ورمیکولیتی‌شدن کانی‌های میکایی در اثر جذب پتاسیم توسط یونجه

سمیرا نوروزی[۱] و حسین خادمی[۲*]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲* - **نویسنده مسؤول:** استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (hkhademi@cc.iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۸

چکیده

پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های رسی در اکثر خاک‌ها منبع مهم تأمین پتاسیم برای رشد گیاهان می‌باشد. ریزوسفر گیاهان، به ویژه اسیدهای آلی مترشحه از ریشه می‌توانند باعث آزادسازی پتاسیم از کانی‌های حاوی پتاسیم مثل میکاها و همچنین تغییر شکل کانی‌ها شوند. این تحقیق با هدف بررسی شدت تغییر شکل کانی‌های میکایی موجود در ریزوسفر در اثر کشت یونجه انجام شد. یونجه در گلدان‌های حاوی مخلوطی از هر یک از کانی‌های فلوگوپیت، بیوتیت و موسکویت با شن کوارتزی به نسبت معین به مدت ۹۰ روز کشت شد و توسط آب مقطر و محلول‌های غذایی پتاسیم‌دار یا بدون پتاسیم آبیاری و تغذیه گردیدند. پس از اتمام دوره کشت، پتاسیم جذب شده توسط گیاهان اندازه‌گیری شد و ذرات میکای به اندازه رس موجود در بستر کشت توسط پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که یونجه با آزاد کردن پتاسیم کانی‌های فلوگوپیت و بیوتیت توانسته است مقادیری از آنها را به کانی ورمیکولیت تبدیل نماید. شدت ورمیکولیتی‌شدن کانی‌ها با مقایسه نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر در پراش نگاشت‌های نمونه‌های کشت شده و شاهد مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که این نسبت با میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه رابطه مستقیم دارد. کانی موسکویت تغییر کانی‌شناسی قابل تشخیص با پراش پرتو ایکس نشان نداد.

کلید واژه‌ها: کانی میکایی، آزاد شدن پتاسیم، ورمیکولیتی‌شدن، هوادیدگی بیولوژیکی

مقدمه

هوادیدگی کانی‌ها، منشأ اولیه بیشتر عناصر ضروری برای گیاهان است. طی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بر روی سنگ‌های سطح زمین، عناصری مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و مقداری عناصر کم مصرف به شکل قابل دسترس برای موجودات زنده آزاد می‌شوند (۲۴).

چهار شکل مختلف پتاسیم در خاک به ترتیب قابلیت وصول برای گیاهان و ریز جانداران عبارتند از: پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی (تثبیت شده) و ساختمانی (۱۶ و ۲۳). وجود تعادل بین فرم‌های مختلف پتاسیم باعث می‌شود که کاهش غلظت پتاسیم محلول در اثر جذب گیاه، به وسیله شکل های دیگر پتاسیم جبران شود. غلظت پتاسیم محلول خاک ضرورتاً به سطح پتاسیم تبادلی مربوط نیست؛ بلکه با مقدار و نوع کانی‌های رسی نیز در ارتباط است (۱۴). نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه کاملاً به اثبات رسیده است؛ حتی برخی آن را منبع عمده تأمین پتاسیم برای گیاه دانسته‌اند (۲۲). وقتی میزان پتاسیم تبادلی به حد بحرانی برسد، جذب بیشتر توسط گیاه، با سرعتی که پتاسیم از فرم غیرتبادلی آزاد می‌شود تنظیم می‌گردد (۱۷).

مهم‌ترین کانی‌های پتاسیم‌دار، میکاها و فلدسپارها می‌باشند (۴). میکاها کانی‌های سیلیکاته ۲:۱ هستند که بسته به کاتیون موجود در ورقه اکتاهدرال به میکای دی‌اکتاهدرال[1] (موسکویت و گلوکونایت) و میکای تری‌اکتاهدرال[2] (بیوتیت و فلوگوپیت) تقسیم‌بندی می‌شوند. خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک عمدتاً حاوی مقادیر زیادی پتاسیم غیرتبادلی به علت وجود کانی‌های بیوتیت و موسکویت در آنها هستند (۱). آزاد شدن پتاسیم از میکا به وسیله دو فرآیند انجام می‌شود: ۱) تبدیل میکاها به کانی‌های ۲:۱ منبسط شونده که بر اثر تبادل یون پتاسیم با کاتیون‌های آبپوشیده صورت می‌گیرد و ۲) تخریب میکا و تشکیل محصولات هوادیدگی (۲۳).

در طی فرآیند هوادیدگی، میکاها (بیوتیت و موسکویت) به کانی‌های حد واسط و در نهایت به کانی‌های کاملاً منبسط شده (اسمکتیت یا ورمیکولیت) تبدیل می‌شوند (۵). مطالعات مختلفی اثر فرآیندهای بیولوژیکی و مواد مترشحه از ریشه گیاهان و قارچ‌ها را بر روی هوادیدگی کانی‌ها در ناحیه ریزوسفر گزارش کرده‌اند (۳، ۱۰، ۱۱، ۱۶ و ۲۰). اصطلاح «ریزوسفر[3]» به منطقه‌ای از خاک که اطراف ریشه را پوشانده و تحت تأثیر آن قرار بگیرد، اطلاق می‌گردد. تمام مواد غذایی مورد نیاز گیاهان از طریق ریزوسفر تأمین می‌شود؛ بنابراین برای شناخت خصوصیات آن بهتر است با واژه «شیب غلظت بین سطح ریشه و توده خاک» توصیف شود (۷).

مطالعات نشان داده‌اند که پتاسیم محلول و تبادلی هر دو به علت جذب زیاد توسط گیاه، در مجاورت ریشه و ریزوسفر گیاهان تخلیه می‌شوند و کاهش شدید در غلظت پتاسیم در ریزوسفر می‌تواند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در اطراف ریشه را توضیح دهد. وقتی پتاسیم محلول و تبادلی در اثر جذب توسط گیاه به سطح پایینی برسد، پتاسیم غیرتبادلی از بین لایه‌های رس آزاد می‌شود (۱۵). بنابراین پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های میکا و ایلیت و فلدسپارها منبع اصلی آزادسازی پتاسیم در طول دوره کشت هستند (۱۰ و ۱۸).

محققان از کشت رای‌گراس[4] ایتالیایی برای تعیین سهم پتاسیم غیرتبادلی در جذب گیاهان استفاده کرده اند و چهار خاک شامل خاکی حاوی ایلیت به عنوان رس غالب، دو خاک اسمکتیتی و یک خاک با کانی‌شناسی مخلوط از میکاها را به کار بردند و نتیجه گرفتند که ظرفیت یک خاک برای فراهم کردن پتاسیم کافی برای رشد گیاهان بستگی به توانایی آن خاک در آزاد کردن پتاسیم از بین لایه‌های سیلیکات‌های لایه‌ای دارد و به این ترتیب خاک غنی از ایلیت بیشترین آزادسازی پتاسیم را نشان داد (۶). هوادیدگی کانی‌های حاوی پتاسیم منجر به تغییر شکل کانی‌های رسی می‌گردد (۲۱).

