



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اثر سرکه چوب بر آزادسازی پتاسیم در دو خاک رسی ورمی کولیت و سپیولیت

آذر خزائی^۱، سهیلاسادات هاشمی^{۲*}

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر *Email: s.hashemi@malayeru.ac.ir

چکیده

مهم‌ترین منبع پتاسیم در خاک‌ها آلومینوسیلیکات‌ها و محصولات هوادهی آنها از جمله ورمی کولیت و کانیه‌های مختلط آن می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی رهاسازی پتاسیم غیرتبدالی از خاکهای رسی ورمی کولیت و سپیولیت از معادن ایران است. رهاسازی پتاسیم در ۸ زمان متوالی از ۲ تا ۳۳۶ ساعت در خاکهای رسی با اندازه ۱۰۰ میکرون، توسط سه عصاره‌گیر سرکه چوب، اسیدکلریدریک و اسید سیتریک صورت گرفت. پتاسیم غیرتبدالی رهاسده با معادلات سنتیکی برازش داده شد. نتایج نشان داد که در میزان پتاسیم غیرتبدالی رهاسازی شده بین دو خاک رسی، تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.01$). در مقدار پتاسیم رها شده در رس ورمی کولیت در بین عصاره‌گیرها تفاوت معنی‌دار بود ($p < 0.01$). حداکثر پتاسیم رها شده در رس ورمی کولیت با عصاره‌گیر سرکه چوب مشاهده شد (۲۵۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم). کمترین میزان پتاسیم رهاسازی شده توسط رس سپیولیت با عصاره‌گیر اسید سیتریک گزارش شد. بالاترین میزان برازش را معادله مرتبه یک و سپس الویچ نشان دادند. بطور کلی استفاده از خاک رسی ورمی کولیت معدن جیرفت همراه با سرکه چوب در مزارع و باغات بعنوان یک منبع کودی طبیعی پتاسه می‌تواند نقش بسزائی در کاهش استفاده از کودهای شیمیائی و آفت‌کشاها داشته باشد و به سلامت زیست محیط کمک کند.

واژگان کلیدی: اسیدکلریدریک، پتاسیم غیرتبدالی، معدن فریمان

مقدمه

به دلیل رشد مداوم جمعیت و افزایش سطح مصرف، پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ نیاز جهانی به تولید محصولات کشاورزی از ۱۰۰ تا ۱۱۰ درصد افزایش یابد. یکی از دلایل ریشه‌ای بیوفیزیکی کاهش تولید محصولات کشاورزی، کاهش کیفیت و کمیت منابع زمین، به‌ویژه خاک است (Sanchez, 2002). پتاسیم یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان است. نقش عنصر پتاسیم، به عنوان بخشی از ترکیبات گیاهی بسیار اندک یا صفر است، اما وجود آن به عنوان عامل تنظیم‌کننده فتوسنتز، انتقال کربوهیدرات‌ها و غیره ضروری است. مهم‌ترین منابع پتاسیم در خاک‌ها آلومینوسیلیکات‌هایی مانند فلدسپارهای پتاسیم، میکاها و محصولات هوادهی آنها از جمله ورمی کولیت می‌باشند که ۹۸٪ از پتاسیم خاک را تشکیل می‌دهند. رس‌های ورمی کولیت میکاهای هوازدهی هستند که در آن مولکول‌های آب همراه با Mg^{+2} و سایر یون‌ها در فضای بین لایه‌ای به جای یون پتاسیم جایگزین می‌شوند، که آن را از میکاها متفاوت می‌کند (Kumari and Mohan, 2021). سپیولیت نیز یک سیلیکات منیزیم هیدرات‌ناست که از مجموعه کانی‌های ۲:۱ بوده و مقدار منیزیم آن از ۲۱۰ تا ۲۵۰ گرم در هر کیلوگرم متغیر است. مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آلی تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان، مقدار انحلال مواد معدنی را در محیط‌های هوازده افزایش می‌دهند. Norouzi و همکاران (2012)، در بررسی رهاسازی پتاسیم از دو کانی فلوگوپیت و مسکوویت به وسیله اسیدهای آلی سیتریک،

