نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

دینامیک پتاسیم خاک: بررسی رابطه بین پتاسیم تبادلی و سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی زانیانی[1*]، علی‌رضا حسین‌پور[2]، محمدحسن صالحی[2]، اعظم جعفری[3]

۱*. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. marziehbarati99@yahoo.com

۲. استادان گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

چکیده

آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از لحاظ توانایی تأمین پتاسیم برای گیاهان در خاک‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. هدف از این پژوهش مطالعه سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی و دینامیک پتاسیم در این خاک‌هاست. بدین منظور، ۳۰ نمونه خاک زراعی (۳۰-۰ سانتیمتر) از دشت شهرکرد جمع‌آوری شد. سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از عصاره‌گیری متوالی با کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به‌مدت ۲۰۱۷ ساعت مورد مطالعه قرار گرفت. میانگین پتاسیم غیرتبادلی آزادشده پس از ۱۶۸ ساعت، ۱۹۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و پس از ۲۰۱۷ ساعت، ۳۳۸/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. براساس ضرایب تبیین و خطای استاندارد، پتاسیم غیرتبادلی آزادشده با استفاده از معادله‌های الوویچ ساده، تابع توانی و انتشار پارابولیکی توصیف شد. همچنین، نتایج نشان داد که دینامیک پتاسیم در خاک‌های آهکی تحت تأثیر میزان پتاسیم تبادلی، ظرفیت ذخیره‌سازی پتاسیم غیرتبادلی و همچنین کاربرد کودهای پتاسیمی است.

واژگان کلیدی: پتاسیم غیرتبادلی، سرعت آزادسازی، ضریب همبستگی.

مقدمه

پتاسیم جزء عناصر ضروری جهت رشد گیاه می‌باشد و اهمیت آن در کشاورزی به خوبی شناخته شده است. این عنصر در خاک به چهار شکل وجود دارد که به ترتیب سهولت استفاده برای گیاهان، شامل ؛ پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد (Najafi-Ghiri et al., 2011). تعادل موجود بین شکل‌های مختلف پتاسیم، باعث تداوم تأمین پتاسیم در خاک می‌شود. پتاسیم محلول و تبادلی سریعاً به تعادل رسیده، درحالی‌که تعادل بین پتاسیم غیرتبادلی با پتاسیم محلول و تبادلی به‌کندی صورت می‌گیرد (Nadalia et al., 2024). قابلیت استفاده پتاسیم غیرتبادلی به سرعت تبدیل آن به شکل‌های محلول و تبادلی بستگی دارد. عوامل مختلفی مانند نوع کانی، فراوانی کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه آنها، میزان پتاسیم در کانی، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، غلظت پتاسیم در آب آبیاری و مقدار پتاسیم آزادشده از بقایای گیاهی در رهاسازی پتاسیم از بخش غیرتبادلی و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش دارند (Jalali, 2005). مطالعه سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی به درک صحیح وضعیت پتاسیم در خاک کمک خواهد کرد که از جنبه حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و سرنوشت کود پتاسه و توصیه کودی اهمیت بسیاری دارد (Bhat et al., 2023). سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با روش‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ از جمله این روش‌ها می‌توان به روش رزین‌های

تبادل کاتیونی، اسیدهای آلی، اسیدهای معدنی، نمک‌های معدنی و روش الکترواولترافیلتراسیون اشاره کرد. معادله‌های بسیاری برای توصیف سرعت واکنش‌ها در کانی‌های رسی و خاک استفاده شده است (Jalali, 2006). معادله‌های سینتیکی استفاده شده در توصیف واکنش‌های شیمیایی شامل معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه اول، الویچ ساده شده، انتشار پارابولیکی و تابع توانی می‌باشند.
از آنجا که اطلاع از میزان پتاسیم غیرتبادلی و سرعت آزادسازی آن در مدیریت حاصلخیزی خاک اهمیت دارد، هدف اصلی این تحقیق بررسی رابطه بین پتاسیم تبادلی و سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی است تا درک دقیق‌تری از دینامیک پتاسیم خاک و نقش پتاسیم غیرتبادلی در پایداری تغذیه پتاسیمی گیاهان حاصل شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی و ارتباط آن با پتاسیم تبادلی در اراضی کشاورزی دشت شهرکرد، ۱۲۰ نمونه خاک زراعی از عمق ۳۰ سانتی‌متری در فروردین ماه ۱۴۰۳ تهیه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، درصد رس، پتاسیم تبادلی و پتاسیم غیرتبادلی تعیین شد و براساس تنوع این ویژگی‌ها، ۳۰ نمونه خاک جهت انجام پژوهش انتخاب شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل توزیع اندازه ذرات با روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (Rhoades, 1996)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (Thomas, 1996)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (Loeppert and Suarez, 1996) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم یک نرمال (Sumner and Miller, 1996)، تعیین شد. همچنین پتاسیم تبادلی خاک‌ها به روش استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982) و پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها به روش اسید نیتریک مولار و جوشان (Al-kanani et al., 1984) عصاره‌گیری و پتاسیم عصاره‌گیری شده با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل کورنینگ ۴۱۰) اندازه‌گیری شد.

