ها انجام شد.

۲-۵- طرح و تیمارهای آزمایش

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل بافت خاک که دارای سه نوع بافت سنگین، متوسط و سبک بود. عوامل فرعی نیز شامل کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کود کمپوست گاوی غنی شده با روی که هر کدام دارای سطوح

۲-۴- آزمایشات انکوباسیون تیمارهای خاک

خاک‌ها (۵۰۰ گرم وزن خشک) و کودهای کمپوست گاوی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی با نسبت‌های صفر و ۳۰ تن بر هکتار (Ashrafi et al., 2004) (۸/۳ گرم کود اشباع) مخلوط شدند و درون ظروف پلاستیکی که قسمت تحتانی آن مسدود شده بود ریخته شده و به مدت ۶۰ روز در شرایط آزمایشگاه و با حفظ رطوبت تیمارها در حد رطوبت مزرعه نگهداری شدند. به نحوی که رطوبت‌های وزنی نمونه‌ها هر پنج روز اندازه‌گیری و به خاک‌ها رطوبت‌دهی شد تا به وزن اولیه

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اسیدیته خاک‌ها

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان pH خاک‌ها مشخص شد که عوامل کود غنی شده با آهن، کود غنی شده با روی و اثر متقابل بافت خاک و کود غنی شده با آهن در سطح احتمال پنج درصد معنادار شدند، اما سایر عوامل معنادار نشدند (جدول ۳).

صفر و ۳۰ تن بر هکتار بودند. تیمارهای عوامل فرعی در چهار سطح عبارت بودند از: (۱) شاهد، (۲) کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن با نسبت ۳۰ تن بر هکتار، (۳) کود کمپوست گاوی غنی شده با روی با نسبت ۳۰ تن بر هکتار و (۴) کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن و با نسبت ۳۰ تن بر هکتار و کود کمپوست گاوی غنی شده با روی با نسبت ۳۰ تن بر هکتار.

۲-۶- تحلیل آماری

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شد. همچنین، میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی، آهن و روی خاک‌ها

Table 3- The results of the analysis of variance of the effect of treatments on the amount of pH, EC, iron, and zinc of soils

میانگین مربعات (Mean of Squares)				درجه آزادی (Degree of Freedom)	منابع تغییرات (Source of variance)
روی (Zn)	آهن (Fe)	هدایت الکتریکی (EC)	اسیدیته (pH)		
0.334 ^{ns}	0.816 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	2	تکرار (Replication) (R)
116.66 ^{**}	381.806 ^{**}	1.156 ^{**}	0.006 ^{ns}	2	بافت خاک (Soil Texture) (ST)
3.143	0.242	0.0004	0.003	4	خطای اصلی (Original error)
153.264 ^{**}	458.103 ^{**}	0.423 ^{**}	0.014 [*]	1	کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن (I) (Fe-enriched cow manure compost)
29647.1 ^{**}	202.208 ^{**}	0.303 ^{**}	0.014 [*]	1	کود کمپوست گاوی غنی شده با روی (Z) (Zn-enriched cow manure manure)
17.904 [*]	36.069 ^{**}	0.036 ^{**}	0.004 ^{ns}	2	بافت خاک*کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن (ST*I)
115.578 ^{**}	31.19 ^{**}	0.02583 ^{**}	0.004 ^{ns}	2	بافت خاک*کود کمپوست گاوی غنی شده با روی (ST*I)
140.66 ^{**}	169.173 [*]	0.003 [*]	0.0003 ^{ns}	2	کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن*کود کمپوست گاوی غنی شده با روی (I*Z)
18.305 [*]	37.808 [*]	0.006 ^{**}	0.014 [*]	2	بافت خاک*کود کمپوست گاوی غنی شده با آهن*کود کمپوست گاوی غنی شده با روی (ST*I*Z)
4	0.985	0.001	0.003	18	خطای آزمایش (Test error)
6.54	7.02	1.635	0.686	-	ضریب تغییرات (درصد) (CV)

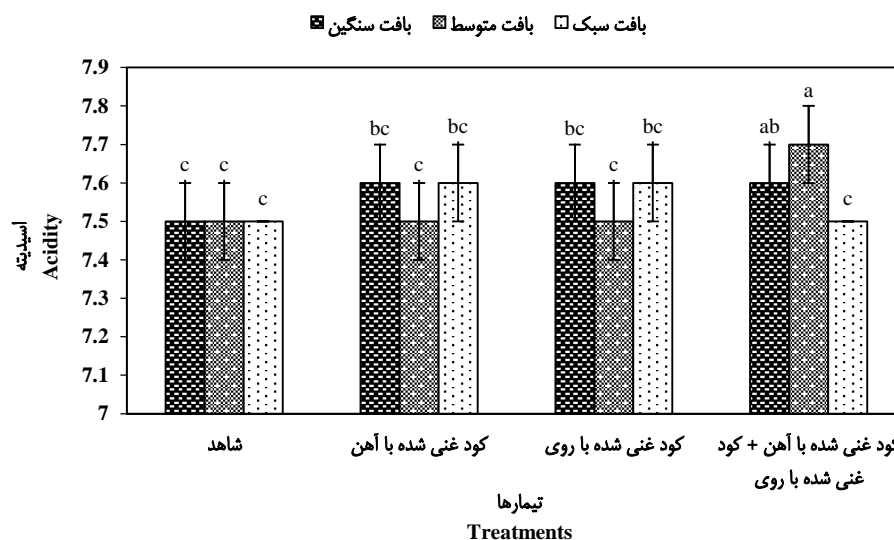
ns و * و ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنادار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنادار

می‌توانیم بفهمیم که با وجود بالا بودن pH کودهای غنی شده (جدول ۲) اما تغییر زیادی در اسیدیته خاک رخ نداد. این یافته در راستای پژوهش (Veeranagappa et al. 2011) بوده که گزارش کردند کاربرد سطوح بالای کود کمپوست غنی شده با سولفات روی می‌تواند باعث افزایش بسیار جزئی در اسیدیته خاک شود. به‌طور کلی پژوهش‌های بسیاری در زمینه افزودن کودهای آلی به خاک انجام شده که گزارش‌های متناقضی در مورد تغییر در pH خاک داده‌اند. به‌طور مثال، Ndayegamiye and Côté (1989) در پژوهشی در اثر استفاده از کود دامی هیچ افزایش یا کاهش در pH خاک مشاهده نکردند. این نتیجه به آهک دهی

مقایسه میانگین اثر تیمارها بر مقادیر اسیدیته خاک‌هایی با بافت مختلف در شکل ۱ نشان می‌دهد که میزان pH در خاک فقط در تیمار اثر متقابل کودهای غنی شده با آهن و روی توانست افزایش معنادار پیدا کند و در سایر تیمارها افزایش در اسیدیته معنادار نبود. این نتایج نشان می‌دهد در بافت متوسط این تیمار اسیدیته خاک با یک دهم واحد افزایش معنادار نسبت به کاربرد مجزای کود غنی شده با روی به ۷/۷ رسید. دلیل این افزایش را می‌توان به قرار گرفتن آهن و روی محلول در سطح کلوئیدهای خاک و آزاد شدن آمونیوم نسبت داد که این آزاد شدن آمونیوم می‌تواند سبب افزایش pH خاک شود. از داده‌های فوق

O'Hallorans et al. (1993) نشان داد افزایش نرخ کاربرد کود مرغی کاهش خطی اسیدیته را در پی دارد. آن‌ها دلیل کاهش pH خاک را افزایش هدایت الکتریکی عنوان کردند که در نتیجه با افزایش کاتیون‌ها، آن‌ها جایگزین یون‌های H^+ در محل‌های تبدلی می‌شوند. این تنوع در نتایج نشان می‌دهد که اثر کودهای آلی بر اسیدیته خاک به ویژگی‌ها و شرایط خاک و نوع کود آلی بستگی دارد (Han et al., 2016).

این خاک قبل از آزمایش نسبت داده شد. همچنین، Ano and Ubochi (2007) نیز گزارش کردند با افزودن کودهای دامی مثل کود بزرگ، خرگوش، خوک، مرغ و گاو میزان اسیدیته خاک افزایش می‌یابد که این افزایش با کاربرد بالاتر کود، بیش‌تر نیز شد. آن‌ها عنوان کردند این افزایش pH خاک به دلیل وجود بی‌کربنات و کربنات کلسیم در کود است که میزان آن در کود، به رژیم غذایی حیوان بستگی دارد. از طرفی یافته‌های آزمایش



شکل ۱- اثر متقابل بافت خاک، کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کمپوست گاوی غنی شده با روی بر اسیدیته خاک. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معناداری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD هستند

Figure 1- Interaction effect of soil texture, iron-enriched cow compost, and zinc-enriched cow compost on soil acidity. Columns with at least one common letter indicate no significant difference at the five percent probability level based on the LSD test