اگزالیک و مالیک به روش عصاره‌گیری معمولی نشان دادند که سرعت رهاسازی پتاسیم توسط اسید سیتریک بیشتر از سایر اسیدها از جمله اسید اگزالیک است. یک ترکیب زیستی که توجه زیادی را جهت بهبود رشد و عملکرد گیاهان به خود جلب کرده است، سرکه چوب یا اسید چوب یا اسید پیروگلیکونوس می‌باشد. این ترکیب، یک ماده مایع با اسیدهای آلی متراکم و بسیار اکسیژنه است که از واکنش بین عناصر فرار تولید شده در طی تجزیه حرارتی ناشی می‌شود. سرکه چوب از آب (۹۰-۸۰ درصد) و بیش از ۲۰۰ ترکیب آلی از جمله اسیدها، الکل‌ها، فنل‌ها، آلدئیدها و استرها (۲۰-۱۰ درصد) بسته به شرایط پیرولیز تشکیل شده است (Guo et al., 2021). سرکه چوب به‌عنوان یک ترکیب با اسید استیک بالا می‌تواند با کاهش pH خاک، پتاسیم را از کانیهای موجود در خاک رسی، آزاد کنند.

خاک رسی ورمی‌کولیت از معدن جیرفت، استان کرمان در جنوب ایران، و خاک رسی سپیولیت از معدن فریمان استان خراسان در شمال کشور استخراج شده، که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه دو منبع رسهای نامبرده در کشور موجود می‌باشد و تهیه سرکه چوب نیز به راحتی امکان‌پذیر است، درصدد برآمدیم تا میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را برای تامین نیاز گیاهی در هر دو خاک رسی مورد بررسی قرار دهیم. بدون شک حضور کانیهای مختلط دیگر در خاکهای رسی نامبرده، منجر به آزادسازی بخشی از پتاسیم غیرتبادلی خواهند شد. هم‌چنین سعی گردید که مقایسه بین اسیدهای آلی و معدنی نیز در حین عصاره‌گیری صورت بپذیرد تا بهترین عصاره‌گیر معرفی گردد. نهایتاً بتوان مصرف کودهای شیمیائی حاوی پتاسیم را تا حد امکان کاهش داد، تا هم در هزینه و هم در سلامت زیست محیطی نقشی را ایفا کنند.

مواد و روش‌ها

نمونه خاکهای رسی (رسی ورمی‌کولیت و سپیولیت) مورد استفاده در این تحقیق مربوط به معدن جیرفت و فریمان با درجه خلوص ۷۰ تا ۹۰٪، پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا در هوا خشک، آسیاب شده و سپس از الک ۱۴۰ مش (۱۰۰ میکرون) عبور داده شدند. سرکه چوب استفاده شده از یک کارخانه تولید زغال چوب واقع در منطقه داراب (جنوب استان فارس، ایران) تهیه شد، که در شرایط اکسیژن محدود، بیوچار مشتق شده از چوب درخت انار را در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌کند. برای مطالعه سینتیک آزادسازی پتاسیم ابتدا پتاسیم تبادلی و محلول از نمونه‌های خاک رسی حذف گردید. سپس نمونه در آون خشک شدند. عصاره‌گیرهای مختلف (اسید کلریدریک، اسیدسیتریک و سرکه چوب) در غلظت‌های ۰/۰۱ مولار تهیه گردید. سپس دو گرم از نمونه خاک رسی را در لوله سانتی‌فیوژ ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر از هرکدام عصاره‌گیرهای ۰/۰۱ مولار به آن‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه شیک و سانتی‌فیوژ شدند و محلول رویی از کاغذ صافی عبور داده شده و داخل ظرف نمونه جمع آوری شدند. نمونه‌ها به صورت متوالی در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۲۴، ۴۸، ۱۴۴، ۲۴۰ و ۳۳۶ ساعت عصاره‌گیری شدند. غلظت پتاسیم در هر مرحله به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر قرائت شدند. برای بررسی سرعت آزادسازی پتاسیم، داده‌های مراحل آزادسازی پتاسیم با معادله‌های الویچ، انتشار پارابولیک، تابع توانی، مرتبه یک و مرتبه صفر برازش داده شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS.20 انجام شد. جهت مقایسه میانگین از آزمون دانکن با سطح احتمال ۹۹ درصد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده شد. سپس نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Microsoft Office Excel.13 ترسیم شد.

