



## تغییرات کانی‌شناسی فلوگوپیت طی فرآیند تهیه کمپوست غنی‌شده

\*فریبا جعفری<sup>۱</sup> و حسین خادمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان،

آستاذ گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** خاک لایه نازکی از سنگ‌های خرد شده و کانی‌ها است که سطح زمین را می‌پوشاند و حاصل برهمکنش اتمسفر، لیتوسفر، بیوسفر و هیدروسفر می‌باشد. شکل‌گیری، توسعه و عملکرد خاک بر پایداری اکوسیستم تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌های منحصربه‌فرد خاک، آن را به یکی از موضوعات کلیدی در علوم زمین تبدیل کرده است. کانی‌ها جز مهمی از محیط خاک می‌باشند که بر بسیاری از ویژگی‌های خاک مانند ظرفیت نگهداری آب در خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اثر می‌گذارند. هوادیدگی کانی‌ها یک فرآیند غالب در خاک است که عناصر غذایی را از ساختار مواد معدنی به فرم قابل جذب برای گیاهان در می‌آورد. کانی‌های میکایی از اجزای معمول خاک، رسوبات و مواد معدنی می‌باشند. مطالعات پرشماری به بررسی ویژگی‌های کمپوست غنی‌شده با ترکیبات معدنی پرداخته‌اند. اما تاکنون مطالعه‌ای به بررسی روند تغییرات کانی‌های موجود در این ترکیبات نپرداخته است. به همین دلیل، این پژوهش با هدف بررسی سرعت هوادیدگی کانی فلوگوپیت در اندازه رس موجود در کمپوست غنی‌شده با فلوگوپیت در طی زمان‌های مختلف انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** تیمارهای آزمایش شامل دو سطح کانی فلوگوپیت (۰، ۲۰٪ وزنی) و ۴ بازه زمانی (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) در ۳ تکرار بودند. میزان ۲۰ گرم مخلوط (کود گاوی + کانی) برای هر پتری‌دیش در نظر گرفته شد. در هر یک از بازه‌های زمانی ۶ پتری‌دیش خارج گردید و محتویات در آن ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و پس از پودر شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. پس از آماده‌سازی محتویات پتری‌دیش‌ها، مقدار کربن آلی به روش اکسیداسیون‌تر و مقدار نیتروژن کل نیز بر اساس روش کلدال اندازه‌گیری شد. مطالعه تغییرات کانی‌های رسی با استفاده از روش پراش پرتو ایکس صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج الگوهای پراش نگاشت پرتو ایکس بخش رس نشان داد که در طی فرآیند کمپوستینگ، فلوگوپیت به کانی ورمی‌کولایت و تا حدی اسمکتایت تبدیل شده است. میزان این تبدیل در ابتدای فرآیند با توجه به نیمه پوسیده بودن کود گاوی با سرعت بیشتری صورت گرفته و به مرور زمان با نزدیک شدن به انتهای فرآیند کمپوستینگ، سرعت تبدیل (هوادیدگی) به یک میزان ثابتی می‌رسد. تغییرات کانی‌شناسی با تغییرات زمانی نسبت C/N طی فرآیند

\* مسئول مکاتبه: f.jafari@ag.iut.ac.ir

کمپوستینگ هماهنگ است. نسبت C/N نیز در ابتدای کمپوستینگ با شیب زیادی کاهش یافته و با گذشت زمان به میزان ثابتی می‌رسد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی نتایج بیانگر آن است که افزایش عناصر قابل‌استفاده هم‌چون پتاسیم در کمپوست‌های غنی‌شده با میکا در حقیقت به واسطه هوادیدگی کانی میکایی موجود در آن‌ها می‌باشد به‌طوری‌که سرعت هوادیدگی این کانی نیز تحت تأثیر فعالیت‌های میکروبی قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** فلوگوپیت، کمپوست غنی‌شده، کود دامی، ورمی‌کولایتی شدن، هوادیدگی