قبل از شروع آزمایش‌های سینتیکی برای خارج کردن پتاسیم تبادلی و محلول، خاک‌ها با کلرید کلسیم ۱ مولار اشباع شدند. برای انجام این کار نمونه‌های خاک با کلریدکلسیم ۱ مولار به مدت ۳۰ دقیقه با دستگاه تکان دهنده برقی تکان داده شد، سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ شده و محلول زلال رویی دور ریخته شد. این عمل سه مرتبه تکرار گردید. کلرید اضافی باقی‌مانده ابتدا با آب مقطر سپس با الکل تا حصول قابلیت الکتریکی ۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر شست‌وشو شد (Martin and Sparks, 1983).

برای مطالعه سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی از روش عصاره‌گیری متوالی استفاده شد. بدین منظور به ۲ گرم از نمونه خاک های اشباع شده با کلسیم ۲۰ میلی‌لیتر از محلول کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار یا ۲۰ میلی‌لیتر کلریدآمونیوم ۰/۰۱ مولار اضافه و نمونه‌ها به وسیله تکان‌دهنده برقی به‌مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شدند. نمونه‌ها در دستگاه انکوباتور در دمای ۱± ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شدند. قبل از پایان هر دوره، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به‌وسیله دستگاه تکان‌دهنده برقی تکان داده شدند. نمونه‌ها در زمان‌های ۱، ۴، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸، ۳۳۶، ۵۰۴، ۶۷۲، ۸۴۰، ۱۰۰۸، ۱۱۷۶، ۱۳۴۴، ۱۵۱۲، ۱۶۸۰، ۱۸۴۸ و ۲۰۱۷ ساعت پس از اضافه‌کردن هر یک از محلول‌ها عصاره‌گیری شدند. سپس سوسپانسیون با دستگاه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه صاف، محلول رویی جدا و پتاسیم موجود در محلول عصاره‌گیری‌شده با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل کورنینگ ۴۱۰) اندازه‌گیری شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از محلول‌های عصاره‌گیر به نمونه‌ها اضافه و پس از ۳۰ دقیقه تکان‌دادن توسط دستگاه تکان‌دهنده برقی، نمونه‌ها به انکوباتور منتقل شد (Hossienpur et al., 2012).

بعد از جمع‌آوری داده‌ها، معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه یک، الوویچ ساده، تابع توانی و انتشار پارابولیکی بر داده‌ها برازش داده شد

(Martin and Sparks, 1983; Havlin et al., 1985). بر اساس بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد، بهترین مدل جهت توصیف سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی انتخاب گردید. خطای استاندارد با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$SE = [\ \Sigma(Kt - K^*)^2 / n\text{-}2\ ]^{1/2}$$

در این رابطه، K_t و K^* به‌ترتیب نشان‌دهنده مقدار پتاسیم غیرتبادلی اندازه‌گیری و محاسبه‌شده به وسیله مدل در زمان t و n تعداد اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (Martin and Sparks, 1983).

