



The Effects of Different Organic Fertilizer Sources on Potassium Forms and M_F and I_R Indices in Different Soils

Fatemeh Alikhani¹ | Sareh Nezami²

1. Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

alikhani.fatemeh162@gmail.com

2. Corresponding Author, Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah,

Iran. Corresponding Author: snezami1981@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Feb. 15, 2026</p> <p>Revised: May. 5, 2026</p> <p>Accepted: May. 20, 2026</p> <p>Published online: May. 2026</p> <p>Keywords: <i>Exchangeable potassium,</i> <i>Structural potassium,</i> <i>Chicken manure,</i> <i>Mealworm frass,</i> <i>Vermicompost</i></p>	<p>Considering the decline of organic matter and available potassium in the soils of the country, as well as the vital role of potassium in plant growth and productivity, a study to investigate the effects of organic fertilizers on potassium forms in different soils was deemed necessary. For this purpose, six types of organic fertilizers, including cattle manure, poultry manure, sheep manure, municipal waste compost, vermicompost, and mealworm frass, were applied at a rate of 1.5% to two soil samples with different characteristics. The soils were collected from the Agricultural Campus of Razi University and the Miandarband region of Kermanshah. After the addition of fertilizers, the samples were incubated for 60 days at 25°C and field capacity moisture conditions. At the end of the incubation period, soluble, exchangeable, non-exchangeable, and structural potassium, as well as the mobility factor (M_F) and reduced partition index (I_R) of potassium, were determined. The results showed that the application of different organic fertilizers had significant effects on potassium forms and the M_F and I_R indices in both soils. The highest values of soluble potassium in the poultry manure (303.5 mg kg^{-1}) and mealworm frass treatment (296.66 mg kg^{-1}), exchangeable potassium in the mealworm frass treatment (1343.66 mg kg^{-1}), non-exchangeable potassium in the poultry manure treatment (2326.66 mg kg^{-1}), and structural potassium content in the mealworm frass treatment (7502 mg kg^{-1}) were found in the Miandarband soil. The highest M_F value (15.56%) was observed in the mealworm frass treatment, whereas the lowest I_R value (0.79) was recorded in the poultry manure treatment in the Miandarband soil. Overall, the greatest positive effects on potassium fractions and the M_F and I_R indices were observed in the treatments of mealworm frass, poultry manure, sheep manure, and cattle manure, respectively, whereas municipal waste compost and vermicompost had lower effects. Further studies under greenhouse and field conditions, along with soil mineralogical investigations, are recommended for these fertilizers.</p>
<p>Cite this article: Alikhani, F., Nazemi, S., (2026) The Effects of Different Organic Fertilizer Sources on Potassium Forms and M_F and I_R Indices in Different Soils, <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 57 (3), 693-709. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.410987.670100</p> <p>© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.</p> <p>DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.410987.670100</p>	



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rapid population growth and the increasing demands of society, along with the intensive production of agricultural products in arid and semi-arid regions, have led to the depletion and reduced availability of potassium (K) in Iranian soils. Additionally, the excessive use of chemical fertilizers and poor management practices in the agricultural sector have resulted in a significant shortage of organic matter in the country's soils. A study was conducted to investigate the effects of different organic fertilizers on the forms of K in two soils with varying characteristics.

Methods

This study was conducted in the laboratory of the Soil Science and Engineering Department at the Agriculture and Natural Resources Campus of Razi University in 2024. Initially, two soil samples with varying physicochemical properties were collected from the Agricultural Campus of Razi University and the Miandarband region of Kermanshah. After transferring the samples to the laboratory, the soils were air-dried and passed through a 2 mm sieve. Next, fertilizer samples were prepared. Following this, the physical and chemical properties of both the soil and fertilizer samples were determined using standard methods. Six types of organic fertilizers—cattle manure, poultry manure, and sheep manure, municipal waste compost, vermicompost, and mealworm frass—were then added to the soil samples at a rate of 1.5%. After the organic fertilizers were incorporated into the soil, the samples were incubated under controlled conditions for 60 days at field capacity (FC) moisture and a temperature of 25 °C. During this incubation period, the samples were weighed regularly, and their moisture content was monitored. At the end of the incubation period, we measured the soluble, exchangeable, and non-exchangeable K, as well as the structural K, mobility factor (M_F), and reduced partition index (I_R) of K.

Results

The results indicated that the addition of various organic fertilizers significantly impacted the forms of K, as well as the M_F and I_R indices, in both types of soil at the 5% probability level. In Agricultural campus soil, the treatments with poultry manure showed the highest levels of soluble K (173.8 mg kg⁻¹), followed closely by mealworm frass (167 mg kg⁻¹). The highest levels of exchangeable K (542 mg kg⁻¹) were also found in the mealworm frass treatment, while the non-exchangeable K reached its peak with mealworm frass at 1130.60 mg kg⁻¹. Additionally, structural K was highest in the cattle manure treatment at 6580.06 mg kg⁻¹. In Meandarband soil, soluble K was again highest in the poultry manure treatments (303.5 mg kg⁻¹) and mealworm frass (296.66 mg kg⁻¹). The highest levels of exchangeable K (1343.66 mg kg⁻¹) were recorded in the mealworm frass treatment, while the non-exchangeable K peaked in the poultry manure treatment at 2326.66 mg kg⁻¹. For structural K, the mealworm frass treatment had the highest value at 7502 mg kg⁻¹. In Agricultural Campus soil, the highest M_F values were observed with the poultry treatment (8.90%), followed by the mealworm frass treatment (8.43%) and the cow treatment (8.36%). In Meandarband soil, the highest M_F value was found in the mealworm frass treatment (15.56%), followed by the sheep treatment (14.26%). The lowest I_R values in Agricultural Campus soil were observed for the mealworm frass treatment (0.87) and the poultry treatment (0.86). In Meandarband soil, the lowest I_R value was recorded in the poultry treatment (0.79).

Conclusion

Generally, the treatments using mealworm frass, poultry manure, sheep manure, and cattle manure showed the most positive effects on K levels. In contrast, municipal waste compost and vermicompost had a lesser impact. Further studies under greenhouse and field conditions, along with soil mineralogical investigations, are recommended for these fertilizers.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authorship contribution

Conceptualization, Sareh Nezami; methodology, Sareh Nezami and Fatemeh Alikhani; software, Sareh Nezami and Fatemeh Alihani; validation, Sareh Nezami; formal analysis, Sareh Nezami; investigation, Fatemeh Alikhani; resources, Fatemeh Alikhani; data curation, Sareh Nezami and Fatemeh Alikhani; writing—original draft preparation, Fatemeh Alikhani; writing—review and editing, Sareh Nezami; visualization, Sareh Nezami and Fatemeh Alikhani; supervision, Sareh Nezami; project administration, Sareh Nezami. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

No artificial intelligence tools were used in the article writing process.

Data availability statement

Data is available upon request.

Acknowledgements

We would like to thank the Honorable Vice Chancellor for Research of Razi University for financial and moral support in carrying out this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

تأثیر منابع مختلف کود آلی بر اشکال پتاسیم و شاخص‌های MF و IR در خاک‌های متفاوت

فاطمه علیخانی^۱ | ساره نظامی^۲۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. alikhanifateme162@gmail.com۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. نویسنده مسئول: nezami1981@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

با توجه به کاهش ماده آلی و پتاسیم قابل دسترس در خاک‌های کشور و نقش حیاتی پتاسیم در رشد و عملکرد گیاهان، مطالعه‌ای برای بررسی اثر کودهای آلی بر اشکال پتاسیم در خاک‌های متفاوت ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور در پژوهشی ابتدا شش نوع کود آلی گاوی، مرغی، گوسفندی، کمپوست زباله شهری، ورمیکمپوست و میلورمفرس با سطح ۱/۵ درصد به دو نمونه خاک با خصوصیات متفاوت اضافه شدند. خاک‌های مورد استفاده از محدوده دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی و منطقه میاندربند کرمانشاه نمونه برداری شدند. پس از افزودن کودها به خاک، نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ظرفیت زراعی در شرایط انکوباسیون قرار گرفتند. در پایان دوره، پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی، ساختمانی، فاکتور تحرک (MF) و شاخص توزیع کاهش یافته (IR) پتاسیم اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزودن کودهای آلی مختلف اثر معنی‌داری بر اشکال پتاسیم و شاخص‌های MF و IR در هر دو خاک داشتند. بیشترین مقادیر پتاسیم محلول در تیمار کود مرغی ($3.3/5 \text{ mg kg}^{-1}$) و میلورمفرس ($296/66 \text{ mg kg}^{-1}$)، پتاسیم تبادلی در تیمار میلورمفرس ($1343/66 \text{ mg kg}^{-1}$)، پتاسیم غیر تبادلی در تیمار کود مرغی ($2326/66 \text{ mg kg}^{-1}$) و پتاسیم ساختمانی در تیمار میلورمفرس (75.02 mg kg^{-1}) در خاک میاندربند حاصل شدند. بیشترین مقدار فاکتور MF (۱۵/۵۶ درصد) در تیمار میلورمفرس و کمترین مقدار فاکتور IR (۰/۷۹) در تیمار مرغی در خاک میاندربند به دست آمد. به طور کلی، بیشترین اثرات مثبت بر اجزاء پتاسیم و فاکتورهای MF و IR به ترتیب در تیمارهای کودی میلورمفرس، مرغی، گوسفندی و گاوی مشاهده شد، در حالی که کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست اثرات کمتری داشتند. انجام مطالعات بیشتر با این کودها در شرایط گلخانه و مزرعه همراه با مطالعات کانی‌شناسی خاک پیشنهاد می‌گردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۳۰

تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:

پتاسیم تبادلی،
پتاسیم ساختمانی،
کود مرغی،
میلورمفرس،
ورمی‌کمپوست

استناد: علیخانی، فاطمه، نظامی، ساره، (۱۴۰۵) تأثیر منابع مختلف کود آلی بر اشکال پتاسیم و شاخص‌های MF و IR در خاک‌های متفاوت، مجله تحقیقات آب و خاک

ایران، ۵۷ (۳)، ۶۹۳-۷۰۹ <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.410987.670100>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.410987.670100>

مقدمه

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است به طوری که متوسط بارندگی سالیانه در آن حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی بوده در حالی که تبخیر و تعرق سه برابر متوسط جهانی است (FAO, 2021). لذا محتوای کربن آلی در حدود ۶۰ درصد از اراضی کشاورزی ایران کمتر از یک درصد بوده و در بیش از ۸۴ درصد خاکها کمتر از ۱/۵ درصد می باشد. همچنین، کاربرد بی رویه کودهای شیمیایی و مدیریت نادرست در بخش کشاورزی، خاکهای کشور را با کمبود ماده آلی مواجه کرده است. علاوه بر آن در نتیجه کشاورزی فشرده و عدم استفاده از کودهای حاوی پتاسیم مقدار پتاسیم قابل استفاده در این خاکها کاهش یافته است (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ زارعیان و همکاران، ۱۳۹۶).

پتاسیم (K) فراوان ترین عنصر غذایی پرنیاز در ۱۵ سانتی متری لایه سطحی خاک است. مقدار K در خاکهای معدنی از ۰/۴ تا ۳ درصد یا بیشتر تغییر می کند و در خاکهای آلی، حدود ۰/۳ درصد است (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸). K یک عنصر پر مصرف ضروری بعد از نیتروژن برای رشد گیاه است که مقدار زیادی از آن در کانی های رسی خاک وجود دارد. این عنصر نقش مهمی در تأمین رشد گیاه، کاهش اثرات منفی ناشی از تنش ها، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول از جمله طول دوره انبارداری، بازارپسندی و ارزش اقتصادی آن دارد. بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژی گیاهی از جمله فعالیت آنزیمها، جذب اسمزی آب، ایجاد فشار تورژسانس سلول برای رشد و نمو و باز و بسته شدن روزنه ها تحت تأثیر پتاسیم قرار می گیرند (زارعیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ Li et al., 2020).

پتاسیم در خاک به چهار شکل وجود دارد: ۱- پتاسیم محلول ۲- تبادلی (محلول + تبادلی ۱ تا ۲ درصد) ۳- غیر تبادلی یا تثبیت شده (۱ تا ۱۰ درصد) ۴- ساختمانی (۹۰ تا ۹۸ درصد). بین این چهار شکل در خاک، رابطه تعادلی برقرار است. پتاسیم محلول و تبادلی به عنوان شکل های قابل دسترس برای گیاه شناخته می شوند، در حالی که پتاسیم غیر تبادلی می تواند تحت تأثیر تغییرات pH، فعالیت میکروبی و تعامل با رس ها به شکل تبادلی تبدیل شود (Soremi et al., 2018). پتاسیم ساختمانی عمدتاً در کانی های رسی و فلدسپات ها قرار دارد و در کوتاه مدت برای گیاه قابل استفاده نیست، اما طی فرآیندهای هوازدگی و فعالیت میکروبی و تأثیر مواد آلی می تواند به شکل های قابل دسترس تبدیل شود (Anupama et al., 2018؛ Havlin et al., 2014).

توزیع اشکال پتاسیم در خاک به ویژگی های مختلفی نظیر بافت خاک، مقدار و نوع کانی های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار ماده آلی، نوع کاربری، رژیم رطوبتی و حرارتی و تکامل خاک بستگی دارد (زارعیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ Najafi-Ghiri et al., 2011؛ Bader et al., 2021). بافت خاک اثر قابل توجهی بر توزیع اشکال پتاسیم دارد. خاک های رسی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و سطح ویژه زیاد، پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی بیشتری نگه می دارند، در حالی که خاک های شنی پتاسیم محلول و تبادلی کمتری دارند و شستشو در آنها بیشتر است (Li et al., 2020). نوع و درصد کانی های رسی، به ویژه اسمکتیت، ایلیت و میکا، نقش کلیدی در میزان تثبیت و آزادسازی پتاسیم دارند. خاک های غنی از اسمکتیت پتاسیم بیشتری در فرم غیر تبادلی نگه می دارند و آزادسازی آن کند است، در حالی که خاک های با درصد بالای میکا و ایلیت پتاسیم قابل دسترس بیشتری تولید می کنند (Najafi-Ghiri et al., 2011؛ Bader et al., 2021). Li et al. (2020) بیان کردند که افزایش CEC موجب نگهداری بیشتر پتاسیم در فرم تبادلی می شود و تعادل بین شکل های محلول و تبادلی را تحت تأثیر قرار می دهد. Chang et al. (2022) نیز اظهار داشتند که رطوبت و دما بر فعالیت میکروبی و حل شدن کانی های رسی تأثیر می گذارند و بنابراین میزان پتاسیم تبادلی و محلول را تغییر می دهند.

مطالعات مختلف نشان داده اند که کاربرد کودهای آلی می تواند تأثیر قابل توجهی بر اشکال مختلف پتاسیم در خاک داشته باشد. به عنوان مثال، نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که افزودن بقایای گیاهی و بیوجار باعث افزایش معنی دار پتاسیم محلول، تبادلی و غیر تبادلی در خاک شد، به طوری که بیشترین تغییرات در بخش پتاسیم تبادلی مشاهده گردید. همچنین، حسن پور و کلاهچی (۱۳۹۴) بیان کردند که کاربرد کود گوسفندی در خاک های مناطق گردوکاری موجب افزایش تمامی اشکال پتاسیم، به ویژه فرم های محلول و تبادلی شد. Li et al. (2020) نشان دادند که افزودن بقایای گیاهی و کودهای آلی منجر به افزایش فاکتور تحرک (M_F) و کاهش شاخص توزیع کاهش یافته (IR) پتاسیم گردید که بیانگر افزایش قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه است. همچنین، Soremi et al. (2018) گزارش کردند که کاربرد کود مرغی در سطوح مختلف، باعث افزایش معنی دار پتاسیم محلول و تبادلی در خاک شد و این افزایش با مقدار



مصرف کود رابطه مستقیم داشت. علاوه بر این، (Najafi Ghiri 2014) نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست در خاک‌های رسی باعث افزایش آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی و تبدیل آن به فرم‌های قابل جذب گردید. همچنین، (Chang et al. (2022) گزارش کردند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی مختلف، موجب افزایش تحرک پتاسیم و بهبود توزیع آن بین اجزای مختلف خاک شد. با وجود این مطالعات، اکثر پژوهش‌ها محدود به بررسی اثر یک یا دو نوع کود بر پتاسیم محلول و تبادلی بوده و اطلاعات کافی درباره اثر هم‌زمان چند نوع کود آلی بر چهار شکل پتاسیم و شاخص‌های M_F و I_R در خاک‌های مختلف وجود ندارد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر شش نوع کود آلی شامل گاوی، مرغی، گوسفندی، میلوورم فرس، ورمی کمپوست و کمپوست زباله شهری بر اشکال مختلف پتاسیم و شاخص‌های M_F و I_R در دو خاک با خصوصیات مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های خاک

این مطالعه در آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال ۱۴۰۳ انجام شد. ملاک جمع‌آوری نمونه‌های خاک، تفاوت در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک بود که پس از بررسی و به دست آوردن اطلاعات لازم، خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش از دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی و منطقه میاندر بند کرمانشاه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. بر اساس مطالعات انجام شده در خاک‌های مناطق مختلف ایران از جمله کرمانشاه، این خاک‌ها عمدتاً در رده اینسپتی‌سول‌ها قرار می‌گیرند (Fatemi, 2017). خاک‌های موردنظر پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

آنالیز اولیه نمونه‌های خاک

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، رطوبت ظرفیت زراعی (FC) با استفاده از روش خشک کردن در آون (Rowell, 1994)، کربن آلی خاک (OC) به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (Richards, 1947)، pH و EC در عصاره ۱ به ۵/۲ خاک به آب (Rowell, 1994)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) (Sumner and Miller, 1996)، نیتروژن خاک به روش کج‌دال (Anderson, 2009)، فسفر قابل دسترس (Olsen et al., 1954) و اشکال مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیر تبادلی و کل به روش ذکر شده توسط Wang et al. (2003) تعیین شدند.