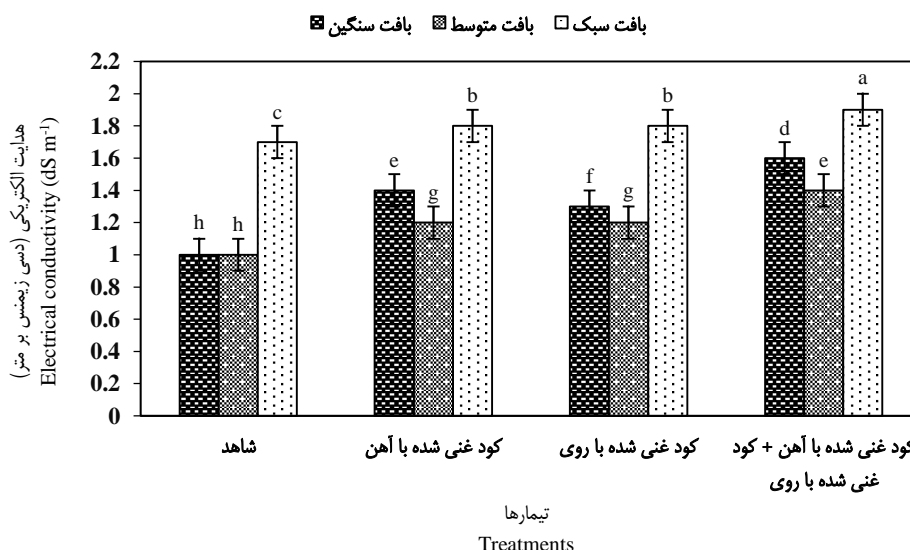
کدام توانستند که در هر سه بافت خاک باعث افزایش میزان هدایت الکتریکی شوند. در پژوهشی (Bhadu et al. 2017) نیز عنوان کردند استفاده از کود کمپوست غنی شده با سولفات روی می‌تواند باعث کمی افزایش در میزان هدایت الکتریکی خاک شود. همچنین، کاربرد تیمار اثر متقابل کود غنی شده با آهن و کود غنی شده با روی نیز باعث افزایش میزان EC در هر سه بافت خاک نسبت به کاربرد مجزای این دو کود شد که باز هم میزان افزایش در بافت سنگین بیش‌تر بود؛ به طوری که میزان هدایت الکتریکی در این تیمار و بافت خاک به ۱/۶ دسی زیمنس بر متر رسید که نسبت به تیمار شاهد در این بافت ۶۰ درصد افزایش یافت. پس از اضافه شدن کود به خاک و قرار گرفتن نمک‌های حاصل از آن در آب خاک، از آن‌جا که بافت سنگین و متوسط رطوبت مزرعه بالاتری نسبت به بافت سبک دارند به همین دلیل میزان بیش‌تری از کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در محتوای آب خاک خود جای می‌دهند و پس از خشک شدن برای تجزیه، EC این خاک‌ها نیز بالاتر نشان داده می‌شود. در پژوهش

۳-۲- هدایت الکتریکی خاک‌ها

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان EC خاک‌هایی با بافت مختلف در جدول ۳ نشان می‌دهد به جز در عامل اثر متقابل کود غنی شده با آهن و کود غنی شده با روی که در سطح احتمال پنج درصد معنادار شد، سایر عوامل در سطح احتمال یک درصد معنادار شدند. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان EC خاک‌هایی با بافت مختلف در شکل ۲ آمده است که نشان می‌دهد بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی تیمارها در بافت سبک مشاهده شد که به دلیل مقدار بالای EC در خاک اولیه بود (جدول ۱). میزان هدایت الکتریکی در بافت سبک بین ۶ درصد (در تیمارهای کود غنی شده با آهن و تیمار کود غنی شده با روی) تا ۱۲ درصد (در تیمار اثر متقابل کودهای غنی شده) تغییر کرد. در بافت متوسط نیز بین ۲۰ درصد (در تیمارهای کود غنی شده با آهن و تیمار کود غنی شده با روی) تا ۴۰ درصد (در تیمار اثر متقابل کودهای غنی شده) تغییر یافت. همچنین، نتایج بیان‌گر این موضوع است که کاربرد کود غنی شده با آهن و روی هر

دسی زمینس بر متر بود. این نتایج حاکی از آن است که اثر کود آلی بر روی EC خاک بستگی زیادی به میزان کاربرد کود، نوع کود، نوع بستر مورد استفاده و ویژگی‌های خاک نظیر بافت خاک دارد (Rayne and Aula, 2020).

Miller et al. (2017) نیز مشخص شد افزودن کود گاوی سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌شود که میزان افزایش با میزان مصرف کود گاوی دارای رابطه خطی بود. در این مطالعه نشان داده شد EC خاک در اثر تیمارهایی که ۷۷ تن بر هکتار کود گاوی با بستر کاه استفاده شده بود، به ۷ دسی زمینس بر متر رسیده بود درحالی‌که تیمار شاهد دارای هدایت الکتریکی ۰/۸



شکل ۲- اثر متقابل بافت خاک، کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کمپوست گاوی غنی شده با روی بر هدایت الکتریکی خاک‌ها بر حسب دسی زمینس بر متر. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معناداری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است

Figure 2- The effect of soil texture interaction, iron-enriched cow compost, and zinc-enriched cow compost on soil electrical conductivity in dS m⁻¹. Columns with at least one similar letter indicate no significant difference at the five percent probability level based on the LSD test.

