

## تأثیر ماده آلی بر قابلیت جذب پتاسیم از میکاهای دوجایی و سه‌جایی توسط یونجه

زینب نادری زاده و حسین خادمی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

### چکیده

مطالعات فراوانی در زمینه تأثیر ماده آلی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، حاصل‌خیزی و بیولوژیکی خاک‌ها، از جمله تأثیر مواد آلی بر قابلیت جذب عناصری مثل فسفر، نیتروژن، فلزات سنگین و غیره صورت گرفته است، ولی تأثیر ماده آلی بر قابلیت جذب پتاسیم از کانی‌های میکایی بررسی نشده است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر ماده آلی بر رهاسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی توسط یونجه صورت گرفت. تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. بستر کشت مخلوطی از شن کوارتزی، دو نوع کانی میکایی (موسکویت یا فلوگوپیت) و ماده آلی در سه سطح شاهد، نیم و یک درصد بود. از یونجه رقم رهنانی برای کشت استفاده شد. در دوره ۱۲۰ روزه کشت گیاهان با محلول غذایی کامل یا بدون پتاسیم تغذیه شدند. پس از اتمام دوره رشد، بخش هوایی و ریشه گیاهان برداشت و عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک انجام و مقدار پتاسیم عصاره‌ها تعیین شد. حضور ماده آلی در محیط کشت دارای فلوگوپیت، در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه و اندام هوایی نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. هم‌چنین در این شرایط تغذیه‌ای تنها کانی فلوگوپیت توانست غلظت پتاسیم اندام هوایی را به حد کفایت برساند. از لحاظ غلظت پتاسیم، بین سطوح مختلف ماده آلی در تیمار بدون کانی میکایی و تیمار دارای موسکویت در شرایط بدون پتاسیم تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در هر دو وضعیت تغذیه‌ای، حضور ماده آلی در محیط کشت دارای فلوگوپیت باعث افزایش معنی‌دار میزان جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه نسبت به شرایط بدون ماده آلی شد. ولی در بستر دارای موسکویت، در شرایط بدون پتاسیم حضور ماده آلی تفاوت معنی‌داری در جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه ایجاد نکرد. تجزیه ماده آلی و فعالیت‌های ریشه، اسیدیته ریزوسفر را افزایش داده و آزادسازی پتاسیم را تنها در کانی سه‌جایی فلوگوپیت در شرایط کمبود پتاسیم تسهیل کرده است. بنابراین تأثیر ماده آلی روی آزادسازی پتاسیم به نوع کانی میکایی وابسته است.

واژه‌های کلیدی: فلوگوپیت، موسکویت، رهاسازی پتاسیم، ماده آلی، یونجه

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی زیادی دارند. به دلیل کشت فشرده و کاربرد کم کودهای پتاسیمی، پتاسیم تبادلی تخلیه گردیده و در این شرایط پتاسیم غیرتبادلی می‌تواند منبع مهمی در تأمین نیاز پتاسیمی گیاه باشد (۲۳).

مطالعات مختلفی نقش پتاسیم غیرتبادلی را در تأمین نیاز گیاه به این عنصر غذایی به اثبات رسانده‌اند (۷، ۹، ۲۱ و ۲۲). تغذیه مناسب گیاه، تحت تأثیر جایگزینی پتاسیم محلول خاک از طریق آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از کانی‌های میکایی است. بنابراین برای حداکثر رشد گیاه، پتاسیم محلول و تبادلی خاک باید به‌طور مداوم از طریق آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در اثر هوادهی ذخایر پتاسیم یا افزودن کودهای پتاسیمی جایگزین شود (۲۹). نیاز گیاه به پتاسیم، شکل ظاهری و فعالیت ریشه و همچنین قدرت اسیدی کردن ریزوسفر بر آزادسازی پتاسیم معدنی از کانی‌های پتاسیم‌دار اثر می‌گذارد (۳۲).

میر و جونگ در تحقیقی دریافتند که گیاه در نزدیک ریزوسفر خود پتاسیم غیرتبادلی را بیشتر از پتاسیم تبادلی و محلول استفاده می‌کند. این محققین هم‌چنین نشان دادند که به ترتیب ۲۱ و ۳۶ درصد از پتاسیم جذب‌شده توسط چغندرقتد و گندم از فرم غیرتبادلی بوده است (۲۲). کاسمن و همکاران با مطالعه روی برنج به این نتیجه رسیدند که این گیاه بیشتر نیاز پتاسیمی خود را از طریق پتاسیم غیرتبادلی تأمین می‌کند که دلیل آن را تراکم بالای ریشه برنج و غلظت کم پتاسیم محلول بیان کردند (۹). هم‌چنین منگل در تحقیقی که روی جذب پتاسیم غیرتبادلی توسط گیاه انجام داد، بیان کرد که بیشتر گیاهان، به ویژه تک‌لپه‌ای‌ها از منبع پتاسیم غیرتبادلی استفاده می‌کنند (۲۱). علاوه بر این نتایج تحقیق هینسینجر و همکاران نشان داد که کلم توانست در محیطی که کانی فلوگوپیت تنها منبع تأمین پتاسیم و منیزیم برای گیاه بود پس از ۴ روز آزادسازی این دو عنصر را افزایش دهد (۱۴). بدرائویی و همکاران نیز از گیاه رای‌گراس برای تعیین سهم پتاسیم

غیرتبادلی در تأمین نیاز گیاهان استفاده کردند و نتیجه گرفتند که ظرفیت یک خاک برای فراهم کردن پتاسیم برای رشد گیاهان بستگی به توانایی آن خاک در آزاد کردن پتاسیم از بین لایه‌های سیلیکات‌های لایه‌ای دارد (۷).

