مطالعه کانی‌شناسی رس و نیز میکرومورفولوژی حفرات خاک‌های غرب استان گلستان و نقش آنها در درجه فراهمی پتاسیم

مونا لیاقت*، فرهاد خرمالی، سید علیرضا موحدی نائینی و اسماعیل دردی‌پور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۱۱)

چکیده

مطالعات صورت گرفته در برخی خاک‌های غرب استان گلستان نشان دادند که علی‌رغم افزایش بارندگی و حضور کانی‌های با ظرفیت تبادلی کاتیونی بالا، مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم افزایش نیافت. برای دست‌یابی به عوامل مؤثر در کاهش این مقدار، به بررسی دقیق کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی حفرات خاک‌های مورد مطالعه پرداخته شد. از هر افق خاک این مناطق، ۲۰ نمونه دست‌خورده و دست‌نخورده، جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیائی، کانی‌شناسی و مطالعات میکرومورفولوژی جمع‌آوری شد. ۴ خاکرخ منتخب به‌ترتیب عبارت بودند از Gypsic Aquisalids، Typic Haploxerepts، Typic Calcixerolls و Typic Hapludalfs. بررسی‌ها نشان دادند علاوه بر مقدار و نوع کانی رسی، حفرات از لحاظ تأثیرشان بر توسعه ریشه و انتقال آب و یون‌های محلول، می‌توانند بر میزان در دسترس قرار دادن پتاسیم قابل جذب گیاهان موثر باشند. مقدار مناسب رس و غالب بودن کانی اسمکتیت در خاک مالی‌سولز و نیز فراوانی حفرات بیشتر و غالب بودن حفرات نوع کانال، سبب افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده در این خاک شده است. حال آن‌که مقدار رس کمتر، وجود کانی هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت، زه‌کشی ضعیف خاک و احیای آهن (III) کانی اسمکتیت در خاک اینسپتی‌سولز و هم‌چنین فراوانی نسبتاً کمتر حفرات، سبب شده کمترین میزان پتاسیم قابل استفاده در این خاک دیده شود.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، میکرومورفولوژی، جذب پتاسیم، تخلخل، آنالیز تصویر

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mona_238@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

مقدمه

اساس پتانسیل تولید در تمام خاک‌های جهان، تحت تأثیر ترکیب کانی‌شناسی خاک قرار دارد. تثبیت بعضی از کاتیون‌ها مانند پتاسیم و هم‌چنین آزادسازی عناصر غذائی، به‌وسیله رس‌ها و کانی‌های رسی کنترل می‌شود. کاهش پتاسیم قابل جذب گیاه، در نتیجه تثبیت پتاسیم، یکی از عوامل تأثیرگذار در تغذیه گیاهان است (۱۳). نتایج تحقیقات وان لیبیگ در سال ۱۸۴۰، ضرورت پتاسیم برای رشد گیاه را آشکار ساخت (۴۴). این عنصر، سومین عنصر مهم کودی بعد از نیتروژن و فسفر است و به چهار شکل مختلف در خاک وجود دارد: کانی‌های اولیه، تثبیت شده، قابل تبادل و پتاسیم محلول (۴۵). بیشتر مقدار پتاسیم خاک، در ساختمان کانی‌ها وجود دارد و تنها درصد کمی به شکل محلول و تبادلی در خاک است (۶). نتایج تحقیقات زائرنوملی (۳) در بررسی تمام اشکال پتاسیم در برخی خاک‌های انتخابی استان گلستان نشان داد که خاک‌های مالی‌سولز و آلفی‌سولز بیشترین میزان پتاسیم تبادلی را دارند. دو شکل پتاسیم محلول و تبادلی، به سهولت قابل دسترس گیاهان می‌باشند (۱۸)، ولی پتاسیم غیرتبادلی، به کندی قابل استفاده گیاهان و پتاسیم ساختمانی، غیر قابل استفاده برای گیاهان است. پتاسیم محلول خاک، مستقیماً توسط گیاهان جذب می‌شوند ولی مقدار آن در خاک ناچیز است (۳۱).

بدین منظور پتاسیم کانی به‌طور مداوم، به پتاسیم قابل تبادل و تثبیت شده و از آنها به پتاسیم محلول در حال تغییر است، که سرعت این تبدیل و تعادل، تحت کنترل مقدار کانی‌های رسی غالب خاک است. هانگ (۱۴) بیان میکند، در شرایطی که خاک از پتاسیم تخلیه شده باشد، کانی ها قادرند پتاسیم آزاد نمایند. خاک‌های دارای کانی‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، پتاسیم بیشتری را در نقاط تبادلی خود نگه‌می‌دارند و غلظت پتاسیم را در محلول خاک کاهش می‌دهند (۳۱). هم‌چنین نوع کانی‌های رسی موجود در خاک می‌تواند در تثبیت پتاسیم مؤثر باشند (۴). ورمیکولیت (۲۱)، میکا و ایلیت بیشترین ظرفیت را برای تثبیت پتاسیم دارند (۱۷). در شرایط زه‌کشی ضعیف، احیای آهن لایه هشت وجهی کانی‌ها (۲۵) مانند کانی اسمکتیت، سبب ایجاد نیروهای بین لایه‌ای قوی و تثبیت پتاسیم می‌گردد (۲۰). تثبیت پتاسیم به‌وسیله رس، به‌واسطه استقرار پتاسیم بین سطوح پایه رس بوده که در این حالت پتاسیم در حفره‌های شش ضلعی ایجاد شده به‌وسیله اکسیژن‌های چهار وجهی کانی‌های ۲:۱ جفت می‌شود (۲۷). با این وجود عامل مهم‌تر در گزینش‌پذیری و تثبیت پتاسیم، انرژی هیدراته کم این کاتیون است (۱۴۲/۵ کیلوژول بر گرم به ازای هر یون). علاوه بر مقدار و نوع کانی رسی موجود در خاک، حفرات نیز بر میزان و انتشار پتاسیم قابل جذب گیاهان مؤثر هستند، زیرا حفرات نقش مهمی در انتقال آب و عناصر غذایی و توسعه ریشه گیاهان دارند (۳۲). شرایط اقلیمی مناسب و موادآلی زیاد، می‌تواند باعث افزایش حفرات و توزیع پراکنش اندازه آنها شود (۳۶) و به این ترتیب هدایت هیدرولیکی و انتقال املاح بیشتر شود (۳۸). جانجریوس و همکاران (۱۹) و مورفی و همکاران (۲۸ و ۲۹) برای نخستین بار از مقاطع تلقیح شده و نرم‌افزار IMAGE TOOL برای مطالعه خصوصیات حفرات استفاده نمودند. پایرز و همکاران (۳۷) از آنالیز تصویر برای اندازه حفرات، شمار و شکل آنها استفاده کردند. بررسی میکرومورفولوژی اندازه، شکل و حجم حفره‌های زمین‌های زراعی، نشان می‌دهد که حفره‌ها با سایر ویژگی‌های ساختمان میکروسکوپی خاک در ارتباط می‌باشند (۲۳). حفرات میکرو زیاد، می‌توانند سبب افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه شوند (۳۳). حفرات ماکرو می‌توانند سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع گردند (۴۱). موادآلی زیاد خاک نیز حفرات انتقالی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۴). در نتیجه این تحقیق با هدف بررسی دقیق کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی حفرات خاک‌های مورد مطالعه انجام شد و تأثیر مقدار، نوع کانی رسی و نیز خصوصیات حفرات بر میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه، محل دقیق ۴ خاکرخ مورد مطالعه شناسائی و نسبت به حفر آنها اقدام

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

گردید. این خاکرخ‌ها از نتیجه خاکرخ‌های شاهد موجود در نقشه‌های قدیم انتخاب شدند. نقشه ماهواره‌ای موقعیت خاکرخ‌های منتخب حفر گردیده در شکل ۱ و مشخصات عمومی خاکرخ‌ها در جدول ۱ آورده شده است.۲۰ نمونه دست‌خورده از هر افق خاک جهت تکرار، برای بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و مطالعات کانی‌شناسی جمع‌آوری شدند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از هر منطقه، هوا خشک و کوبیده شدند و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیائی زیر روی آنها صورت گرفت. نمونه‌برداری از این خاک‌ها در شرایط یکسان صورت گرفت و در تمام این اراضی کوددهی انجام نشده بود. بافت خاک نمونه‌ها توسط روش هیدرومتر (۹)، pH گل اشباع با کمک دستگاه pH متر (۳۹)، کربن آلی نمونه‌ها توسط روش جکسون (۱۵) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش چاپمن (۱۰) محاسبه گردید. وزن مخصوص ظاهری خاک، توسط روش پارافین برای محاسبه حفرات کل، اندازه‌گیری شد (۸).