### مقدمه

یون‌های معدنی باعث افزایش هوادیدگی مواد معدنی می‌شوند (۱۸). ۵- پلیمرهای خارج‌سلولی با روش‌های مختلف هوادیدگی مواد معدنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۵). ۶- عناصر آزاد شده توسط فرآیندهای هوادیدگی به‌عنوان مواد مغذی توسط میکروارگانیسم‌ها مورد مصرف قرار می‌گیرند و در نتیجه باعث تشدید هوادیدگی کانی‌ها می‌شوند. به‌عنوان مثال، پتاسیم محلول اغلب توسط موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد که جزء عناصری است که طی هوادیدگی میکاها آزاد می‌شود (۳۱).

میکاها سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند که از یک ورقه اکتاهدرال، که در بین دو ورقه تراهدرال قرار گرفته، تشکیل شده‌اند. لایه‌های ۲:۱ به‌وسیله یک سری کاتیون‌ها به‌ویژه پتاسیم، با نیروی زیادی به یکدیگر متصل شده‌اند (۴). از آن‌جایی‌که میکاها منبع مهمی برای عنصر پتاسیم محسوب می‌شوند (۳۰)، مطالعات متعددی از آن‌ها به جهت غنی‌سازی ترکیبات آلی (کود دامی، پسماندهای شهری و ...) استفاده کرده‌اند و بررسی‌های متعددی بر روی سایر ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها صورت گرفته است (۶، ۷، ۹، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۲۵). نیشانت و بیسواس (۲۰۰۸) بیان کردند که کمپوست‌های غنی‌شده با سنگ فسفات و ضایعات میکا به‌طور مؤثری باعث افزایش عملکرد گیاه گندم می‌شوند (۲۵). نتایج به‌دست آمده از

کانی‌ها جزء مهمی از محیط خاک می‌باشند (۲۷). این مواد معدنی بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و هم‌چنین بر ظرفیت نگهداری آب در خاک اثر می‌گذارند (۱۱). هوادیدگی کانی‌ها در بسیاری موارد ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد که در نتیجه باعث افزایش باروری خاک می‌شود (۱۱)، از سوی دیگر هوادیدگی مواد معدنی، تکامل خاک را نیز در پی دارد (۱۳).

عوامل بیولوژیکی اصلی مؤثر بر هوادیدگی کانی‌های سیلیکاتی عبارتند از: ۱- ریشه‌ها و هیف‌های قارچ‌ها که به‌طور فیزیکی سطوح مواد معدنی را در معرض هوادیدگی فیزیکی قرار می‌دهند و باعث می‌شوند آن‌ها با سرعت بیش‌تری دستخوش هوادیدگی شیمیایی گردند (۳۱). پژوهش‌های نشان داده است که طی هوادیدگی میکا توسط قارچ‌ها ورمی‌کولایت تشکیل شده است (۱۷، ۲۶ و ۳۱). ۲- پایداری خاک (خاکدانه‌سازی) توسط ریشه گیاهان باعث افزایش میزان آب قابل‌استفاده و در نتیجه سرعت هوادیدگی شیمیایی مواد معدنی را تسریع می‌بخشد (۵). ۳- اسیدهای آلی و معدنی در خاک، به‌عنوان محصولات جانبی میکرووب‌ها و گیاهان، می‌توانند باعث انحلال کانی‌های سیلیکاتی شوند (۵). ۴- لیگاندهای آلی با تشکیل کمپلکس با

کانی اصلی فلوگوپیت است از مطالعات پراش پرتو ایکس (شکل ۱) و فلورسانس پرتو ایکس (جدول ۱) استفاده شد. کانی مورد نظر ابتدا با آسیاب پودر شده و پس از عبور از الک ۲۷۰ مش، ذرات کوچکتر از ۵۳ میکرومتر برای تهیه بستر آزمایش انتخاب شدند.

کود گاوی نیمه پوسیده از مزرعه لورک دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه و برای کاهش آمونیاک نمونه‌ها طی چندین مرحله شسته (۱)، خشک و در نهایت از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در شکل ۲ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس ذرات رس موجود در کود دامی شسته شده که البته مقدار آن بسیار ناچیز است، آورده شده است.