در آزمایشی تأثیر کاربرد کود پتاسیمی روی تغییر شکل کانی‌های رسی در خاک‌های تحت کشت گیاهان رای‌گراس مطالعه گردید. تجزیه‌های پراش پرتو ایکس[5] نمونه‌های خاک نشان داد که کشت بدون کاربرد پتاسیم منجر به کاهش قابل توجهی در مقدار رس ایلیت خاک‌ها و افزایش اسمکتیت و کانی‌های مختلط ایلیت- اسمکتیت می‌شود (۲۶). توانایی ریشه‌های گیاه رای‌گراس ایتالیایی در هوادیدگی فلوگوپیت به عنوان منبع K و Mg، همراه با آزادسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای و ورمیکولیتی‌شدن میکا در ریزوسفر این گیاه نیز در تحقیقی نشان داده شد (۱۲).

تغییرات سریع مینرالوژیکی تحت تأثیر ریشه، حکایت از این دارد که کانی‌های اولیه‌ای مثل

1- Dioctahedral Mica
2- Trioctahedral Mica
3- Rhizosphere

4- Ryegrass
5-X-Ray Diffractometery (XRD)

میکاهای تری‌اکتاهدرال ممکن است در ریزوسفر گیاهان سهم قابل توجهی برای فراهم کردن پتاسیم برای گیاه داشته باشند (۱۳). در تحقیقی توانایی ریشه‌های کلم در تغییر دادن و حل کردن فلوگوپیت در ریزوسفر مطالعه شد و ملاحظه گردید که این گیاه قادر است مقدار قابل ملاحظه‌ای پتاسیم بین-لایه‌ای را پس از ۴ روز آزاد کند. همچنین نتایج تجزیه پراش پرتو ایکس نمونه‌های اشباع از پتاسیم نشان دادند که قسمتی از ورمیکولیت تشکیل شده در اثر فعالیت ریشه به صورت ورمیکولیت با هیدروکسید بین‌لایه‌ای[1] (HIV) رفتار می‌کند (۱۱). نادری زاده و همکاران[2] (۲۰)، پس از کشت یونجه در بسترهای کشت حاوی کانی‌های موسکویت و فلوگوپیت در حضور ماده آلی، نتیجه گرفتند که جذب پتاسیم در گلدان‌های حاوی فلوگوپیت و ماده آلی افزایش چشمگیری نسبت به گلدان‌های فاقد ماده آلی داشته و پس از ۱۲۰ روز کشت، کانی فلوگوپیت به ورمیکولیت و تا حد کمی به اسمکتیت و ورمیکولیت با هیدروکسید بین‌لایه‌ای تغییر شکل یافته است؛ در حالیکه موسکویت بدون تغییر مانده است. خیامیم و همکاران (۳) تشکیل کانی‌های ورمیکولیت، کلریت و مقدار کمی اسمکتیت را از تغییر شکل کانی فلوگوپیت موجود در بستر کشت گیاهان فسکیوی حاوی اندوفایت گزارش نمودند.

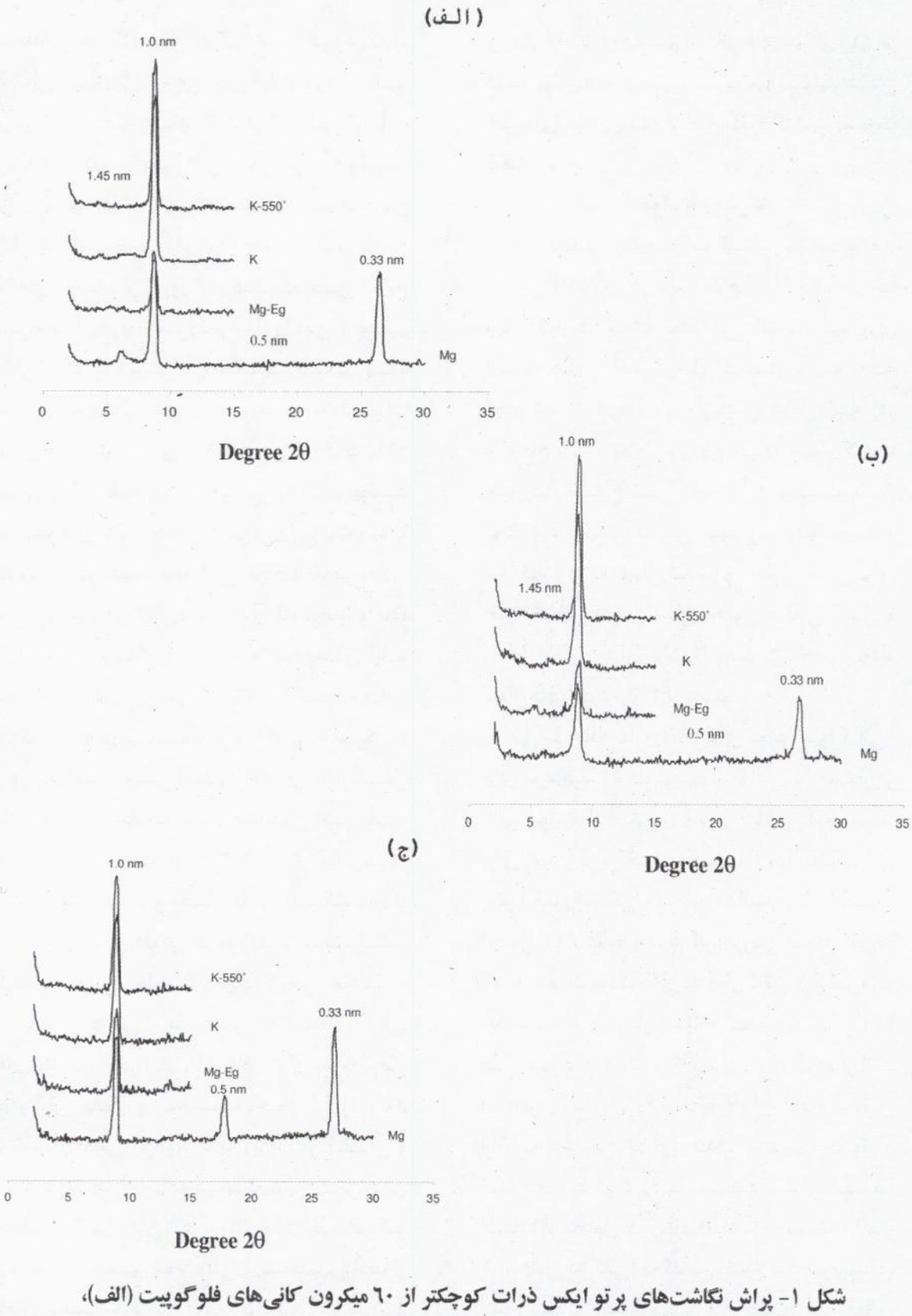
با توجه به این‌که مقدار قابل ملاحظه‌ای کانی های پتاسیم‌دار در اکثر خاک‌های ایران به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد (۱ و ۲)، تحقیقات جامعی پیرامون تأثیر ریزوسفر گیاهان و مواد مترشحه از ریشه در هوادیدگی کانی‌های میکایی و تغییر یافتن آنها به کانی‌های جدید در اثر آزاد کردن پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی آنها و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاهان در طول دوره رشد مورد نیاز است؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی آزادسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی در اثر کشت یونجه و بررسی شدت ورمیکولیتی‌شدن کانی‌های میکایی پس از اتمام دوره کشت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت گلدانی با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان طی یک دوره سه ماهه انجام شد. فاکتورهای این آزمایش، شامل گیاه (در دو سطح با گیاه یونجه و بدون گیاه)، بستر کشت (در چهار سطح شن کوارتزی+ بیوتیت، شن کوارتزی+ موسکویت، شن کوارتزی+ فلوگوپیت و شن کوارتزی به عنوان شاهد) و محلول غذایی برای تغذیه گیاهان (در دو سطح محلول غذایی کامل و محلول غذایی بدون پتاسیم) بودند. در مجموع تعداد گلدان‌های مورد نیاز ۶۴ عدد بود.