توسط روش نادسن، پتاسیم قابل استفاده گیاه که شامل پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی است، اندازه گرفته‌شد. این خاک‌ها سپس به‌وسیله روش سیستم جامع رده‌بندی خاک آمریکائی، طبقه‌بندی شدند (۴۲). در آزمایش‌های کانی‌شناسی رس، برای حذف عوامل شیمیائی سیمانی‌کننده و جدا کردن ذرات رس از یکدیگر، از روش‌های کیترینگ و هوپ و جکسون استفاده شد(۱۵ و ۲۴). در نهایت تجزیه نمونه‌های آماده و تیمار شده خاک، برای تعیین نوع کانی‌های رسی، توسط دستگاه اشعه ایکس صورت گرفت.۲۰ نمونه دست نخورده از هر افق خاک نیز جهت تکرار به منظور مطالعات میکرومورفولوژی برداشته شدند. نمونه دست‌نخورده برداشته شده، توسط رزین پلی‌استر تلقیح و خشک شدند و در نهایت از آنها مقاطع نازکی با ضخامت ۳۰ میکرومتر، برای انجام مطالعات میکرومورفولوژی تهیه شد (۳۰). در این مقاطع خصوصیات میکرومورفولوژی حفرات مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین برای به‌دست آوردن اطلاعات کمی در مورد تعداد حفره‌ها، از نرم‌افزار Image Tool و روش شمارش نقطه‌ای استفاده شد. در محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری نیز از نرم‌افزارهای EXCEL و برای بررسی آزمون دانکن از نرم‌افزارSPSS (version 16.0) استفاده شد. مطالعه همبستگی بین داده‌های مربوط به نمونه‌های خاک، مانند میزان و نوع کانی رسی و موادآلی با پتاسیم قابل استفاده گیاه، توسط نرم‌افزار SAS و با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای صورت گرفت. هم‌چنین برای مطالعه همبستگی بین نوع حفرات خاک و پتاسیم قابل استفاده، از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

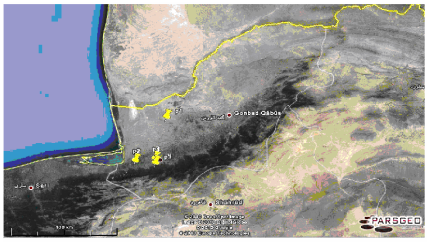
نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیائی

خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک‌های مورد مطالعه، در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به توزیع اندازه ذرات در جدول ۲، دیده می‌شود که خاک‌های واقع در مناطق مرطوب‌تر (جدول ۱)، مانند خاکرخ ۴ و خاکرخ ۳، دارای مقدار رس بیشتری نسبت به سایر خاک‌ها می‌باشند، که می‌تواند ناشی از هوادیدگی بیشتر صورت گرفته در این خاک‌ها باشد. با این حال مقدار کمتر رس خاکرخ ۳ نسبت به خاکرخ ۴، ناشی از عملیات خاکورزی، تلفات موادآلی و تخریب خاکدانه‌ها و به‌دنبال آن تلفات ذرات کوچک‌تر است، که سبب کاهش مقدار رس در افق سطحی این خاک شده است (۲۲). خاکرخ‌های ۳ و ۴، به‌دلیل دارا بودن رژیم‌های رطوبتی زریک و یودیک، شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی مناسب، کربن آلی زیادی دارند (جدول ۲). با افزایش ریزش‌های جوی، ذخیره کربن آلی خاک نیز افزایش می‌یابد (۱۶). اقلیم‌های نیمه خشک و مدیترانه‌ای خاکرخ‌های ۱ و ۲ سبب نامناسب بودن پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش مقدار کربن آلی در این خاک‌ها شده است (جدول ۲). عملیات خاکورزی در خاکرخ ۲ نیز به تلفات کربن آلی خاک کمک می‌کند (۲۲).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۱. نقشه ماهواره‌ای موقعیت خاک رخ‌های منتخب

جدول ۱. مشخصات عمومی خاکرخ‌ها

خاکرخ	نام علمی	رژیم رطوبتی- حرارتی	اقلیم	مواد مادری	تراز آب زیر زمینی (m)	شیب (٪)	وضعیت زه‌کشی	فیزیوگرافی
۱: ۲۰ کیلومتری شمال آق‌قلا	Gypsic Aquisalids	اریدیک-ترمیک	نیمه خشک	لس آبرفتی	حدود ۲ متر	<۱	ضعیف	اراضی پست
۲: اطراف کردکوی - بندرگز	Typic Haploxerepts	زریک-ترمیک	مدیترانه‌ای	لس آبرفتی	زیاد	<۲	متوسط	دشت رسوبی دامنه‌ای
۳: زمین‌زراعی مجاور گرگان	Typic Calcixerolls	زریک-ترمیک	مدیترانه‌ای	لس	عمیق	۳-۵	مطلوب	دشت دامنه‌ای
۴: جنگل شصت کلاته	Typic Hapludalfs	یودیک-مزیک	نیمه‌مرطوب	لس	عمیق	>۴۰	مطلوب	تپه جنگلی(پای‌شیب)

جدول۲. ویژگی‌های فیزیکی- شیمیائی خاک‌های مورد مطالعه

خاکرخ	افق	عمق (cm)	توزیع اندازه ذرات			کلاس بافت	pH	OC (٪)	CEC $Cmol^{(+)}$ Kg^{-}	K (ppm)
			شن(٪)	سیلت(٪)	رس(٪)					
۱: Gypsic Aquisalids	A	۰-۲۵	۱۲	۶۵	۲۳	SiL	۷/۸	۰/۸	۱۳/۸	۴۹/۵
	Bzy	۲۵ -۶۰	۹	۵۹	۳۲	SiL	۷/۸	۰/۸	۱۶/۵	۶۷/۷
	BCz	۶۰-۹۰	۱۵	۵۷	۲۸	SiL	۷/۸	۰/۱	۲۳/۸	۶۲
	Cz	۹۰-۱۴۰	۱۵	۶۲	۲۳	SiL	۷/۷	۰/۳	۱۲/۵	۴۹/۵
۲: Typic Haploxerepts	Ap	۰-۲۰	۸	۵۸	۳۴	SiL	۷/۳	۱/۷	۲۳/۹	۶۵/۱
	Bw_1	۲۰-۵۵	۲۰	۴۵	۳۵	SiL	۷/۹	۱/۴	۱۷/۸	۶۴/۸
	Bw_2	۵۵-۱۰۰	۱۸	۵۴	۲۸	SiL	۷/۹	۰/۳	۱۶/۰	۵۵/۳
۳: Typic Calcixerolls	Ap	۰-۲۵	۲۱	۴۸	۳۱	SiCL	۷/۶	۲/۳	۳۵/۶	۹۱/۳
	AB	۲۵-۶۰	۱۵	۴۵	۴۰	SiCL	۷/۹	۱/۸	۲۹/۵	۱۰۵
	Bk	۶۰-۱۰۰	۱۵	۴۳	۴۲	SiC	۸/۲	۰/۷	۲۸	۱۱۷/۹
۴: Typic Hapludalfs	A	۰-۳۵	۹	۵۱	۴۰	SiCL	۶/۳	۳/۰	۴۲	۷۰/۵
	Bt_1	۳۵-۷۰	۸	۴۴	۴۸	SiC	۶/۹	۱/۴	۴۱/۵	۷۹/۷
	Bt_2	۷۰-۱۱۰	۸	۴۱	۵۱	SiC	۶/۹	۰/۸	۴۴/۶	۸۱/۵