اسیدهای آلی که در خاک‌ها از تجزیه باقی‌مانده‌های گیاهی، حیوانی، مواد هومیکی، متابولیسم میکروبی و فعالیت‌های ریزوسفر تولید می‌شوند (۲۵) برای هوادهی کانی‌های اولیه خاک مهم هستند. اسید فولویک و اسید هومیک از عوامل مهم هوادهی شیمیایی هستند (۳۱). این اسیدها محلول در آب هستند و با آزادسازی پروتون در محلول خاک اسیدیته آن را افزایش می‌دهند (۱۷). از دیگر اسیدهای آلی خاک‌ها می‌توان به اسیدهای استیک، فوماریک، سیتریک، فرمیک، لاکتیک، مالیک، مالیک، مالونیک، آگزالیک و تارتاریک اشاره کرد (۲۸). این اسیدها می‌توانند هوادهی کانی‌ها را از طریق مکانیسم‌های پروتون‌دهی، کلات کردن یون‌های فلزی و احیای فلزات تسهیل کرده و عناصر غذایی را از خاک‌ها آزاد کنند (۲۶). شادی و همکاران تأثیر اسیدهای آلی در آزادسازی پتاسیم را به تشکیل کمپلکس با این عنصر و آزاد شدن پروتون نسبت دادند که از این طریق باعث تسهیل هوادهی کانی‌ها می‌شوند (۲۷). تشکیل کمپلکس اسیدهای آلی با فلزات، به دلیل وجود عوامل هیدروکسیل (OH) و کربوکسیل (COOH) آنهاست (۵).

لیندروس و همکاران بیان کردند که حضور مواد آلی حل شده در محلول خاک تأثیر شایانی بر هوادهی کانی‌ها و آزادسازی عناصر دارد. هم‌چنین آنها تولید دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس ریشه‌ها و ریزجانداران را از دیگر عوامل مؤثر بر آزادسازی عناصر از کانی‌ها در ریزوسفر گیاه معرفی کردند (۱۹). بر اساس نتایج لوندسترام، در نتیجه تشکیل کمپلکس بین مواد آلی حل‌شده و آهن و آلومینیوم، سرعت هوادهی افزایش می‌یابد که این عامل اصلی در توسعه افق A در خاک‌های پودزول است (۲۰). خادمی و آروسینا نیز در تحقیقی تأثیر ریزوسفر گیاه و ماده آلی (پیت) بر آزادسازی منیزیم از کانی‌های سپولیت و پالیگورسکیت را بررسی کردند.

و کاهش ظرفیت تثبیت ذرات هیدروکسید آهن و آلومینیم با ایجاد پوشش هموموسی روی آنها، موجب افزایش حلالیت فسفر و سهولت در جذب گیاه می‌شوند (۶). هم‌چنین مواد آلی از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول با کاتیون آهن بیشترین سهم را در رفع کمبود آهن گیاه دارند (۴). مطالعات فراوانی در مورد تأثیر مواد آلی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک‌ها انجام شده است. اما تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر ماده آلی بر رهاسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی صورت نگرفته است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر میزان ماده آلی بر قابلیت جذب پتاسیم از کانی‌های میکایی توسط یونجه، صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش از دو کانی میکایی موسکویت و فلوگوپیت که از معادنی در همدان تهیه شده بود، استفاده شد. هم‌چنین شن کوارتزی به عنوان ماده پرکننده گلدان‌ها (همراه کانی‌های میکایی) و تیمار شاهد استفاده شد. درجه خلوص کانی‌ها در مطالعه دیگری (۲۴) با استفاده از پراش پرتو ایکس (X-Ray Diffraction) و فلورسانس پرتو ایکس (X-Ray Fluorescence) تعیین شده بود.

تیمارهای آزمایش شامل بسترهای حاوی کانی میکایی (موسکویت یا فلوگوپیت) و یک بستر بدون کانی میکایی (شاهد) با سه سطح ماده آلی (کوکوپیت) ۰، ۵/۵ و ۱ درصد و دو نوع محلول غذایی با و یا بدون پتاسیم بود. در آزمایش گلخانه‌ای از گلدان‌های ۷۰۰ گرمی استفاده شد که با توجه به نوع تیمارها، بستر کشت مخلوطی از شن کوارتزی، کانی میکایی و ماده آلی (با اندازه کمتر از ۶۰ مش) بود. مقدار کانی (با اندازه کوچک‌تر از ۲۳۰ مش) اضافه‌شده به گونه‌ای بود که محیط رشد به مقدار مساوی (۳۵/۰ درصد)  $K_2O$  داشته باشد. تمامی بسترهای کشت پس از آماده شدن و قبل از کاشت

نتایج آنها نشان داد که در ریزوسفر یونجه، کلزا و جو، ایجاد اسیدیته بالا ناشی از فعالیت ریشه، تجزیه مواد آلی و جذب منیزیم توسط گیاه، تولید کانی کائولینیت می‌کند (۱۸). بنابراین اسیدهای آلی که در اثر تجزیه مواد آلی، تولید می‌گردد، می‌توانند با عناصر کمپلکس تشکیل داده و با آزاد کردن پروتون، باعث تسهیل هوادیدگی کانی‌ها شده و عناصر موجود در آنها را آزاد کنند.

مقدار قابل توجهی کانی‌های پتاسیم‌دار در اکثر خاک‌های ایران به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک وجود دارد. مطالعه حسین پور در زمینه سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های سه استان اصفهان، گیلان و چهارمحال و بختیاری نشان داد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری از خاک‌های گیلان بیشتر است. این امر نشان‌دهنده بیشتر بودن کانی‌های حاوی پتاسیم (نظیر میکاها و ورمیکولیت) در خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری نسبت به خاک‌های استان گیلان است (۱). فرپور نیز بیان کرد در تمامی نمونه‌های خاک‌های گچی منطقه رفسنجان کانی‌های رسی پالیگورسکیت، ایلیت، اسمکتیت، کلریت و کوارتز وجود دارد (۳). جلالی در مطالعه‌ای که روی خاک‌های همدان انجام داد، بیان داشت که کانی‌های رسی بیشتر خاک‌های همدان شامل ایلیت، اسمکتیت و ورمیکولیت با مقدار کمی کائولینیت است و حضور این کانی‌ها پتانسیل این خاک‌ها را در آزادسازی پتاسیم نشان می‌دهد (۱۵). این مطالعات حضور کانی‌های پتاسیم‌دار در خاک‌های کشور به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک را ثابت می‌کند.