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های کود

کودهای گوسفندی، گاوی و مرغی از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی و کود میلوورم فرس از گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کمپوست زباله شهری از شرکت بازیافت مواد و تولید کود آلی کرمانشاه و کود ورمی کمپوست نیز از مجموعه تولیدی ورمی کمپوست ورمینو استان مازندران تهیه شدند. کودها ابتدا هوا خشک و سپس، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

آنالیز نمونه‌های کود

پس از آماده‌سازی کودها، آنالیزهای اولیه شامل pH و EC (Rhodes, 1996) کود در عصاره حاصل از نسبت ۱ به ۵ کود به آب، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Anderson, 2009) درصد کربن آلی، فسفر کل و پتاسیم کل ترکیبات نیز با روش‌های ذکر شده در منابع تعیین شدند (Rowell, 1994).

افزودن کودها و انکوباسیون خاک

ابتدا مقدار ۲۰۰ گرم خاک عبور یافته از الک دو میلی‌متری درون ظروف پلاستیکی در سه تکرار ریخته شد. سطح کودهای آلی مصرفی بر اساس مروری بر مطالعات قبلی در کشور، ۱/۵ درصد وزنی در نظر گرفته شد (رضایی، ۱۳۹۲؛ ملکوتی، ۱۳۹۴؛ نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۶؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). پس از افزودن کودهای آلی به خاک نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز در رطوبت ظرفیت زراعی (FC) و دمای ۲۵ درجه سلسیوس در شرایط انکوباسیون نگهداری شدند. در طول دوره به طور مرتب نمونه‌ها توزین و رطوبت آن‌ها بررسی گردید. در

پایان دوره، اشکال مختلف پتاسیم به روش Wang et al. (2003) و فاکتورهای M_F و I_R نیز به روش ذکر شده در مطالعه Li et al. (2020) اندازه گیری شدند.

فاکتور تحرک (M_F)

فاکتور تحرک برای ارزیابی تحرک نسبی K و فراهمی زیستی آن در خاک استفاده می شود و عبارت است از نسبت غلظت پتاسیم در جزء متحرک یا قابل دسترس به مجموع غلظت پتاسیم در همه اجزاء. این فاکتور مطابق فرمول زیر محاسبه و به صورت درصد گزارش می شود (Li et al., 2020).

$$M_F (\%) = \frac{F_1 + F_2}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

F_1 تا F_4 به ترتیب سطوح پتاسیم خاک در فاز محلول، تبادلی، غیر تبادلی و ساختمانی است. F_1 و F_2 سطوح اجزاء متحرک یا قابل دسترس پتاسیم در خاک است.

شاخص توزیع کاهش یافته عناصر فلزی در خاک (I_R)

شاخص توزیع عناصر فلزی خاک، شدت پیوند (اتصال) نسبی عناصر فلزی در خاک است و به طور گسترده در تحقیقات مربوط به تحرک فلزات یا ریز مغذی ها در خاک استفاده می شود. در این مطالعه I_R برای ارزیابی شدت اتصال نسبی پتاسیم خاک بر اساس اجزاء مختلف استفاده می شود (Li et al., 2020).

$$I_R = \frac{\sum_{i=1}^k i^2 F_i}{k^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

i شاخص توزیع جزء پتاسیم (از محلول جزء ۱ تا ساختمانی جزء ۴) می باشد. بر اساس تعداد مراحل جزء بندی، k برابر ۴ در نظر گرفته می شود. F_i درصد پتاسیم نسبت به کل در جزء i ام است.

تجزیه و تحلیل داده ها

این مطالعه به صورت فاکتوریل (دو فاکتور شامل نوع خاک و نوع کود آلی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده ها به روش کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد. آنالیز واریانس داده ها با نرم افزار SAS 9.4 صورت گرفت. مقایسه میانگین ها توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. نمودارها توسط نرم افزار Excel 2013 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ها

جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه را نشان می دهد. مقدار هدایت الکتریکی برای خاک های دانشکده کشاورزی و میاندر بند به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۲ دسی زیمنس بر متر، نشان دهنده این است که خاک ها شور نیستند. درصد کربن آلی خاک به ترتیب ۰/۵۵ و ۱/۹۵ درصد بود که خاک دانشکده کشاورزی مشابه اکثر خاک های کشور دارای کربن آلی کمتر از یک درصد می باشد. مقدار pH خاک ها به ترتیب ۷/۵۷ و ۷/۳۳ و درصد کربنات کلسیم نیز به ترتیب ۲۲/۵ و ۳/۷۵ درصد اندازه گیری شد. خاک دانشکده کشاورزی آهکی می باشد. مقدار نیتروژن ۰/۰۷ و ۰/۰۸ درصد اندازه گیری شد. مقادیر فسفر قابل دسترس برابر ۱۱/۲۸ و ۴۲/۴ میلی گرم بر کیلوگرم بودند که در خاک دانشکده کشاورزی کمتر از حد مطلوب و در خاک میاندر بند بیشتر از حد مطلوب فسفر در خاک بود. همینطور، مقادیر پتاسیم قابل دسترس این خاک ها به ترتیب ۴۸۶ و ۹۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شدند که در هر دو نشانگر این است مقادیر پتاسیم بیشتر از حد کفایت پتاسیم در خاک بود (ملکوتی، ۱۳۹۴). بافت خاک دانشکده کشاورزی، لوم سیلتی و خاک میاندر بند، لوم رسی تعیین شد.

ویژگی های کودهای مورد استفاده

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی شش نوع کود آلی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر pH کودها بین ۵/۷۰ تا ۷/۶۲ و EC بین ۱/۰۱ تا ۱۳/۶۸ دسی زیمنس بر متر گزارش شد. محتوای نیتروژن کودها از ۰/۸۴ تا ۵/۰۰ درصد، فسفر از ۰/۰۲ تا ۰/۶۷ درصد، پتاسیم از ۰/۱۳ تا ۲/۵۸ درصد و کربن از ۲۳/۲۵ تا ۴۷/۸۱ درصد متفاوت بود. همان طور که مشاهده می شود میلورم فرس و کود مرغی دارای بالاترین مقدار پتاسیم و نیتروژن هستند در حالی که کود ورمی کمپوست و کمپوست زباله شهری مقادیر نسبی کربن آلی



بالتر و پتاسیم کمتری دارند.

جدول ۱. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه قبل از انکوباسیون

میاندریند	دانشکده کشاورزی	واحد	ویژگی های خاک
۷/۳۳	۷/۵۷	-	pH _{1:2.5}
۰/۴۲	۰/۴۳	dS m ⁻¹	EC _{1:2.5}
۳/۷۵	۲۲/۵	(%)	کربنات کلسیم
۱/۹۵	۰/۵۵	(%)	OC
۳۸	۲۸	cmol _c kg ⁻¹	CEC
۳۴/۰۷	۳۱/۰۹	(%)	FC
۰/۰۸	۰/۰۷	mg kg ⁻¹	نیتروژن
۴۲/۴	۱۱/۲۸	mg kg ⁻¹	فسفر قابل دسترس
۱۷۰	۶۳/۲	mg kg ⁻¹	پتاسیم محلول
۸۰۰	۴۲۲/۸	mg kg ⁻¹	پتاسیم تبدالی
۱۱۳۵	۴۸۰/۲	mg kg ⁻¹	پتاسیم غیرتبدالی
۷۱۱۷	۶۴۶۸/۸	mg kg ⁻¹	پتاسیم ساختمانی
۳۱/۵	۲۵/۵	(%)	رس
۲۸	۵۸/۵	(%)	سیلت
۴۰/۵	۱۶	(%)	شن
لوم رسی	لوم سیلتی	-	بافت

جدول ۲. برخی ویژگی های کودهای آلی مورد استفاده

ترکیبات آلی	کربن (%)	pH _{1:5}	EC _{1:5} (dS m ⁻¹)	C/N	نیتروژن کل (%)	فسفر کل (%)	پتاسیم کل (%)
کود گوسفندی	۴۰/۶۹	۷/۴۲	۱۳/۶۸	۲۲/۳۵	۱/۸۲	۰/۲۵	۱/۹۷
کود گاوی	۴۰/۶۹	۷/۲۸	۹/۳۸	۲۳/۱۱	۱/۷۶	۰/۵۲	۱/۰۳
کود مرغی	۲۹/۰۶	۶/۷۸	۸/۶۴	۶/۰۴	۴/۸۱	۰/۵۲	۲/۵۸
کود کمپوست زباله شهری	۲۳/۲۵	۶/۸۲	۳/۷	۲۰/۷۵	۱/۱۲	۰/۲۸	۰/۴۸
کود ورمی کمپوست	۴۰/۶۹	۷/۶۲	۱/۰۱	۴۸/۴۴	۰/۸۴	۰/۰۲	۰/۱۳
کود میلورم فرس	۴۰/۱۲	۵/۷۰	۷/۹۱	۸/۰۲	۵	۰/۶۷	۲/۳۸

پتاسیم محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل نوع خاک و کود و اثر هر کدام به تنهایی بر مقدار پتاسیم محلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزاء پتاسیم خاک، M_F و I_R