تهیه و آماده سازی کانی‌های مورد نیاز: کانی-های موسکویت و فلوگوپیت از معادنی در همدان و کانی بیوتیت از املش در استان گیلان تهیه شدند. برای تعیین درجه خلوص کانی‌ها از مطالعات پراش پرتو ایکس (شکل ۱) و فلورسانس پرتو ایکس[3] (جدول ۱) استفاده شد. در این بررسی نمونه کانی‌ها که به صورت پولک‌هایی به قطر ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بودند، سه تا چهار بار آسیاب شده و از الک ۲۳۰ مش عبور داده شدند و کانی‌های عبور کرده از الک (با قطری کمتر از ۶۰ میکرون) برای انجام آزمایش انتخاب گردیدند. برای حذف پتاسیم محلول و تبادلی موجود در کانی‌ها، سطوح تبادلی آنها با استفاده از محلول ۱ نرمال $CaCl_2$ به نسبت ۱۰ به ۱ (محلول به کانی) با کلسیم اشباع شد. نمونه‌های اشباع شده با کلسیم چندین بار توسط آب مقطر، برای حذف $CaCl_2$ مازاد شسته شده و سپس به

1- Hydroxy-Interlayered Vermiculite
2- Naderizadeh *et al.*
3- X-Ray Fluorescence (XRF)



شکل ۱- پراش نگاشت‌های پرتو ایکس ذرات کوچکتر از ٦٠ میکرون کانی‌های فلوگوپیت (الف)، بیوتیت (ب) و موسکویت (ج)

(Mg: نمونه‌های اشباع شده از منیزیم، Mg-Eg: نمونه‌های اشباع از منیزیم تحت تاثیر اتیلن گلیکول، K: نمونه‌های اشباع از پتاسیم و K-550°: نمونه‌های اشباع از پتاسیم و حرارت دیده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد)

جدول ۱- تجزیه عنصری کانی‌های میکایی و شن کوارتزی مورد استفاده در آزمایش بر اساس تجزیه XRF بر حسب درصد (قبل از انجام آزمایش)

نوع کانی	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5	TiO_2	LOI*	Total
موسکویت	۰/۶۴	۰/۰۸	۳۳/۹۲	۴۸/۳۴	۹/۹۸	۰/۱۷	۱/۷۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۴/۵	۹۹/۵۴
فلوگوپیت	۰/۴۵	۲۲/۵۴	۱۴/۶	۴۲/۲۴	۹/۲۹	۴/۱۲	۴/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۳۷	۰/۵۶	۰/۹	۹۹/۶۳
بیوتیت	۰/۳۴	۱۲/۱۲	۱۳/۶۵	۳۷/۲۸	۶/۶۶	۲/۸۶	۱۴/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۷/۵۷	۵/۴	۱۰۰
شن کوارتزی	<۰/۱	۰/۱۱	۰/۳۶	۹۷/۵۳	<۰/۱	۰/۶۱	۰/۵۷	-	-	-	۰/۴۸	۹۹/۸۶

* کاهش وزن در دمای بالا (Loss on ignition)

مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. علاوه بر این سه کانی از شن کوارتزی نیز به عنوان ماده پر کننده گلدان‌ها استفاده گردید. شن کوارتزی مورد نظر از معدنی در همدان تهیه و آسیاب شد. سپس به منظور تعیین خلوص کانی‌شناسی و میزان عناصر موجود در آن از فلورسانس پرتو ایکس (جدول ۱) استفاده گردید. ذرات شن کوارتزی بزرگتر از ۶۰ میکرون توسط اسید کلریدریک ۰/۵ نرمال شستشو شده، سپس با آب مقطر شسته شدند و در نهایت در آون با حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند.

مرحله کشت: گلدان‌های ۶۵۰ گرمی با مخلوط میکا و شن کوارتزی به نسبت ۹۷:۳ پر شدند. تعدادی بذر یونجه رهنانی در هر گلدان کشت شد، که پس از تنک کردن سه عدد بوته در هر گلدان باقی ماند. همچنین گلدان‌های بدون گیاه نیز به منظور مقایسه اثر گیاه آماده شدند. در طول ۹۰ روز دوره کشت، گیاهان با آب مقطر و محلول غذایی آبیاری و تغذیه گردیدند. از دو نوع محلول غذایی برای تغذیه استفاده شد. ترکیب محلول غذایی کامل (پتاسیم دار) در یک لیتر به صورت زیر بود: ۵ میلی‌لیتر $Ca(NO_3)_2$ ۱ مولار، ۲ میلی‌لیتر $MgSO_4.7H_2O$ ۱ مولار، ۵ میلی‌لیتر KNO_3 ۱ مولار، ۱ میلی‌لیتر KH_2PO_4 ۱ مولار، ۲ میلی‌لیتر Iron-EDTA (۷ گرم در لیتر) و ۱ میلی‌لیتر عناصر کمیاب شامل: H_3BO_3 (۲/۸۶ گرم در لیتر)، $MnCl_2.4H_2O$ (۱/۸۱ گرم در لیتر)، $ZnSO_4.7H_2O$ (۰/۲۲ گرم در لیتر)، $CuSO_4.5H_2O$ (۰/۰۸ گرم در لیتر) و $H_2MoO_4.H_2O$ (۰/۰۲۸ گرم در لیتر). محلول غذایی بدون پتاسیم نیز دارای ترکیب مشابه بوده در حالیکه فاقد KNO_3 و KH_2PO_4 و حاوی ۲۵ میلی‌لیتر $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ ۰/۰۵ مولار بود (۲۵).