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خاک‌ها دارای pH ۷/۷ تا ۸/۲، مواد آلی ۰/۲۳ تا ۱/۶۶ درصد، کربنات کلسیم معادل ۲۰ تا ۴۶ درصد، گنجایش تبادل کاتیونی ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم و بافت خاک‌ها متوسط تا سنگین بودند. نتایج مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در جدول ۲ نشان داده شده است. دامنه تغییرات پتاسیم محلول ۶۳/۲- ۱۱/۵، پتاسیم تبادلی ۵۲۸/۰- ۱۵۶/۳ و پتاسیم غیرتبادلی ۱۲۳۶- ۵۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بالا بودن مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در خاک‌ها، می‌تواند باعث عدم نیاز به کاربرد کودهای پتاسیمی شود (Knudsen et al., 1982). همچنین، تغییرات پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها، نشان‌دهنده تنوع نوع و مقدار کانی‌های رسی در خاک‌ها می‌باشد.

مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در زمان‌های مختلف در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار در خاک شماره ۱ در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طورکه شکل نشان می‌دهد، شیب خط مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده با زمان، در زمان ۱۶۸ ساعت متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد در تمام خاک‌ها سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی تا ۱۶۸ ساعت با سرعت بیشتری بوده و بعد از این زمان تا پایان ۲۰۱۷ ساعت با سرعت کمتری ادامه یافته است. مشابه این روند نیز توسط سایر محققین گزارش شده است (آزادی و شاکری، ۱۳۹۵؛ Najafi-Ghiri et al., 2011). میانگین پتاسیم غیرتبادلی آزادشده در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار بعد از ۱۶۸ ساعت، ۱۹۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و بعد از ۲۰۱۷ ساعت، ۳۳۸/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۲). علت آزادسازی پتاسیم با سرعت بالا پس از ۱۶۸ ساعت را می‌توان نتیجه آزادشدن پتاسیم از مناطق گوه‌ای و لبه‌ای شکل کانی‌ها با انرژی جذب کم دانست، در ادامه با افزایش فاصله پتاسیم از لبه کانی و افزایش فاصله پخشیدگی و همچنین افزایش انرژی جذب پتاسیم در بین لایه‌ها، میزان رهاسازی پتاسیم کاهش پیدا می‌کند (بابااحمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

معادله‌های سینتیکی که بیشترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین خطای استاندارد (SE) را داشته باشند، می‌توانند سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را توصیف کنند (Martin and Sparks, 1983). بر اساس نتایج جدول ۳، معادله‌های تابع توانی، الوویچ و انتشار پارابولیکی قابلیت توصیف سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد با عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را دارند. توانایی معادله‌های مختلف در توصیف سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط محققان گزارش شده است. Sanyal و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش نمودند که معادله الوویچ می‌تواند سرعت آزادسازی پتاسیم در خاک‌های هند را توصیف کند. Molavi و همکاران (۲۰۲۰)، گزارش نمودند که معادله تابع توانی و مرتبه دوم توانست سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی را توصیف کند.

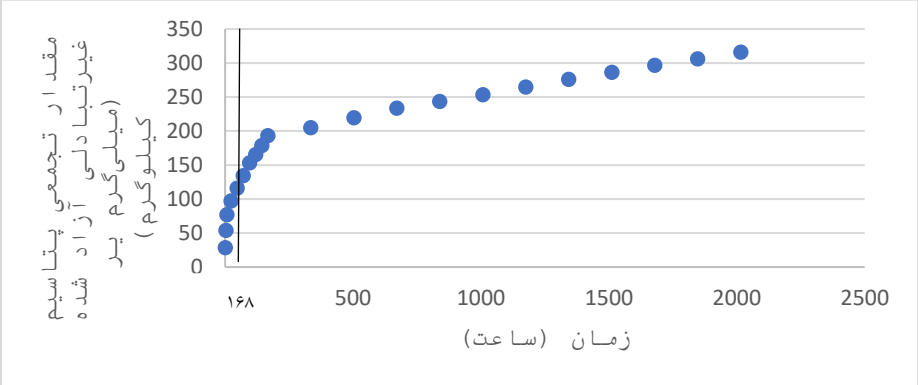
جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زراعی دشت شهرکرد

pH 1:2	EC 1:2	رس	سیلت	شن	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	گنجایش تبادل کاتیونی
	(dS m^{-1})			٪			(Cmol$_c$ kg^{-1})