افزودن مواد آلی به خاک به میزان قابل توجهی بر خصوصیات فیزیکی مانند قابلیت نفوذ، وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت نگه‌داری آب و ویژگی‌های شیمیایی از جمله پ‌هاس، ظرفیت تبادل کاتیونی، ازت کل، مقدار فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی، غلظت عناصر سنگین و قابلیت جذب عناصر اثر می‌گذارد (۱۰). هوموس و اسید هومیک تولیدشده از تجزیه باقی‌مانده‌های آلی از طریق تشکیل کمپلکس‌های فسفوهمیک

عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک (۲) انجام و مقدار پتاسیم عصاره‌ها تعیین شد. داده‌های به دست آمده از آزمایش با نرم افزارهای SAS 9.1 و SPSS 16 تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج پهاش زه‌کش‌ها که در جدول ۳ آمده است، نشان می‌دهد پهاش محیط کشت در دوره رشد کاملاً کنترل شده و از این لحاظ شرایط برای رشد گیاه مناسب بوده است. در حضور ماده آلی، پهاش محیط نسبت به تیمارهای بدون ماده آلی کاهش پیدا کرده که این نشان می‌دهد ماده آلی تجزیه شده و توانسته است تا حدودی اسیدیته محیط کشت را به ویژه در اواخر دوره کشت افزایش دهد. در مورد زه‌کش‌های تهیه شده در ۳۰ و ۶۰ روز پس از کشت در بسترهای دارای کانی فلوگوپیت چنین نتیجه‌ای دیده نشد، به نظر می‌رسد علت آن جایگزینی یون‌های پروتون تولیدشده از تجزیه ماده آلی به جای پتاسیم بین لایه‌ای کانی بوده است. به همین دلیل پهاش محیط تغییر چندانی نکرده است. نتایج جدول ۴ نیز نشان می‌دهد در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم زه‌کش‌های تهیه‌شده از بسترهای حاوی فلوگوپیت در هر سه مرحله، مقدار پتاسیم بیشتری نسبت به بستر بدون کانی میکایی (شاهد) و بستر دارای موسکویت داشته‌اند که این آزادسازی بیشتر پتاسیم از کانی سه‌جایی فلوگوپیت را نشان می‌دهد.

غلظت پتاسیم اندام هوایی در تمامی بسترهای کشت در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم بالاتر از حد کفایت برای گیاه یونجه (۸) است (شکل ۱- الف). در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده‌اند، تنها کانی فلوگوپیت توانسته است نیاز گیاه به پتاسیم را تأمین و غلظت پتاسیم اندام هوایی را به بالاتر از حد کفایت گیاه (۸) برساند. هینسنینجر و همکاران بیان کردند که کانی‌های اولیه مثل میکاهای سه‌جایی قادرند به طور چشمگیری پتاسیم مورد نیاز گیاه را حداقل در قسمت فعال ریشه (ریزوسفر) فراهم نمایند (۱۳). کانی دوجایی

بذرها، جهت شروع تجزیه ماده آلی به مدت یک ماه انکوباسیون شدند. در شروع انکوباسیون به تمامی بسترها ۱۰ میلی‌لیتر عصاره (با ۴۹ میلی‌گرم برلیتر پتاسیم) تهیه‌شده از یک خاک زراعی برای افزایش فعالیت میکروبی اضافه و در دوره انکوباسیون رطوبت گلدان‌ها نیز در حد ظرفیت زراعی حفظ شد. لازم به ذکر است شن کوارتزی (در اندازه بزرگ‌تر از ۲۰۰ مش) قبل از استفاده با اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و آب مقطر شستشو و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک شد.

ترکیب عنصری کانی‌های میکایی و شن کوارتزی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد مقدار پتاسیم موجود در شن کوارتزی بسیار ناچیز است و از این نظر برای آزمایش بسیار مناسب بود. جهت حذف پتاسیم تبادلی احتمالی بر سطح ماده آلی و همچنین افزایش نسبت C/N برای جلوگیری از ایجاد کمبود نیتروژن، ماده آلی ابتدا با کلرید آمونیوم ۱ نرمال اشباع و سپس با آب مقطر شستشو و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آون خشک گردید. مقدار کربن، نیتروژن و پتاسیم ماده آلی (کوکوپیت) به ترتیب با روش‌های سوزاندن تر، کج‌دال و خاکستر خشک (۲) اندازه‌گیری شد. ماده آلی استفاده شده در این آزمایش می‌بایستی کمترین پتاسیم ممکن را دارا می‌بود تا پتاسیم آن به عنوان منبع تغذیه‌ای برای گیاهان استفاده نشود. پس از اندازه‌گیری پتاسیم چند باقی‌مانده گیاهی، کوکوپیت به علت داشتن کمترین مقدار پتاسیم به عنوان ماده آلی انتخاب شد (جدول ۲).

از یونجه رقم رهنانی که از ارقام مهم منطقه اصفهان است، جهت کشت استفاده شد. در طول دوره ۴ ماهه کشت گیاهان با محلول غذایی تغذیه (۳۰) و با آب مقطر آبیاری شدند. هم‌چنین در دوره کشت در سه مرحله از تمام تیمارها با اضافه کردن حجم مشخص آب مقطر به گلدان‌ها زه‌کش تهیه و مقدار پتاسیم و پهاش آنها تعیین گردید. در پایان دوره رشد، ریشه و اندام هوایی برداشت و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری،

جدول ۱. تجزیه عنصری کانی های میکایی و شن کوارتزی استفاده شده در آزمایش به وسیله فلورسانس پرتو ایکس (بر حسب درصد)(۲۴)

Total	LOI <sup>1</sup>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	
۹۹/۵۴	۴/۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۱/۷۶	۰/۱۷	۹/۹۸	۴۸/۳۴	۳۳/۹۲	۰/۰۸	۰/۶۴	موسکویت
۹۹/۶۳	۰/۹	۰/۵۶	۰/۰۳۷	۰/۱۱	۴/۶۹	۴/۲۱	۹/۲۹	۴۲/۲۴	۱۴/۶	۲۲/۵۴	۰/۴۵	فلوگوپیت
۹۹/۸۶	۰/۴۸	-	-	-	۰/۵۷	۰/۶۱	<۰/۱	۹۷/۵۳	۰/۳۶	۰/۱۱	<۰/۱	کوارتز

۱. کاهش وزن در دمای بالا

جدول ۲. مقدار کربن، نیتروژن و پتاسیم ماده آلی اشباع شده با کلرید آمونیوم استفاده شده در آزمایش (بر حسب درصد)

C	N	K
۴۸	۰/۸۰	۰/۰۰۰۲۵

جدول ۳. متوسط پهاش زهکش های تهیه شده از بسترهای متفاوت کشت در شرایط تغذیه گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم (-K) و با پتاسیم (+K)