نقش کانی‌های رسی خاک اریدی‌سولز در درجه فراهمی پتاسیم قابل استفاده گیاه

شرایط اقلیمی، رژیم رطوبتی اریدیک و بارندگی کمتر، سبب کاهش هوادیدگی و درصد کمتر رس در مقطع کنترل رطوبتی خاک (اعماق خاک) اریدی‌سولز شده است (جدول ۲). مطابق جدول ۳ رابطه معنی‌دار و همبستگی مثبتی در سطح ۱٪ ، بین درصد رس و پتاسیم قابل استفاده دیده شد. شکل ۲ نیز ارتباط بین درصد رس و مقدار پتاسیم قابل استفاده گیاه را نشان می‌دهد. مطابق شکل مشاهده می‌شود که حدود ۴۳ درصد تغییرات در پتاسیم قابل استفاده، می‌تواند توسط مقدار درصد

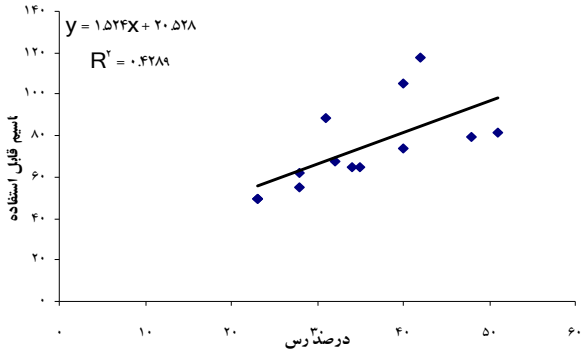
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

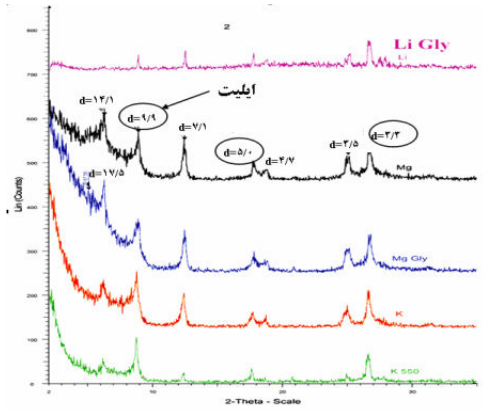
جدول ۳. همبستگی بین داده‌های خاک و مقدار پتاسیم قابل استفاده

	رس	پتاسیم	موادآلی	ایلیت	اسمکتیت
رس	۱/۰				
پتاسیم	۰/۶**	۱/۰			
موادآلی	۰/۳	۰/۳ ns	۱/۰		
ایلیت	۰/۰۷	-۰/۲ ns	-۰/۰۸	۱/۰	
اسمکتیت	-۰/۰۷	۰/۵*	۰/۱	-۰/۶**	۱/۰

**: در سطح ۱ ٪ *: در سطح ۵ ٪ ns: رابطه غیرمعنی‌دار



شکل ۲. ارتباط بین درصد رس و مقدار پتاسیم قابل استفاده



شکل ۳. الگوی پراش اشعه x کانی‌های مقطع کنترل رطوبتی خاک اریدی‌سولز

رس خاک بیان شود و مثبت بودن شیب رگرسیون در این شکل بیانگر این است که با کاهش درصد رس، مقدار پتاسیم قابل استفاده نیز کاهش می‌یابد. شکل ۳ دیفتوگرام پراش اشعه ایکس کانی‌های رسی مقطع کنترل رطوبتی این خاک را نشان می‌دهد. در مطالعات صورت گرفته توسط اشعه ایکس، مطابق شکل ۳ مشاهده می‌شود که نمونه رس ایلیت اشباع با منیزیم، پیک‌های ۱۰، ۵ و ۳/۳ انگستروم را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۴ نیز که میزان حاصل‌ضرب مقدار نیمه کمی کانی رس در مقدار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

جدول ۴. میانگین درصد رس، میزان حاصل‌ضرب مقدار نیمه کمی کانی رس در مقدار درصد رس هر خاک و پتاسیم قابل استفاده در مقطع کنترل رطوبتی

نام علمی خاک	clay%	I%	Sm%	V%	IS%	IV%	HIS%	HIV%	$K_{ava.}$ (ppm)
Gypsic Aquisalids	۳۱^{c}	۱۳/۲	۵/۴	–	–	–	–	–	۱۷۹/۲^{b}
Typic Endoaquepts	۳۴^{c}	۱۰/۱	۵/۹	–	۱۰>	–	۱۱/۳	–	۱۲۱/۱^{d}
Typic Calcixerolls	۴۱^{b}	۹/۴	۱۱/۱	۳/۶	–	–	–	–	۲۲۲/۹^{a}
Typic Hapludalfs	۴۵/۵^{a}	۱۱/۲	۳/۸	۱۳/۷	–	۱۰>	–	۶/۵	۱۶۱/۴^{c}

I: ایلیت HIS : هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت V: ورمیکولیت K_{ava} : پتاسیم قابل استفاده

Sm : اسمکتیت HIV : هیدروکسی بین لایه‌ای ورمیکولیت IS: ایلیت – اسمکتیت IV: ایلیت– ورمیکولیت

درصد رس هر خاک را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که جوان بودن و عدم تکامل خاک سبب شده تا در اعماق این خاک، کانی ایلیت با منشاء توارثی غالب باشد. با توجه به شیب منفی به‌دست آمده در شکل ۴، رابطه منفی بین درصد کانی ایلیت و مقدار پتاسیم قابل استفاده دیده می‌شود. در واقع با افزایش مقدار کانی ایلیت، مقدار پتاسیم قابل استفاده کاهش می‌یابد. ظرفیت تبادل کاتیونی کم کانی ایلیت، سبب کاهش مقدار پتاسیم تبادلی و قابل استفاده در اعماق این خاک شده است (جدول ۴). درحالی‌که این خاک توانائی زیادی برای نگهداری پتاسیم به‌صورت غیرتبادلی دارد. طبق بررسی‌های نبی‌اللهی و همکاران (۳۱) در خاک‌های حاوی ظرفیت تبادل کاتیونی کم، نظیر ایلیت، نقاط تبادلی کمتری وجود دارد. میکا، ایلیت و هم‌چنین ورمیکولیت، بیشترین ظرفیت را برای تثبیت پتاسیم دارند (۱۷ و ۴۳). هم‌چنین در مقطع کنترل رطوبتی این خاک درصد کمتری اسمکتیت وجود دارد (جدول ۴). ولی به‌دلیل غالب بودن مقدار ایلیت و نقش آن در تثبیت پتاسیم، میزان پتاسیم قابل استفاده در این خاک مطلوب نمی‌باشد. دارا بودن کمترین درصد رس و غالب بودن کانی ایلیت، سبب شده این خاک نسبت به سایر خاک‌ها، میزان متوسطی پتاسیم قابل استفاده گیاه داشته باشد.