**طراحی آزمایش:** تیمارهای آزمایش شامل دو سطح کانی فلوگوپیت (۰ و ۲۰٪ وزنی)، ۴ بازه زمانی (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) در سه تکرار و در مجموع ۲۴ نمونه می‌باشند.

آزمایش در پتری‌دیش انجام شد. میزان ۲۰ گرم مخلوط (کود گاوی + کانی) برای هر پتری‌دیش در نظر گرفته شد. به طوری که تیمارهای بدون کانی فلوگوپیت صرفاً حاوی ۲۰ گرم کود دامی و تیمارهای حاوی ۲۰٪ کانی فلوگوپیت حاوی ۴ گرم کانی فلوگوپیت بودند. تمامی پتری‌دیش‌ها در یک محیط تاریک قرار داده شدند. در طول آزمایش شرایط دمایی و رطوبتی محیط پتری‌دیش‌ها شامل حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۳۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی محیط بین ۴۰ تا ۴۵ درصد حفظ گردید. همچنین میزان رطوبت مخلوط داخل پتری‌دیش‌ها بین ۷۰ تا ۷۵ درصد وزنی به وسیله پاشش آب مقطر تنظیم گردید.

در هر یک از بازه‌های زمانی در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز)، ۶ پتری‌دیش خارج، محتویات در آن ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک، پودر و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی و نیتروژن کل و انجام مطالعات پراش پرتو ایکس آماده شدند.

پژوهش مینا و بیسواس (۲۰۱۴) نیز نشان داد که کمپوست غنی‌شده می‌تواند جایگزین مناسبی برای کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی پرهزینه باشد (۲۰). هم‌چنین، در مطالعه‌ای بادر (۲۰۰۶) برای افزایش سرعت تجزیه ترکیبات آلی و رهاسازی عناصر غذایی از ترکیبات کود آلی و فلدسپار پتاسیم موجود در آن از باکتری حل‌کننده سیلیکات استفاده نمود. نتایج وی نشان داد که میزان پتاسیم قابل‌استفاده به طور معنی‌داری افزایش یافت (۳). از سوی دیگر، مینا و بیسواس (۲۰۱۳) طی پژوهشی به بررسی کشت سویا تحت محیط کشت کمپوست غنی‌شده با ضایعات میکا و قارچ اسپرژیلوس پرداختند. نتایج ایشان بیانگر آن بود که به طور معنی‌داری میزان عنصر پتاسیم در گیاه سویا افزایش یافت (۱۹).

نتایج بسیاری از پژوهشگران مانند مطالعات ذکر شده نشان می‌دهد که در طی فرآیند تولید کمپوست (کمپوستینگ<sup>۱</sup>)، کانی میکای موجود در این ترکیبات (ترکیبات آلی + میکا) هوادیده شده و پتاسیم از بین لایه‌ها خارج شده است. اما مطالعه‌ای که تغییرات کانی‌شناسی میکا را در طی فرآیند کمپوستینگ بررسی نماید و بتواند به روشنی نشان دهد که میکا هوادیده شده است و یا با گذشت زمان سرعت هوادیدگی میکا چگونه تغییر می‌نماید، وجود ندارد. به همین دلیل، این مطالعه با هدف بررسی هوادیدگی کانی میکا (فلوگوپیت) در اندازه رس موجود در کمپوست غنی‌شده با میکا در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**تهیه و آماده‌سازی مواد مورد استفاده:** در این پژوهش کانی میکایی فلوگوپیت از شرکت آذر طلق خریداری شد. برای تعیین خلوص و اطمینان از اینکه

#### 1- Composting

جدول ۱- تجزیه شیمیایی کانی فلوگوپیت استفاده شده در آزمایش (واحد %).