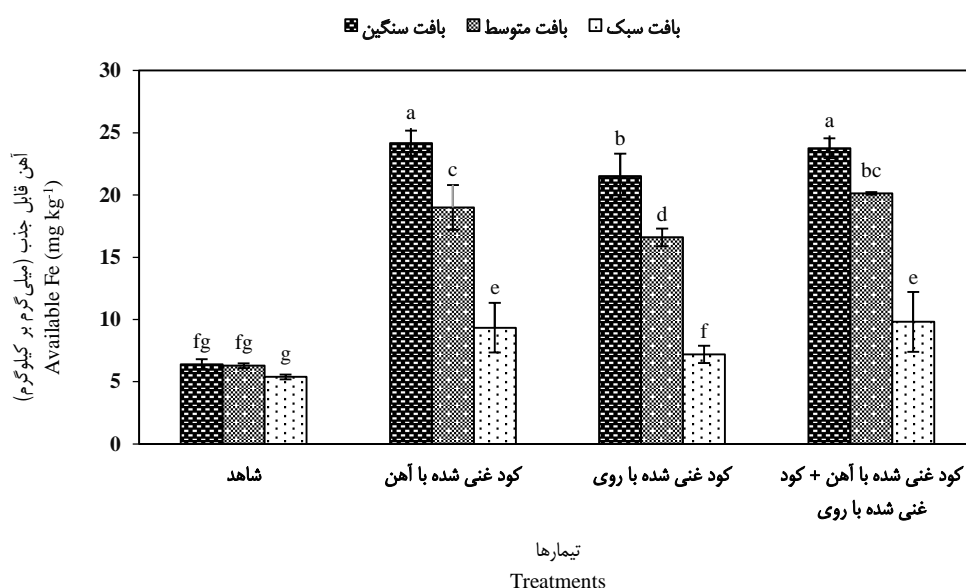
۳-۳- آهن قابل جذب خاک‌ها

یعنی آهن دو ظرفیتی در محلول خاک بالا می‌رود (Lindsay, Melali and Shariatmadari, 2008; 1995). هم‌چنین، کاربرد این تیمار، سبب افزایش آهن قابل جذب در هر سه بافت خاک شد که به دلیل بالا بودن آهن قابل جذب این تیمار پس از غنی‌سازی کود است (۷۵۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم). بر خلاف انتظار، کود غنی شده با روی نیز توانست آهن قابل جذب را در هر سه بافت خاک افزایش دهد که البته مقادیر افزایش در هر سه بافت کمتر از کاربرد تیمار کود غنی شده با آهن بود. این نتیجه و افزایش آهن احتمالاً به دلیل این مسئله رخ داد که کود غنی شده با روی حاوی روی محلول بالا است که این روی محلول می‌تواند در سطح کلئیدهای خاک قرار گیرد و غلظت آهن محلول را افزایش دهد. هم‌چنین، تیمار اثر متقابل کود غنی شده با آهن و روی سبب افزایش آهن نسبت به تیمار کود غنی شده با روی شد که این امر ممکن است به دلیل این موضوع باشد که تیمار اثر متقابل دارای مقادیر آهن قابل جذب بالاتری نسبت به تیمار کود غنی شده با روی است و طبیعتاً سبب افزایش بیش‌تر

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان آهن قابل جذب خاک‌ها نشان می‌دهد که عامل اثر متقابل کود غنی شده با آهن و کود غنی شده با روی و عامل اثر متقابل بافت خاک و کود غنی شده با آهن و کود غنی شده با روی در سطح احتمال پنج درصد و سایر عوامل در سطح احتمال یک درصد معنادار شدند (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان آهن قابل جذب خاک‌هایی با بافت مختلف (شکل ۳) در عصاره DTPA نشان می‌دهد در بین بافت‌های خاک بیش‌ترین مقدار آهن قابل جذب در بافت سنگین در تمامی تیمارها بوده و پس از آن بافت متوسط و سبک قرار داشتند. بیش‌ترین مقدار آهن قابل جذب در تیمار کود غنی شده با آهن با ۲۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بافت سنگین بود که در مقایسه با تیمار شاهد در همان بافت خاک ۲۷۸ درصد افزایش یافت. این مسأله به دلیل وجود مواد آلی بیش‌تر در بافت سنگین (جدول ۱) است که سبب ایجاد شرایط احیایی در منافذ خاک شده و با کاهش پتانسیل اکسایش کاهش در اثر تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران، میزان آهن قابل جذب

خاک به ترتیب باعث افزایش ۵/۱ و ۳/۷ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به وسیله DTPA نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهش دیگری (Jafari et al. (2019 دریافتند غنی‌سازی کمپوست کود دامی و ورمی کمپوست با کانی فلوگوپیت علاوه بر افزایش محتوای عناصر غذایی نظیر منگنز و آهن می‌تواند از طریق کاهش سرعت آزادسازی این عناصر، تأمین تدریجی آن‌ها برای گیاه را سبب شود و از این طریق کارایی مصرف کمپوست را افزایش دهد.