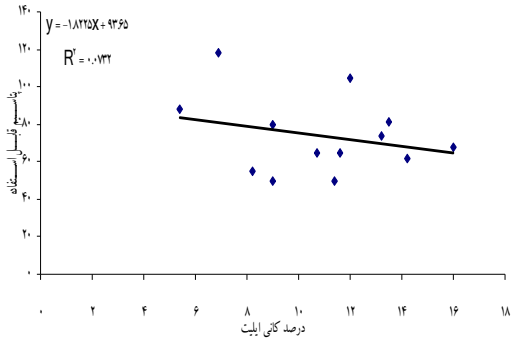
نقش کانی‌های رسی خاک اینسپتی‌سولز در درجه فراهمی پتاسیم قابل استفاده گیاه

موقعیت فیزیوگرافی و کشت غرقابی برنج، سبب شده تا در مقطع کنترل رطوبتی (اعماق) این خاک مقدار نسبتاً زیادی رس نسبت به خاک اریدی‌سولز وجود داشته باشد. ولی با این وجود، این خاک پتاسیم قابل استفاده زیادی در اعماق ندارد (جدول ۴). این تناقض، می‌تواند ناشی از نوع کانی‌های رسی موجود در این خاک باشد. شکل ۵ دیفتوگرام پراش اشعه ایکس کانی‌های مقطع کنترل رطوبتی این خاک را نشان می‌دهد. این خاک علاوه بر کانی‌های غالب هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت و ایلیت، دارای کانی اسمکتیت و کانی مخلوط ایلیت– اسمکتیت در درجه بعد اهمیت است (جدول ۴). کانی‌های هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت می‌توانند از تغییر شکل کلریت حاصل شده باشند.

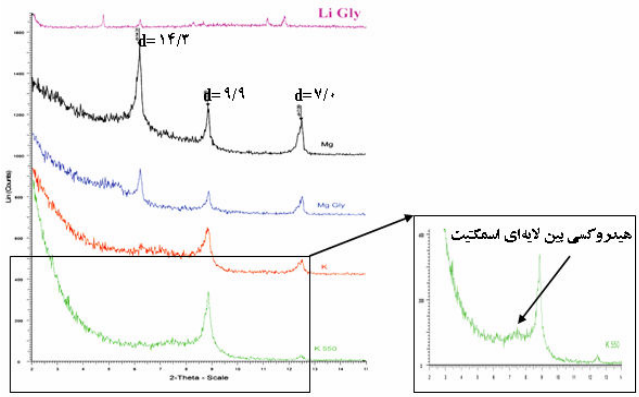
به نظر می‌رسد در این خاک، شرایط زه‌کشی نامطلوب و شرایط احیاء، سبب تثبیت پتاسیم در کانی‌های هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت شده است. در واقع افزایش تثبیت پتاسیم، ممکن است بتواند به علت افزایش pH ناشی از احیای هیدروکسی آلومینیوم بین لایه‌ای کانی رسی باشد (۱۷). مطابق شکل ۵، با توجه به پیک مربوط به تیمار نمونه رس توسط لیتیم و گلیسرول، اسمکتیت این خاک از نوع مونت موریلونیت است. اسمکتیت‌ها دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای آهن ساختمانی می‌باشند. در شرایط احیاء (زه‌کشی ضعیف)، آهن (III) موجود در کانی اسمکتیت به آهن (II) تبدیل شده و سبب ایجاد بار منفی و نیروهای بین لایه‌ای قوی شده که می‌تواند سبب تثبیت پتاسیم گردد (۲۰). کومادل و همکاران (۲۵) نیز گزارش نمودند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۴. ارتباط بین درصد کانی ایلیت و مقدار پتاسیم قابل استفاده



شکل ۵. الگوی پراش اشعه x کانی‌های مقطع کنترل رطوبتی خاک اینسپتی‌سولز

احیاء آهن (III) لایه هشت وجهی کانی‌ها، می‌تواند تثبیت پتاسیم را افزایش دهد. نجفی قیری (۵) طی تحقیقات خود روی خاک‌های استان فارس، گزارش نمود که احیاء آهن (III) به آهن (II) در ساختمان اسمکتیت‌ها، در نتیجه اشباع آب، عامل تثبیت مقدار زیاد پتاسیم در خاک‌های هیستوسولز است. همچنین کاهش پتاسیم قابل استفاده و تثبیت پتاسیم در خاک‌های حاوی اسمکتیت می‌تواند به دلیل حضور سایرکانی‌ها، مانند کانی مخلوط ایلیت–اسمکتیت باشد. حضور کانی‌های هیدروکسی بین لایه‌ای اسمکتیت و اسمکتیت (به سبب شرایط احیاء)، کانی ایلیت و نیز کانی مخلوط ایلیت- اسمکتیت در این خاک، می‌توانند باعث تثبیت پتاسیم و مشاهده کمترین میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه در این خاک شوند (جدول ۴).

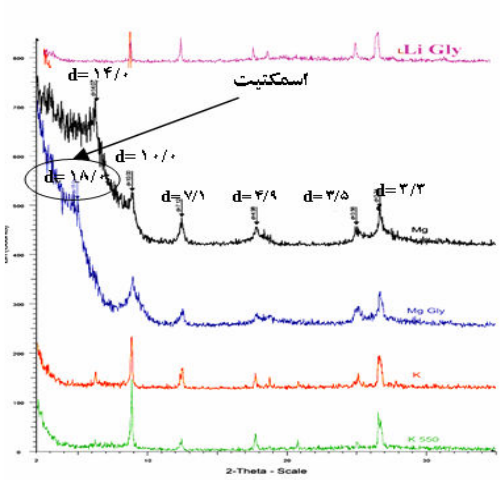
همچنین احتمال می‌رود تخلیه پتاسیم صورت گرفته در منطقه، می‌تواند شرایط را جهت تثبیت این کاتیون فراهم کند.

نقش کانی‌های رسی خاک مالی‌سولز در درجه فراهمی پتاسیم قابل استفاده گیاه

خاک مالی‌سولز نیز در مقطع کنترل رطوبتی (اعماق) خود، دارای درصد رس بیشتری پس از خاک آلفی‌سولز است (جدول ۴). رژیم رطوبتی زریک و هوادیدگی بیشتر، عامل مهم در افزایش نسبی میزان رس در این خاک می‌باشد. بین درصد رس و پتاسیم قابل استفاده همبستگی معنی‌داری در سطح ۱٪ دیده شد (جدول ۳). افزایش شیب رگرسیون در شکل ۲ نیز نشان‌دهنده افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده، با افزایش درصد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۶. الگوی پراش اشعه x کانی‌های مقطع کنترل رطوبتی خاک مالی‌سولز

