19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بررسی اثر نوع نمک، اندازه و روش اصلاح زئولیت بر رها سازی پتاسیم محلول و تبادلی زئولیت

سیده نرگس ابراهیمی[1*]، محمد بابااکبری ساری[2]، نسرین اروج زاده[3]، فرهاد مهدیلو[4]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران*
۲- دانشیار گروه علوم ومهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دانشیار گروه صنایع معدنی و کاتالیست ها، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران
۴- دانشجوی دکتری علوم ومهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

امروزه، ارتقای کارایی مصرف کود و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آن، به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی کشاورزی مطرح است. این پژوهش با هدف تهیه‌ی کود های غنی شده با پتاسیم، بررسی زمان بر رهاسازی پتاسیم، و بررسی نوع نمک پتاس بر رهاسازی پتاسیم محلول و تبادلی در زئولیت انجام شد. بخش اول در شرایط آزمایشگاهی و با دو اندازه مختلف زئولیت (شکری: ۲/۳۶ میلی¬متر و پودری: ۶۰۰ میکرون) و در سه تکرار انجام شد. زئولیت مورد نیاز از معدن استان سمنان تهیه شد. برای اصلاح هر یک از اندازه‌های زئولیت دو روش غوطه‌وری و اسپری مورد استفاده قرار گرفت. برای اصلاح با پتاسیم از نمک‌های KOH – KCL- K2SO4 استفاده شد. در روش غوطه‌وری نمونه‌های زئولیت به مدت یک هفته در آزمایشگاه نگهداری و خشک شدند و برای تعادل بهتر عناصر، چندین چرخهٔ متناوب خشک و تر بر روی زئولیت‌های اصلاح‌شده انجام گرفت. سپس مقدار رهایش عنصر پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های زئولیت اصلاح‌شده با نمک‌های پتاسیم نوع نمک مورد استفاده در اصلاح زئولیت‌ها اثر قابل‌توجهی بر میزان پتاسیم قابل تبادل و محلول داشت. به‌طوری‌که زئولیت‌های اصلاح‌شده با KCl، KOH و K_2SO_4 همگی موجب افزایش پتاسیم محلول و تبادلی نسبت به شاهد گردیدند، اما میزان این افزایش بسته به نوع نمک متفاوت بود. به‌ویژه زمانی که به شکل پودری استفاده شدند. در کل، زئولیت‌های پودری اصلاح‌شده کارایی بیشتری در آزادسازی پتاسیم نشان دادند.

کلمات کلیدی: نمک، پتاسیم، زئولیت، زمان، رهاسازی، محلول، تبادلی

مقدمه

پتاسیم، طبق اظهارات هریس و کرستیانی (۲۰۰۹)، یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری برای رشد گیاه به شمار می‌رود. پتاسیم (K)، به عنوان یکی از سه عنصر غذایی اصلی (N-P-K) ضروری برای گیاهان، نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی ایفا می‌کند(Yusuf, M et al; 2023). مطابق با یافته‌های دامانیک و همکاران (۲۰۱۰)، پتاسیم نقشی محوری در حفظ تعادل جذب مواد مغذی ایفا می‌کند. گیاهان مقادیر قابل توجهی پتاسیم جذب می‌کنند، به طوری که گاهی اوقات میزان جذب آن می‌تواند از نیتروژن نیز فراتر رود(Damanik, 2010).

پتاسیم به عنوان یک عنصر غذایی حیاتی، نقشی کلیدی و محدودکننده در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. مطالعات متعدد، از جمله پژوهش فریک و همکاران (۱۹۹۴)، نشان‌دهنده بهبود چشمگیر در محصولات پس از کاربرد کافی کودهای پتاسیمی است. این تأثیر از طریق دو مکانیسم مستقیم و غیرمستقیم حاصل می‌شود.