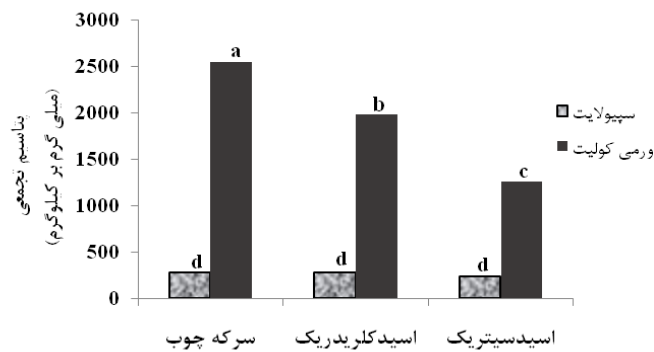
نتایج و بحث

خاک رسی ورمیکولیت و سپیولیت، کانیهای سیلیکات هیدراته طبیعی با اکثریت عناصر منیزیم، آهن، کلسیم و آلومینیوم است که توسط فلورسانس اشعه ایکس (XRF) شناسایی شده‌اند (جدول ۱). بر اساس نتایج به دست آمده رسی ورمیکولیت و سپیولیت دارای pH قلیایی بوده، که دلیل آن می‌تواند وجود کانی‌های کربناته و ژپس باشد. درصد کربنات کلسیم معادل آنها نیز به ترتیب ۱۶/۲۵ و ۲۳ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی ۷۵ و ۲۳ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم است. با توجه به اشکال مختلف پتاسیم مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری به ترتیب ۲۱/۷، ۱۱۳/۴، ۱۱۰۰/۴ و ۲۱۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رسی ورمیکولیت و ۴/۵، ۱۱/۸، ۱۸۶/۸ و ۳۳۷/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک رسی سپیولیت برآورد گردید. بدون شک حضور پتاسیم‌های غیرتبادلی و کل موجود در خاک رسی سپیولیت مربوط به ناخالصیهای موجود در خاک رسی است.

جدول ۱. آنالیز XRF مربوط به خاکهای رسی ورمیکولیت و سپیولیت.

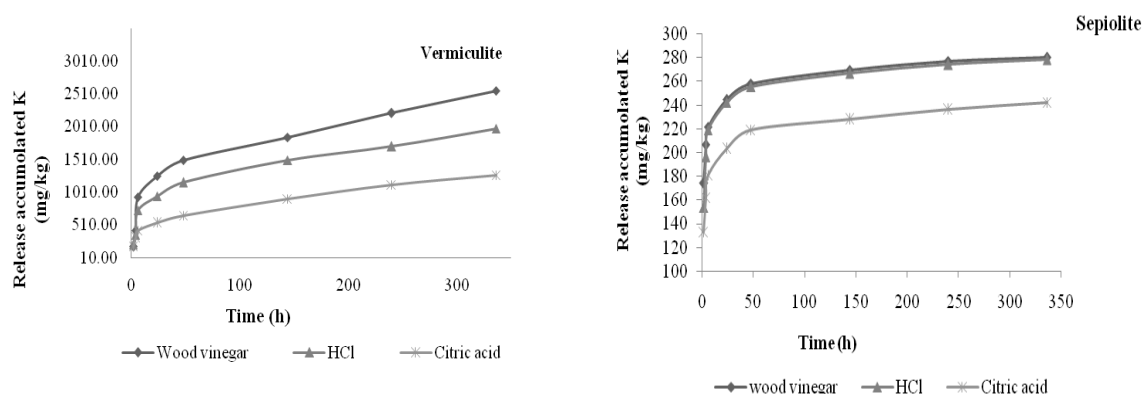
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	خاک رسی
۴۹	۳/۵	۵/۸	۴/۸	۰/۸۲	۲۸	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۱۳	ورمیکولیت
۵۳	۲/۶	۱/۲	۰/۱	۰/۰۱	۲۳/۶	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۹	سپیولیت