حداقل	۷/۷	۰/۳۰	۱۷/۴	۱۲/۰	۲۲/۶	۰/۲۳	۲۰/۰	۱۵/۰
حداکثر	۸/۲	۰/۴۲	۴۷/۴	۴۲/۰	۶۴/۶	۱/۶۶	۴۶/۰	۲۵/۰
میانگین	۸/۰	۰/۳۴	۳۲/۲	۲۸/۲	۳۹/۶	۰/۸۴	۳۴/۳	۲۰/۰

جدول ۲. دامنه تغییرات شکل‌های پتاسیم و مقدار تجمعی پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده با عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد

	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	آزادسازی پتاسیم بعد از ۱۶۸ ساعت	آزادسازی پتاسیم بعد از ۲۰۱۷ ساعت
حداقل	۱۱/۵	۱۵۶/۳	۵۲۷/۰	۱۲۵/۰	۲۴۲/۵
حداکثر	۶۳/۲	۵۲۸/۰	۱۲۳۶	۳۳۳/۰	۴۷۲/۰
میانگین	۲۵/۶	۲۷۳/۸	۹۰۱/۸	۱۹۷/۵	۳۳۸/۴



شکل ۱. مقدارپتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار در خاک شماره ۱

جدول ۳. ضرایب تبیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) ($mg\ kg^{-1}$) در معادله‌های سینتیکی مورد استفاده با عصاره‌گیر کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد

معادله	ضریب تبیین (R^2)		خطای استاندارد (SE)	
	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین
مرتبه صفر	۰/۷۳ -۰/۸۸	۰/۸۲	۲۴/۳۱ -۶۱/۱۲	۳۹/۹۶
مرتبه اول	۰/۷۸ -۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۵۳ -۰/۶۶	۰/۵۷
تابع توانی	۰/۹۸ -۰/۹۹	۰/۹۹	۶/۷۰ -۱۴/۸۲	۱۰/۰۷
الوویچ ساده شده	۰/۹۱ -۰/۹۷	۰/۹۴	۱۰/۷۶ -۳۵/۹۲	۲۰/۱۳

انتشار پارابولیکی	۰/۸۹ - ۰/۹۹	۰/۹۵	۴/۹۳ -۳۶/۴۴	۲۰/۷۷

براساس میانگین سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۲۰۱۷ ساعت، خاک‌ها به دو گروه با مقادیر کم و مقادیر زیاد سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی تقسیم شدند. سپس، به‌منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم با روند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، ضرایب همبستگی بین سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار در خاک‌های زراعی با مقادیر کم (جدول ۴) و خاک‌های با مقادیر زیاد (جدول ۵)، تعیین شد. همان‌طور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، در خاک‌هایی با مقادیر کم آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، مقدار تجمعی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت با هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد و با سایر ویژگی‌ها همبستگی ندارد. همچنین سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۲۰۱۷ ساعت با پتاسیم غیرتبادلی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد و با سایر شکل‌های پتاسیم همبستگی ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که در خاک‌های با مقادیر کم آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، پتاسیم غیرتبادلی منبع اصلی تأمین پتاسیم آزادشده بوده است. این همبستگی بیانگر آن است که در واقع، در شرایط کاهش پتاسیم تبادلی، فرآیند آزادسازی پتاسیم در طول زمان عمدتاً وابسته به پتاسیم غیرتبادلی بوده و دینامیک پتاسیم در این خاک‌ها تحت کنترل این منبع قرار دارد. مشابه این نتایج در مطالعه Srinivasarao و همکاران (۲۰۱۷)، نیز مشاهده شد که نشان داد در شرایط کاهش پتاسیم تبادلی، آزادسازی از منابع غیرتبادلی افزایش یافته و سرعت آزادسازی با پتاسیم غیرتبادلی همبستگی قوی‌تری دارد. نتایج جدول ۵ نشان می دهد که در خاک‌هایی با مقادیر زیاد سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت با پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد دارد و با سایر ویژگی‌ها از جمله پتاسیم غیرتبادلی همبستگی ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که در این خاک‌ها، آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی بیش از آن‌که مستقیماً تابع مقدار پتاسیم غیرتبادلی باشد، تحت تأثیر تعادل دینامیکی با پتاسیم محلول و تبادلی قرار دارد. این رفتار می‌تواند نتیجه کاربرد طولانی‌مدت کودهای پتاسیمی در این خاک‌ها باشد که باعث افزایش موقت پتاسیم تبادلی و در ادامه، تثبیت بخشی از آن در ترکیبات معدنی خاک شده است. در ادامه، با کاهش پتاسیم محلول به‌واسطه برداشت محصول یا شست‌وشو، فرآیند آزادسازی مجدد از مخازن تثبیت‌شده آغاز شده و تعادل میان شکل‌های مختلف پتاسیم حفظ می‌شود. بنابراین، میزان آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها، تحت تأثیر تثبیت و آزادسازی پتاسیم در اثر کاربرد مستمر کودهای پتاسیمی و مدیریت زراعی می‌باشد (Sparks, 1987; Zorb et al., 2014).