۱۱۰ روز پس از کشت		۶۰ روز پس از کشت		۳۰ روز پس از کشت		بسترهای کشت
+K	-K	+K	-K	+K	-K	
۷/۳	۷/۹	۷/۲	۷/۸	۷/۳	۷/۱	شن کوارتزی (بدون ماده آلی)
۶/۹	۷/۵	۷/۲	۷/۱	۶/۲	۵/۸	شن کوارتزی + نیم درصد ماده آلی
۶/۸	۶/۶	۶/۶	۶/۸	۶/۲	۵/۲	شن کوارتزی + یک درصد ماده آلی
۷/۰	۸/۲	۷/۱	۷/۹	۷/۴	۶/۷	شن کوارتزی + موسکویت (بدون ماده آلی)
۶/۴	۷/۷	۷/۱	۷/۶	۶/۶	۶/۸	شن کوارتزی + موسکویت + نیم درصد ماده آلی
۵/۸	۷/۶	۶/۶	۷/۲	۶/۳	۶/۶	شن کوارتزی + موسکویت + یک درصد ماده آلی
۷/۰	۷/۳	۷/۴	۷/۳	۷/۷	۷/۲	شن کوارتزی + فلوگوپیت (بدون ماده آلی)
۶/۸	۶/۲	۷/۳	۷/۵	۷/۶	۷/۱	شن کوارتزی + فلوگوپیت + نیم درصد ماده آلی
۶/۴	۶/۷	۷/۰	۷/۵	۷/۱	۷/۵	شن کوارتزی + فلوگوپیت + یک درصد ماده آلی

سپس جوان به صورت زردی و سوختگی در نوک و حاشیه و سپس پهنک برگ‌ها مشاهده شد. در کانی موسکویت به دلیل این‌که موقعیت هیدروکسیل نسبت به ورقه‌های سیلیکات، مایل بوده و فاصله پروتون و پتاسیم زیادتر است بنابراین پتاسیم کمتر دفع می‌شود و آزادسازی پتاسیم از این کانی سخت‌تر از یک کانی سه‌جایی است (۵). فانینگ و همکاران ترتیب آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های خاک در شرایطی که

موسکویت که مقاوم به هوادیدگی است بر خلاف کانی سه-جایی فلوگوپیت در طول دوره کشت در شرایط تغذیه‌ای با محلول غذایی بدون پتاسیم نتوانسته است نیاز گیاه به پتاسیم را تأمین نماید و علائم کمبود پتاسیم در ابتدا به صورت کاهش رشد و عملکرد در گیاهان کشت‌شده در بسترهای حاوی این کانی و بستر بدون کانی میکایی (شاهد) دیده شد و با تشدید کمبود، علائم ظاهری ابتدا در برگ‌های پیر و

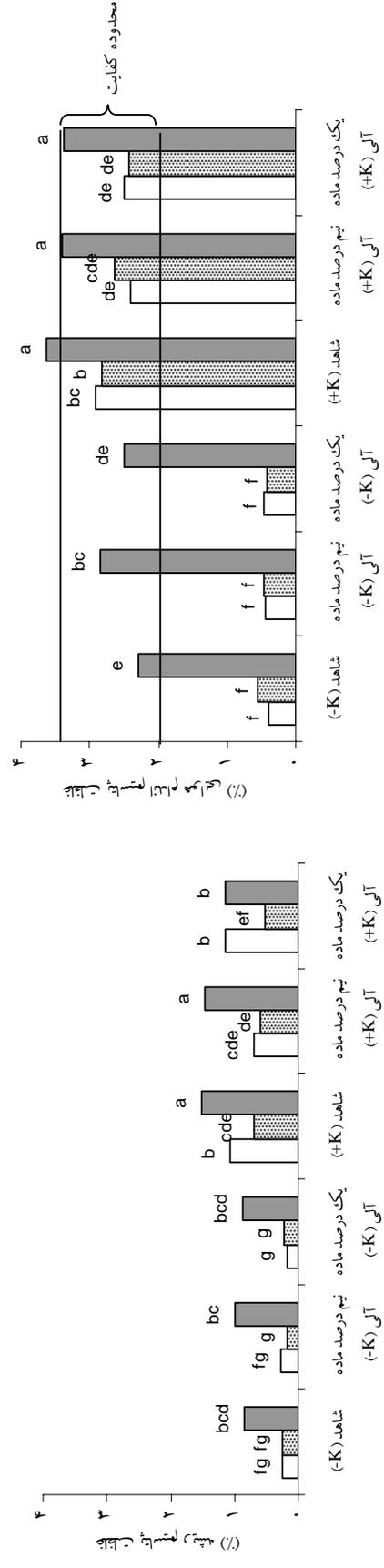
جدول ۴. متوسط مقدار پتاسیم (mg/l) زهکش‌های تهیه شده از بسترهای متفاوت کشت در شرایط تغذیه گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم (-K) و با پتاسیم (+K)

۱۱۰ روز پس از کشت		۶۰ روز پس از کشت		۳۰ روز پس از کشت		بسترهای کشت
+K	-K	+K	-K	+K	-K	
۳۲	۰/۳۷	۳۹	۳/۷	۶۷	۸/۰	شن کوارتزی (بدون ماده آلی)
۲۰	۰/۳۷	۵/۱	۱/۵	۷۳	۲/۹	شن کوارتزی + نیم درصد ماده آلی
۱۷	۰/۳۷	۱۶	۱/۶	۳۶	۲/۴	شن کوارتزی + یک درصد ماده آلی
۱۶	۰/۳۷	۱۶	۱/۲	۶۴	۹/۳	شن کوارتزی + موسکویت (بدون ماده آلی)
۱۵	۰/۳۷	۲/۹	۰/۶۷	۷۴	۸/۵	شن کوارتزی + موسکویت + نیم درصد ماده آلی
۱۴	۰/۳۷	۶/۲	۰/۶۷	۵۶	۸/۴	شن کوارتزی + موسکویت + یک درصد ماده آلی
۱۸	۵/۷	۲۹	۲/۱	۹۰	۱۷	شن کوارتزی + فلوگوپیت (بدون ماده آلی)
۱۲	۵/۷	۴/۴	۱/۲	۸۲	۹/۳	شن کوارتزی + فلوگوپیت + نیم درصد ماده آلی
۱۵	۱۲	۶/۴	۱/۵	۵۹	۱۰	شن کوارتزی + فلوگوپیت + یک درصد ماده آلی