نتایج میزان پتاسیم غیرتبادلی تجمعی رهاسازی شده نشان داد که ۴۴ درصد پتاسیم رهاسازی شده از رسی ورمیکولیت توسط سرکه چوب (۲۵۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۳۴/۲ درصد پتاسیم نیز توسط اسیدکلریدریک (۱۹۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نهایتاً ۲۱/۸ درصد توسط اسیدسیتریک آزاد شده است (۱۲۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم). لذا سرکه چوب بیشترین توانایی را در آزاد سازی پتاسیم به همراه دارد. میزان پتاسیم تجمعی رهاسازی شده از خاک رسی سپیولیت توسط سرکه چوب، اسیدکلریدریک و اسید سیتریک به ترتیب برابر ۲۸۰/۲، ۲۷۸/۴ و ۲۴۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد، که تفاوت زیادی با هم ندارند. نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر عصاره‌گیر بر میزان پتاسیم غیرتبادلی رهاسازی شده معنی‌دار است ($p < 0.01$). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) عصاره‌گیر سرکه چوب بیشترین آزادسازی را در ورمیکولیت و عصاره‌گیراسید سیتریک کمترین میزان آزادسازی را به همراه داشته است. تفاوت معنی‌داری بین عصاره‌گیرها در خاک رسی سپیولیت مشاهده نشد. اما بین میزان پتاسیم رهاسازی شده از ورمیکولیت و سپیولیت در تمام عصاره‌گیرها تفاوت معنی‌داری است ($p < 0.01$). Li و همکاران (2015) بیان داشتند که اسید کلریدریک داغ می‌تواند بیش از ۳۰٪ پتاسیم غیرتبادلی را از بیوتیت از طریق تبادل H^+ با پتاسیم بین لایه‌ای بدون تغییر در ساختار کانی در کوتاه مدت استخراج کند. Hashemi (2025) نیز نشان داد که سرکه چوب توانایی بالایی در استخراج منیزیم، کلسیم و فسفر از خاکها در کاربریهای متفاوت دارد. حشمتی و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان دادند که سرکه چوب در مقایسه با اسید کلریدریک، کلرید کلسیم و اسید اگزالیک بیشترین توانایی در استخراج پتاسیم غیرتبادلی را دارد. بالاتر بودن میزان پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از خاک رسی ورمیکولیت (۲۵۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به میزان برآورد شده خود رس (۱۱۰۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نشان دهنده آنست که علاوه بر قسمت غیرتبادلی میزانی پتاسیم از بخش ساختاری آزاد شده است. می‌توان گفت سرکه چوب بعنوان یک عصاره‌گیر آلی بدلیل پهایس بسیار پایینی که دارد (۳/۵ تا ۴)، منجر به انحلال کانی‌های حاوی پتاسیم (ورمیکولیت، کانیهای مختلط ایلایت-ورمیکولیت و اسمگتیت) و آزادسازی پتاسیم شده است (Ramos et al., 2014). پتاسیم آزاد شده توسط اسید کلریدریک در رس ورمیکولیت (۱۹۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز نسبت به پتاسیم غیرتبادلی رس بالاتر برآورد شده است. می‌توان گفت به دلیل تبادل H با پتاسیم بین لایه‌ای، انحلال کربناتهای خاک و افزایش کلسیم و منیزیم محلول باشد، که پس از آن با پتاسیم بین لایه‌ای مبادله می‌شود (Li et al., 2015). در مورد رس سپیولیت نیز همین نتایج به چشم می‌خورد. اما میزان پتاسیم تجمعی رها شده، بسیار پایین است.