مرحله برداشت و آنالیزهای آزمایشگاهی: در پایان دوره ۹۰ روزه کشت، گیاهان برداشت شده و اندام هوایی گیاهان با آب مقطر شسته و سپس در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. ریشه گیاهان به دقت با آب مقطر شسته شدند تا ذرات شن کوارتزی روی آنها جدا شوند؛ سپس در آون خشک شدند. اندام هوایی و ریشه‌ها

به دقت وزن شده و در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خاکستر شدند؛ سپس با ۱۰ میلی‌لیتر HCl ۲ نرمال حل شده و غلظت پتاسیم موجود در آنها توسط دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید. در انتهای آزمایش میکاهای موجود در محیط کشت در اطراف ریشه در هر گلدان، با شستشو توسط آب مقطر روی الک ۶۰ میکرومتر از ذرات شن کوارتزی جدا شده و جمع‌آوری شدند. میکاهای به اندازه رس با استفاده از سانتریفیوژ جدا شده و با XRD مورد مطالعه قرار گرفتند. مینرالوژی ذرات میکا به اندازه رس قبل و بعد از آزمایش توسط XRD تعیین شد. اسلایدهای نمونه‌های اشباع از منیزیم و پتاسیم برای هر نمونه تهیه شد، همچنین اسلایدهای اشباع از اتیلن گلیکول و تیمار حرارتی نمونه‌های اشباع از پتاسیم در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز مورد بررسی قرار گرفتند. دستگاه پرتو ایکس مورد استفاده شیمادزو مدل XD-610 دارای لامپ مس (λ = ۱/۵۴ Å) بوده و نمونه‌های اشباع از منیزیم حداکثر تا ۳۰=2θ درجه در مجاورت پرتو ایکس با جریان ۴۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلوولت قرار گرفتند. سرعت گونیامتر ۲ درجه در دقیقه انتخاب شد.

تحلیل داده‌ها: داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS8 و MSTAT-C مورد تجزیه آماری قرار گرفته و نمودارها و اشکال لازم نیز با نرم افزار Excel (2003) رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌های XRD و XRF کانی‌های مورد استفاده در آزمایش

نتایج تجزیه‌های XRF کانی‌های میکایی و شن کوارتزی در جدول ۱ بر حسب درصد مقادیر اکسیدی عناصر نشان داده شده است. مقدار اکسیدی عناصر بر حسب درصد بیان می‌کنند که مقدار عنصر پتاسیم در هر سه کانی میکایی نسبتاً بالا است. کانی موسکویت یک میکای دی‌اکتاهدرال است و Mg و Fe زیادی در ورقه اکتاهدرال خود ندارد. نتایج به دست آمده در مورد این دو عنصر در این کانی، این مسأله را کاملاً تأیید می‌نماید. از طرفی مقدار Al در کانی موسکویت نسبت به دو کانی تری‌اکتاهدرال بسیار بالاتر است که این مسأله وجود آلومینیوم در ورقه اکتاهدرال میکاهای دی‌اکتاهدرال مثل موسکویت را تأیید می‌نماید. مقدار پتاسیم بسیار کم و قابل چشم‌پوشی و مقدار SiO_2 زیاد در شن کوارتزی، مناسب بودن آن را به عنوان بستر جهت این پژوهش تأیید می نماید.

در فلوگوپیت به عنوان یک میکای تری اکتاهدرال (شکل ۱- الف)، در پراش نگاشت مربوط به تیمار اشباع با منیزیم (Mg)، پیک رده اول (۰۰۱) و رده سوم (۰۰۳) به ترتیب در ۱ و ۰/۳۳ نانومتر به وضوح قابل تشخیص هستند. این دو پیک در همه کانی‌های میکایی وجود دارند و تشخیص آنها در پراش نگاشت دلیلی واضح برای میکا بودن کانی به حساب می‌آید. همچنین پیک ۱/۴۵ نانومتر نیز در این کانی و در پراش نگاشت اشباع با منیزیم دیده شد. وجود این پیک بیانگر وجود ناخالصی در این کانی است. همچنین پیک ۰/۵ نانومتر در حد بسیار ضعیف قابل مشاهده است. در کانی بیوتیت (شکل ۱- ب) پیک‌های معمول رده اول و سوم در پراش نگاشت تیمار اشباع با منیزیم (Mg)، با وضوح بالایی در ۱ و ۰/۳۳ نانومتر قابل تشخیص می‌باشند. پیک ۱/۴۵ نانومتر بسیار ضعیفی نیز مشاهده می‌شود که در تیمار اشباع با اتیلن گلیکول (Mg-Eg)، نیز وجود دارد؛ ولی در تیمار پتاسیم (K) و پتاسیم با حرارت ۵۵۰°C (K-550°) این پیک حذف شده است. وجود این پیک با شدت کم را می‌توان به حضور یک کانی منبسط شونده (چون ورمیکولیت) نسبت داد. همچنین پیک ۰/۵ نانومتر بسیار ضعیفی نیز مشاهده می‌شود. به هر حال درجه

خلوص این کانی بالا بوده و می‌توان از ناخالصی موجود در آن صرف نظر کرد.

در موسکویت که یک میکای دی‌اکتاهدرال است، نتایج XRD در پراش نگاشت تیمار اشباع با منیزیم (Mg)، علاوه بر دو پیک معمول کانی‌های میکایی یعنی (۰۰۱) و (۰۰۳)، پیک (۰۰۲) بسیار واضحی را در ۰/۵ نانومتر نشان می‌دهند (شکل ۱- ج). پیک ۰/۵ نانومتر در (۰۰۲) یکی از روش‌های معمول جهت تشخیص کانی‌های میکایی دی-اکتاهدرال از تری‌اکتاهدرال می‌باشد، به طوری که اگر پیک ۰/۵ نانومتر واضح در میکا وجود داشته باشد، نشان‌دهنده دی‌اکتاهدرال‌بودن آن است و اگر پیک رده دوم ضعیفی وجود داشته باشد، یا اصلاً وجود نداشته باشد، آن میکا، میکای تری‌اکتاهدرال است (۹). این نمونه در پراش نگاشت‌های مربوط به تیمارهای اشباع با اتیلن-گلیکول (Mg-Eg)، پتاسیم (K) و پتاسیم با حرارت ۵۵۰ °C (K-550°) بدون تغییر مانده است.

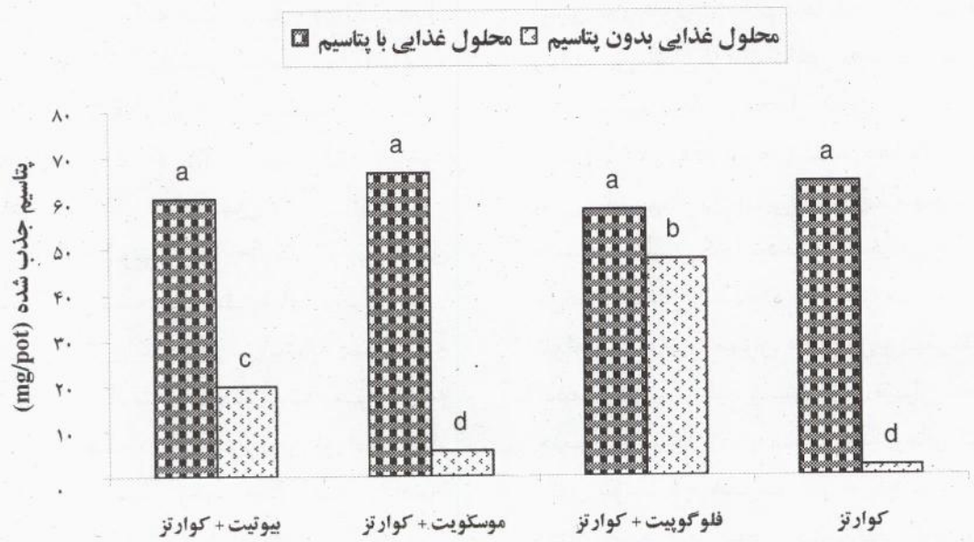
هوادیدگی کانی‌های میکایی پس از کشت گیاهان