منابع تغییرات	Df	پتاسیم محلول	پتاسیم تبدالی	پتاسیم غیرتبدالی	پتاسیم ساختمانی	M _F	I _R
خاک	۱	۱۲۷۴۵۴/۰۳*	۳۴۷۷۲۶۸/۸۴*	۵۶۷۲۰۵۳/۸۰*	۱۹۸۶۵۱۴/۵۱*	۳۲۷/۶۰*	۰/۰۴*
کود	۶	۱۶۳۰۶/۳۴*	۹۸۶۸۸/۸۱*	۵۰۰۵۷۰/۲۳*	۷۸۵۸۲۶/۵۱*	۱۱/۶۴*	۰/۰۰۳*
خاک × کود	۶	۲۸۶/۲۹*	۳۴۱۲۶/۴۹*	۲۱۳۶۶۳/۱۹*	۵۹۹۴۶۰*	۱/۸۲*	۰/۰۰۳*
خطا	۲۸	۲۹/۴۵	۳۶۹/۹۰	۲۴۰۷/۸۲	۱۵۸۱۲۶/۰۵	۱/۲۲	۰/۰۰۰۵
ضریب تغییرات	-	۳/۱۱	۲/۵۲	۴/۱۲	۱/۸۶	۲/۰۲	۰/۵۰
کل	۴۱	۲۲۷۸۳۴/۶۶	۴۲۸۴۵۱۸/۰۸	۱۰۰۲۴۸۷۳/۴۵	۱۰۷۲۱۷۶۳/۱۲	۴۰۹/۶۵	۰/۰۷

** و *** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تمامی تیمارهای کودی، مقدار پتاسیم محلول را در هر دو خاک افزایش داده‌اند و تنها در تیمار ورمی کمپوست، مقادیر پتاسیم محلول با شاهد تفاوتی ندارد. بیشترین مقادیر پتاسیم محلول در تیمارهای خاک میاندریند مشاهده گردید. تیمار کود مرغی، میلورم فرس و گوسفندی در خاک میاندریند به ترتیب ۸۳/۲۰، ۷۹/۰۷ و ۵۳/۳۲ درصد پتاسیم محلول را نسبت به شاهد افزایش دادند. در خاک دانشکده کشاورزی نیز کود مرغی ۱۷۵/۱۷، میلورم فرس ۱۶۴/۴۰ و گوسفندی ۱۳۸/۵۳ درصد پتاسیم محلول بیشتری نسبت به شاهد داشتند. با توجه به مقادیر پتاسیم محلول اولیه (۶۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شاهد خاک دانشکده کشاورزی (۶۳/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقادیر پتاسیم محلول اولیه (۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شاهد خاک میاندریند (۱۶۵/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، می‌توان این افزایش پتاسیم محلول را به افزودن کودهای آلی در خاک نسبت داد.



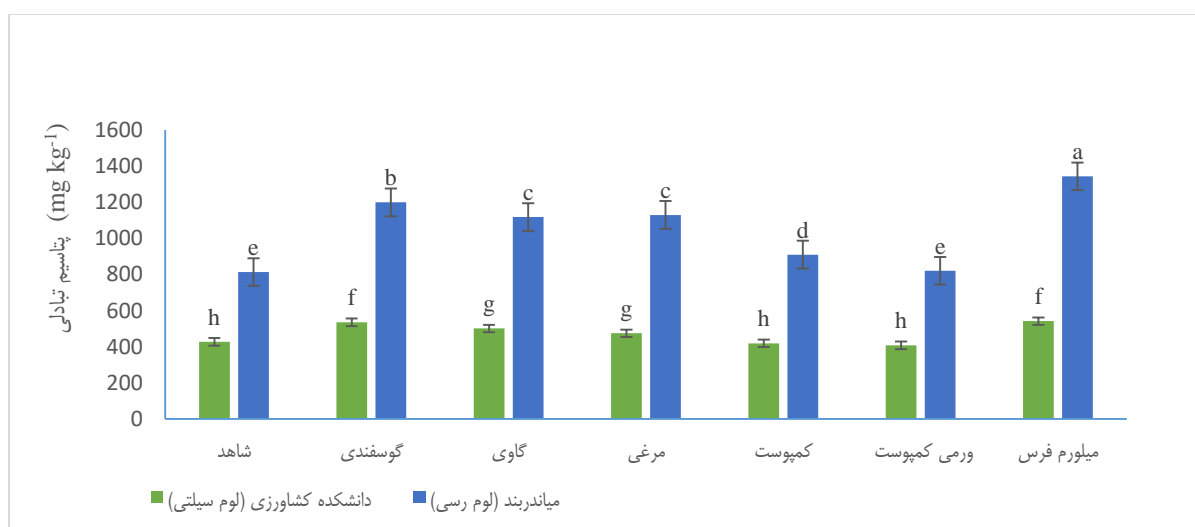
شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر پتاسیم محلول در خاک. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن می‌باشند ($p < 0.05$). میله‌های روی ستون‌ها نشان دهنده انحراف معیار می‌باشند.

افزایش مقدار پتاسیم محلول با کاربرد کودهای میلورم فرس، مرغی و گوسفندی در نتیجه مقدار زیاد پتاسیم موجود در آنها می‌باشد (جدول ۲). افزایش پتاسیم محلول در اثر کاربرد کودهای آلی می‌تواند ناشی از حضور پتاسیم به صورت یون K^+ در ترکیبات آلی و آزادسازی سریع آن در محلول خاک باشد. همچنین، تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی موجب کاهش pH موضعی و افزایش انحلال کانی‌های حاوی پتاسیم شده و در نتیجه غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش فعالیت میکروبی نیز در آزادسازی پتاسیم نقش مهمی دارد (Havlin et al., 2014; Li et al., 2020). بر اساس نتایج نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۶)، مقدار پتاسیم محلول در ورمی کمپوست کمتر از سایر تیمارها و در تیمار کود گوسفندی و مرغی بیشتر از سایر کودهای آلی بود که نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. آنها مقدار پتاسیم محلول کمتر در ورمی کمپوست را به درصد پایین پتاسیم در این کود نسبت به بقیه کودها نسبت دادند. مقدار پتاسیم محلول در خاک میاندریند نیز بیشتر از خاک دانشکده کشاورزی بود که یکی از دلایل، مقدار اولیه پتاسیم محلول بیشتر در خاک میاندریند نسبت به دانشکده کشاورزی بود. همچنین، مقادیر بیشتر پتاسیم در خاک میاندریند نسبت به خاک دانشکده کشاورزی را می‌توان به بافت رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر و حضور کانی‌های رسی تثبیت‌کننده پتاسیم مانند اسمکتیت و ایلایت نسبت داد که موجب نگهداری و سپس، آزادسازی تدریجی پتاسیم در خاک می‌شوند (Najafi-Ghiri et al., 2011); زارعیان و همکاران، (۱۳۹۶). اثر ظرفیت تبادل کاتیونی و نوع کانی‌های خاک بر تغییرات پتاسیم محلول خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی توسط (2014) Najafi-Ghiri نیز گزارش شده است.

نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که افزودن بقایای گیاهی و بیوپار حاصل از آنها، مقدار پتاسیم محلول را از ۱۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۹۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد. افزایش مقدار پتاسیم محلول خاک با کاربرد بقایای گیاهی مختلف شامل نخود، جو، یونجه و باقلا تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، نشان داده شده که کاربرد بیوپار حاصل از بقایای گندم، ذرت، چوب ذرت، پنبه و بقایای کنجد به یک خاک آهکی، افزایش ۴/۴ تا ۷ برابری مقدار پتاسیم محلول را به دنبال داشته است (نجفی قیری، ۱۳۹۴). به طور کلی، پتاسیم محلول در خاک‌ها دارای نوسانات بسیار زیادی است و عوامل متعددی بر آن تأثیر دارند و معمولاً تعادل بین اشکال پتاسیم بیشتر مربوط به اشکال تبدالی، غیرتبدالی و ساختمانی می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸).

پتاسیم تبادلی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر نوع خاک و کود به تنهایی و اثر متقابل آنها بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در شکل ۲ نشان می‌دهد که در هر دو خاک و در تمامی تیمارهای کودی، افزایش معنی دار پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد حاصل شده است. تنها در تیمار ورمی کمپوست در خاک میاندر بند و تیمار ورمی کمپوست و کمپوست در خاک دانشکده کشاورزی تغییر نسبت به شاهد دیده نمی‌شود. مشابه پتاسیم محلول، خاک میاندر بند نسبت به خاک دانشکده کشاورزی مقادیر پتاسیم تبادلی بیشتری داشت. در خاک دانشکده کشاورزی تیمار میلورم فرس با ۲۶/۷۲ و سپس، گوسفندی با ۲۵/۰۸ درصد بیشترین مقدار پتاسیم تبادلی را نسبت به شاهد داشتند. در خاک میاندر بند نیز تیمار میلورم فرس و سپس، گوسفندی به ترتیب ۶۵/۰۶ و ۴۷/۳۵ درصد مقدار پتاسیم تبادلی بیشتری نسبت به شاهد دارا بودند. با توجه به مقادیر پتاسیم تبادلی اولیه در خاک دانشکده کشاورزی (۴۲۲/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) و در خاک میاندر بند (۸۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و مقادیر پتاسیم تبادلی شاهد، مشاهده می‌شود که تیمارهای کودی در افزایش پتاسیم تبادلی نیز مؤثر بوده‌اند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر پتاسیم تبادلی در خاک. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار با آزمون دانکن می‌باشند ($p < 0.05$). میله‌های روی ستون‌ها نشان دهنده انحراف معیار می‌باشند.