آهن قابل جذب در خاک می‌شود. اما در مقابل نسبت به کاربرد کود غنی شده با آهن اختلاف معناداری پیدا نکرد. نتایج پژوهش‌های بسیاری مؤید نتایج این آزمایش است، از جمله پژوهش (Shariatmadari et al. (2009 که نشان دادند استفاده از مواد آلی به همراه سرباره کارخانه فولادسازی سبب افزایش میزان آهن قابل جذب در خاک آهکی شد. در تحقیقی مشابه این آزمایش، (Tabarteh Farahani et al. (2017 مشاهده کردند که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی شده با پنج درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در



شکل ۳- اثر متقابل بافت خاک، کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کمپوست گاوی غنی شده با روی بر میزان آهن قابل جذب خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معناداری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

Figure 3- The interaction effect of soil texture, iron-enriched cow compost, and zinc-enriched cow compost on the absorbable iron content of soils in mg/kg⁻¹. Columns with at least one letter in common indicate no significant difference at the five percent probability level based on the LSD test.

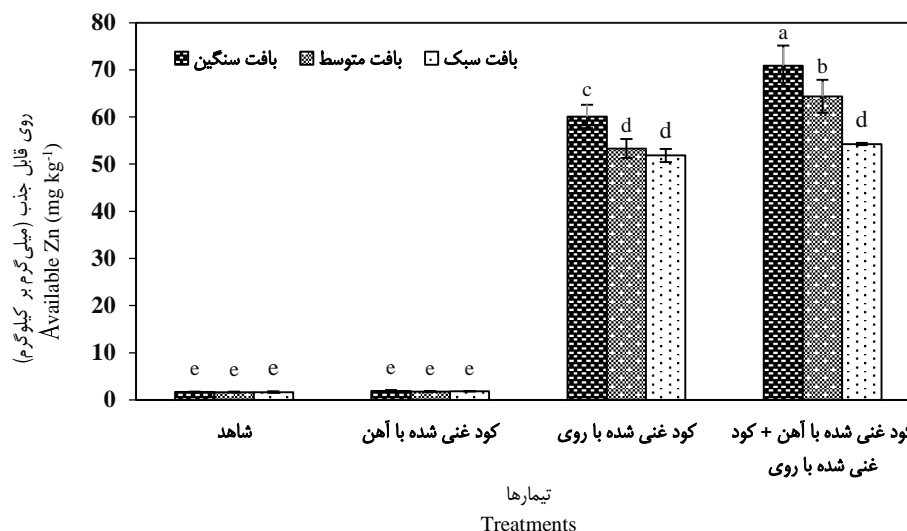
کیلوگرم رسید. (Ilavarasi et al. (2019 دریافتند استفاده از مواد آلی غنی شده با روی می‌تواند میزان روی قابل جذب خاک را حتی در یک خاک شور افزایش دهد. آنان دلیل این امر را کلات شدن روی با ماده آلی خاک عنوان کردند. از طرفی کاربرد تیمار اثر متقابل کودهای غنی شده با آهن و روی نیز توانست میزان روی قابل جذب را حتی نسبت به تیمار کود غنی شده با روی نیز در دو بافت سنگین و متوسط افزایش دهد. به طوری که بیش‌ترین میزان روی قابل جذب در تیمار اثر متقابل و در بافت سنگین با مقدار ۷۰/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که تقریباً ۴۲/۴ برابر تیمار شاهد در همان بافت است. این امر را می‌توان به بالا بودن میزان روی قابل جذب در کود غنی شده با روی (۴۵۳۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و اثر هم‌افزایی کود غنی شده با آهن نسبت

۳-۴- روی قابل جذب خاک‌ها

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میزان روی قابل جذب خاک‌ها در جدول ۳ نشان داد عامل اثر متقابل بافت خاک و کود غنی شده با آهن و عامل اثر متقابل بافت خاک و کود غنی شده با آهن و کود غنی شده با روی در سطح احتمال پنج درصد معنادار شدند و سایر عوامل در سطح احتمال یک درصد معنادار شدند. مشاهده نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان روی قابل جذب خاک‌ها (شکل ۴) نشان می‌دهد که کاربرد کود غنی شده با آهن نتوانست باعث افزایش میزان روی قابل جذب شود که احتمالاً به دلیل پایین بودن مقدار روی قابل جذب در این تیمار بود. اما در مقابل کاربرد کود غنی شده با روی نتوانست باعث افزایش معنادار میزان روی قابل جذب در هر سه بافت شود، به‌ویژه در بافت سنگین که مقدار روی به ۶۰/۱۱ میلی‌گرم بر

(2019) نیز نشان داده شد که استفاده از کود دامی غنی شده با آهن و روی، در دسترس بودن عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی قابل جذب را در خاک افزایش می‌دهد و به تبع آن عملکرد محصول بالا می‌رود.

داد که اثر مضاعفی بر کلات شدن عنصر روی با مواد آلی موجود در خاک گذاشت. این نتایج با پژوهش Kumar et al. (2004) که در آن دریافتند غنی‌سازی نسبت‌های مختلف کود دامی و پیت با سولفات آهن و روی، اثر هم‌افزایی بر دسترس بودن عنصر روی در خاک را نشان داد، هم‌سو است. در مطالعه Patel et al.