رس است. شکل ۶ نیز دیفتوگرام پراش اشعه ایکس کانی‌های این خاک را در مقطع کنترل رطوبتی نشان می‌دهد. کانی غالب این خاک، اسمکتیت و ایلیت در درجه دوم اهمیت است (جدول ۴). در مطالعات صورت گرفته توسط اشعه ایکس، نمونه رس اسمکتیت اشباع با منیزیم، پیک ۱۴/۲ انگستورومی را نشان می‌دهد که در تیمار با اتیلن گلیکول تا حدود ۱۷ انگستروم یا بیشتر می‌شود، که این انبساط نشان‌دهنده رس‌های انبساط‌پذیر از نوع اسمکتیت است. در صورت اشباع با پتاسیم و بدون وجود اتیلن گلیکول و بدون حرارت، همان پیک ۱۴/۲ را نشان می‌دهد. با توجه به پیک مربوط به تیمار نمونه با لیتیم و گلیسرول، اسمکتیت این خاک از نوع مونت موریلونیت است. اگر چه حضور ایلیت در این خاک تا حدی امکان تثبیت پتاسیم را فراهم می‌کند، ولی افزایش بارندگی و دما (۱) و نیز زه‌کشی مناسب خاک، سبب شده تا تغییر شکل کانی رسی ایلیت به اسمکتیت با سرعت بیشتری در این خاک صورت پذیرد. تحت تأثیر اقلیم، کانی‌های خاک می‌توانند به اسمکتیت و ورمیکولیت تبدیل شوند (۲). همبستگی معنی‌داری در سطح ۵٪ بین مقدار کانی اسمکتیت و مقدار پتاسیم قابل استفاده مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به معادله رگرسیونی ۱ (r^2=۰/۷۵، P>۰/۰۱) و رابطه مثبت و افزایش شیب نمودار مشاهده شده در شکل ۷، با افزایش مقدار کانی اسمکتیت در خاک، مقدار پتاسیم قابل استفاده نیز افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش کانی اسمکتیت، بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (جدول ۲) و در نتیجه میزان پتاسیم تبادلی خاک افزوده می‌شود و چون قسمت اعظم پتاسیمی که به‌طور مستقیم قابل استفاده گیاه است را پتاسیم تبادلی تشکیل می‌دهد، در نتیجه این خاک، میزان پتاسیم قابل استفاده بیشتری نسبت به سایر خاک‌های مورد مطالعه دارد (۳) (جدول ۴). بونسل و همکاران (۷) گزارش دادند که در خاک‌هایی که میزان کانی‌های رسی اسمکتیت بیشتر است، میزان پتاسیم تبادلی بیشتری وجود دارد (۳۱).

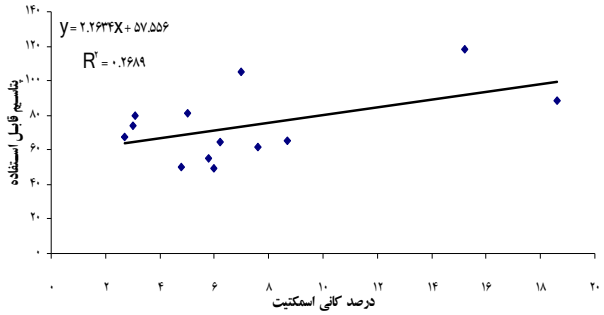
[۱] پتاسیم =۱/۶۲۵ (رس) + ۲/۴۹۵ (اسمکتیت) − ۰/۹۹

r^2 =۰/۷۵ و p>(۰/۰۱)

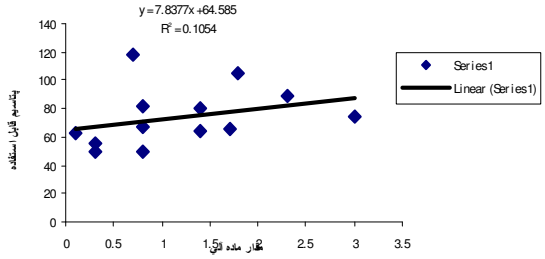
مقدار موادآلی بیشتر در خاک‌مالی‌سولز نیز نقش مهمی در افزایش میزان پتاسیم تبادلی (۱۱) و در نتیجه پتاسیم قابل استفاده ایفا می‌کند (جدول ۲). ماده آلی با ورود به محل‌های بین لایه‌ای و انبساط لایه‌ها، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تولید اسیدهای آلی و در نتیجه انحلال کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم درون آنها، می‌تواند سبب کاهش تثبیت پتاسیم گردد. به این ترتیب افزایش ماده‌آلی با افزایش پتاسیم قابل استفاده همراه است (شکل ۸).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۷. رابطه بین درصد کانی اسمکتیت و پتاسیم قابل استفاده



شکل ۸. ارتباط بین مقدار ماده‌آلی و مقدار پتاسیم قابل استفاده

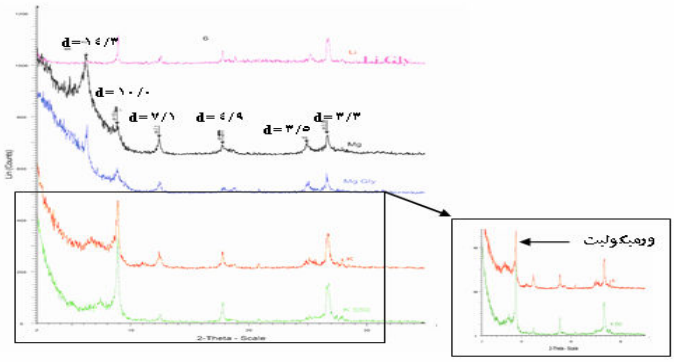
نقش کانی‌های رسی خاک آلفی‌سولز در درجه فراهمی پتاسیم قابل استفاده گیاه

خاک آلفی‌سولز به‌دلیل دارا بودن رژیم رطوبتی یودیک و هوادیدگی کانی‌ها، مقدار رس نسبتاً زیادی دارد. بر خلاف انتظار، با توجه به شیب رگرسیون مثبت در شکل ۲ و رابطه معنی‌دار مثبت بین درصد رس و مقدار پتاسیم قابل استفاده (جدول ۳)، با افزایش درصد رس، مقدار پتاسیم قابل استفاده افزایش نیافت، که می‌تواند ناشی از نوع کانی‌های رسی موجود در این خاک باشد. شکل ۹ دیفتوگرام پراش اشعه ایکس کانی‌های رسی این خاک را در مقطع کنترل رطوبتی نشان می‌دهد. رطوبت کافی و شرایط آبشوئی و محیط نیمه‌اسیدی، سبب شده مقدار نسبتاً بیشتری از کانی ایلیت و کلریت در این خاک به ورمیکولیت تبدیل شود و باعث شده این خاک دارای مقدار قابل توجهی کانی ورمیکولیت در مقطع کنترل رطوبتی خود باشد (جدول ۴).

در مطالعات صورت گرفته توسط اشعه ایکس، ورمیکولیت در تیمار با منیزیم پیک حدود ۱۴/۲ آنگستروم می‌دهد که در تیمار با اتیلن گلیکول به ۱۴/۴ آنگستروم ارتقاء خواهد یافت. پیک ۱۴/۲ آنگستروم آن هنگام اشباع با پتاسیم به ۱۰/۱ آنگستروم تبدیل می‌شود. زیرا در صورت اشباع با پتاسیم و حرارت کم، ورمیکولیت آب هیدراته خود را از دست داده و پتاسیم را تثبیت می‌کند و برگشت‌پذیر نمی‌باشد. عدم دارا بودن مقدار مناسب پتاسیم قابل استفاده گیاه می‌تواند به علت حضور کانی ورمیکولیت باشد. زیرا علی‌رغم ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (جدول ۲)، به‌دلیل این‌که مرکز بار لایه‌ای در ورمیکولیت در تتراهدرال و نزدیک به سطح است، پتاسیم می‌تواند در این کانی تثبیت شود (۱۸). در نتیجه حضور ورمیکولیت در این خاک، سبب ایجاد ظرفیت بالا برای تثبیت پتاسیم (۲۱) و در نتیجه کاهش میزان پتاسیم قابل استفاده شده است. مطابق جدول ۴، این خاک هم‌چنین در مقطع کنترل

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۹. الگوی پراش اشعه x کانی‌های مقطع کنترل رطوبتی خاک آلفی‌سولز

رطوبتی خود، دارای مقداری ایلیت و کانی مخلوط ایلیت- ورمیکولیت می‌باشد. این کانی‌ها نیز می‌توانند در تثبیت پتاسیم موثر باشند (۱۷). تناوب خشکی و رطوبت نیز می‌تواند به تثبیت پتاسیم در این خاک‌ها کمک کند (۱۲).