همان‌طور که در نتایج بیان شد، بیشترین مقدار پتاسیم تبادلی در کود میلورم فرس و سپس، کودهای گوسفندی و مرغی مشاهده شد و کمترین مقدار مربوط به کود ورمی کمپوست بود. مقدار پتاسیم موجود در خاک میاندر بند به طور معنی داری بیشتر از پتاسیم موجود در خاک دانشکده کشاورزی بود (شکل ۲). به طور کلی، با افزایش پتاسیم ترکیبات آلی، مقدار پتاسیم تبادلی در خاک میاندر بند بیشتر از خاک دانشکده کشاورزی افزایش یافت. این نتایج با نتایج نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی داشت. افزایش مقدار پتاسیم تبادلی خاک با افزودن بیوجار، کودهای دامی، بقایای گندم، ذرت، نخود، برنج و سویا توسط تعدادی از پژوهشگران گزارش شده است (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۷؛ Laird et al., 2010; Haefele et al., 2011; Jin-Hua et al., 2011).

نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که افزودن بقایای گیاهی و بیوجار حاصل از آنها سبب افزایش تمامی اجزاء پتاسیم در خاک گردید. این افزایش بیشتر در جزء تبادلی پتاسیم مشاهده گردید. Soremi et al. (2018) با افزودن سطوح مختلف کود طیور در خاک‌های مختلف دریافتند که افزودن کود طیور (۷/۵ و ۱۰ تن در هکتار) سبب افزایش مقادیر اجزاء پتاسیم در خاک گردید و مقادیر اجزاء با افزایش مقادیر کودی نیز افزایش یافت. حسن پور و کلاهچی (۱۳۹۴) دریافتند که افزودن کود گوسفندی در مناطق گردوکاری تویسرکان سبب افزایش اجزاء مختلف پتاسیم گردید و این افزایش بیشتر در جهت پتاسیم تبادلی و ساختمانی بود. نتایج مشابه این مطالعه توسط حسن پور و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شده است. آنها اظهار داشتند که کود مرغی سبب افزایش اجزاء پتاسیم در خاک‌های مناطق گردوکاری تویسرکان شد و این افزایش بیشتر در جهت پتاسیم محلول و تبادلی بود.

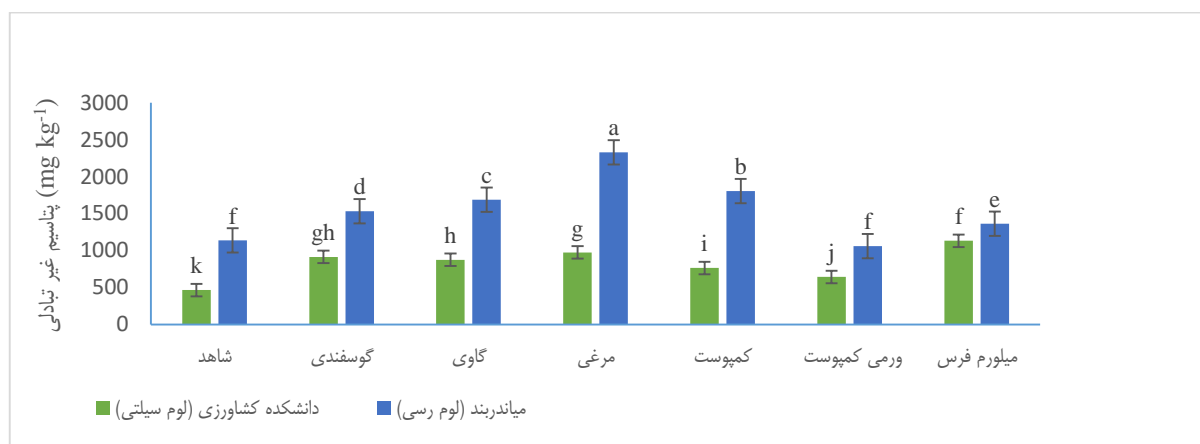
با افزودن کودهای آلی مقدار زیادی پتاسیم وارد محلول خاک می‌شود و به دلیل روابط تعادلی بین شکل‌های پتاسیم (Havlin et al., 2014)، مقداری از پتاسیم محلول روی نقاط تبادلی رس‌ها و مواد آلی جذب شده و افزایش پتاسیم تبادلی را به همراه خواهد داشت.

از طرفی به خاطر بار منفی کودهای آلی مقداری از پتاسیم در ترکیبات آلی نیز به شکل تبادلی وجود دارد. از آنجایی که مقدار پتاسیم تبادلی با CEC خاک همبستگی مثبت دارد (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸)، مشاهده می‌شود که در این مطالعه نیز تیمارهایی که بیشترین مقادیر CEC خاک را داشته‌اند (میلورم فرس، مرغی و گوسفندی)، بیشترین مقادیر پتاسیم تبادلی نیز در آنها اندازه‌گیری شده است (داده‌ها گزارش نشده‌اند).

Hamed et al. (2011) گزارش کردند که افزودن کودهای آلی سبب افزایش اشکال مختلف پتاسیم در خاک می‌شود. این افزایش در کودهای مرغی و گوسفندی بیشتر از سایر کودها بود. این محققین بیان کردند که پتاسیم تثبیت شده می‌تواند تحت شرایط مناسب یا از طریق تبادل یونی یا توسط انحلال از طریق اسیدی شدن، جایگزین شود. به این ترتیب که یون‌های هیدروژن آزاد شده از اسیدهای آلی می‌توانند مسئول آزاد سازی پتاسیم از جزء تثبیت شده و در نتیجه افزایش اجزای محلول و تبادلی باشند (Singh and Goulding, 2008; Bhattacharyya et al., 2006).

پتاسیم غیر تبادلی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل و ساده خاک و کود آلی بر مقدار پتاسیم غیر تبادلی خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، مشابه نتایج پتاسیم محلول و تبادلی، افزودن کودهای آلی مختلف سبب افزایش پتاسیم غیر تبادلی در هر دو خاک نسبت به شاهد گردید (شکل ۳). تیمار ورمی‌کمپوست در خاک میاندر بند اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. در خاک دانشکده کشاورزی، بیشترین مقدار پتاسیم غیر تبادلی در تیمار میلورم فرس با ۱۴۳/۶۸ و سپس، مرغی با ۱۰۳/۲۰ درصد نسبت به شاهد به دست آمد. اما در خاک میاندر بند، بیشترین مقدار پتاسیم غیر تبادلی در کود مرغی با ۱۰۵/۱۰ و کمپوست با ۵۸/۸۳ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده گردید. لازم به ذکر است که مقدار پتاسیم غیر تبادلی اولیه در خاک دانشکده کشاورزی برابر با ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک میاندر بند برابر با ۱۱۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر پتاسیم غیر تبادلی در خاک. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن می‌باشند ($p < 0.05$). میله‌های روی ستون‌ها نشان دهنده انحراف معیار می‌باشند.

پتاسیم غیر تبادلی شکلی از پتاسیم است که توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم قابل استفاده، این شکل می‌تواند منبع مهمی برای تأمین نیاز گیاه باشد (حسن پور و کلاه‌چی، ۱۳۹۴). افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌ها با کاربرد بقایا و کودهای آلی در مطالعه‌های مختلف گزارش شده است (نجفی قیری، ۱۳۹۴؛ نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۶؛ نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۷).

در این مطالعه، پتاسیم غیر تبادلی نیز مانند دو شکل دیگر پتاسیم تحت تأثیر افزودن کودهای آلی قرار گرفت. در واقع تمام کودهای آلی سبب افزایش پتاسیم غیر تبادلی شدند، اما بیشترین مقدار پتاسیم غیر تبادلی در کود مرغی مشاهده گردید. مقدار این افزایش، ارتباط معناداری با مقدار پتاسیم موجود در کودها داشت. با توجه به رابطه تعادلی که بین شکل‌های مختلف پتاسیم وجود دارد، با افزایش شکل‌های محلول و تبادلی، مقدار غیر تبادلی نیز افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به غلظت بالای پتاسیم در کود مرغی، یون‌های پتاسیم بر اثر پخشیدگی به فضای بین لایه‌ای کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم وارد شده و به شکل غیر قابل تبادل در می‌آیند (Najafi-Ghiri and

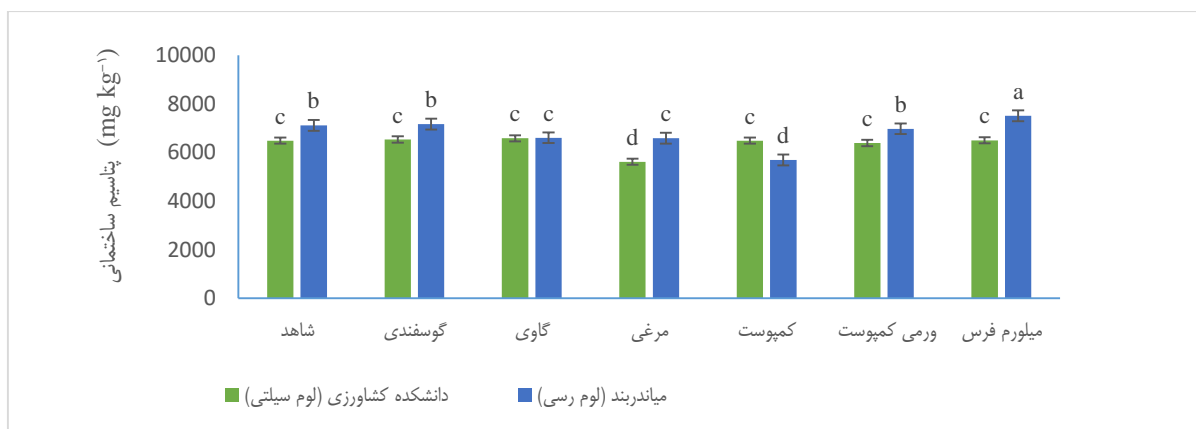
(Abtahi, 2012).