جدول ۲ تجزیه واریانس وزن خشک، غلظت پتاسیم و مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاهان را نشان می‌دهد. تأثیر دو فاکتور آزمایش، بستر کشت و محلول غذایی بر مقادیر وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم گیاه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل دو فاکتور یاد شده در هر سه صفت مورد بررسی در گیاه معنی‌دار می‌باشد. تفاوت بین این پارامترها در گیاهان رشد کرده در بسترهای کشت حاوی کانی‌های میکایی مختلف ولی تغذیه شده با محلول غذایی کامل (پتاسیم‌دار) از نظر آماری معنی‌دار نیست (نمودارها نشان داده نشده‌اند)؛ زیرا در این گلدان‌ها نیاز گیاهان به عناصر غذایی از جمله پتاسیم از طریق محلول غذایی برطرف شده است. در گلدان‌های تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم، از آن جایی که تنها منبع تأمین پتاسیم گیاهان میکاها بودند، تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. گیاهان رشد کرده در بستر کشت حاوی فلوگوپیت بالاترین میزان محصول و بیش ترین غلظت پتاسیم در گیاه و بیش ترین میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه را نسبت به بسترهای کشت حاوی بیوتیت و موسکویت نشان می‌دهند. شکل ۲ مقدار پتاسیم جذب شده بر حسب میلی گرم در هر گلدان را نشان می‌دهد. پس از بستر کشت حاوی فلوگوپیت، گیاهان موجود در بستر کشت حاوی بیوتیت جذب پتاسیم بالایی را نشان دادند؛ اما گیاهان رشد کرده در بستر کشت موسکویت، از آن جایی که کانی موسکویت نتوانسته است پتاسیم مورد نیاز گیاهان را در طول دوره کشت فراهم نماید، علایم کمبود پتاسیم را نشان داده و دارای پایین‌ترین میزان عملکرد و پتاسیم جذب شده و مشابه گیاهان رشد کرده در بستر کشت حاوی شن کوارتزی خالص (نمونه شاهد) بودند. ریشه‌ها، عناصر غذایی را از ناحیه اطراف خود و بلافاصله چسبیده به ریشه (ناحیه ریزوسفر)، استخراج می‌نمایند. اگر

جدول ۲- تجزیه واریانس وزن خشک، غلظت پتاسیم و جذب پتاسیم گیاهان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک گیاهان	غلظت پتاسیم	پتاسیم جذب شده
بستر کشت	۳	۱/۶۷**	۵۸۸/۱۶**	۰/۵۱۳**
محلول غذایی	۱	۲۱/۳۰**	۱۵۳۷۵/۳۵**	۴/۹۰**
بستر کشت × محلول غذایی	۳	۱/۷۸**	۱۱۵۲/۸۶**	۰/۶۳**
خطا	۲۴	۰/۲۷	۴۷/۹۴	۰/۰۳۴

** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ ٪



شکل ۲- مقدار متوسط پتاسیم جذب شده توسط یونجه در بسترهای کشت متفاوت

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی دار ندارند

جریان توده‌ای مقدار کافی از عنصر غذایی مورد نظر را به ریشه عرضه ننماید، غلظت عنصر غذایی در سطح ریشه کاهش خواهد یافت و شیب غلظت حاصله، یون‌های موجود در فاصله دورتر را مجبور به حرکت به طرف ریشه به کمک جریان پخشیدگی می‌کند و به این وسیله ناحیه تخلیه یون در اطراف ریشه افزایش می‌یابد (۵).

در نمونه‌هایی که گیاهان هیچ پتاسیمی را از محلول غذایی دریافت نمی‌کنند، برای جبران کمبود پتاسیم ناچارند پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های پتاسیم-دار را استفاده کنند و این امر در ریزوسفر گیاهان به علت نقش ریشه به عنوان اندام جذب کننده عناصر غذایی اتفاق می‌افتد. جدا از نقش ریشه به عنوان اندامی برای جذب عناصر غذایی، ریشه‌ها همچنین قادرند محدوده وسیعی از اسیدهای آلی را به درون محیط اطراف ریشه (ریزوسفر) آزاد کنند. آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای از کانی فلوگوپیت، جهت تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان در نمونه‌هایی که روی این کانی به عنوان تنها منبع پتاسیم کشت شده بودند نیز گزارش شده است (۱۳).

با توجه به نتایج به دست آمده و نتایج حاصل از سایر تحقیقات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که ریشه گیاهان با ترشح H^+ می‌توانند کانی‌های رسی را متأثر نماید. علاوه بر آزادسازی H^+، جذب پتاسیم توسط ریشه گیاهان غلظت پتاسیم را در سطح ریشه کاهش می‌دهد. هنگامی که غلظت پتاسیم کم شود، ریشه‌ها قادرند پتاسیم ریزوسفر را خارج کنند و تعادل موجود را برهم زنند و منجر به آزادسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای و انبساط فضای بین‌لایه‌ای فیلوسیلیکات‌ها شده، در نتیجه منجر به تغییر شکل کانی‌ها شوند. بنابراین انتظار می‌رود که با خارج شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌ها، جهت تأمین نیاز

پتاسیمی گیاهانی که با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده‌اند، تغییرات مینرالوژیکی در آنها به وجود آمده باشد.