تقاضای جهانی برای کودهای پتاسیمی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است (Zörb و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه تولید پتاسیم در انحصار تعداد معدودی از کشورها مانند چین و ایالات متحده آمریکا است، پیش‌بینی می‌شود که کشورهای در حال توسعه، از جمله هند و سایر کشورهای آسیایی که در حال حاضر مصرف محدودی دارند، در آینده نزدیک به شدت تقاضای خود را افزایش دهند. این روند، اهمیت مدیریت پایدار منابع پتاسیم و یافتن راهکارهای جایگزین برای تأمین نیازهای کشاورزی جهانی را دوچندان می‌کند(Zörb et al; 2014). نتایج پژوهش ملکی و همکاران در سال زراعی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ نشان داده سطوح مختلف آبیاری، زئولیت و پتاسیم به‌طور معنی‌داری بر صفاتی نظیر پرولین، غلظت پتاسیم دانه، درصد پروتئین، میزان کلروفیل (در زمان گلدهی و پر شدن دانه)، عملکرد دانه و وزن بوته اثر گذاشتند و اثر متقابل آبیاری و زئولیت بر تمامی صفات، به جز میزان کلروفیل در زمان پر شدن دانه، معنی‌دار بود(ملکی و همکاران، ۱۳۹۷). شکوهی و همکاران در سال ۲۰۱۶ پژوهشی گلدانی را با هدف ارزیابی تأثیر هم‌زمان و مستقل مدیریت زمان آبیاری، کاربرد زئولیت و ایجاد ماکروپور مصنوعی بر جذب فسفر و پتاسیم توسط گیاه ذرت انجام دادند. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از تیمارها اثر معنی‌داری بر افزایش جذب فسفر و پتاسیم نداشتند. ناکافی بودن میزان زئولیت مصرفی (۲ درصد وزنی خاک) و قلیاییت بالای خاک می‌تواند از عوامل اصلی عدم بهبود جذب فسفر و پتاسیم باشد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۵).

هاولین و همکاران در سال ۱۹۹۹ گزارش کردند که پتاسیم در خاک به اشکال مختلفی وجود دارد که هرکدام میزان دسترسی متفاوتی برای گیاه دارند . بخش محلول پتاسیم که تنها ۰/۱ تا ۲ درصد از کل پتاسیم خاک را شامل می‌شود، به صورت یون K^+ در محلول خاک حضور دارد و به‌طور مستقیم و سریع توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. در مقابل، بخش قابل جذب که شامل پتاسیم‌های تبادلی و غیرتبادلی است، بین ۱ تا ۱۰ درصد از کل پتاسیم خاک را تشکیل می‌دهد. این شکل از پتاسیم اگرچه به سرعت نوع محلول در دسترس نیست، اما به تدریج آزاد شده و در بلندمدت به‌عنوان منبع تغذیه‌ای پایدار برای گیاه عمل می‌کند(Havlin, et al., 1999).

مواد و روش‌ها

در ابتدا نوعی زئولیت از معدن سمنان تهیه شد. سپس دو اندازه مختلف جدا شده با استفاده از الک (اندازه شکری و پودری) مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه شکری زئولیت تهیه شده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر (مش ۸) و برای اندازه پودری از الک ۶۰۰ میکرون (مش ۲۸) عبور داده شد. سپس با بهره‌گیری از روش‌های زیر، انواع کودهای زئولیتی آماده شد.

با استفاده از سه منبع مختلف کودی پتاسیم و دو اندازه زئولیت، ۶ نوع کود پتاسیمی تهیه شد. به‌طور خلاصه، ۱/۴۳ گرم هیدروکسید پتاسیم در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانیده شد. ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول یک درصد پتاسیم فوق به ۱۰۰ گرم از زئولیت پودری و ۱۰۰ گرم از زئولیت شکری به‌صورت جداگانه (نسبت محلول یک درصد پتاسیم به زئولیت: ۱ به ۱) به دو روش غوطه‌وری و اسپری اضافه شد. نمونه‌های زئولیت به مدت یک هفته در آزمایشگاه نگهداری و خشک شد. برای تعادل مناسب‌تر عناصر، چند مرحله چرخه خشک و تر شدن زئولیت‌های اصلاح شده انجام شد. برای تهیه محلول یک درصد پتاسیم از کلرید پتاسیم، ۱/۸۹ گرم از نمک کلرور پتاسیم و برای تهیه‌ی محلول یک درصد پتاسیم از سولفات پتاسیم، ۲/۲۳ گرم از کود سولفات پتاسیم در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانیده شد. ادامه مراحل آزمایش مشابه با منبع کودی هیدروکسید پتاسیم انجام شد.