**Table 1. Chemical composition (%) of phlogopite mineral used in the experiment.**

*L.O.I	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	MgO	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
۳/۷۲	۱۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۰۷	۲۵/۴۱	۰/۱۲	۲/۸	۰/۲	۱۸/۴۴	۳۸/۷۰

\* کاهش وزن در دمای بالا (Loss on ignition)

جدول ۲- تیمارها و ترکیبات تشکیل دهنده آنها.

**Table 2. Treatments and their constituents.**

دوره زمانی (روز) Time period (day)	ترکیبات تشکیل دهنده Constituents	تیمار Treatment
0	۲۰ گرم کود گاوی 20 g cow manure	Ph 0
45-90-135-180	کمپوست کود گاوی Cow manure compost	C Ph 0
0	۴ گرم فلوگوپیت + ۱۶ گرم کود گاوی 4 g phlogopite + 16 g cow manure	Ph 20
45-90-135-180	کمپوست غنی شده (کود گاوی + کانی فلوگوپیت) Enriched compost (cow manure + phlogopite)	C Ph 20

کانی شناسی در دانشگاه Cartagena کشور اسپانیا انجام شد.

از پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار Ph 0 (نمونه رس کود گاوی) به عنوان شاهد تیمارهای C Ph 0 استفاده شد. همچنین به جهت ناخالصی (ذرات کانی) موجود در کود گاوی، شاهد تیمارهای حاوی فلوگوپیت (C Ph 20) الگوی پراش نگاشت پرتو ایکس Ph 20 می‌باشد.

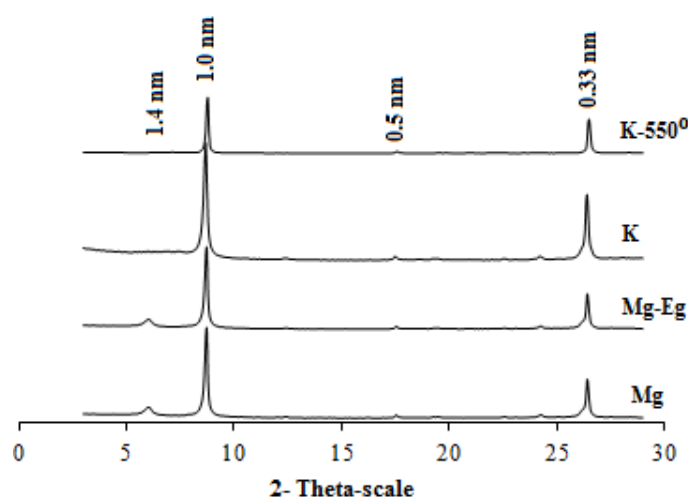
### نتایج و بحث

کانی شناسی رس نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش: پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های اشباع با منیزیم (Mg)، اشباع با پتاسیم (K)، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول (Mg-Eg)، و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد (K-550) مربوط به نمونه کانی فلوگوپیت مورد استفاده در آزمایش و نمونه رس موجود در کود گاوی (Ph 0) به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در شکل ۱، در

آنالیزهای آزمایشگاهی: پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، مقدار کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۴) و مقدار نیتروژن کل نیز به روش کلدال (۱۰) اندازه‌گیری شد. قبل از انجام کانی شناسی ذرات رس نمونه‌ها، نمک‌های محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آزاد آهن نمونه‌ها به ترتیب توسط آب مقطر، مخلوط اسید استیک و استات سدیم (pH=۵)، آب اکسیژنه ۳۰٪ و سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات خارج شد (۱۴). ذرات رس نمونه‌ها نیز توسط دستگاه سانتیفریوژ با دور ۲۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه استخراج گردید. سپس اسلایدهای ۴ تیمار شامل اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه و سپس با استفاده از دستگاه پرتو ایکس نوع Bruker مدل AXS D8 با لامپ مس، اسلایدهای تهیه شده در مجاورت پرتو ایکس با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی‌آمپر قرار گرفتند و در نهایت پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌ها به دست آمد. بررسی

ضعیف ۱/۴ نانومتر نیز قابل مشاهده است. حضور این پیک نشان دهنده وجود ناخالصی است که به دلیل حذف آن در تیمار اشباع با پتاسیم (K) نشان می دهد این ناخالصی مربوط به کانی ورمی کولایت است.