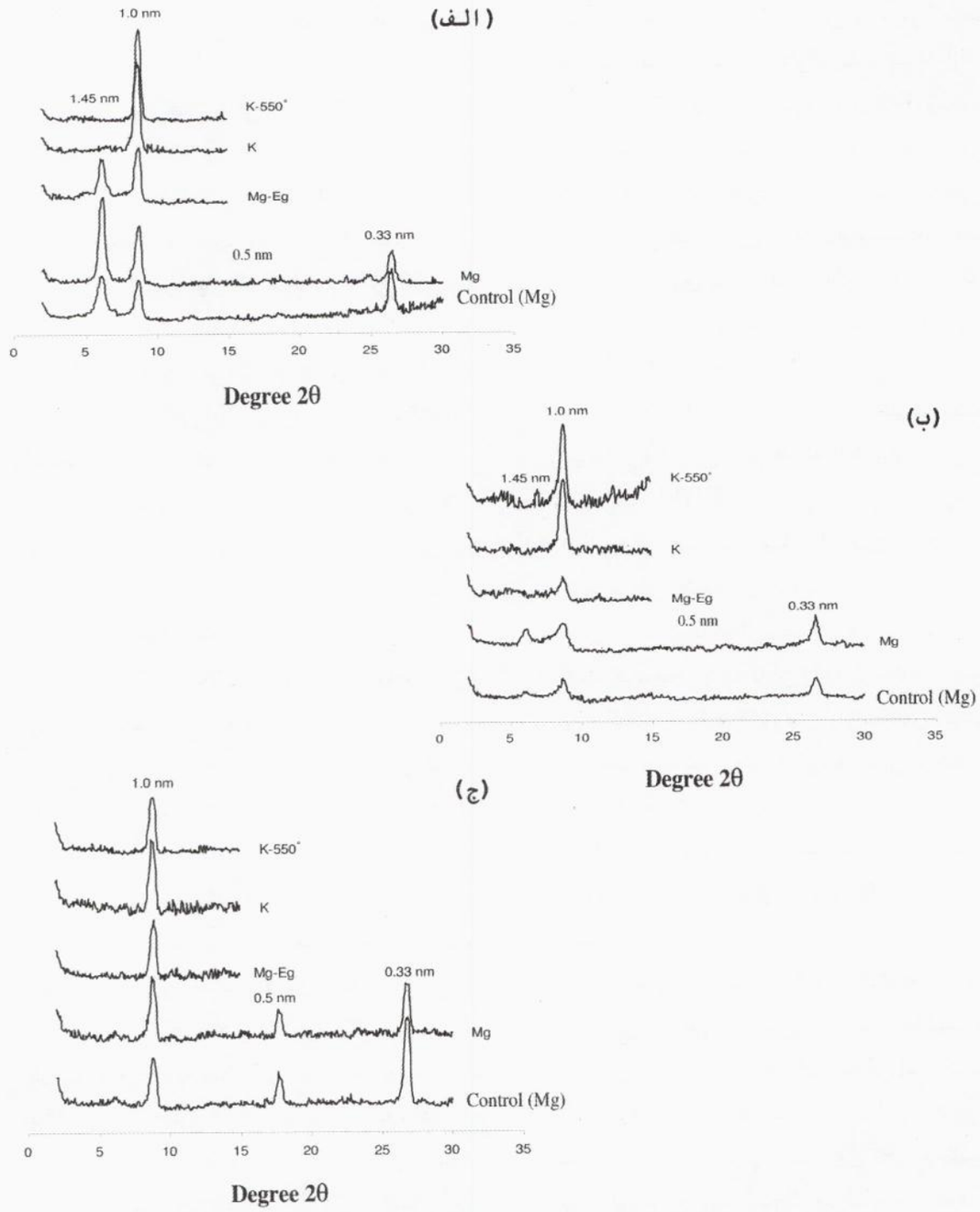
برای بررسی هوادیدگی و آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مختلف موجود در محیط کشت و در اختیار گیاه قرار گرفتن پتاسیم آنها از مطالعات XRD استفاده شد. نمودارهای XRD نمونه‌های میکا در اندازه رس قبل (شاهد) و بعد از آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است. در تمام کانی‌ها، XRD گلدان‌های بدون گیاه و گلدان‌هایی که از محلول غذایی کامل (پتاسیم‌دار) برای تغذیه گیاهان استفاده شده بود، مشابه نتایج XRD نمونه‌های شاهد می‌باشند و هوادیدگی میکا در این نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود (پراش نگاشت‌های پرتو ایکس در مورد این تیمارها نشان داده نشده‌اند.)؛ اما در نمونه-هایی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده‌اند، تفاوت‌هایی در نمودارهای XRD قبل و بعد از آزمایش مشاهده می‌شود.

در مورد بسترهای کشت حاوی کانی‌های فلوگوپیت و بیوتیت (شکل ۳- الف و ۳- ب)، مشاهده می‌شود که شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر در نمونه‌های کشت شده و تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم بزرگتر از نمونه شاهد می‌باشد. نمودار تیمار اتیلن گلیکول هیچ گونه انبساطی را باعث نشده و پیک‌ها هیچ تغییری نشان نمی‌دهند. در نمودار مربوط به نمونه‌های اشباع از پتاسیم پیک ۱/۴۵ نانومتر به‌طور کامل محو شده و شدت پیک ۱ نانومتر افزایش یافته است، که این مسأله ورمیکولیتی‌شدن این دو کانی را پس از کشت تأیید می‌کند.

در حالی که در مورد کانی موسکویت اختلافی در XRD نمونه شاهد و نمونه کشت شده و تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم مشاهده نمی‌شود (شکل ۳- ج). ورمیکولیتی‌شدن میکاهای تری-اکتاهدرال مثل بیوتیت و فلوگوپیت پس از چند هفته از کشت سویا و گندم گزارش شده است (۱۹). هینسینجر و جیلارد[1] (۱۲)، پس از ۸ روز کشت رای‌گراس ایتالیایی بر روی فلوگوپیت، شاهد آزاد-سازی چشمگیر پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت و ورمیکولیتی‌شدن قوی آن در ریزوسفر بودند و بیان نمودند که ریشه‌ها با خارج کردن پتاسیم ریزوسفر و منبسط کردن فضای بین‌لایه‌ای فیلوسیلیکات‌ها، منجر به آزادسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای و تغییر شکل فلوگوپیت به ورمیکولیت می‌شوند. هینسینجر و همکاران[2] (۱۳)، در مطالعه دیگری، پس از گذشت ۴ روز از کشت رای‌گراس بر روی فلوگوپیت، ورمیکولیتی‌شدن آن را در فاصله ۱/۵ میلی‌متری از سطح ریشه با XRD تشخیص دادند و بیان کردند که کانی‌های اولیه مثل میکاهای تری‌اکتاهدرال قادرند به طور چشمگیری پتاسیم مورد نیاز گیاه را حداقل در قسمت فعال ریشه (ریزوسفر) فراهم نمایند. هینسینجر و همکاران (۱۱)، از مطالعه خود نتیجه گرفتند که ترشح پروتون از ریشه‌های نوعی کلم مکانیزم مسئول تغییر شکل غیر قابل بازگشت فلوگوپیت تحت تأثیر ریشه بوده است و نتایج XRD تشکیل ورمیکولیت با هیدروکسید بین‌لایه‌ای (HIV) را در طول ورمیکولیتی‌شدن فلوگوپیت نشان دادند.

بدرائویی و همکاران[3] (۶)، با کشت متمرکز رای‌گراس ایتالیایی در گلدان‌های حاوی خاک‌های با میکای زیاد (ایلیت) و در خاک‌های اسمکتیتی نتیجه گرفتند که خصوصیات شیمیایی و کانی-شناسی خاک‌ها به مقدار زیادی روی تحرک پتاسیم غیرتبادلی در مجاورت گیاه اثر می‌گذارد و خاک‌های حاوی ایلیت بیش ترین آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی را داشتند. دل و همکاران[4] (۸) از تجزیه‌های XRD در مطالعه خود، تشکیل رس‌های منبسط شونده را

1- Hinsinger & Jaillard
2- Hinsinger *et al.*
3- Badraoui *et al.*
4- Doll *et al.*



شکل ۳- پراش نگاشت‌های پرتو ایکس کانی‌های میکایی در اندازه رس موجود در ریزوسفر یونجه به مدت ۹۰ روز در نمونه‌های تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم در مقایسه با نمونه شاهد در اندازه رس کانی فلوگوپیت (الف)، بیوتیت (ب) و موسکویت (ج)

(Mg: نمونه‌های اشباع شده از منیزیم، Mg-Eg : نمونه‌های اشباع از منیزیم تحت تاثیر اتیلن گلیکول، K: نمونه‌های اشباع از پتاسیم و K-550° : نمونه‌های اشباع از پتاسیم وحرارت دیده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد)

در اثر خروج پتاسیم بین‌لایه‌ای در اثر کشت نشان دادند.