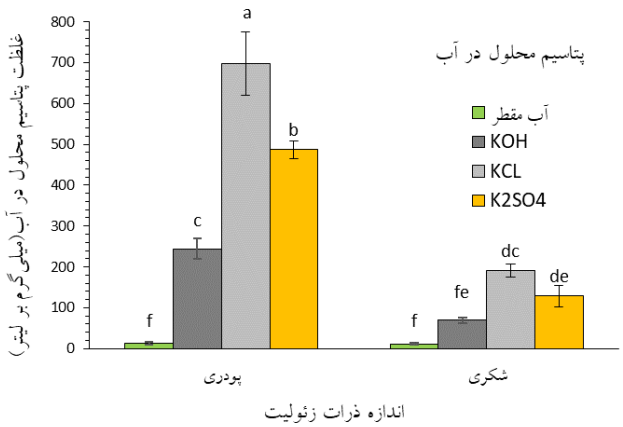
برای اندازه‌گیری فاز محلول به پنج گرم از نمونه‌های (زئولیت) توزین شده، در داخل لوله فالکون۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و سپس، به مدت ۵ دقیقه در دور ۳۵۰۰ نمونه‌ها را سانتیرفیوژ شد. در ادامه برای اندازه‌گیری فاز تبادلی، نمونه‌ی باقی مانده در ته لوله فالکون با استات آمونیوم شسته شد و در بالن ژوژه ۲۵۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. سپس ۱۰۰

میلی‌لیتر استات آمونیوم به نمونه‌ها اضافه شد و نیم ساعت با شیکر دورانی، شیک شد. در ادامه نمونه‌های صاف شده به ظروف نمونه منتقل گردید. در نهایت غلظت پتاسیم محلول و تبادلی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد (Thomas, 1982).

غلظت پتاسیم رها شده از زئولیت اصلاح‌شده با KOH، KCL و K2SO4

غلظت پتاسیم محلول در آب

همانطور که در جدول تجزیه واریانس نشان داده شده است، اثر ساده اندازه ذرات زئولیت، نوع نمک و اثر متقابل اندازه ذرات زئولیت ×نوع نمک بر غلظت پتاسیم محلول در آب معنی‌دار شده است و سایر منابع تغییر از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۴). در شکل ۱ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات زئولیت × نوع نمک بر غلظت پتاسیم محلول در آب ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت پتاسیم محلول در آب در زئولیت پودری اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4 به‌ترتیب ۲۴۴/۵۳، ۶۹۷/۷ و ۴۸۷/۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که در مقایسه با تیمار شاهد (زئولیت پودری) غلظت پتاسیم رها شده به شکل محلول در آب به‌ترتیب ۱۷۴۹/۷، ۵۱۷۷/۶ و ۳۵۸۴/۸ درصد افزایش یافته است. در زئولیت شکری اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4 نیز غلظت پتاسیم رها شده به شکل محلول در آب به‌ترتیب ۶۹/۴۵، ۱۹۰/۸ و ۱۲۹/۱ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد (زئولیت شکری)، غلظت پتاسیم رها شده به شکل محلول در آب به‌ترتیب ۵۱۴/۶، ۱۵۸۸/۳ و ۱۰۴۲/۲درصد افزایش یافته است. به‌طور کلی، پتاسیم رها شده به شکل محلول در آب در زئولیت‌های پودری اصلاح شده با نمک‌های مختلف بیشتر از زئولیت‌های شکری اصلاح شده می‌باشد. نوع روش اصلاح (روش اسپری و غوطه‌وی) اثر معنی‌دار بر غلظت پتاسیم رها شده به شکل محلول در آب نداشته است.