تیمار اشباع با منیزیم پیک های ۱/۰ و ۰/۳۳ نانومتر مربوط به کانی میکایی است. وجود پیک ضعیف ۰/۵ نانومتر نشان دهنده تری اکتاهدرال بودن این کانی میکایی (فلوگوپیت) است (۱۲). هم چنین پیک بسیار



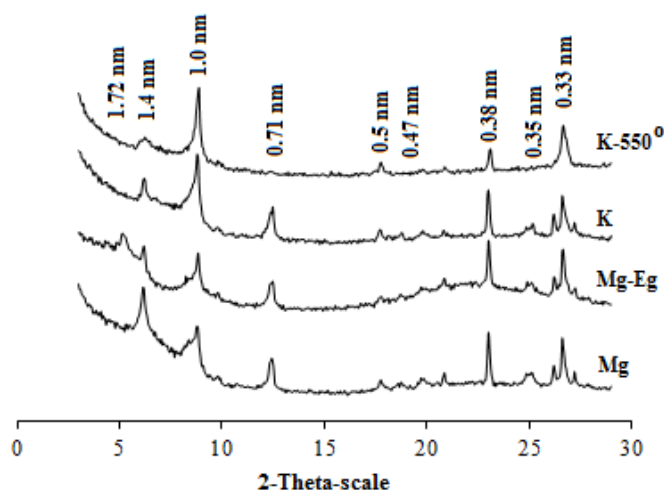
شکل ۱- پراش نگاشت پرتو ایکس بخش رس فلوگوپیت مورد استفاده در آزمایش.

(Mg): نمونه اشباع با منیزیم، (Mg-Eg): نمونه اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، (K): نمونه اشباع با پتاسیم و (K-550°): نمونه اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد.

Figure 1. X-ray diffractograms of the clay fraction of phlogopite mineral used in the experiment. (Mg): Mg- saturated, (Mg-Eg): Mg-saturated and ethylene glycol-solvated, (K): K- saturated, and (K-550°): K-saturated and heated at 550 °C treatments.

ورمی کولایت را تأیید می کند و در نهایت، ماندگاری پیک ۱/۴ نانومتر در تیمار پتاسیم با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد نشان دهنده کلرایت است. در مجموع، بررسی پراش نگاشت نمونه رس موجود در کود گاوی (Ph 0) قبل از انجام آزمایش دلالت بر حضور کانی های میکایی، اسمکتایت، ورمی کولایت و کلرایت به مقدار جزئی است. تأکید می گردد کود دامی مورد استفاده مقدار بسیار ناچیزی مواد معدنی و به ویژه رس داشته است.

در شکل ۲ نیز در تیمار اشباع با منیزیم پیک های ۱/۰، ۰/۵ و ۰/۳۳ نانومتر بیانگر حضور کانی میکایی است. پیک ۱/۴ نانومتر پیک شاخص برای شناسایی کانی های اسمکتایت، ورمی کولایت و کلرایت می باشد. پراش نگاشت تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول نشانگر انبساط کانی و ایجاد پیک ۱/۷۲ نانومتر است که تأیید کننده حضور کانی اسمکتایت است. از آنجایی که در تیمار اشباع با پتاسیم شدت پیک ۱/۰ نانومتر افزایش داشته است، حضور