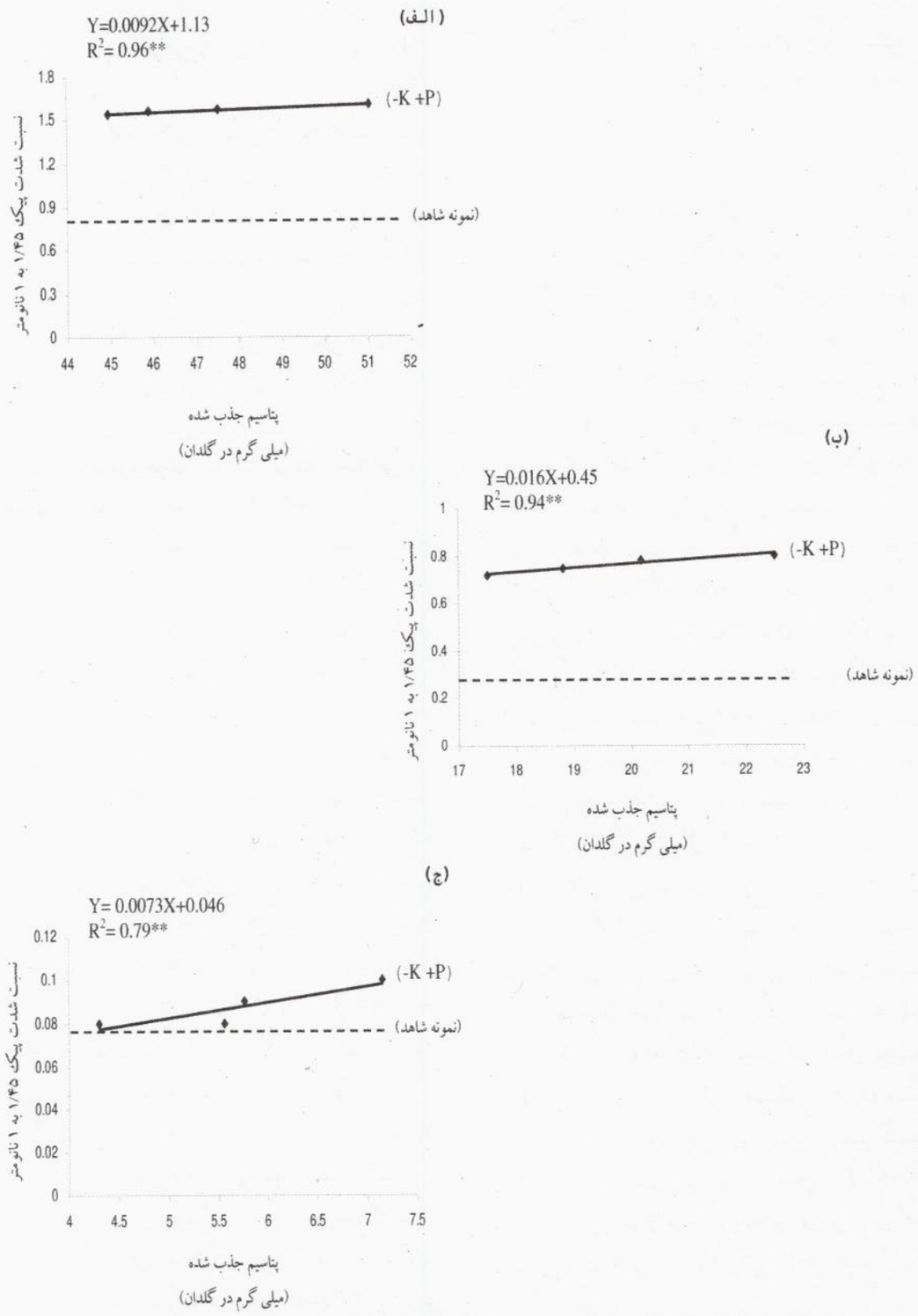
نتایج مطالعه محققان، نشان داد که کشت شبدر و رای‌گراس، بدون کاربرد کود پتاسه، منجر به کاهش قابل توجه در مقدار کانی ایلیت موجود در بستر کشت و افزایش اسمکتیت و کانی‌های مختلط ایلیت- اسمکتیت شده است و نتیجه گرفتند که حذف پتاسیم توسط گیاهان در اثر کاهش و تخلیه پتاسیم بین‌لایه‌ای در ایلیت به وجود آمده، که با تخریب کانی‌های رسی همراه است (۲۶).

رابطه شدت ورمیکولیتی‌شدن کانی‌های میکایی با میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاهان

در شکل ۴ رابطه میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاهان در تکرارهای مختلف با نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر در گیاهان کشت شده و تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم (-K +P) نشان داده شده است. این نسبت در نمونه شاهد کانی فلوگوپیت ۰/۸ بوده که پس از کشت مقدار متوسط آن به ۱/۵۷ رسیده است که حدود ۲ برابر بزرگتر از نمونه شاهد می‌باشد. نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر با افزایش میزان جذب پتاسیم رابطه خطی داشته و همبستگی معنی‌داری نشان می‌دهد (شکل ۴- الف). در مورد کانی بیوتیت نیز نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر از ۰/۲۴ به طور متوسط در نمونه شاهد به ۰/۷۶ به طور متوسط در نمونه کشت شده رسیده است (شکل ۴- ب). اختلاف معنی‌دار آماری بین نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر در نمونه شاهد و نمونه کشت شده در بستر کشت حاوی موسکویت دیده نمی‌شود (شکل ۴- ج). به طوری که مقدار متوسط نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر در نمونه شاهد ۰/۰۷۷ بوده که در نمونه کشت شده به مقدار متوسط ۰/۰۸ رسیده است که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیست. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش جذب پتاسیم توسط گیاهان، در تمام کانی‌های میکایی نسبت شدت پیک ۱/۴۵ به ۱ نانومتر افزایش یافته و روند خطی و همبستگی بالا مشاهده می‌شود.