بررسی شکل، درصد فراوانی و اندازه حفرات مقطع کنترل رطوبتی خاک‌ها و ارتباط آنها با درجه فراهمی پتاسیم

علاوه بر مقدار و نوع کانی‌های رسی موجود در خاک که می‌توانند بر میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان موثر باشند، حفرات نیز می‌توانند نقش مهمی در توسعه ریشه، انتقال آب و عناصر غذائی مورد نیاز گیاهان، از جمله پتاسیم ایفا کنند. حفرات از لحاظ اندازه، شکل و درصد فراوانی می‌توانند میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه را تحت تأثیر قرار دهند. زیرا اندازه مجاری، تعداد مجاری، تخلخل خاک و توزیع اندازه منافذ، از عوامل مؤثر در انتقال آب و یون‌های محلول می‌باشند. این انتقال بهتر، می‌تواند سبب بهبود فرآیند پخشیدگی پتاسیم و حرکت این یون به سمت ریشه گیاهان شود.

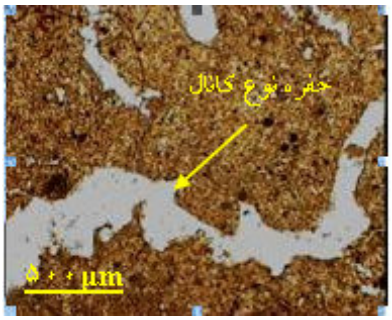
در **خاک مالی‌سولز**، به نظر می‌رسد علاوه بر میزان رس و نوع کانی، حفرات نیز در افزایش میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان مؤثر باشند. این خاک با داشتن درصد حفرات بیشتر در مقطع کنترل رطوبتی خاک (اعماق خاک)، میزان پتاسیم قابل استفاده زیادی دارد. حدود ۳۰/۴ ٪ از کل حفرات این خاک، حفرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر است (جدول ۵). حفرات میکرو زیاد می‌توانند سبب افزایش مقدار آب و متعاقب آن افزایش آب قابل استفاده گیاه گردند (۳۳). به‌دنبال افزایش آب قابل استفاده گیاه، مقدار یون‌های محلول از جمله پتاسیم که می‌تواند مورد استفاده گیاهان قرار گیرد، نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین این خاک دارای حفرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر بیشتری نسبت به سایر خاک‌ها است (جدول ۵). شرایط اقلیمی مناسب و افزایش موادآلی خاک مالی‌سولز، باعث افزایش حفرات و توزیع پراکنش اندازه آنها شده است (۳۶) و در نتیجه آن، هدایت هیدرولیکی و انتقال آب و املاح افزایش می‌یابد (۳۸). بر این اساس فرآیند پخشیدگی نیز بهبود یافته و انتشار پتاسیم به سمت ریشه با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد. موادآلی زیاد این خاک نیز حفرات انتقالی را که در نفوذ ریشه و انتقال آب مؤثر هستند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۴). کیلفیدر و ون‌درمر (۲۳) با بررسی میکرومورفولوژی اندازه، شکل و حجم حفرات زمین‌های زراعی و رابطه آنها با پروسه‌های تغییر شکل کاشت، مشاهده نمودند که حفرات با سایر خصوصیات ساختمان میکرو خاک در ارتباط هستند. ساختمان مناسب خاک مالی‌سولز نیز جهت رشد گیاه و گسترش مناسب ریشه مؤثر است و ذخیره مناسب آب و هوا و نیز ظرفیت انتقال آب و پتاسیم و امکان دست‌یابی گیاهان به پتاسیم را سبب می‌شود. نوع غالب حفرات خاک مالی‌سولز، کانال و حجره‌ای است (شکل ۱۰ و ۱۱). با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که بین حفرات نوع کانال و پتاسیم قابل استفاده در اعماق

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

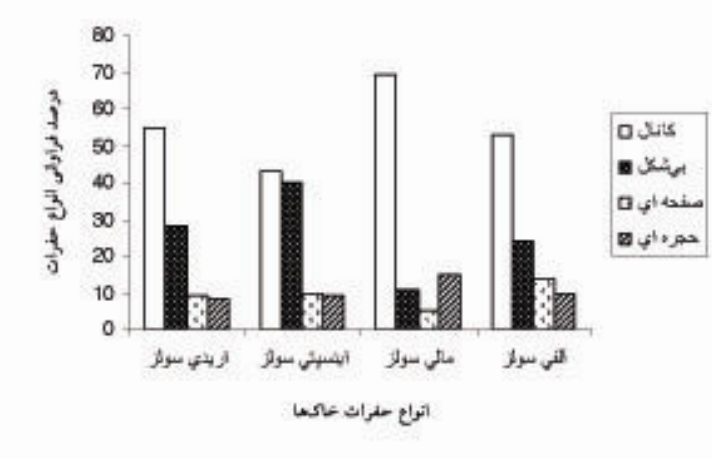
[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

جدول۵. میانگین درصد تخلخل، درصد فراوانی، نوع و اندازه حفرات و نیز مقدار پتاسیم قابل دسترس در مقطع کنترل رطوبتی خاک

نام علمی خاک	تخلخل (F)	درصد فراوانی حفرات (توسط نرم‌افزار Image tool)	نوع حفره غالب	اندازه (%)			K_{ava} (ppm)
				۱۰ < (µm)	۲-۱۰	<۲	
۱: Gypsic Aquisalids	۲۸^{c}	۲۳/۱^{c}	کانال- بی‌شکل	۰/۸^{c}	۱۰/۸^{c}	۱۱/۵^{c}	۱۷۹/۲^{b}
۲: Typic Endoaquepts	۲۸^{c}	۲۴/۲^{c}	کانال- بی‌شکل	۰/۹^{c}	۱۱/۱^{c}	۱۲/۲^{c}	۱۲۱/۱^{d}
۳: Typic Calcixerolls	۳۴/۵^{a}	۳۲/۹^{a}	کانال- حجره‌ای	۲/۵^{a}	۱۵^{a}	۱۵/۴^{a}	۲۲۲/۹^{a}
۴: Typic Hapludalfs	۳۰^{b}	۲۶/۸^{b}	کانال	۱/۶^{b}	۱۲^{b}	۱۳/۲^{b}	۱۶۱/۴^{c}



شکل۱۰. حفره‌های کانال مقطع کنترل رطوبتی خاک مالی‌سولز (PPL)



شکل ۱۱. درصد فراوانی انواع حفرات محاسبه شده براساس شمارش نقطه‌ای

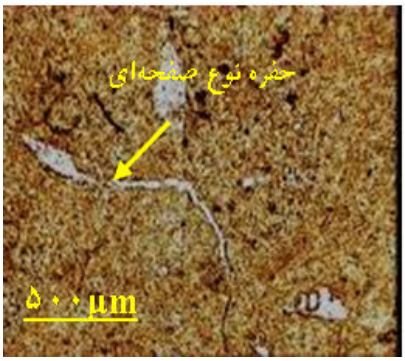
جدول ۶. همبستگی بین نوع حفرات مقطع کنترل رطوبتی خاک‌ها و میزان پتاسیم قابل استفاده

	کانال	بی‌شکل	صفحه‌ای	حجره‌ای
پتاسیم قابل استفاده(ppm)	۰/۹**	-۰/۹*	-۰/۷^{ns}	۰/۷^{ns}

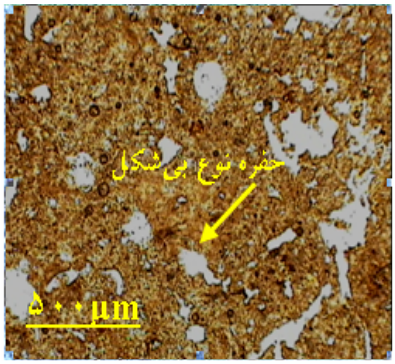
**: در سطح ۱ ٪ *: در سطح ۵ ٪ ^{ns}: رابطه غیرمعنی‌دار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل۱۲.حفره‌های صفحه‌ای خاک آلفی‌سولز (PPL)