هینسینجر و جیلارد در مطالعه‌ای که به مدت ۱ تا ۳۲ روز روی گیاه رای‌گراس ایتالیایی در محیط کشت دارای کانی فلوگوپیت به عنوان منبع پتاسیم و منیزیم انجام دادند، مشاهده کردند که تنها ۸ روز پس از کشت آزادسازی پتاسیم چشمگیر بوده و پس از ۳۲ روز این آزادسازی به ۱۹۱ گرم بر کیلوگرم رسیده و سهم زیادی در تغذیه گیاه داشته است (۱۲). بیشترین غلظت پتاسیم در اندام هوایی، مربوط به بستر حاوی فلوگوپیت تغذیه‌شده با محلول غذایی کامل و کمترین غلظت مربوط به بسترهای حاوی موسکویت و بدون کانی میکایی (شاهد) در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم بود. در وضعیتی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده‌اند، حضور ماده آلی تفاوت معنی‌داری در غلظت پتاسیم ریشه نسبت به شرایط بدون ماده آلی ایجاد نکرده است که این را می‌توان به نیاز بیشتر اندام هوایی و تحرک بالای این عنصر در آوندهای آبکش و انتقال آن به اندام هوایی نسبت داد. رهاسازی پتاسیم از کانی فلوگوپیت در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم ریشه نسبت به گیاهان کشت‌شده در دو بستر دیگر ( $P < 0/05$ ) شده است. به طور کلی غلظت پتاسیم ریشه در تمامی تیمارها نسبت به اندام هوایی کمتر بود (شکل ۱- الف و ب).

پتاسیم خاک کاهش می‌یابد به صورت میکاهای سه‌جایی < میکاهای دوجایی < فلدسپارهای پتاسیم بیان کردند (۱۱). در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم، حضور ماده آلی باعث افزایش غلظت پتاسیم اندام هوایی در بسترهای حاوی فلوگوپیت شده است. نتایج خادمی و آروسینا نیز نشان داد که در شرایط تغذیه‌ای بدون منیزیم حضور ماده آلی (پیت) در بسترهای حاوی پالیگورسکیت و سپیولیت باعث افزایش غلظت منیزیم در سه گیاه یونجه، جو و کلزا می‌شود. هم‌چنین نتایج آنها نشان داد که میزان آزادسازی منیزیم برای اپتیمم رشد یونجه در بستر دارای سپیولیت و پالیگورسکیت کافی نبوده است ولی نیاز دو گیاه دیگر به ویژه زمانی که ماده آلی در محیط کشت وجود داشته، تأمین شده است (۱۸). بین سطوح مختلف ماده آلی در بستر بدون کانی میکایی و بستر دارای موسکویت اختلاف معنی‌داری از لحاظ غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی در شرایط تغذیه گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم وجود نداشت. اما در این شرایط تغذیه‌ای، حضور ماده آلی در بستر کشت دارای فلوگوپیت باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم اندام هوایی نسبت به گیاهان کشت‌شده در بستر حاوی موسکویت و بستر بدون کانی میکایی شد ( $P < 0/05$ ).

فلوگویت + شن کوآرتزی  موسکویت + شن کوآرتزی  شن کوآرتزی 

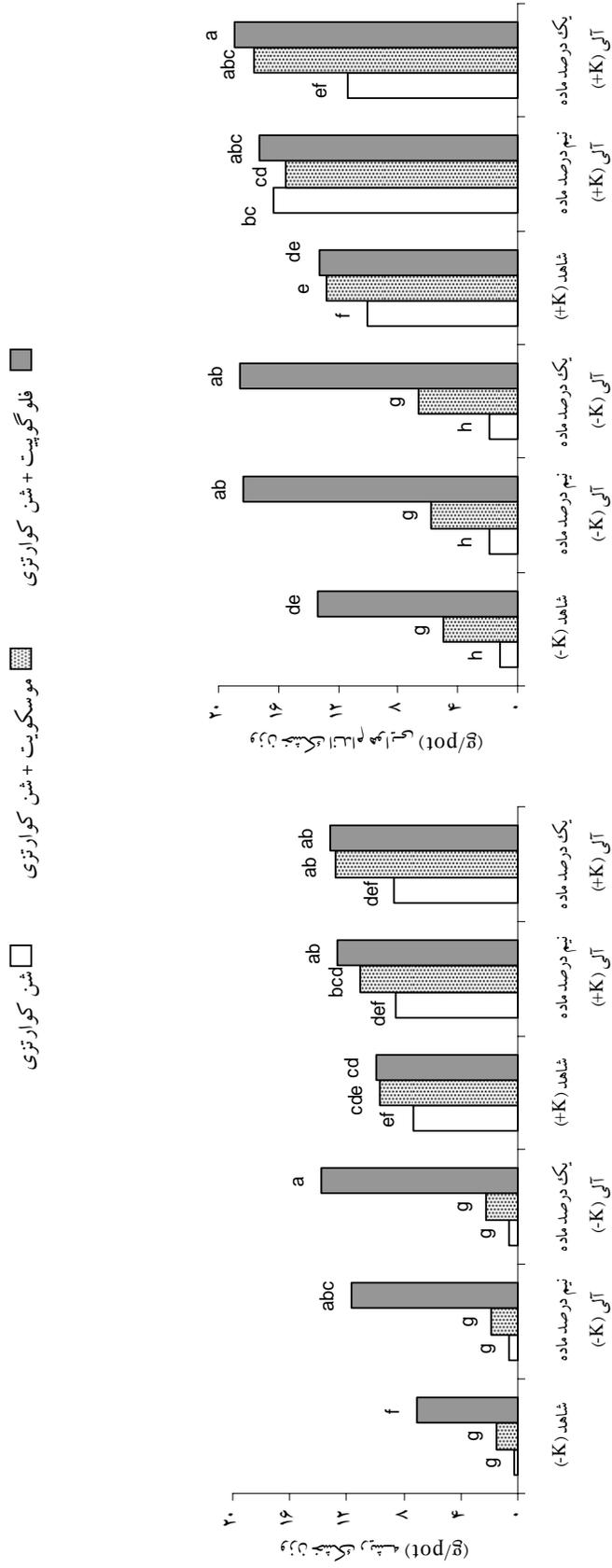


شکل ۱. میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم (-K) و با پتاسیم (+K). میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. محدوده کفایت بر اساس مرجع شماره ۸ تعیین شده است.