در مطالعه حاضر، مقدار افزایش پتاسیم غیرتبادلی در اثر افزودن کودهای آلی در خاک میاندربند بیشتر از خاک دانشکده کشاورزی بود. این امر می‌تواند به وضعیت کانی‌های خاک‌ها مرتبط باشد. بالابودن مقادیر تثبیت پتاسیم در خاک میاندربند نسبت به خاک دانشکده کشاورزی می‌تواند به بالاتر بودن درصد کانی‌های تثبیت‌کننده در این خاک نسبت داده شود. امیری نژاد و باقر نژاد (۱۳۷۶)، خاک‌های منطقه شرق کرمانشاه را از نظر کانی‌شناسی مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که در مناطق مرتفع، عمده کانی‌ها ایلیت و کلریت بودند و به سمت دشت‌ها، مقادیر کانی‌های اسمکتایت و پالیگورسایت افزایش یافتند. Heshmati et al. (2013) در مطالعه‌ای که در حوزه آبخیز مرک در کرمانشاه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که کانی‌های غالب در خاک عمدتاً اسمکتایت‌ها هستند. البته حضور کوارتز، ایلیت، کلریت و کائولینیت را نیز گزارش کردند. Fatemi (2017) عمده کانی‌های موجود در خاک‌های منطقه میاندربند را ایلیت، کلریت، کائولینیت، و مونت موری لونایت گزارش کرد. اسمکتایت‌ها در خاک‌های ایران تمایل زیادی به تثبیت پتاسیم و نگهداری آن به شکل غیرتبادلی دارند (Najafi-Ghiri and Abtahi, 2012). (Najafi-Ghiri and Abtahi, 2012) بیان کردند که مهمترین کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم در جنوب ایران اسمکتایت‌ها هستند که می‌توانند تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت نمایند.

(Najafi-Ghiri, 2014) نشان داد که افزودن ورمی‌کمپوست به ۱۰ سری مختلف از خاک‌های استان فارس در شرایط ظرفیت مزرعه سبب افزایش پتاسیم محلول از ۴۰ به ۱۸۰، پتاسیم تبادلی از ۲۲۷ به ۵۰۶ و پتاسیم غیرتبادلی از ۲۲۶ به ۳۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد. (Surapaneni et al. 2002) نیز بیان کردند خاک‌هایی که پتاسیم غیرتبادلی بیشتری داشتند، دارای میکای بیشتری در بخش رس بودند. در واقع قدرت فراهمی پتاسیم خاک‌ها در ارتباط مستقیم با میکای موجود در بخش رس است. وجود میکاهای هوادیده در خاک‌های سطحی سبب آزادسازی بیشتر پتاسیم غیر تبادلی می‌شود (Steffens and Sparks, 1997).

پتاسیم ساختمانی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات متقابل و ساده خاک و کود بر پتاسیم ساختمانی هر دو خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نسبت به سایر شکل‌های پتاسیم، شکل ساختمانی در تیمارهای مختلف کود آلی و در هر دو خاک با شاهد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشترین مقدار پتاسیم ساختمانی در خاک دانشکده کشاورزی در کود گاوی مشاهده شد که ۱/۴۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. مقادیر پتاسیم ساختمانی در خاک دانشکده کشاورزی در مقایسه با پتاسیم ساختمانی اولیه خاک (۶۴۶۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مقداری افزایش نشان دادند اما، این افزایش معنی‌دار نبود. در خاک میاندربند بیشترین مقدار پتاسیم ساختمانی در تیمار میلوورم فرس مشاهده شد که ۵/۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. مقدار پتاسیم ساختمانی اولیه در این خاک، ۷۱۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر پتاسیم ساختمانی در خاک. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن می‌باشند ($p < 0.05$). بارهای روی ستون‌ها نشان دهنده انحراف معیار می‌باشند.

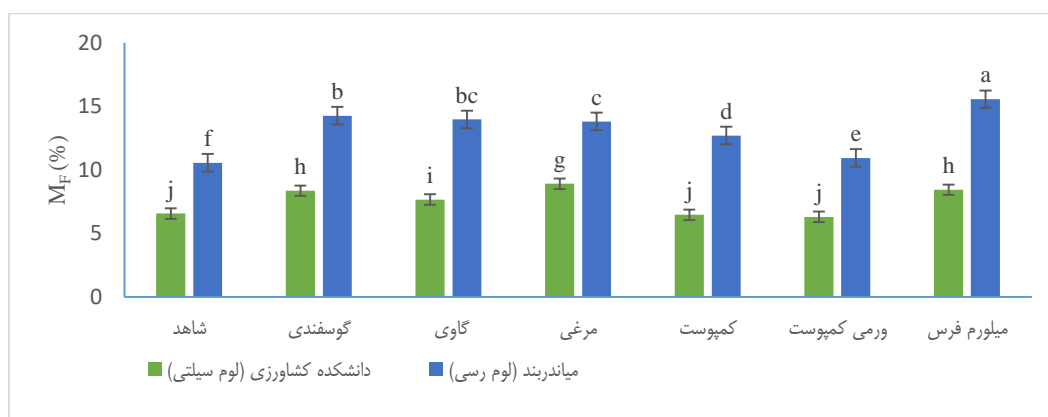
عدم تغییر معنی‌دار پتاسیم ساختمانی در بیشتر تیمارها نشان می‌دهد که دوره انکوباسیون کوتاه‌مدت برای هوازدگی کانی‌های اولیه و آزادسازی این فرم از پتاسیم کافی نبوده است. پتاسیم ساختمانی عمدتاً در ساختار کانی‌هایی مانند فلدسپات و میکا قرار دارد و آزادسازی

آن نیازمند زمان طولانی تری است (Sparks, 2003; Havlin et al., 2014).

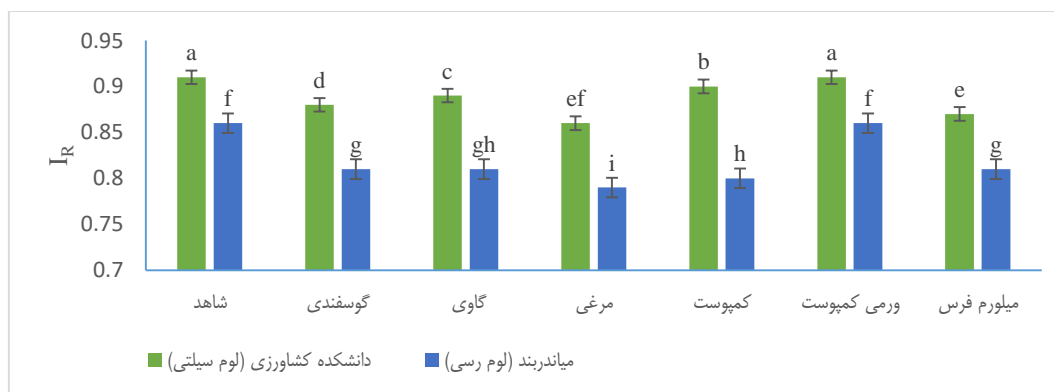
این شکل پتاسیم به علت غیر قابل استفاده بودن آن برای گیاه، اهمیت چندانی در مطالعات حاصلخیزی پتاسیم ندارد و بیشتر مرتبط با وضعیت کانی شناسی خاکها می باشد. مقدار پتاسیم ساختاری در برخی خاکها به بیش از یک درصد می رسد (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸). همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، در برخی تیمارها و در هر دو خاک مقدار پتاسیم ساختمانی کمتر از شاهد است. به نظر می رسد که در این تیمارها افزودن کود آلی با کاهش pH خاک (ترشح اسیدهای آلی) و افزایش جمعیت میکروارگانیسم های خاک (احتمالا میکروارگانیسم های حل کننده پتاسیم) سبب خروج پتاسیم از ساختمان کانی و ورود آن به سایر بخش ها شده است. پتاسیم ساختمانی در این مطالعه در تمامی تیمارها بالاترین درصد پتاسیم کل را به خود اختصاص داد. نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که خاک های دارای ایلاتیت و اسمکتیت بیشتر دارای میانگین مقدار پتاسیم ساختمانی حدود ۶۷۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم بودند.