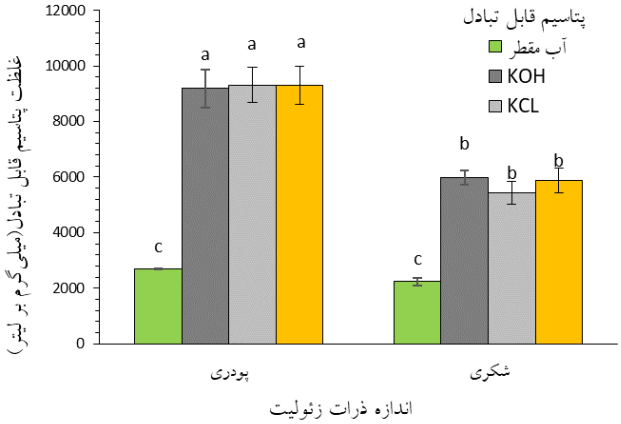


شکل ۱ اثر متقابل اندازه ذرات زئولیت × نوع نمک بر غلظت پتاسیم محلول در آب آزاد شده از زئولیت اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4

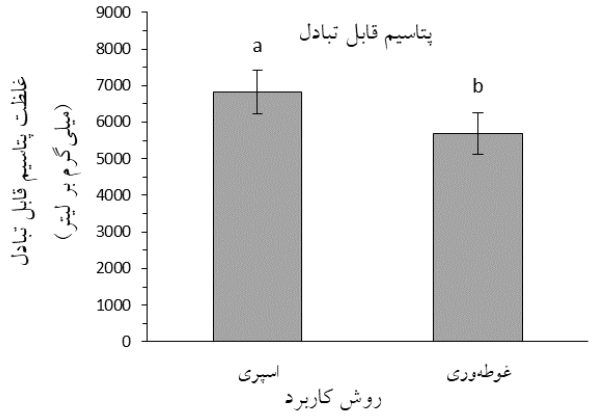
پتاسیم قابل تبادل

بررسی غلظت پتاسیم قابل تبادل در زئولیت‌های اصلاح شده نشان داد که اثر اندازه ذرات، نوع نمک، روش کاربرد و اثر متقابل اندازه ذرات ×نوع نمک بر غلظت پتاسیم قابل تبادل معنی‌دار بوده است (جدول ۴). در شکل ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات زئولیت × نوع نمک بر غلظت پتاسیم قابل تبادل نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت پتاسیم قابل تبادل در زئولیت پودری اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4 به‌ترتیب ۹۱۸۲/۳۰، ۹۳۰۳/۴ و ۹۳۰۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که در مقایسه با تیمار شاهد (زئولیت پودری) غلظت پتاسیم رها شده به شکل قابل تبادل به‌ترتیب ۲۴۰/۹، ۲۴۵/۴۴ و ۲۴۵/۴۱ درصد افزایش یافته است. مقادیر پتاسیم قابل تبادل در سه نوع زئولیت پودری اصلاح

شده با نمک‌های مختلف از نظر آمون دانکن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در زئولیت شکری اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4 نیز غلظت پتاسیم رها شده به شکل قابل تبادل به‌ترتیب ۵۹۷۳/۷۰، ۵۴۳۶/۵ و ۵۸۸۴/۶ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد (زئولیت شکری)، غلظت پتاسیم رها شده به شکل قابل تبادل به‌ترتیب ۱۶۶/۱، ۱۴۲/۱ و ۱۶۲/۱ درصد افزایش یافته است. در بین زئولیت‌های شکری اصلاح‌شده با نمک‌های مختلف نیز اختلاف معنی‌داری در غلظت پتاسیم رها شده به شکل قابل تبادل مشاهده نشد. به‌طور کلی، غلظت پتاسیم رها شده به شکل قابل تبادل در زئولیت‌های پودری اصلاح شده با نمک‌های مختلف بیشتر از زئولیت‌های شکری اصلاح شده می‌باشد. همانطور که بیان شد اثر روش کاربرد (غوطه‌وری و اسپری) بر غلظت پتاسیم قابل تبادل معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین اثر روش کاربرد بر غلظت پتاسیم قابل تبادل در شکل ۳ نشان داده شده است. غلظت پتاسیم قابل تبادل در روش اسپری و غوطه‌وری به‌ترتیب ۸۴۲۴/۸۰ و ۵۶۸۰/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که در روش اسپری بیشتر از غوطه‌وری می‌باشد.