هوایی نسبت به شرایط تغذیه با محلول غذایی کامل شد. در واقع پتاسیم با شرکت در ساخت هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها نقش مؤثری در رشد گیاه دارد که در نتیجه کمبود آن تقسیم سلولی و رشد گیاه متوقف می‌شود (۵). گیاهان کشت‌شده در بستر حاوی فلوگوپیت و در شرایطی که با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند از نظر عملکرد اندام هوایی با گیاهان کشت‌شده در بستر مشابه از نظر کانی میکایی ولی تغذیه‌شده با محلول غذایی کامل در سطوح یکسان ماده آلی تفاوت معنی‌دار نداشتند. حضور ماده آلی در محیط کشت دارای کانی سه‌جایی فلوگوپیت در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، افزایش معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) در عملکرد اندام هوایی در مقایسه با بسترهای دارای فلوگوپیت که هیچ گونه ماده آلی به آنها اضافه نشده بود ولی با محلول غذایی کامل تغذیه شده بودند، ایجاد کرد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه در حضور ماده آلی در بستر حاوی کانی فلوگوپیت بود (شکل ۲- الف و ب).

حضور ماده آلی در محیط کشت گیاه، در هر دو وضعیت تغذیه‌ای باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) میزان جذب پتاسیم اندام هوایی نسبت به شرایط بدون ماده آلی در بستر حاوی فلوگوپیت شد. ماده آلی وضعیت فیزیکی مناسبی در محیط رشد ایجاد کرده و باعث افزایش عملکرد گیاه شده است. از طرف دیگر اسیدهای آلی تولید شده در اثر تجزیه ماده آلی با پتاسیم کمپلکس تشکیل داده (۲۷) و رهاسازی پتاسیم ساختمانی فلوگوپیت را در شرایط کمبود این عنصر تسهیل کرده و باعث افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم اندام هوایی نسبت به تیمارهای بدون ماده آلی شده است. در بستر حاوی کانی فلوگوپیت در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند حضور یک درصد ماده آلی در محیط کشت، باعث کاهش میزان جذب و غلظت پتاسیم اندام هوایی نسبت به تیمارهای دارای نیم درصد ماده آلی شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که در هنگام افزودن کودهای آلی به خاک باید به مقدار آن توجه شود زیرا مقادیر اضافی آن علاوه بر زیان

حضور ماده آلی در بسترهای حاوی کانی‌های موسکویت و فلوگوپیت، در شرایطی که این بسترها با محلول غذایی کامل (با پتاسیم) تغذیه شده بودند باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) وزن خشک اندام هوایی گیاهان نسبت به وضعیت بدون ماده آلی این بسترها، شده است. در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم، حضور ماده آلی در بستر حاوی موسکویت و بستر بدون کانی میکایی (شاهد) تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه و اندام هوایی نسبت به سطح بدون ماده آلی ایجاد نکرده است که این مسئله نشان می‌دهد کمبود پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در این دو بستر بوده است. ولی ماده آلی در بستر حاوی کانی سه‌جایی فلوگوپیت باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم شده است. از نظر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری بین سطح ۵/۰ و ۱ درصد ماده آلی در بستر حاوی کانی فلوگوپیت دیده نشد. نتیجه مشابهی در مورد ریشه نیز به دست آمد که این نشان می‌دهد ۵/۰ درصد ماده آلی جهت ایجاد شرایط لازم برای هوادیدگی این کانی و رهاسازی پتاسیم کافی بوده و نیاز پتاسیمی گیاه برای رشد مناسب تأمین شده است. در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند عملکرد اندام هوایی و ریشه در بستر حاوی فلوگوپیت، در هر سه سطح ماده آلی نسبت به بستر بدون کانی میکایی (شاهد) و بستر دارای موسکویت افزایش معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) نشان داد. در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم، افزودن ماده آلی به بسترکشت دارای موسکویت و بستر بدون کانی میکایی (شاهد) تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه در مقایسه با شرایط بدون ماده آلی این دو بستر، ایجاد نکرده است. در این شرایط تغذیه‌ای عملکرد اندام هوایی در بستر حاوی کانی دو جایی موسکویت در مقایسه با بستر بدون کانی میکایی (شاهد) بطور معنی‌داری بیشتر شده است. در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، کمبود پتاسیم در تیمار بدون کانی میکایی (شاهد) و تیمار دارای موسکویت باعث کاهش معنی‌دار عملکرد اندام

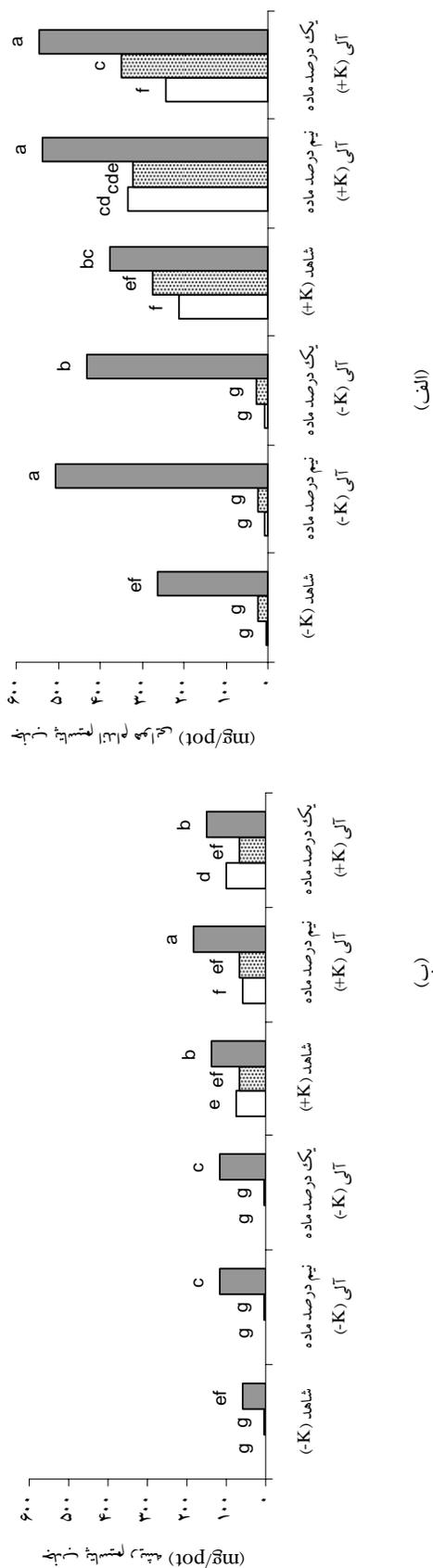


(ب)