جدول ۴. همبستگی مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزادشده پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار در خاک‌های زراعی با مقادیر کم سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زراعی با ویژگی‌های خاک

پارامتر	مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۱۶۸ ساعت	مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۲۰۱۷ ساعت
رس	-۰/۴۶ ns	-۰/۲۷ ns
سیلت	۰/۲۵ ns	۰/۲۲ ns
شن	۰/۱۷ ns	۰/۰۵ ns
ماده آلی	۰/۲۹ ns	۰/۲۵ ns

کربنات کلسیم معادل	۰/۱۵ ns	۰/۰۹ ns
ظرفیت تبادل کاتیونی	-۰/۲۵ ns	-۰/۲۷ ns
pH	-۰/۲۲ ns	-۰/۱۲ ns
EC	۰/۶۱*	۰/۵۶*
پتاسیم محلول	-۰/۰۶ ns	-۰/۰۶ ns
پتاسیم تبادلی	۰/۳۳ ns	۰/۴۴ ns
پتاسیم غیرتبادلی	۰/۴۱ ns	۰/۵۸*

جدول ۵. همبستگی مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت در عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار در خاک‌های زراعی با مقادیر زیاد سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زراعی با ویژگی‌های خاک

پارامتر	مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۱۶۸ ساعت	مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی پس از ۲۰۱۷ ساعت
رس	-۰/۱۹ ns	-۰/۱۹ ns
سیلت	-۰/۱۸ ns	-۰/۲۲ ns
شن	۰/۲۲ ns	۰/۲۵ ns
ماده آلی	۰/۴۰ ns	۰/۲۵ ns
کربنات کلسیم معادل	-۰/۰۳ ns	۰/۰۲ ns
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۱۷ ns	۰/۱۰ ns
pH	-۰/۰۵ ns	-۰/۰۸ ns
EC	۰/۱۱ ns	۰/۰۹ ns
پتاسیم محلول	۰/۸۶**	۰/۸۷**
پتاسیم تبادلی	۰/۹۲**	۰/۹۰**
پتاسیم غیرتبادلی	۰/۲۹ ns	۰/۱۱ ns

نتیجه‌گیری

میزان آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مختلف با عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار پس از ۱۶۸ و ۲۰۱۷ ساعت متفاوت است. در همه خاک‌ها روند رهاسازی پتاسیم، مشابه بود. سرعت رهاسازی پتاسیم در ابتدا زیاد و سپس با سرعت کمتری تا پایان آزمایش ادامه داشت. با توجه به بالا بودن ضرایب تبیین و کم بودن خطای استاندارد، معادله‌های الوویچ ساده شده، تابع توانی و انتشار پارابولیکی توانست سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را توصیف نمود. نتایج همبستگی در خاک‌های با مقدار کم پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی منبع اصلی تأمین پتاسیم آزادشده در این خاک‌ها بوده است. در حالی که نتایج همبستگی در خاک‌های با مقدار زیاد پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت نشان داد که مقدار پتاسیم آزاد شده، تحت تأثیر تثبیت و آزادسازی پتاسیم در اثر کاربرد مستمر کودهای پتاسیمی و مدیریت زراعی می‌باشد.

فهرست منابع

۱. باباحمدی م. اولیایی ح.ر. ادهمی ا. محنت‌کش ع.م. و نجفی‌قیری م. (۱۳۹۸). سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ارتباط با تکامل خاک و کانی‌شناسی رس در راسته‌های غالب خاک استان چهارمحال و بختیاری. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸. زنجان.