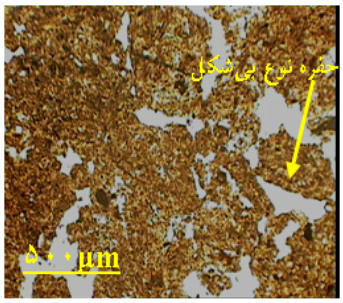
شکل ۱۳. حفره‌های بی‌شکل خاک اینسپتی‌سولز (PPL)

خاک (مقطع کنترل رطوبتی)، در سطح ۱ ٪ همبستگی وجود دارد. کانال‌ها (حفرات انتقالی کشیده) با داشتن دیواره هموار و شکل لوله‌ای خود، معمولاً محل توسعه ریشه و یا جانداران می‌باشند و به واسطه شکل خود هدایت هیدرولیکی بیشتری دارند (۳۴) و می‌توانند یون‌های محلول مانند پتاسیم را با سهولت بیشتری در اختیار گیاهان قرار دهند. در طول انتقال آب، حفرات لوله‌ای در اندازه کوچک به‌عنوان مخزن آب عمل کرده (۴۶) و در ظرفیت بالای نگهداری آب گیاهان سهیم می‌باشند (۴۰). به همین دلیل نوع حفرات این خاک نیز به‌نظر می‌رسد می‌تواند عاملی مؤثر در افزایش میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان باشد. اگر چه نوع حفرات غالب مقطع کنترل رطوبتی خاک **آلفی‌سولز** کانال است (شکل ۱۱)، ولی حضور حفرات صفحه‌ای با قطر کم، نیز به نظر می‌رسد تا حدی می‌توانند از عوامل محدودکننده انتقال آب و پتاسیم در این خاک‌باشند (شکل ۱۲)، تا حدی که حتی انبساط خاک، می‌تواند منجر به مسدود شدن این حفرات صفحه‌ای گردد. این عوامل به اضافه عوامل مینرالوژی باعث شده تا علی‌رغم دارا بودن درصد رس زیاد و درصد حفرات بیشتر نسبت به دو خاک اریدی‌سولز و اینسپتی‌سولز، میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان در حد انتظار نباشد و این خاک پس از خاک اینسپتی‌سولز، کمترین میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان را داشته باشد.

مقطع کنترل رطوبتی **خاک اینسپتی‌سولز**، درصد کمتری حفره به نسبت خاک مالی‌سولز و آلفی‌سولز دارد (جدول ۵). کاهش حفرات در نقاط تراکم یافته تحت عبور ماشین آلات در این خاک زراعی، سبب کاهش هدایت هیدرولیکی (۳۵) و کاهش فرآیند پخشیدگی و در نتیجه کاهش انتشار پتاسیم به سمت ریشه می‌گردد. هم‌چنین این خاک به نسبت خاک مالی‌سولز و آلفی‌سولز، حفرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر کمتری نیز دارد. تنها حدود ۲۳/۳ ٪ از کل حفرات این خاک را حفرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر و ۰/۹ ٪ از کل حفرات آن را حفرات بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر تشکیل می‌دهند (جدول ۵). عملیات کشاورزی در این خاک می‌تواند حفرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر حاصل از عملیات کشاورزی، جانوران خاکزی و ریشه محصولات زراعی را تحت‌تأثیر قرار دهد (۲۶). بیشتر حفرات مقطع کنترل رطوبتی آن نیز از نوع کانال و بی‌شکل است (شکل ۱۱ و ۱۳). حفرات بی‌شکل نقش مؤثر کمی در هدایت هیدرولیکی و در نتیجه انتقال آب و پتاسیم قابل استفاده گیاهان دارند. مطابق جدول ۶ نیز بین حفرات بی‌شکل و پتاسیم قابل استفاده در سطح ۵ ٪ همبستگی منفی مشاهده می‌شود. این عوامل نیز علاوه بر درصد رس کمتر و عوامل کانی‌شناسی، مجموعاً سبب شده تا در خاک اینسپتی‌سولز کمترین میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان وجود داشته باشد. براساس آزمون دانکن، اختلاف معنی‌داری در مقدار درصد کل حفرات و درصد حفرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر دو خاک **اینسپتی‌سولز و اریدی‌سولز** مشاهده نشد (جدول ۵). علاوه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]



شکل ۱۴.حفره‌های بی‌شکل خاک اریدی‌سولز (PPL)

بـر دلایـل ذکـر شـده در بحـث کـانی‌شناسـی، بررسـی میکرومورفولوژی حفره موید آن است که به نظر می‌رسد می‌تـوان نوع حفره را نیز علاوه بـر عوامـل مـذکور، در ایـن کـاهش مـؤثر دانست. اگر چه حفرات غالب در هر دو خـاک، کانـال و حفـرات بی‌شکل اسـت (شـکل ۱۱ و ۱۴)، ولـی فراوانـی بیـشتر حفـرات بی‌شکل در مقطع کنترل رطوبتی خاک اینـسپتی‌سـولز، بـر خـلاف فراوانی بیشتر حفرات کانال در خاک اریدی‌سـولز، سـبب کـاهش مقدار پتاسیم قابل استفاده گیاهـان در خـاک اینـسپتی‌سـولز شـده است.

نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان دادند علاوه بر مقدار و نوع کانی رسی، حفـرات نیز می‌توانند بر میزان در دسترس قرار دادن پتاسیم قابل جـذب گیاهان مؤثر باشند. خاک مالی سـولز بـه تبـع دارا بـودن مقـدار نسبتاً زیاد رس و کانی‌اسمکتیت، میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه بیشتری نسبت به سایر خاک‌های مورد مطالعه دارند. همبـستگی مثبت مشاهده شده بین درصد مقدار رس و نیز کانی اسـمکتیت با پتاسیم قابل استفاده در اعماق خـاک نیـز مؤیـد ایـن مطلـب است. کاهش پتاسیم قابـل اسـتفاده و تثبیـت پتاسـیم در خـاک اینـسپتی‌سـولز، مـی‌توانـد بـه‌دلیـل حـضور کـانی‌هـائی نظیـر هیدروکـسی بـین لایـه‌ای اسـمکتیت و اسـمکتیت (در شـرایط احیاء) و نیز ایلیت باشد. نتایج حاصـل از بررسـی خـصوصیات تخلخل، نیز نشان داد که خـاک مـالی‌سـولز بـا داشـتن درصـد حفرات بیشتر در مقطع کنترل رطوبتی خاک، میزان پتاسیم قابـل استفاده بیشتری نسبت به خاک‌های مورد مطالعه دارد. هم‌چنـین حفرات کانال خاک مالی‌سولز بر خلاف حفرات بی‌شکل خـاک اینسپتی‌سولز، قادرند آب و پتاسیم قابل اسـتفاده را بـا سـهولت بیشتری در دسترس گیاهان قرار دهنـد. همبـستگی مثبـت بـین حفرات کانال و پتاسیم قابل اسـتفاده نیـز نـشان‌دهنـده افـزایش پتاسیم قابل استفاده با افزایش حفـرات کانـال اسـت. در نتیجـه برای پیش‌بینی میزان پتاسیم قابل استفاده گیاهان، می‌توان علاوه بر نوع کـاربری و عملیـات مـدیریتی اراضـی، از بررسـی‌هـای خصوصیات حفرات و نیز مینرالوژی خاک‌ها نیز بهره گرفت. در نهایت نیز با استفاده از نتایج حاصـل، مـی‌تـوان میـزان مناسـب کاربرد کود پتاسیمی و نیز نحـوه صـحیح و دوره مـصرف آن را توصیه نمود.