شکل ۲ اثر متقابل اندازه ذرات زئولیت × نوع نمک بر غلظت پتاسیم قابل تبادل آزاد شده از زئولیت اصلاح‌شده با نمک‌های KOH، KCL و K2SO4



شکل ۳ اثر روش کاربرد زئولیت اصلاح‌شده بر غلظت پتاسیم قابل تبادل

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر مقدار پتاسیم آزاد شده از زئولیت اصلاح‌شده با اوره در زمان‌های مختلف

منبع متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات

		پتاسیم محلول در آب	پتاسیم قابل تبادل
اندازه ذرات	۱	۸۱۴۲۹۶/۹۵**	۸۹۷۹۱۶۹۳/۳**
روش کاربرد	۱	۲۱۱۷۲/۲۰ns	۱۵۷۱۱۶۹۶/۷**
نوع نمک	۱	۴۱۸۹۶۰/۴۷**	۷۶۴۷۱۲۳۶/۸**
اندازه×روش کاربرد	۱	۲۱۶۹/۴۸ns	۲۲۱۲۹۹/۷ns
اندازه×نوع نمک	۱	۱۴۴۴۰۱/۷۷**	۷۲۰۲۵۳۵/۰**
روش کاربرد× نوع نمک	۱	۵۹۲۲/۵۸ns	۱۰۵۷۵۰۰/۵ns
اندازه×روش کاربرد×نوع نمک	۱	۶۳۹۸/۵۳ns	۶۴۶۷۸۳/۰ ns
خطای آزمایشی	۱۶	۵۸۳۴/۰۶	۱۰۲۸۷۹۴/۳
ضریب تغییرات	–	۳۳/۱۵	۱۶/۲۲

ns،*،**به ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد براساس آزمون دانکن (سطح احتمال پنج درصد)

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، مشخص گردید که زئولیت اصلاح شده با پتاسیم توانست به‌طور معناداری بر الگوی آزادسازی پتاسیم اثر بگذارد. بررسی‌ها نشان داده است که زئولیت‌های طبیعی با داشتن خواص شیمیایی و فیزیکی استثنایی، به‌ویژه ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و میل ترکیبی قوی با یون‌های آمونیوم ($+NH4$) و پتاسیم ($+K$)، این قابلیت را دارند که برای به حداکثر رساندن راندمان استفاده از نیتروژن در کشاورزی به کار گرفته شوند (Soltys et al., 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در رهایش عناصر نیتروژن و پتاسیم، تأثیر کود زئولیت پودری بیشتر از شکری بوده است که دلیل احتمالی آن را می¬توان به بالا بودن سطح ویژه ذرات پودری نسبت داد(Ramesh et al., 2011; Sangeetha and Baskar, 2016). افزودن مواد اصلاح‌کننده حاوی پتاسیم به خاک می‌تواند سطوح اشکال مختلف پتاسیم (شامل پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی) را افزایش دهد. این اقدام همچنین بر آزادسازی پتاسیم و ظرفیت تثبیت بیشتر پتاسیم در خاک تأثیرگذار خواهد بود(نجفی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج نشان داد که زئولیت اصلاح شده پتاسیم تبادلی و محلول را جذب کرده و به تدریج آزاد خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زئولیت اصلاح‌شده با نمک‌های پتاسیم نیز نتایج مشابهی را نشان داد. نوع نمک مورد استفاده در اصلاح زئولیت‌ها اثر قابل‌توجهی بر میزان پتاسیم قابل تبادل و محلول داشت. به‌طوری‌که زئولیت‌های اصلاح‌شده با KCl، KOH و K_2SO_4 همگی موجب افزایش پتاسیم محلول و تبادلی نسبت به شاهد گردیدند، اما میزان این افزایش بسته به نوع نمک متفاوت بود به‌ویژه زمانی که به شکل پودری استفاده شدند. در کل، زئولیت‌های پودری اصلاح‌شده کارایی بیشتری در آزادسازی پتاسیم نشان دادند، زیرا سطح تماس بالاتر آنها امکان تبادل یونی گسترده‌تری را فراهم کرد. پتاسیم محلول در آب بیشتر تحت تأثیر KCl و K_2SO_4 قرار گرفت، در حالی که پتاسیم قابل تبادل در حضور KOH و KCl مقادیر بالاتری داشت. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب نوع نمک پتاسیمی می‌تواند ابزار مدیریتی مؤثری برای تنظیم سرعت و پایداری عرضه پتاسیم به گیاه باشد و بسته به هدف تغذیه‌ای (تأمین سریع یا تدریجی)، می‌توان از ترکیب‌های متفاوتی استفاده کرد. ضمن اینکه، این موضوع بیانگر آن است که ترکیب نوع نمک و اندازه ذرات می‌تواند به‌طور مستقیم بر تحرک پتاسیم تأثیر بگذارد. در مقابل، روش اصلاح (اسپری یا غوطه‌وری) تأثیر چندانی نداشت.