شکل ۴- اثر متقابل بافت خاک، کمپوست گاوی غنی شده با آهن و کمپوست گاوی غنی شده با روی بر میزان روی قابل جذب خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معناداری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

Figure 4- The interaction effect of soil texture, iron-enriched cow compost, and zinc-enriched cow compost on the amount of absorbable zinc in the soil in mg/kg⁻¹. Columns with at least one letter in common indicate no significant difference at the five percent probability level based on the LSD test

خاک شد. علت اصلی این افزایش در میزان آهن و روی قابل جذب را می‌توان به تشکیل کلات و کمپلکس با اجزای آلی کود مربوط دانست که در نتیجه میزان بالای آهن و روی قابل جذب پس از غنی‌سازی در کودهای غنی شده و افزودن آن به خاک رخ داد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت استفاده از کودهای آلی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی نه تنها می‌تواند منجر به رفع کمبود عناصر کم‌مصرف و بهبود ویژگی‌های خاک آهکی شود که حتی از آن می‌توان به‌عنوان کودهای عناصر کم‌مصرف به‌جای کودهای شیمیایی استفاده کرد. این امر سبب کاهش هزینه‌های اضافی تولید و واردات کودهای شیمیایی می‌شود و از آلودگی‌های محیط زیست ناشی از مصرف این کودها و تجمع ضایعات فلزی نیز جلوگیری خواهد شد. همچنین، به‌علت اضافه شدن مقادیر قابل ملاحظه آهن و روی قابل جذب به خاک توسط کود کمپوست گاوی غنی شده، توصیه می‌شود از مقادیر کمتر کود غنی شده مصرف شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد غنی‌سازی کود کمپوست گاوی با ضایعات فلزی آهن و روی و افزودن ۳۰ تن بر هکتار آن‌ها به خاک‌هایی آهکی که دارای بافت مختلف بودند، سبب افزایش مقدار آهن و روی قابل جذب خاک‌ها شد. به‌طوری‌که در بین بافت‌های خاک همان‌طور که انتظار می‌رفت بافت سنگین به‌علت داشتن مقدار کربن آلی و درصد رس بیشتر، عملکرد بهتری در افزایش این دو عنصر نسبت به بافت‌های متوسط و سبک داشت. مقایسه بین تیمارها نشان‌دهنده این موضوع است که افزودن کود غنی شده با آهن سبب افزایش ۲۷۸ درصدی آهن قابل جذب در بافت سنگین خاک نسبت به تیمار شاهد در همان بافت خاک شد. اضافه نمودن کود غنی شده با روی نیز باعث افزایش روی قابل جذب تا ۶۰/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بافت خاک سنگین شد. اثرات متقابل کودهای غنی شده با آهن و روی نیز سبب افزایش ۱۱۶ درصدی روی قابل جذب در بافت سنگین نسبت به تیمار کود غنی شده با روی در همان بافت

اسدی، حسین، بشارتی، حسین، و گرجی، منوچهر (۱۴۰۱). چالش‌ها و محدودیت‌های منابع خاک و اراضی در ایران. مدیریت اراضی،

doi:10.22092/lmj.2022.358760.309. ۱۱۱-۱۳۴ (۱)۱۰

بر عملکرد ذرت و جذب برخی عناصر کم مصرف گیاه در یک خاک
 آهکی. *علوم آب و خاک*، ۱۲(۴۶)، ۶۶۷-۶۸۰. doi: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9
 کرمی چمه، سمیه، بهامین، صادق، و فتحی، امین (۱۳۹۱). بررسی
 محلول پاشی آهن کاهش خسارت ناشی از تنش شوری بر زراعی.
 اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم،
 همدان.
 مشیری، فرهاد، بلالی، محمدرضا، رجالی، فرهاد، و صداقت، آزاده
 (۱۴۰۱). چارچوب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه
 در ایران. *علمی مدیریت اراضی*، ۱۰(۱)، ۱۷-۳۶.
 doi:10.22092/lmj.2022.124054
 مللی، احمدرضا، و شریعتمداری، حسین (۱۳۸۶). کاربرد سرباره و لجن
 کنورتور کارخانه فولاد سازی در غنی سازی کود دامی جهت تغذیه
 ذرت در شرایط گلخانه. *علوم آب و خاک*، ۱۱(۴۲)، ۵۰۵-۵۱۳.
 doi: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.42.6_