منابع مورد استفاده

۱. بهمنیار، م. ۱۳۷۸. تأثیر اقلیم بر خصوصیات مورفولوژی و کانی‌های رسی خاک‌ها در مناطق پوشـیده از درختـان جنگلـی. چکیـده مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد.

۲. خرمالی، ف.، ر. قربانی و ر. عموزاده. ۱۳۸۴. منشأ و پراکنش کانی‌های رسی در سه حوزه آبخیز شرق استان گلستان. گزارش طـرح تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابی طبیعی گرگان، ۷۸ ص.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

۳. زائرنوملی، ص. ۱۳۸۶. بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم و ارتباط آن با تکامل پروفیلی خاک و کانی‌های رسی در برخی خاک‌های انتخابی استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۱۳ ص.

۴. ملکوتی، م. ج. و م. همائی. ۱۳۷۳. *حاصل‌خیزی مناطق خشک و نیمه‌خشک*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.۴۹۴ ص.

۵. نجفی قیری، م. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان فارس. رساله دکتری، دانشگاه شیراز.

6. Bersch, P. M. and G. W. Thomas. 1985. Potassium statuse of temperate region soils. *In:* R. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. ASA- CSSA- SSSA- Madison, WI, USA.
7. Bhonsel, N. S., S. K. Palo and G. S. Sekhon. 1992. Relationship of K forms and release characteristics with clay mineralogy. Geoderma 54: 285-293.
8. Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods, 2nd ed., Agronomy 9: 363–382.
9. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
10. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 811-903. *In:* C. A. Black. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., Agron Monogar. 9. ASA and SSSA Madison, WI., USA.
11. Cimrin, K. M., E. Akca, M. B. Senol and S. Kapur. 2004. Potassium potential of the soils of the Gaves region in eastern Anatolia. Turk J. Agric. 28: 259-266.
12. Gaultier, J. P. and J. Mamy. 1978. Etude des facteurs influencant 1'évolution structural dela montmorillonite K et sa reversibilité. Clay Miner. 13: 139-146.
13. Goulding, K. W. T. 1983. Thermodynamics and potassium exchange in soils and clay minerals. Adv. 36: 215-261.
14. Huang, P. M. 2005. Chemistry of potassium in soils. PP. 227-292. *In:* Tabatabai, M. A., Sparks, D. L. (Eds.), Chamical Process in Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA.
15. Jackson, M. L. 1975. Soil Chemical Analysis Advanced Course. Univ. of Wisconsin, College of Agric., Dept. of Soils, Madison, WI. 894 p.
16. Jacobs, P. M. and J. A. Masom. 2005. Impact of Holocene dust aggradations on A horizon characteristics and carbon storage in loess-derived Mollisols of the Great Plains, USA. Geoderma 125 : 95–106.
17. Jalali, M. 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36: 1903–1917.
18. Jalali, M. and M. Zarabi. 2006. Kinetics of nonexchangeable-potassium release and plant response in some calcareous soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 194–204.
19. Jongerius, A., D. Schoonderbeek and A. Jager. 1972. The application of the Quantimet 720 in soil micromorphometry. The Microscope 20: 243–254.
20. Khaled, E. M. and J. W. Stucki. 1991. Iron oxidation effects on cation fixation in smectites. Soil Sci. Soc. Amer. J. 55: 550-554.
21. Khormali, F. and A. Abtahi. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, Southern Iran. Clay Miner. 38: 511-527.
22. Khormali, F., M. Ajami, S. Ayoubi, Ch. Srinivasaro and S. P. Wani. 2009. Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. Agric. Ecosys. and Environ. 134: 178–189.
23. Kilfeather, A. A. and J. M. Van der Meer. 2008. Pore size, shape and connectivity in tills and their relationship to deformation processes. Quaternary Sci. Rev. 27: 250-266.
24. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Sci. 96: 312– 325.
25. Komadel, P., J. Madejova and J. W. Stucki. 2006. Structural Fe (III) reduction in smectites, Appl. Clay Sci. 34: 88–94.
26. Lipiec, J. and R. Hatano. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma 116: 107–136.
27. Litvinovich, A. V., O. Y. Pavlova, A. I. Maslova and D. V. Chernov. 2006. The potassium status of sandy gleyic Soddy-Podzolic soils under forest, cropland, and fallow. Pochvovedenie 7: 876-882.
28. Murphy, C. P., P. Bullock and R. H. Turner. 1977 a. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part I. Principles and techniques. J. Soil Sci. 28: 498–508.
29. Murphy, C. P., P. Bullock and K. J. Biswell. 1977 b. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part II. Applications. J. Soil Sci. 28: 509–518.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]

30. Murphy, C. P. 1986. Thin Section Preparation of Soils and Sediments. A and B Academic Pub., Berkhamsted.
31. Nabiollahy, K., F. Khormali, K. Bazargan and SH. Ayoubi. 2006. Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. Clay Miner. 41: 739-749.
32. Pagliai, M. 1987. Micromorphometric and micromorphological investigations on the effect of compaction by pressures and deformations resulting from tillage and wheel traffic. PP. 31–38. *In:* Monnier, G., Goss, M. J. (Eds.), Soil compaction and regeneration. AA Balkema, Rotterdam.
33. Pagliai, M., S. Rousseva, N. Vignozzi, C. Piovanelli, S. Pellegrini, G. S. Francis and P. M. Fraser. 1998. The effects of three earthworm species on soil macroporosity and hydraulic conductivity. Appl. Soil Ecol. 10: 11–19.
34. Pagliai, M., S. Pellegrini, N. Vignozzi, S. Rousseva and O. Grasselli. 2000. The quantification of the effect of subsoil compaction on soil porosity and related physical properties under conventional to reduced management practices. Adv. Geo Ecol. 32: 305–313.
35. Pagliai, M., A. Marsili, P. Servadio, N. Vignozzi and S. Pellegrini. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. Soil Till. Res. 73:119–129.
36. Pagliai, M., N. Vignozzi and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. Soil Till. Res. 79: 131-143.
37. Pires, L. F., M. Cooper, F. A. M. Cassaro, K. Reichardt, O. O. S. Bacchi and N. M. P. Dias. 2008. Micromorphological analysis to characterize structure modifications of soil samples submitted to wetting and drying cycles. Catena 72: 297-304.
38. Prado, B., C. Duwig, J. Ma´rquez, P. Delmas, P. Morales, J. James and J. Etchevers. 2009. Image processing-based study of soil porosity and its effect on water movement through Andosol intact columns. Agric. Water Manage. 96 : 1377–1386.
39. Ritvo, G., Y. Avnimelich and M. Kochba. 2003. Emperical relationship between conventionally determined pH and insitu values in waterlogged soils, Aquaculture engineering. Elsvier 27:1-8.
40. Shoji, S., M. Nanzyo and R. A. Dahlgren. 1993. Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties and Utilization. Elsevier Science Pub., The Netherlands.
41. Sławin´ski, C., R. T. Walczak and W. Skierucha. 2006. Error analysis of water conductivity coefficient measurement by instantaneous profiles method. Intl. Agrophys 20: 55–62.
42. Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th ed., USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
43. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. Adv. Soil Sci. 6: 1-63.
44. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. PP. 201-276. *In:* R. D. Munson (Ed.), Handbook of Soil Science. CSC Press., Boaca Raron, Florida.
45. Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Halvin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Pub., USA.
46. Walker, P. J. C. and T. S. Trudgill. 1983. Quantimet image analysis of soil pore geometry: comparison with travel break breakthrough curves. Earth Surf. Process. Landforms 8: 465–472.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.10.7]