فاکتورهای M_F و I_R پتاسیم در خاک

مقادیر M_F و I_R پتاسیم خاک می توانند برای ارزیابی قابلیت دسترسی این عنصر در خاک مورد استفاده قرار گیرند. M_F که بر اساس مقدار عنصر در بخش های محلول و تبادل تعیین می شود، می تواند برای توصیف تحرک عنصر در خاک استفاده شود. در مقابل، I_R تبدیل عناصر خاک را در بخش های جداگانه بیان می کند و توزیع مجدد آن ها را توضیح می دهد (Miretzky et al., 2011; Zygmunt et al., 2015; Chang et al., 2022). نتایج این مطالعه نشان می دهد که افزودن کودهای آلی مختلف در هر دو خاک سبب افزایش فاکتور M_F و در مقابل کاهش I_R نسبت به شاهد شدند. در خاک دانشکده کشاورزی بیشترین مقادیر M_F در تیمار مرغی (۸/۹۰ درصد) و سپس، میلووم فرس (۸/۴۳ درصد) و گاوی (۸/۳۶ درصد) مشاهده شد. در خاک میاندریند بیشترین مقدار این فاکتور در تیمار میلووم فرس (۱۵/۵۶ درصد) و سپس، گوسفندی (۱۴/۲۶ درصد) حاصل شد. کمترین مقدار I_R در خاک دانشکده کشاورزی در تیمار میلووم فرس (۰/۸۷) و مرغی (۰/۸۶) و در خاک میاندریند در تیمار مرغی (۰/۷۹) به دست آمد (شکل های ۵ و ۶).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر فاکتور تحرک پتاسیم در خاک. ستون های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار با آزمون دانکن می باشند ($p < 0.05$). بارهای روی ستون ها نشان دهنده انحراف معیار می باشند.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود آلی و خاک بر فاکتور توزیع کاهش یافته پتاسیم در خاک. ستون های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار با آزمون دانکن می باشند ($p < 0.05$). بارهای روی ستون ها نشان دهنده انحراف معیار می باشند.



کاربرد کودهای آلی با افزایش آزادسازی پتاسیم و بهبود فعالیت میکروبی، موجب افزایش تحرک و دسترس پذیری این عنصر در خاک می‌شوند (Miretzky et al., 2011؛ Li et al., 2020؛ Chang et al., 2022). نتایج این مطالعه با نتایج Li et al. (2020) همخوانی داشت. این محققین نشان دادند که افزودن بقایای گندم، ذرت و مخلوط آنها در شرایط بدون کوددهی و با کوددهی پتاسیم سبب افزایش فاکتور M_F و کاهش فاکتور I_R نسبت به شاهد شدند. بیشترین مقدار فاکتور M_F و کمترین مقدار I_R در تیمار افزودن مخلوط بقایا در هر دو شرایط کوددهی حاصل شد. دامنه مقدار M_F در مطالعه آنها بین ۰/۰۶ تا ۲/۴ درصد و دامنه مقدار I_R بین ۰/۸ تا ۰/۸۵ در تیمارهای مختلف بود.

اجزاء محلول و تبادلی به عنوان جزء قابل دسترس گیاه در نظر گرفته می‌شوند. در کشاورزی، افزایش تولید محصول به افزایش جزء قابل دسترس عنصر در خاک و در نتیجه افزایش فاکتور M_F مرتبط است. بر اساس نتایج این مطالعه، افزودن کودهای آلی مختلف سبب افزایش فاکتور M_F شدند. دامنه این فاکتور در این مطالعه بین ۶/۳۶ تا ۱۵/۵۶ درصد بود و بیشترین مقادیر در تیمارهای میلورم فرس و کود مرغی حاصل شد. بر خلاف فاکتور M_F ، فاکتور I_R نه تنها شامل تبدیل عنصر بین بخش‌های ناپایدار است، بلکه شامل تبدیل عنصر بین بخش‌های پایدار نیز می‌باشد. دامنه I_R محاسبه شده پتاسیم در خاک‌ها از ۰/۰۴ تا ۱ متغیر است. مقادیر بالای این فاکتور پایداری پتاسیم را نشان می‌دهد که به دلیل وجود این عنصر در بخش‌های غیر تبادلی (F_3) و ساختمانی (F_4) است و مقادیر پایین این فاکتور، نشانگر مقدار بالای پتاسیم در بخش‌های تبادلی (F_2) و محلول (F_1) است. دامنه این فاکتور در این پژوهش بین ۰/۷۹ تا ۰/۹۱ بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل کود آلی و خاک بر اجزاء پتاسیم خاک، M_F و I_R در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. افزودن کودهای آلی مختلف سبب افزایش اشکال محلول، تبادلی، غیر تبادلی پتاسیم و M_F و کاهش فاکتور I_R در هر دو خاک نسبت به شاهد شدند اما، بر شکل ساختمانی تأثیر چندانی نداشتند. در میان کودهای آلی مختلف، کود میلورم فرس، گوسفندی و مرغی بیشترین تأثیر را بر پتاسیم محلول و تبادلی هر دو خاک داشتند، اما مقدار پتاسیم غیر تبادلی (ثبیت شده) در تیمار میلورم فرس، مرغی و گوسفندی در خاک دانشکده کشاورزی و در خاک میاندر بند مرغی، کمپوست و گاوی بیشترین مقدار بود. بیشترین و کمترین مقادیر فاکتورهای M_F و I_R نیز به ترتیب در تیمارهای میلورم فرس و مرغی در هر دو خاک به دست آمد. با توجه به غالب بودن رس‌های تثبیت‌کننده پتاسیم در خاک‌های منطقه کرمانشاه (احتمالاً درصد بیشتر این رس‌ها در خاک میاندر بند نسبت به خاک دانشکده کشاورزی)، به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای میلورم فرس، مرغی و گوسفندی در این شرایط و در صورت کمبود پتاسیم، می‌توانند نقش مهم‌تری در تأمین پتاسیم قابل استفاده گیاه داشته باشند.

با توجه به محدودیت‌های مطالعه، از جمله عدم دسترسی به تجهیزات آنالیز کانی‌شناسی خاک و محدودیت‌های مالی و زمانی، بررسی مستقیم اثر نوع رس‌ها و کانی‌های خاک بر تثبیت و آزادسازی پتاسیم انجام نشد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، اثرات کودهای آلی تحت شرایط مزرعه و گلخانه بررسی شوند تا نتایج آزمایشگاهی تأیید شود. آنالیزهای کانی‌شناسی خاک برای ارزیابی دقیق نقش کانی‌ها و رس‌ها در رفتار پتاسیم انجام صورت گیرد. همچنین، اثرات تعاملی بین نوع خاک، نوع کود و شرایط محیطی (رطوبت، دما و pH) بر تحرک و دسترسی پتاسیم مورد مطالعه قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه رازی انجام شد. حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه رازی دانشکده کشاورزی در قالب پژوهانه پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: فاطمه علیخانی؛ تهیه گزارش پژوهش: فاطمه علیخانی، ساره نظامی؛ تحلیل داده‌ها: ساره نظامی، فاطمه علیخانی؛ نویسندگان به طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان نامه تقریباً به شکل زیر باشد:
نویسنده اول: دانشجو؛ تهیه و آماده سازی نمونه ها، انجام آزمایش و گردآوری داده ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله
نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش در فرآیند نوشتن مقاله از هیچ ابزار هوش مصنوعی استفاده نشده است.

بیانیه دسترسی به داده ها

داده هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه رازی به خاطر حمایت مالی و حمایت معنوی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- امیری نژاد، علی اشرف و باقر نژاد، مجید. (۱۳۷۶). اثرات توپوگرافی بر روی تشکیل و تکامل خاک های منطقه کرمانشاه. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۲(۳)، ۹۹-۱۱۱.
- حسن پور، اروج؛ کلاه چی، زهرا؛ ضرابی، محبوبه؛ فاطمی، اکرم و شهرام، پگاه. (۱۳۹۴). تأثیر کود مرغی بر جزءبندی شیمیایی پتاسیم در خاک های مناطق گردوکاری توپسراکان. *سومین همایش ملی پژوهش های محیط زیست و کشاورزی ایران*. همدان. ایران.
- حسن پور، اروج و کلاه چی، زهرا. (۱۳۹۴). تأثیر کود گوسفندی بر جزءبندی شیمیایی پتاسیم در خاک های مناطق گردوکاری توپسراکان. *کنفرانس بین المللی توسعه با محوریت کشاورزی محیط زیست و گردشگری*. ۲۵ تا ۲۶ شهریور. تبریز. ایران.
- حسینی، ف.، نجفی، ق.، و کریمی، ح. (۱۳۹۸). اثر انکوباسیون کودهای آلی بر پتاسیم تبادلی و محلول در خاک های آهکی ایران. *مجله علوم و فنون کشاورزی*، ۳۲(۱)، ۳۶-۲۱.
- رضایی، ح. (۱۳۹۲). مروری بر تحقیقات کاربرد کودهای دامی در اراضی کشاورزی ایران. *نشریه مدیریت اراضی*، (۱)، ۶۸-۵۶.
- زارعیان، غلامرضا؛ فرپور، محمدهادی؛ حجازی، مجید و جعفری، اعظم. (۱۳۹۶). ارتباط شکل های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کانی شناسی رسی خاک های دشت قره باغ در استان فارس. *نشریه پژوهش های خاک (علوم آب و خاک)*، ۳۱(۲)، ۳۱۶-۳۲۸.
- ملکوتی، محمدجعفر. (۱۳۹۴). توصیه ی بهینه ی مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران. *انتشارات مبلغان*. ۳۴۸ صفحه.
- نجفی قیری، مهدی. (۱۳۹۴). تاثیر کاربرد بیوپارهای مختلف بر برخی ویژگی های خاک و قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی. *نشریه پژوهش های خاک*، ۲۹(۳)، ۳۵۸-۳۵۱.
- نجفی قیری، مهدی؛ اولیایی، حمیدرضا و بوستانی، حمیدرضا. (۱۳۹۸). عوامل موثر بر توزیع شکل های پتاسیم در برخی خاک های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۷(۲)، ۲۰۷-۱۹۶.
- نجفی قیری، مهدی؛ بوستانی، حمیدرضا و محمودی، علیرضا. (۱۳۹۷). تاثیر بقایای سه گونه گیاهی و بیوپار آنها بر برخی ویژگی ها و وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی. *نشریه پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)*، ۳۲(۱)، ۳۷-۲۵.
- نجفی قیری، مهدی؛ نودری، سعید؛ نیک سرشت، سید حسام و سلیمان پور، لیلا. (۱۳۹۶). اثر انواع مختلف بقایای گیاهی و کودهای دامی بر توزیع شکل های پتاسیم دو نوع خاک رسی تحت شرایط رطوبتی متفاوت. *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۷(۳)، ۱۷۲-۱۶۱.