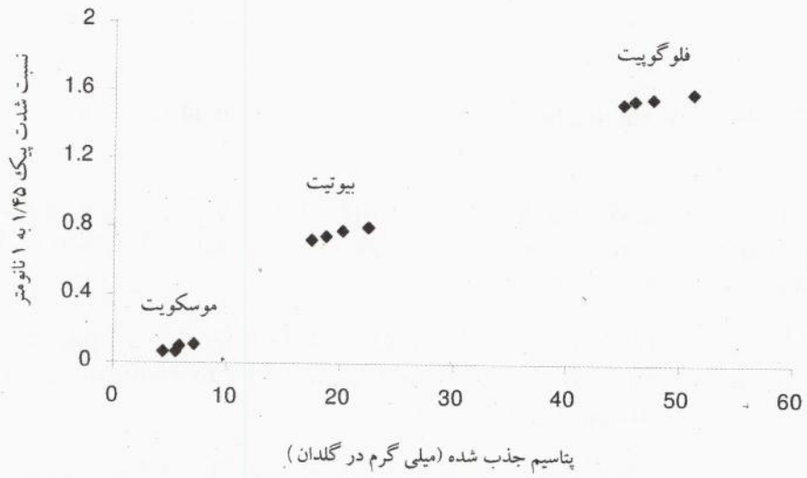
نتیجه گیری

دو کانی بیوتیت و فلوگوپیت موجود در بستر کشت یونجه، در طول دوره رشد گیاه، پتاسیم مورد نیاز گیاهان را از طریق آزاد نمودن پتاسیم ساختمانی خود تحت تأثیر ریزوسفر و مواد مترشحه از ریشه تأمین نمودند. در حالی که کانی موسکویت در محیط ریشه مقاومت بسیار بیشتری نشان داد و گیاهان رشد کرده در این بستر کشت، با کمبود پتاسیم مواجه شدند. تصور می‌شود که ریشه‌های گیاهان با ترشح H^+ و دفع آن می‌توانند کانی‌های رسی را تحت تأثیر قرار دهند. علاوه بر آزادسازی H^+، جذب پتاسیم توسط ریشه، غلظت پتاسیم را در سطح ریشه کاهش می‌دهد و ریشه‌ها پتاسیم ریزوسفر را خارج نموده و تعادل موجود را برهم می‌زنند و منجر به آزادسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای و انبساط فضای بین‌لایه‌ای فیلوسیلیکات‌ها می‌شوند. در اثر آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای در دو کانی بیوتیت و فلوگوپیت تحت تأثیر ریزوسفر گیاه یونجه، ورمیکولیتی‌شدن این دو کانی در میکاهای ناحیه ریزوسفر اتفاق می‌افتد. این در حالی است که طی دوره رشد ۹۰ روزه تغییرات قابل تشخیص توسط XRD در ساختمان کانی موسکویت دیده نشد. هوادیدگی کانی‌های حاوی پتاسیم در بستر کشت گیاهان و آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای آنها در اثر ترشحات ریشه، از جمله اسیدهای آلی و آنیون‌ها، منبعی برای تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان است.



شکل ٤- رابطه بین میزان پتاسیم جذب شده توسط یونجه و نسبت شدت پیک ۱/٤٥ به ۱ نانومتر در جزء رس بستر گیاهان کشت شده و تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم (-K +P) در مقایسه با نمونه شاهد در بسترهای کشت حاوی کانی‌های فلوگوپیت (الف)، بیوتیت (ب) و موسکویت (ج).

** از نظر آماری در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۵- رابطه میزان پتاسیم جذب شده توسط یونجه و نسبت شدت پیک ۱/٤٥ به ۱ نانومتر در جزء رس بستر گیاهان کشت شده و تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم (P+ K-)

سپاسگزاری

بودجه مورد نیاز و وسایل و امکانات لازم برای انجام این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین گردیده است که بدین‌وسیله از آن دانشگاه قدردانی می‌شود.

منابع

۱. حسین‌پور، ع. ۱۳۷۸. مطالعه تثبیت پتاسیم، کمیت به شدت و سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های ایران. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۲۳ ص.

۲. حسینی‌فرد، ج. ۱۳۷۶. شناسایی کلیه کانی‌ها و تحلیل کمی کانی‌های رسی با استفاده از XRD و روش نسبت شیب‌ها در برخی از خاک‌های مناطق پسته کاری رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۸۰ ص.

۳. خیامیم، ف.، خادمی، ح. و صالحی، م. ح. ۱۳۸۹. تغییرات کانی‌شناسی فلوگوپیت و موسکویت در اندازه رس در اثر همزیستی قارچ اندوفایت با فسکیوی بلند. نشریه آب و خاک. جلد ۲۴، شماره ۳، صص ۵۴۵ -۵۵۶.

۴. ملکوتی، م. و ریاضی همدانی، س. ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک (ترجمه). انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۸۰۰ ص.

۵. ملکوتی، م.، شهابی، ع. و بازرگان، ک. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران. انتشارات سنا. ۳۰۲ ص.

6. Badraoui, M., Bloom, P.R., and Delmaki, A. 1992. Mobilization of nonexchangeable K by ryegrass in five Moroccan soils with and without mica. Plant and Soil, 140: 55-63

7. Darrah, P. R. 1993. The rhizosphere and plant nutrition: A quantitative approach. Plant and Soil, 155/156: 1-20.

8. Doll, E.C., Mortland, M.M., Lawton, K., and Ellis, B.G. 1965. Release of potassium from soil fractions during cropping. Soil Science Society of America Journal. Proceeding, 29: 699-702.

9. Fanning, D.S., Keramidas, V.Z., and El. Desoky, M.A. 1989. Micas. pp: 552-634. In Dixon, J.B. and Weed, S.B. (eds.), Minerals in Soil Environment. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison. WI.

10. Goulding, K.W.T. 1987. Potassium fixation and release. In Methodology in soil-K research. pp: 137-154. In 20th Colloq. of Int. Potash Inst. Baden bei Wien, Austria.

11. Hinsinger, P., Elsass, F., Jaillard, B., and Robert, M. 1993. Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. Journal of Soil Science, 44: 535-545.

12. Hinsinger, P., and Jaillard, B. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. Journal of Soil Science, 44: 525-534.

13. Hinsinger, P., Jaillard, B., and Dufey, J.E. 1992. Rapid weathering of trioctahedral mica by the roots of ryegrass. Soil Science Society of America Journal, 56: 977-982.

14. Jones, U.S. 1978. Fertilizers and Soil Fertility. Printice-Hall of India. 214 p.

15. MacLean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurements of plant available potassium. In Munson, R.D. (ed.). Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, WI., pp: 278-309.

16. Martin, W.H., and Sparks, D.L. 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 16: 133-162.

17. Medvedeva, O.P. 1983. Nonexchangeable, fixed, fertilizer potassium as an indicator of potassium availability to plants. Agrokhimiya, 11: 25-31.

18. Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrient in soils. Advances in Soil Science, 1: 65-131.

19. Mojallali, H., and Weed, S.B. 1978. Weathering of micas by mycorrhizal soybean plants. Soil Science Society of America Journal, 42: 367-372.

20. Naderizadeh, Z., Khademi, H., and Arocena, J.M. 2010. Organic matter induced mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite in alfalfa rhizosphere. Geoderma, 159: 296-303.

21. Rich, C.I. 1968. Mineralogy of soil potassium. In Kilmer, V.I., Younts, S.E., and Brady, N.C. (eds.), The Role of Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, WI., pp: 79-108.

22. Sparks, D.L. 1986. Potassium release from sandy soils. In Nutrient Balances and the Need for Potassium. Proceedings of the 13th International Potash Institute Congress. Reims. France, pp: 93-105

23. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In Munson, R.D. (ed.), Potassium in Agriculture. ASA, CSSA, SSSA. Madison. WI. pp: 201-276.

24. Spyridakis, D.E., Chesters, G., and Wilde, S.A. 1967. Kaolinization of biotite as a result of coniferous and deciduous seedling growth. Soil Science Society of America Proceedings, 31: 203-210.

25. Stegner, R. 2002. Plant Nutrition Studies. Lamotte Company. Maryland, USA. pp: 9-10

26. Tributh, H., Boguslawski, E.V., Lieres, A.V., Steffens, D., and Mengel, K. 1987. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay mineral. Journal of Soil Science, 143: 404-409.