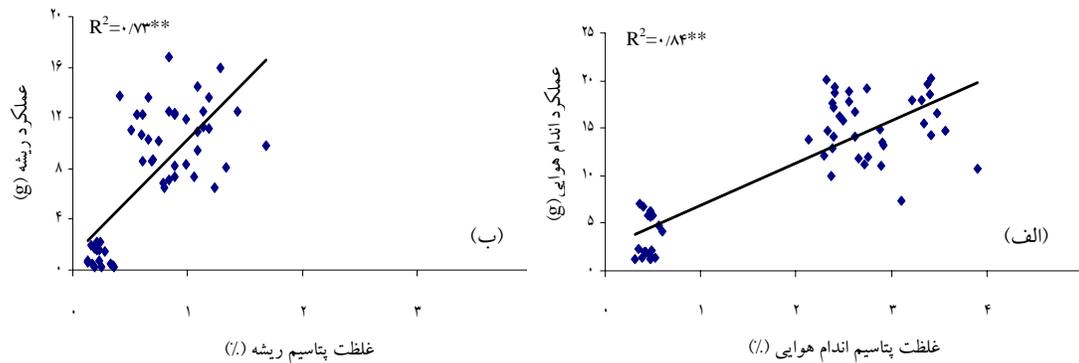
(الف)

شکل ۲. میانگین وزن خشک اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) در شرایط تغذیهای بدون پتاسیم (-K) و با پتاسیم (+K). میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

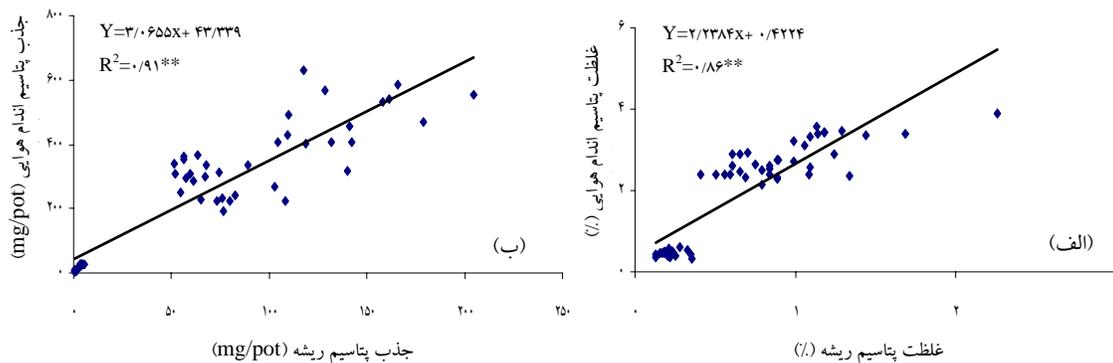
شبن کوآرتزی      فلوکوئیت + شبن کوآرتزی      موسکوئیت + شبن کوآرتزی



شکل ۳. میانگین جذب پتاسیم در ارقام هوایی (الف) و ریشه (ب) در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم (-K) و با پتاسیم (+K). میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.



شکل ۴. رابطه بین عملکرد و غلظت پتاسیم اندام هوایی (الف) و ریشه (ب). رابطه در سطح ۱ درصد معنی دار است.



شکل ۵. رابطه بین غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی (الف) و رابطه بین جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی (ب). رابطه در سطح ۱ درصد معنی دار است.

اقتصادی، ممکن است حتی در خاک‌های حاوی میکای سه-جایی، کمبود پتاسیم به وجود آورده و کوددهی پتاسیم به صورت همراه ضرورت یابد. در هر دو وضعیت محلول غذایی، بستر دارای فلوگوپیت از نظر میزان جذب پتاسیم در ریشه و اندام هوایی با دو بستر بدون کانی میکایی (شاهد) و بستر دارای موسکویت در هر سه سطح ماده آلی تفاوت معنی دار ( $P < 0.05$ ) نشان داد. ولی در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم بین بستر دارای کانی موسکویت و بستر بدون کانی میکایی (شاهد) از نظر میزان جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه تفاوت معنی داری در سطوح متفاوت ماده آلی وجود نداشت. در واقع

حضور ماده آلی در محیط کشت باعث شده است که در بستر حاوی کانی فلوگوپیت در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده‌اند، مقدار جذب پتاسیم در اندام هوایی نسبت به وضعیت بدون ماده آلی اما تغذیه شده با محلول غذایی کامل بیشتر باشد. به نظر می‌رسد تجزیه ماده آلی و فعالیت‌های ریشه اسیدیته ریزوسفر را افزایش داده و این آزادسازی پتاسیم ساختاری را از کانی سه‌جایی فلوگوپیت در شرایط کمبود این عنصر تسهیل کرده است (شکل ۳- الف و ب).

رابطه بین عملکرد و غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه و همچنین رابطه بین عملکرد و غلظت پتاسیم ریشه در شکل ۴-

فلوگوپیت تحت تأثیر تجزیه ماده آلی به خوبی توانسته است پتاسیم خود را آزاد کرده و غلظت پتاسیم اندام هوایی را به حد کفایت برساند، ولی در مورد کانی دوجایی موسکویت که مقاوم به هوادیدگی است حتی حضور ماده آلی در بستر کشت هم باعث تسهیل هوادیدگی و رهاسازی پتاسیم آن نشده است و گیاهان در حضور این کانی علاوه بر کاهش رشد و عملکرد، علائم ظاهری کمبود هم نشان دادند. بنابراین در خاک‌های با ذخایر بالای پتاسیم، باید نوع کانی‌های پتاسیم‌دار و میزان رهاسازی پتاسیم آنها در هنگام توصیه کودی مورد توجه قرار گیرد و هم‌چنین می‌توان با افزودن کود آلی به این خاک‌ها علاوه بر ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب در خاک، رهاسازی پتاسیم کانی‌ها را نیز تا حدودی تسهیل کرد. البته میزان کود آلی که به این منظور به خاک‌ها اضافه می‌گردد مهم است، زیرا حتی در خاک‌های حاوی میکاهای سه‌جایی، در مقادیر بالای ماده آلی ممکن است کمبود پتاسیم ظاهر شود و کوددهی پتاسیم به‌صورت همراه ضرورت یابد. هم‌چنین در هنگام کوددهی آلی به خاک‌ها بایستی توجه شود که علاوه بر تأثیر کود آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و تأمین مستقیم عناصر غذایی، به صورت غیر مستقیم نیز کود آلی روی فراهمی زیستی عناصر غذایی مؤثر است. علاوه بر این ماده آلی قابلیت جذب سایر عناصر (شامل فلزات سنگین) در خاک را نیز افزایش می‌دهد که باید در مدیریت خاک‌ها مد نظر قرار گیرد.