اشرفی، ابراهیم (۱۳۸۲). غنی سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی
 آهن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
 تبرته فراهانی، نرگس، بقائی، امیرحسین، و پلوس، آناهیتا (۱۳۹۶). اثر
 کود گاوی غنی شده با لجن کنورتور بر زیست فراهمی آهن در یک
 خاک آلوده به سرب. *پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲۴(۱)،
 ۲۰۵-۲۲۰. doi:10.22069/jwfst.2017.11657.2612
 جعفری، فریبا، خادمی، حسین، شریعتمداری، حسین، و ایوبی، شمس الله
 (۱۳۹۸). تغییرات زمانی برخی ویژگی های مهم کود دامی غنی شده
 با فلوگوپیت طی فرایند کمپوست و ورمی کمپوست شدن. *علوم
 آب و خاک*، ۲۳(۴)، ۴۳-۵۴. doi:10.47176/jwss.23.4.59113
 جوکار، لاله، و رونقی، عبدالمجید (۱۳۹۴). اثر محلول پاشی سطوح و
 منابع مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی گیاه
 سورگوم. *روابط خاک و گیاه*، ۲۶(۲)، ۱۶۳-۱۷۴.
 doi:10.18869/acadpub.ejcgst.6.2.163
 شریعتمداری، حسین، رضایی نژاد، یحیی، عبدی، علی، محمودآبادی،
 علی، و کرمی، مهین (۱۳۸۷). اثر لجن کنورتور و سرباره ذوب آهن

References

- Adugna, G. (2018). A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Journal of Agricultural Science and Research*, 4(3), 93-104. doi:10.14662/ARJASR2016.010
- Ano, A.O., & Ubochi, C.I. (2007). Neutralization of soil acidity by animal manure: Mechanism of reaction. *African Journal of Biotechnology*, 6(4), 364-368.
- Asadi, H., Besharati, H., & Gorji, M. (2022). Challenges and limitations of soil and land resources in Iran. *Land Management Journal*, 10(1), 111-135. doi:10.22092/lmj.2022.358760.309 [In Persian]
- Ashrafi, E. (2004). Enrichment organic amendment with iron inorganic compounds. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian]
- Barber, S.A. (1995). *Soil nutrient. Bioavailability, a mechanistic approach*. 2ed Eddition: Jhon Wiley and Sons. Inc. New York. United States of America. 432 pages.
- Bashour, I., & Sayegh, A.A. (2007). Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. Pp. 49-53, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Bhadu, V., NJ, C., & Patel, B.A. (2017). Influence of organic manure enrichment on growth and yield of crops and soil properties: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 5(5), 925-928.
- Bremner, J.M., & Mulvaney, R.G. (1982). Nitrogen total. Pp. 575-624. In: Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (eds.) *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison. WI.
- Chahal, H.S., Singh, A., Dhillon, I.S., & Kaur, J. (2020). Farmyard manure: a boon for integrated nutrient management. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 13(4), 483-495. doi:10.30954/0974-1712.04.2020.14
- Chen, Y., Navort, J., & Barak, P. (1982). Remedi of lime induced chlorosis with iron-enriched muck. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4/7), 927-940. doi:10.1080/01904168209363023
- Dhaliwal, S.S., Naresh, R.K., Mandal, A., Singh, R., & Dhaliwal, M.K. (2019). Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1(2), 1-14. doi:10.1016/j.indic.2019.100007
- Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of Soil, Plant and Water Analysis: A Manual for the West Asia and NorthAfrica Region*. Third Edition, International Center for Agriculture Research in the Dry Areas (ICARDA), Beirut.
- Friedman, S.P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1/3), 45-70. doi:10.1016/j.compag.2004.11.001
- Gee, G.W., & Buaer, J. (1982). Particle Size Analysis. Pp. 384-412, In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison. WI.
- Hamblin, A.P. (1981). Filter-paper method for routine measurement of field water potential. *Journal of Hydrology*, 53(3/4), 355-360. doi:10.1016/0022-1694(81)90011-1
- Han, S. H., An, J.Y., Hwang, J., Kim, S.B., & Park, B.B. (2016). The effects of organic manure and chemical fertilizer on the growth and nutrient concentrations of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* Lin.) in a nursery system. *Forest Science and Technology*, 12(3), 137-143. doi:10.1080/21580103.2015.1135827
- Ilavarasi, R., Baskar, M., Gomadhi, G., & Ramesh, T. (2019). Dynamics of zinc in sodic soil with zinc enriched organics. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 2355-2361. doi:10.20546/ijcmas.2019.801.247
- Jafari, F., Khademi, H., Shariatmadari, H., & Ayoubi, S.R. (2019). Temporal variations of important features of phlogopite enriched manure during composting and vermicomposting. *Journal of Water and Soil Sciences*, 23(4), 43-54. doi:10.47176/jwss.23.4.59113 [In Persian]
- Jokar, L., & Ronaghi, A. (2015). Effect of foliar application of different levels and sources of iron on