فهرست منابع

۱- **ملکی، س.، نخزری مقدم، ع.، صباغ پور، س.ح.، نوری نیـا، ع.ع.، و صـبوری، ح. (۱۳۹۷).** تـأثیر زئولیـت و پتاسیم بر برخی از خصوصیات و عملکرد نخود (Cicer arietinum L.) در مدیریت های مختلف آبیـاری. پـژوهش نبض مجله ایران، ۹(۲)، ۱۱۴-۱۲۵.

۲- **نجفی-قیری، م.، و اولیایی، ح. ر. (۱۳۹۸).** وضعیت پتاسیم دو خاک آهکی رسـی تیمـار شـده بـا زئولیـت تحـت چرخه‌های تر و خشک شدن. تحقیقات کشاورزی ایران، ۳۸(۱)، ۱۵-۲۲.

۳- **شکوهی، ا.، پارسی‌نژاد، م.، نوری، ح.، و متشرع‌زاده، ب. (۱۳۹۵).** ارزیـابی تـأثیر زئولیـت و رطوبـت خـاک بـر افزایش کود فسفات، جذب پتاسیم قابل استخراج خاک و صـفات زراعـی ذرت. مجلـه تحقیقـات خـاک و آب ایـران، ۴۷(۳)، ۴۵۹-۴۶۶.

4-Ahmad, Z.; Anjum, S.;Waraichj, E.A.; Ayub, M.A.; Ahmad, T.; Tariq, R.M.S.; Ahmad, R.; Iqbal, M.A.2018 Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress–a review. J. Plant Nutr. 2018, 41 [CrossRef] .۱۷۴۳–۱۷۳۴

5-.Damanik,Hasibuan,Fauzi, H. 201. (2010). Kesuburan Tanah dan Pemupukan.

6-Farahani, S.; Heravan, E.M.; Rad, A.H.S.; Noormohammadi, G.2019. Effect of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of canola cultivars upon late-season drought stress conditions. J. Plant Nutr. 2019, 42, 1543–1555. [CrossRef].

7-Fricke, W.; Leigh, R.A.; Tomos, A.D, 1994. Concentrations of inorganic and organic solutes in extracts from individual epidermal, mesophyll and bundle sheath cells of barley leaves. Planta 1994, 192, 310–316. [CrossRef].

8-Haris, A., & Krestiani, V. (1979). Studi pemupukan kalium terhadap pertumbuhan dan hasil jagung manis (Zea mays saccharata sturt) varietas super bee. Jurnal Sains, 6870.

9-Hussain, S.; Tahir, M.; Tanveer, A.; Ahmad, R.2019. Mitigating the effects of drought stress in wheat through potassium application. Int. J. Bot. St. 2019, 4, 86–91.