الف و ب نشان داده شده است. رابطه بالا و معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین عملکرد اندام هوایی با غلظت پتاسیم آن دیده شد. در مورد ریشه نیز مشابه اندام هوایی، رابطه بین عملکرد و غلظت پتاسیم آن بالاست، ولی نسبت به اندام هوایی کمتر است که این نشان می‌دهد نیاز پتاسیمی ریشه برای رسیدن به حداکثر عملکرد، نسبت به اندام هوایی کمتر است. شکل ۵- الف و ب نشان می‌دهد رابطه بین غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی و هم‌چنین رابطه بین جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی نیز بالاست. علاوه بر این شیب شکل ۵- الف نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم اندام هوایی  $2/2$  برابر ریشه است که نیاز بیشتر اندام هوایی به پتاسیم را نشان می‌دهد. میزان جذب پتاسیم اندام هوایی نیز ۳ برابر ریشه است که این به دلیل عملکرد و نیاز پتاسیمی بیشتر اندام هوایی نسبت به ریشه است (شکل ۵- ب). به طور کلی این ضرایب تبیین بالا، نشان می‌دهد که کمبود پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه بوده است.

### نتیجه‌گیری

تجزیه ماده آلی در محیط کشت گیاهان، توانسته است شرایط مناسبی برای هوادیدگی کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم آنها فراهم کند و در شرایطی که تنها منبع تأمین پتاسیم گیاه، کانی میکایی بوده است گیاه به خوبی رشد کرده و مشابه شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم هیچ علائم کمبودی دیده نشد. البته این تأثیر کاملاً به نوع کانی میکایی وابسته است. به طوری که کانی سه‌جایی

### منابع مورد استفاده

۱. حسین پور، ع. ۱۳۷۸. مطالعه تثبیت، کمیت - شدت پتاسیم و سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در تعدادی از خاک‌های ایران. رساله دکتری خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. *ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی*. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. فرپور، م. ه. ۱۳۸۱. رابطه بین ژئومرفولوژی و تکامل خاک‌های گچی در منطقه رفسنجان. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. *حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک: مشکلات و راه‌حل‌ها*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. ملکوتی، م. ج. ع. ا. شهابی و ک. بازرگان. ۱۳۸۴. *پتاسیم در کشاورزی ایران*. انتشارات سنا، تهران.

۶. ملکوتی، م. ج. و ع. ریاضی همدانی. ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
7. Badraoui, M., P. R. Bloom and A. Delmaki. 1992. Mobilization of nonexchangeable k by regrass in five Moroccan soils with and without mica. *Plant Soil* 140: 55-63.
  8. Benton Jones, J., B. Wolf and H. A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook: a Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-Macro Pub. Inc., Georgia, USA.
  9. Cassman, K. G., D. C. Olk, S. M. Broader and B. A. Roberts. 1995. The influence of moisture regime, organic matter and root ecophysiology on availability and acquisition of potassium, implication for tropical lowland rice. *Proc. Institute on Potassium in Asis. IPI Basel*. PP. 135-156.
  10. Cecil, F. and C. F. Tester. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of Somali soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 54: 827-831.
  11. Fanning, D.S., V. Z. Keramidas and M. A. El-Desoky. 1989. Micas. PP. 551-634. *In: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments*. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI.
  12. Hinsinger, P. and B. Jaillard. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *Soil Sci.* 44: 525-534.
  13. Hinsinger, P. and B. Jaillard. 1992. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 977-982.
  14. Hinsinger, P., F. Elsass, B. Jaillard and M. Robert. 1993. Root-induced irreversible transformation of trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. *J. Soil Sci.* 44: 535-545.
  15. Jalali, M. 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1903-1917.
  16. Jalali, M. 2008. Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 145: 207-215.
  17. Kelly, E. F., O. A. Chawick and T. E. Hilinski. 1998. The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry.* 42: 21-53.
  18. Khademi, H. and J. M. Arocena. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. *Clays Clay Miner.* 56: 422-436
  19. Lindroos, A. J., T. Brugger, J. Derome and K. Derome. 2003. The weathering of mineral soil by natural soil solutions. *Water Air. Soil Poll.* 149: 269-279.
  20. Lundström, U. S. 1993. The role of organic acids in the soil solution chemistry of a podzolized soil. *J. Soil Sci.* 44: 121-133
  21. Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrient in soils. *Adv. Soil Sci.* 1: 65-131.
  22. Meyer, D. and A. Jung. 1993. Plant availability of non-exchangeable potassium, a new approach. *Plant Soil* 149: 235-243.
  23. Najafi Ghiri, M., A. Abtahi, F. Jaberian and H. R. Owliaie. 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 4(3): 434-441.
  24. Norouzi, S. and H. Khademi. 2010. Ability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization. *Plant Soil* 328: 83-93.
  25. Rao, D. N. and D. S. Mikkelsen. 1997. Effect of rice straw additions on production of organics acids in a flooded soil. *Plant Soil* 47: 303-311.
  26. Raulund-Rasmussen, K., O. K. Borggaard, H. C. B. Hansen and M. Olssen. 1998. Effect of natural organic soil solutes on weathering rates of soil minerals. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 397-406.
  27. Shady, M. A., I. Ibrahim and A. H. Afify. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. *Egypt. J. Bot.* 27: 17-30.
  28. Shen, Y., L. Ström, J. A. Jönsson and G. Tyler. 1996. Low-molecular organic acids in the rhizosphere soil solution of beech forest (*Fagus sylvatica* L.) Cambisols determined by ion chromatography using supported liquid membrane enrichment technique. *Soil Biol. Biochem.* 28: 1163-1169.
  29. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6: 1-63
  30. Stegner, R. 2002. *Plant Nutrition Studies*. Lamotte Company, Maryland, USA.
  31. Ugolin, F. C. and R. S. Sletten. 1991. The role of proton donors in pedogenesis as revealed by soil solution studies. *Soil Sci.* 151: 51-75.
  32. Wang, J. G., F. S. Zhang, Y. P. Cao and X. L. Zhang. 2000. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 56: 37-44.