- the growth and concentrations of some nutritional elements of sorghum plant. *Journal of soil and plant relations*, 6(2), 163-174. doi:10.18869/acadpub.ejgscst.6.2.163 [In Persian]
- Karami Chameh, S., Bahamin, S., & Fathi, A. (2012). Investigating iron foliar application to reduce damage caused by salinity stress on crops. The 1th National Conference on Sustainable Development of Agriculture And Healthy Environment, Hamedan, Iran [In Persian]
- Kissinger, W.F., Koelsch, R.K., Erickson, G.E., & Klopfenstein, T.J. (2007). Characteristics of manure harvested from beef cattle feedlots. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(3), 357-365. doi:10.13031/2013.22685
- Kumar, P.S.S., Geetha, S.A., Savithri, P., Jagadeeswaran, R., & Ragnunath, K.P. (2004). Effect of Zn enriched organic manures and zinc solubilizer application on the yeild, curcumin content and nutrient status of soil under turmeric cultivation. *Journal of Appleid Horticulture*, 6(2), 82-86. doi:10.37855/jah.2004.v06i02.18
- Lindsay, W.L. (1974). Role of chelation in micronutrient availability. Pp. 507-524, In: Carson, E.W. (ed), *The plant root and its environment*. University of Virginia, Charlottesville.
- Lindsay, W.L. (1995). Chemical reaction in the rhizosphere thet affect iron availability to plants. 7th International symposium of iron nutrition and interaction in plant, Zaragoza, Spain.
- Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
- Meena, N., Meena, M.K., Sharma, K.K., & Meena, M.D. (2018). Effect of zinc enriched farm yard manures on yield of mung bean and physico-chemical properties of soil. *Legume Research - An International Journal*, 41(5), 1-6. doi:10.18805/LR-3929
- Melali, A.R., & Shariatmadari, H. (2008). Application of steel making slag and converter sludge in farm manure enrichment for corn nutrition in greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 11(42), 505-513. dor: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.42.6_ [In Persian]
- Miller, J., Beasley, B., Drury, C., Larney, F., & Hao, X. (2017). Surface soil salinity and soluble salts after 15 applications of composted or stockpiled manure with straw or wood-chips. *Compost Science and Utilization Journal*, 25(1), 36-47. doi:10.1080/1065657X.2016.1176968
- Moshiri, F., Balali, M.R., Rejali, F., & Sedaghat, A. (2022). A framework for integrated soil fertility and plant nutrition management in Iran. *Land Management Journal*, 10(1), 17-36. doi:10.22092/lmj.2022.124054 [In Persian]
- Ndayegamiye, A., & Côté, D. (1989). Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. doi:10.4141/cjss89-005
- Neina, D. (2019). The role of Soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-9. doi:10.1155/2019/5794869
- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579. In: Page. A.L., Miller. R.H., & Keeney. D.R. (eds). *Methods of Soil Analysis*. Part II. 2th ed. ASA. SSSA. Madison. WI.
- O'Hallorans, J.M., Munoz, M.A., & Colbery, O. (1993). Effect of chicken manure on chemical properties of a Mollisol and tomato production. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 77(3/4), 181-191. doi:10.46429/jaupr.v77i3-4.4206
- Olsen, S.R., & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page et al., (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Monograph no 9. American Society of Agronomy. Madison. WI.
- Patel, S.M., Amin, A.U., Patel, H.B., & Patel, J.A. (2019). Impact of FYM enriched with iron and zinc on nutrient uptake, yield, quality and economics of fennel cultivation. *International Journal of Seed Spices*, 9(2), 21-28.
- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review. *Soil Systems*, 4(4), 64. doi:10.3390/soilsystems4040064
- Schneider, A. (2005). Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samoles. *European Journal of Soil Science*, 48(2), 263-271. doi:10.1111/j.1365-2389.1997.tb00546.x
- Sekhon, B.S. (2003). Chelates for micronutrient nutrition among crops. *Resonance*, 8(7), 46-53. doi:10.1007/BF02834402
- Shariatmadari, H., Rezaiezhad, Y., Abdi, A., Mahmoudabadi, A., & Karami, M. (2009). Effect of converter sludge and slag of Isfahan iron melting factory on corn yield and some heavy metal uptake in a calcareous soil. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(46), 667-680. dor: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 [In Persian]
- Tabarteh Farahani, N., Baghaie, A.H., & Pelos, A. (2017). Effect of cattle manure enriched with converter sludge on iron bioavailability in a lead-contaminated soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1), 205-220. doi:10.22069/jwfst.2017.11657.2612 [In Persian]
- Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Mishra, S., Chauhan, D.K., & Dubey, N.K. (2015). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologia Plantarum*, 37(7), 1-14. doi:10.1007/s11738-015-1870-3
- Veeranagappa, P., Prakasha, H.C., Ashoka, K.R., Venkatesha, M.M., & Kumar, M.B.M. (2011). Effect of zinc enriched compost on soil chemical properties and nutrients availability. *Asian Journal of Soil Science*, 6(2), 189-194.
- Wahba, M.M., Labib, F., & Zaghloul, A. (2019). Management of calcareous soils in arid region. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 2(5), 248-258.
- Westerman, R.L. (1990). *Soil Testing and plant analysis*. 3rd ed. SSSA Book series No. 3. Inc. Madison, WI, USA. 784 pages.