شکل ۱. نتایج مقایسه میانگین دانکن پتاسیم تجمعی در تیمارهای متفاوت

آزادسازی پتاسیم از نمونه رس ورمی کولییت در طی ۸ استخراج متوالی توسط عصاره گیرهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل سرعت رهاسازی پتاسیم در مراحل اولیه زیاد بوده و سپس با گذشت زمان به تدریج کاهش یافته و ممکن است پس از ۳۳۶ ساعت با سرعت ثابتی ادامه یابد. حالت تعادلی در زمان ۳۳۶ ساعت در مورد خاک رسی سپیولییت بیشتر به چشم می خورد. رهاسازی اولیه که با سرعت بالایی انجام می شود به مناطق لبه ای و گوه ای شکل ورمی کولییت نسبت داده شده و هم چنین کاهش سرعت رهاسازی را می توان به بالا رفتن سطح انرژی جذب پتاسیم در بین لایه و از طرف دیگر افزایش فاصله پتاسیم از لبه کانی و افزایش فاصله پخشیدگی مرتبط دانست (Srinivasarao et al., 1999). نتایجی مشابه با روند مذکور در دیگر مطالعات مربوط به رهاسازی پتاسیم گزارش شده است (Hashemi, 2025; Hahsemi and Najafghiri, 2024).



شکل ۲- روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در تیمارهای متفاوت

نتایج حاصل از برازش مدل های سینتیکی برای رس سپیولییت نشان داد که معادله مرتبه یک بالاترین برازش و پس از آن معادله الوویچ بهترین ضریب تبیین را به همراه دارد (جدول ۲). بطوری که بالاترین ضریب تبیین ($r^2=0.96$) برای رس سپیولییت با عصاره گیر سرکه چوب و اسیدکلریدریک در معادله مرتبه یک بدست آمد. کمترین ضریب تبیین برای رس ورمی کولییت با عصاره گیر اسید سیتریک ($r^2=0.78$) در معادله مرتبه یک گزارش شد، که میزان خطای برآورد شده برابر $589/4$ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بالاترین ضریب تبیین برای رس ورمی کولییت در عصاره گیر اسیدکلریدریک در معادله الوویچ ($r^2=0.98$) مشاهده گردید (جدول ۲). معادله مرتبه صفر و تا حدودی معادله پخشیدگی پارابولیک با حداقل میزان برازش همراه بودند که در نتایج بیان نشدند. Hahsemi و Najafi (2024) در بررسی سینتیک آزادسازی پتاسیم از رس ورمی کولییت تحت اثر دو عصاره گیر متفاوت به این نتیجه رسید که بهترین ضرایب تبیین توسط معادله های الوویچ و تابع توانی قابل مشاهده می باشد.

جدول ۲. ضرایب تبیین و خطای استاندارد برآورد مدل‌های سینتیکی استفاده شده در سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی

خاک رسی	تیمار	الووچ		تابع توانی		مرتبه یک	
		SE	R ²	SE	R ²	SE	R ²
سپیولیت	سرکه چوب	۰/۹۳	۲۲/۸	۰/۹۱	۱۱/۶	۰/۹۶	۱۹/۹
	اسید کلریدریک	۰/۹۱	۱۴/۵	۰/۸۵	۱۷/۱	۰/۹۶	۲۵/۸
	اسید سیتریک	۰/۹۵	۹/۶	۰/۹۱	۱۲/۱	۰/۹۵	۱۹/۳
ورمی‌کولیت	سرکه چوب	۰/۹۵	۹۱/۲	۰/۹۶	۴۷/۸	۰/۸۵	۲۶۷/۶
	اسید کلریدریک	۰/۹۸	۱۰۶/۸	۰/۹	۱۸۷/۱	۰/۷۸	۴۲۴/۴
	اسید سیتریک	۰/۹۷	۱۵۲/۲	۰/۸۵	۳۲۲/۷	۰/۷۸	۵۸۹/۴