10-Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M.H.M.B.; Nahar, K.; Hossain, M.S.; Al Mahmud, J.; Hossen, M.S.; Masud, A.A.C.; Moumita, F.M.2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. Agron. Basel 2018, 8, 31. [CrossRef].

11-Havlin, J., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. 1999. Soil fertility and fertilizers. Sixth ed., Prentice hall, New Jersey. USA

12-Gul, M.; Wakeel, A.; Steffens, D.; Lindberg, S,2019. Potassium-induced decrease in cytosolic Na+ alleviates deleterious effects of salt stress on wheat (Triticum aesticum L.). Plant Biol. 2019, 21, 825–831. [CrossRef] [PubMed].

13-Li, Z., Zhang, Y., & Li, Y. (2013). Zeolite as slow release fertilizer on spinach yields and quality in a greenhouse test. Journal of Plant Nutrition, 36(10), 1496-1505.

14-Ma, Q.F.; Bell, R. Biddulph, B,2019. Potassium application alleviates grain sterility and increases yield of wheat (Triticum aesticum) in frost-prone Mediterranean-type climate. Plant Soil 2019, 434, 203–2016. [CrossRef]

15-Nakhli, S. A. A., Delkash, M., Bakhshayesh, B. E., & Kazemian, H. (2017). Application of zeolites for sustainable agriculture: a review on water and nutrient retention. Water, Air, & Soil Pollution, 228(12), 464.

16-Ramesh, K., & Reddy, D. D. (2011). Zeolites and their potential uses in agriculture. Advances in agronomy, 113, 219-241.

17-Sangeetha, C., & Baskar, P. (2016). Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review. Agricultural Reviews, 37(2), 101-108.

18-Soltys, L., Myronyuk, I., Tatarchuk, T., & Tsinurchyn, V. (2020). Zeolite-based composites as slow release fertilizers. Physics and Chemistry of Solid State, 21(1), 89-104.

19-Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties, 9, 159-165.

20-Yusuf, M., Fitria, F., Risnawati, R., Susanti, R., Alqamari, M., Khair, H., & Alridiwirsah, A. (2023). Application Of Potassium Fertilizer And Organic Fertilizer For Rabbits On The Growth And Years Of Okra (Albemoschus Esculentus L). Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika), 5(1), 185-192.
21-Zörb, C.; Senbayran, M.; Peiter, E,2014. Potassium in Agriculture–status and perspectives. J. Plant Physiol. 2014, 171, 656–669.
[CrossRef] [PubMed]

Studying the effect of salt type, size and zeolite modification method on the release of soluble and exchangeable potassium from zeolite

Syedeh Narges Ebrahimi
Master's student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.

Abstract
Nowadays, improving fertilizer use efficiency and reducing environmental impacts resulting from its application are considered as one of the fundamental challenges of agriculture. This research aimed to prepare fertilizers enriched with potassium, investigate the effect of time on potassium release, and investigate the type of potash salt on the release of soluble and exchangeable potassium in zeolite. The first part was conducted under laboratory conditions with two different zeolite sizes (sugar: 2.36 mm and powder: 600 microns) and in three replicates. The required zeolite was obtained from a mine in Semnan province. Two immersion and spray methods were used to modify each of the zeolite sizes. KOH - KCL - K2SO4 salts were used for modification with potassium. In the immersion method, zeolite samples were stored and dried in the laboratory for a week, and for better element balance, several alternating dry and wet cycles were performed on the modified zeolites. Then, the amount of potassium element release was evaluated. Findings of zeolite modified with potassium salts The type of salt used in the modification of zeolites had a significant effect on the amount of exchangeable and soluble potassium. Zeolites modified with KCl, KOH and K_2SO_4 all increased soluble and exchangeable potassium compared to the control, but the extent of this increase varied depending on the type of salt. Especially when they were used in powder form. In general, the modified powder zeolites showed greater efficiency in releasing potassium.
Keywords: salt, potassium, zeolite, time, release, solution, exchan