2. Al-Kanani, T., Mackenzie, A. F., & Ross, G. J. (1984). Potassium status of some Quebec soils: K released by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. Canadian Journal of Soil Science, 64(1), 99-106.
3. Bhat, M. A., Tomar, D., Grewal, K. S., Sahoo, J., & Dar, E. A. (2023). Non-exchangeable potassium release and supplying power of soils of Haryana, Northwest India. Journal of Plant Nutrition, 46(17), 4140-4155.
4. Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. Methods of soil analysis:. In: Klute A. (ed.) Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and mineralogy methods. Agron. Monogr. 9. 2nd ed. Ameririan Society Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 383-412.
5. Havlin, J. L., Westfall, D. G., & Olsen, S. R. (1985). Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Science Society of America Journal, 49(2), 371-376.
6. Hosseinpur, A. R., Motaghian, H. R., & Salehi, M. H. (2012). Potassium release kinetics and its correlation with pinto bean (Phaseolus vulgaris) plant indices. Plant, Soil and Environment, 58(7), 328-333.
7. Jalali, M. (2005). Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(13-14), 1903-1917.
8. Jalali, M. (2006). Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. Geoderma, 135, 63-71.
9. Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum In: Sparks D.L. (ed.) Chemocal Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of America Madison pp. 437-447.
10. Molavi, R., Baghernejad M., Ghasemi-Fasaei R. & Zarei M. (2020). Release characteristics of potassium from native reserves of some calcareous soils of Iran and their relationship with yield and potassium uptake by ryegrass. Soil Research, 58(8), 770-778.
11. Najafi-Ghiri, M. Abtahi, A. Karimian, N. Owliai H., R. & F. Khormali. (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(4): 343-363.
12. Nadalia, D., Hartono, A., & Pulunggono, H. B. (2024). Quantity-intensity relationship of soil potassium observed in a shallot production center, Central Java, Indonesia. Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences (J. ISSAAS), 30(2), 145–167.
13. Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L. (ed) Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of America, Madison. pp. 961-1010.
14. Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L.,(Eds.), Methods of soil analysis, Part 3- Chemical Methods. Agronomy Monograph, vol. 9. Ameririan Society Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp 417-435.
15. Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods, 5, 1201-1229.
16. Sanyal, D., Brar, B. S., & Dheri, G. S. (2019). Organic and inorganic integrated fertilization improves non-exchangeable potassium release and potassium availability in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(16), 2013-2022.
17. Srinivasarao, C. & Srinivas, K. (2017). Potassium dynamics and role of non-exchangeable potassium in crop nutrition. Indian J. Fertil, 13(4), 80-94.
18. Sparks, D. L. (1987). Potassium dynamics in soils. In Advances in Soil Science (pp. 1-63). Springer, New York, NY.

19. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil activity. In. Sparks, D.L.,(Eds), Methods of soil analysis, Part 3- Chemical Methods.Agronomy Monograph, vol. 9. Ameririan Society Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp 475-490.
20. Zorb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – status and perspectives. Journal of Plant Physiology, 171(9), 656–669.

Potassium Dynamics in Calcareous Soils: Relationship Between Exchangeable Potassium and the Kinetics of Non-exchangeable Potassium Release

Marzieh Barati Zanyani[1]*, Alireza Hossienpur[2], Mohammad Hasan Salehi[2], Azam Jafari[3]

[1] Ph.D. Student, Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, marziehbarati99@yahoo.com

[2] Professors, Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University.

[3] Assosiate Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.

Abstract

The release of non-exchangeable potassium (NEK) plays a critical role in potassium supply for plants across different soil types. This study aims to investigate the kinetics of NEK release in some calcareous soils and to evaluate potassium dynamics in these soils. 120 soil samples (0-30 cm depth) were collected from the Shahrekord Plain. The release rate of NEK was studied using successive extraction with 0.01 M calcium chloride for 2017 hours.The results showed that released NEK in the studied soils after 168 hours was 197.5 mg kg^{-1} and after 2017 hours reached 338.4 mg $kg^{-}1$. Based on the coefficients of determination (R^2) and standard error (SE), the released NEK described using the power function, simplified ellovich, and parabolic diffusion equations. Also, the results indicated that potassium dynamics in calcareous soils are influenced by factors such as exchangeable potassium content, the storage capacity of non-exchangeable potassium, and the application of potassium fertilizers.

Keywords: Non-exchangeable potassium, release kinetics, correlation coefficient.