REFERENCES

- Amirinejad, A. A. and Bagherneja, M. (1997). The effect of topography on genesis and development of soils in Kermanshah area. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 28 (3), 99-111. (In Persian).



- Anderson, G. (2009). Seaweed extract shows improved fruit quality at McLaren Vale vineyard trial. *Australian and New Zealand grape grower and winemaker*, (548), 17-21.
- Anupama, K., Bangar, K. S., Khaddar, V. K. & Singh, B. (2018). Fractions of potassium in soils Agriculture College research farm, Indore madhya pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology Applied Sciences*, 6, 341-350.
- Bader, B. R., Taban, S. K., Fahim, A. H., Ali Abood, M., & Hamid, G. J. (2021). Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertilizer under water strees during maize growth. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20, 390-394.
- Bhattacharyya, R., Ved Prakash, S., Kundu, B. N., Ghosh, A. K., Srivastva & Gupta, H.S. (2006). Potassium balance as influenced by farmyard manure application under continuous soybean-wheat cropping system in a Typic Haplaquept. *Geoderma*, 137, 1550-1160.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.
- Chang, CH., Zhang, H., Huang, F. & Feng, X. (2022). Understanding the translocation and bioaccumulation of cadmium in the enshi seleniferous area, China: Possible impact by the interaction of Se and Cd. *Environmental Pollution*, 300, 118927
- FAO. (2021). The state of the world's land and water resources for food and agriculture systems at breaking point (SOLAW 2021). Rome: food and agriculture organization of the united nations.
- Fatemi, A. (2017). Kinetics of Soil Potassium Release under Long-Term Imbalanced Fertilization in Calcareous Soils. *Pedosphere*, 27 (6), 1105-1115.
- Haeefe, S. M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A. Pfeiffer, E. M. & Knoblauch, C. (2011). Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field crops Research*, 121(3), 430-440.
- Hamed, M. H., El-Desoky, M. A., Faragallah, M. A. & Usman, A.R. (2011). Effect of organic amendments on soil chemical properties and potassium availability to sorghum plants grown on a calcareous sandy soil. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 42, 65-76.
- Hassanpoor, A. & Kolahchi, Z. (2015). The effect of sheep manure on the chemical fractionation of potassium in soils of walnut growing areas of Tuyserkhan. International Development Conference with a Focus on Agriculture, Environment and Tourism. Tabriz, Iran. (In Persian).
- Hassanpoor, A., Kolahchi, Z., Zarrabi, M., Fatemi, A. & Pegah, S. (2015). The effect of chicken manure on the chemical fractionation of potassium in soils of walnut growing areas of Tuyserkhan. The Third National Conference on Environmental and Agricultural Research in Iran. Hamedan, Iran. (In Persian).
- Hosseini, F., Najafi, GH. & Karimi, H. (2019). The effect of incubation of organic fertilizers on exchangeable and soluble potassium in calcareous soils of Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Technologies*, 32 (1), 21-36. (In Persian).
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. & Nelson, W. (2014). Soil fertility and fertilizers. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Heshmati, M., Nik M. Mjid, Shamsuddin, J., Gheitury, M. & Abdu, A. (2013). Effects of Soil and Rock Mineralogy on Soil Erosion Features in the Merek Watershed, Iran. *Journal of Geographic Information System*, 5, 248-257.
- Jin-Hua, Y., Ren-Kou, X., Wang N. & Jiu-Yu, L. (2011). Amendment of acid soils with crop residues and biochars. *Pedosphere*, 21(3), 302-308.
- Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B. & Karlen, D. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158, 443-449.
- Li, X., Li. Y., Wu, T., Qu, C., Ning, P., Shi, J. & Tian, X. (2020). Potassium fertilization combined with crop straw incorporation alters soil potassium fractions and availability in northwest china. *PLOS one*, 15(7), 1-17.
- Malakouti, M. M. (2015). Optimal fertilizer use recommendations for agricultural products in Iran. Mobaleghan Press.p. 348. (In Persian).
- Miretzky, P., Avendano, M. R., Munoz, C. & Carrillo-Chavez A. (2011). Use of partition and redistribution indexes for heavy metal soil distribution after contamination with a multi-element solution. *Journal of Soils and Sediments*, 11, 619-627. 42.
- Najafi-Ghiri, M. & Abtahi, A. (2012). Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3), 335-352.
- Najafi-Ghiri, M. (2014). Effects of zeolite and vermicompost applications on potassium release from calcareous soils. *Soil and Water Research*, 9, 31-37.

- Najafi-Ghiri, M. (2015). Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. *Journal of Soil Research*, 29 (3), 351-358. (In Persian).
- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Karimian, N., Owliaie, H. & Khormali, F. (2011). Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of agronomy and soil science*, 57, 343- 363.
- Najafi-Ghiri, M., Boostani H. R. & Mahmoodi A. R. (2018). Effect of Three Plant Species Residues and Their Biochars on some Properties and Potassium Status of a Calcareous Soil. *Journal of Soil Research*, 32 (1), 25-37. (In Persian).
- Najafi-Ghiri, M., Nowzari, S., Niksirat, N. H. & Soleimanpur, L. (2017). Effects of Different Plant Residues and Manures on Potassium Pools Distribution of Two Clayey Soils under Different Moisture Conditions. *Water and Soil Science*, 27 (3), 161-172. (In Persian).
- Najafi-Ghiri, M., Owliaie, H. R. & Boostani, H. R. (2018). Factors Affecting Chemical forms of Potassium Distribution in some Calcareous Soils of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. *Applied Soil Research*, 7 (2), 196-207. (In Persian).
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean C. A. (1954). Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Soil Science Society of America Journal*, 21, 144- 149.
- Rezaei, H. (2013). A Review of Research on Application of Livestock Manure in Agricultural Land of Iran. *Journal of Land Management*, 1(1), 56-68. (In Persian).
- Rhodes, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417-435. In: Sparks, D. L. (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. ASA, Madison, WI.
- Richards, L. A. (1947). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Soil science*, 64(5), 432.
- Rowell D L. (1994). *Soil science: methods and applications*. Harlow: Longman 621 Group, p. 350.
- Sing, B. & Goulding, K. W. T. (2008). Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil broad bulk continuous wheat experiment at rothamsted. *European Journal of Soil Science*, 48(4), 651-659.
- Soremi, A. O., Adetunji, M. T., Azeez, J. O., Adejuyigbe, C. O. & Bodunde, J. G. (2018). Effects of soil amendment on potassium fractions of southwestern Nigerian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (10), 1186-1198.
- Sparks, D. L. (2003). *Environmental Soil Chemistry*. 2nd Edition. Academic Press, San Diego, USA.
- Steffens, D. & Sparks, D. L. (1997). Kinetics of nonexchangeable ammonium release from soil. *Soil Science Society of America Journal*, 6(2), 455-462.
- Sumner, M. E. & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. 3rd Ed. Part 3. Chemical Methods-American Society of Agronomy, Madison, pp: 1201-1229.
- Surapaneni, A., Palmer, A. S., Tillman, R. W., Kirkman, J. H. & Gregg, P. E. H. (2002). The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. *Geoderma*, 110(3-4), 191-204.
- Walkley, A. & Black, I. A. (1934). Chromic acid titration for determination of soil organic matter. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, H.Y., Zhou, J. M., Du, C.W. & Chen X.Q. (2010). Potassium Fractionation in Soils as Affected by Monocalcium Phosphate, Ammonium Sulfate, and Potassium Chloride Application. *Pedosphere*, 20 (3), 368- 377.
- Zareian, G. R. Farpoor, M. H., Hejazi M. and Jafari A. (2017). Relationship of Potassium Forms with Soil Physicochemical Properties and Clay Mineralogy in Ghrehbagh Plain, Fars Province. *Journal of Soil Research*, 31(2), 316-328. (In Persian).
- Zygmunt, M. G. & Dorota K. (2015). Influence of compost maturation time on Cu and Zn mobility (MF) and redistribution (IR) in highly contaminated soil. *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 6233-6246.