ثابت‌های معادلات سینتیکی استفاده شده در سرعت آزادسازی پتاسیم در جدول ۳ نشان داده شده است که در آن شیب معادله (b) نشان دهنده سرعت آزادسازی پتاسیم بین لایه‌ای و عرض از مبدأ (a) بیانگر میزان اولیه آزادسازی پتاسیم می‌باشد. لذا بالاترین شیب مربوط به عصاره‌گیر اسیدسیتریک در رس ورمی‌کولیت (۴۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ساعت) در معادله الووچ و بیشترین میزان آزادسازی اولیه نیز مربوط به همین عصاره‌گیر ولی در معادله تابع توانی (۲۳۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. ضریب b در معادلات تابع توانی و مرتبه یک، کوچکتر از یک است که نشان دهنده کاهش سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با زمان می‌باشد. Hahsemi و Najafi (2024) نشان دادند که بالاترین سرعت رهاسازی پتاسیم در معادله الووچ، مربوط به تیمار ورمی‌کولیت آهک‌دار در عصاره‌گیری کلریدکلسیم (۲۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ساعت) و کمترین سرعت رهاسازی مربوط به تیمار ورمی‌کولیت بدون آهک با عصاره‌گیر اسید سیتریک (۶۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.

جدول ۳. ثابت‌های معادلات سینتیکی استفاده شده در سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی

خاک رسی	عصاره‌گیر	الووچ		تابع توانی		مرتبه یک	
		a	b	a	b	a	b
		mg kg ⁻¹	mgkg ⁻¹ h ⁻¹	mg kg ⁻¹	mgkg ⁻¹ h ^{-1/2}	mg kg ⁻¹	mgkg ⁻¹ h ⁻¹
سپیولیت	سرکه چوب	۱۷۴/۲	۱۴/۹	۱۸۰/۹	۰/۰۸	۰/۰۱	۴/۷
	اسید کلریدریک	۱۶۳/۹	۲۱/۲	۱۶۷/۳	۰/۱	۰/۰۱	۴/۳
	اسید سیتریک	۱۳۵/۲	۱۹/۲	۱۳۹/۴	۰/۱	۰/۰۱	۴/۳
ورمی‌کولیت	سرکه چوب	۱۵/۶	۱۹۳/۷	۱۸۳/۶	۰/۳	۰/۰۲	۷/۲
	اسید کلریدریک	۱۲/۶	۳۱۹	۲۳۱/۶	۰/۴	۰/۰۲	۷/۷
	اسید سیتریک	۶۸/۵	۴۲۰	۲۳۸/۷	۰/۴	۰/۰۱	۷/۹

نتیجه‌گیری

براساس نتایج آزمایش سرکه چوب با توانایی ۴۴ درصد حداکثر میزان استخراج پتاسیم را در بین عصاره‌گیرها در رس ورمی‌کولیت به‌مراه داشته است. میزان استخراج پتاسیم در خاک رسی سپیولیت در بین عصاره‌گیرها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. لذا می‌توان گفت که خاک رسی معدن جیرفت با بالاترین میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط سرکه چوب در مقایسه با اسیدکلریدریک و اسید سیتریک توانایی استفاده بعنوان یک منبع کودی را دارا می‌باشد. استفاده توأمان از خاک رسی ورمی‌کولیت و سرکه چوب در مزارع کشاورزی می‌تواند علاوه بر فراهمی عنصر پتاسیم برای نیاز گیاهان، نقش آفت‌کشی را نیز فراهم کند. و بدین صورت استفاده از کودهای شیمیائی پتاسه را کاهش داده و اثرات زیست محیطی آن را نیز کم نموده و برای سلامت انسانی نیز مفید باشد.

فهرست منابع

- حشمتی، ح.، هاشمی، س. س.، مهدوی، ش. (۱۴۰۲). آزادسازی پتاسیم خاکهای تحت کشت انگور با استفاده از سرکه چوب. هجدهمین کنگره علوم خاک (مدیریت احیاگر و چالش‌های خاک: شوری، آلودگی، گرد و غبار)، ۱۰ تا ۱۲ بهمن ماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی. صفحات ۱۴۴-۱۵۰.
- Guo, G., Wang, Q., Huang, Q., Fu, Q., Liu, Y., Wang, J., Zhang, J. (2021). Effect of pyrolysis temperature on the characterisation of dissolved organic matter from pyroligneous acid. *Molecules*, 26(11), 3416.
- Hashemi, S.S. (2025). Effect of wood vinegar on the release of calcium, magnesium, and phosphorus from calcareous soils in different land uses. *Journal of Arid Land*, 17(5), 680–695.
- Hashemi, S.S., Najafi-Ghiri, M. (2024). Kinetic of potassium release from vermiculite mineral to calcium chloride and citric acid solutions (emphasis on clay mineralogy changes). *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 55(6), 782-795.
- Kumari, N., Mohan, C. (2021). Basics of clay minerals and their characteristic properties. *Clay Minerals*, 24, 1-29.
- Li, T., Wang, H., Zhou, Z., Chen, X., Zhou, J. (2015). A nano-scale study of the mechanisms of non-exchangeable potassium release from micas. *Applied Clay Science*, 118, 131–137.
- Norouzi, S., Khademi, H., Shirvani, M. (2012). The kinetics of K release from muscovite and phlogopite with organic acids, *Journal of Soil and Water Research*, 42, 163-173.
- Ramos, M. E., Garcia-Palma, S., Rozalen, M., Johnston, C. T., Huertas, F. J. (2014). Kinetics of montmorillonite dissolution: an experimental study of the effect of oxalate. *Chemical Geology*, 363, 283–292.
- Sanchez, P. A. (2002). Soil fertility and hunger in Africa, *Science*, 295, 2019–2020.
- Srinivasarao, Ch., Swarup, A., Subba Rao, A., Raja Gopal, V. (1999). Kinetics of nonexchangeable K release from a Tropaquept as influenced by long-term cropping, fertilization, and manuring. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 317-328.

The effect of Wood vinegar on potassium release from vermiculite and sepiolite clay soils

Azar Khazaei¹, Soheila sadat Hashemi^{2*}

^{1,2} Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Malayer University

*Email: s.hashemi@malayeru.ac.ir

Abstract

The most important source of potassium in soils is aluminosilicates and their weathering products, including vermiculite and its mixed minerals. The aim of the present study is to investigate the release of non-exchangeable potassium from vermiculite and sepiolite clay soils from Iranian mines. Potassium release was performed in 8 consecutive times from 2 to 336 hours in clay soils with a particle size of 100 microns, using three extractants: wood vinegar, hydrochloric acid, and citric acid. Released non-exchangeable potassium was fitted with kinetic equations. The results showed that there was a significant difference in the amount of released non-exchangeable potassium between the two clay soils ($p < 0.01$). There was a significant difference in the amount of potassium released in vermiculite clay among the extractants ($p < 0.01$). The maximum amount of potassium released in vermiculite clay was observed with wood vinegar extractant (2552 mg kg^{-1}). The lowest amount of potassium released by sepiolite clay was reported with citric acid extractant. The highest level of fit was shown by the first-order equation and then by Elovich. In general, the use of vermiculite clay soil from Jiroft mine along with wood vinegar in farms and gardens as a natural source of potash fertilizer can play a significant role in reducing the use of chemical fertilizers and pesticides and contribute to environmental health.

Keywords: Hydrochloric acid, non-exchangeable potassium, Fariman mine