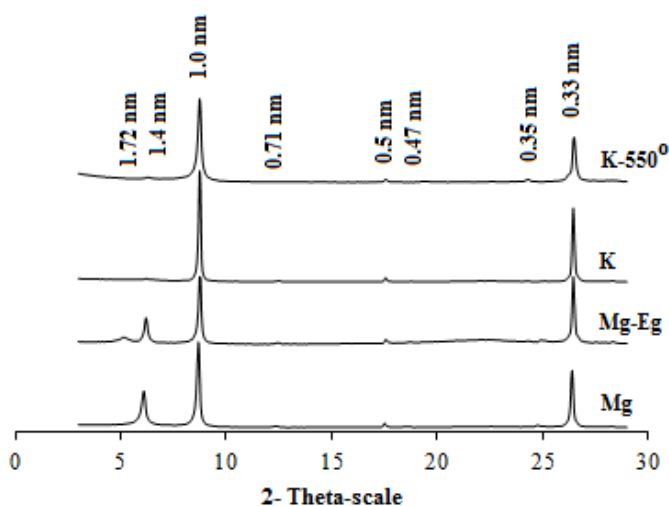


شکل ۲- پراش نگاشت پرتو ایکس بخش رس موجود در نمونه کود گاوی مورد استفاده در آزمایش. (Mg): نمونه اشباع با منیزیم، (Mg-Eg): نمونه اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، (K): نمونه اشباع با پتاسیم و (K-550): نمونه اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد.

Figure 2. X-ray diffractograms of the clay-sized particles present in the cow manure. (Mg): Mg- saturated, (Mg-Eg): Mg-saturated and ethylene glycol-solvated, (K): K- saturated and (K-550): K-saturated and heated at 550 °C treatments.

کانی‌های اسمکتایت، ورمی‌کولایت و کلرایت به مقدار جزئی است. دلیل انتخاب این شاهد متفاوت برای تیمار حاوی فلوگوپیت، وجود مقادیر ناچیز نمونه رس در نمونه کود گاوی می‌باشد.

نتایج پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار Ph 20 (به‌عنوان شاهد) در شکل ۳ آورده شده است. بررسی پراش نگاشت‌های این تیمار قبل از انجام آزمایش دلالت بر حضور کانی فلوگوپیت به مقدار فراوان و

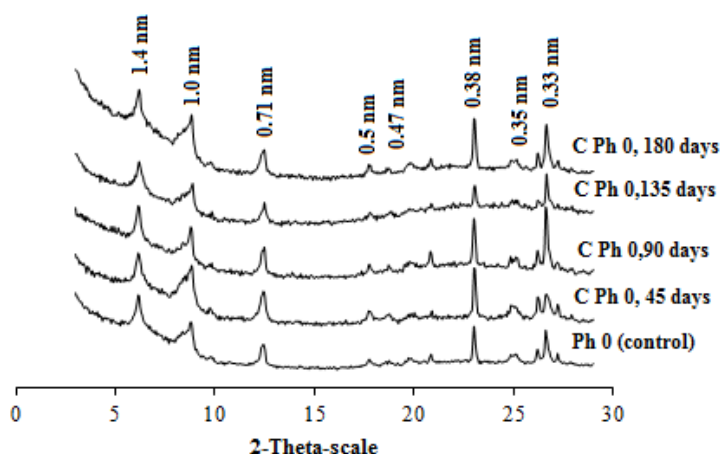


شکل ۳- پراش نگاشت‌های پرتو ایکس در اندازه رس تیمار Ph 20 قبل از آزمایش. (Mg): نمونه اشباع با منیزیم، (Mg-Eg): نمونه اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، (K): نمونه اشباع با پتاسیم و (K-550): نمونه اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد.

Figure 3. X-ray diffractograms of clay-sized particles of Ph 20 treatment before the experiment. (Mg): Mg- saturated, (Mg-Eg): Mg-saturated and ethylene glycol-solvated, (K): K- saturated and (K-550): K-saturated and heated at 550 °C treatments.

(تیمار بدون فلوگوپیت)، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات قابل‌توجهی بر روی نمونه رس موجود در کود گاوی رخ نداده است. با در نظر گرفتن میزان ناچیز نمونه رس در کود گاوی، در نتیجه اگر تغییری هم اتفاق افتاده باشد به خوبی قابل تشخیص نیست.

تغییرات کانی‌های رسی در تیمارها طی دوره کمپوستینگ: در شکل ۴ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های اشباع با منیزیم مربوط به تیمار C Ph 0 در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) و در مقایسه با تیمار Ph 0 (نمونه شاهد) نشان داده شده است. طی کمپوستینگ کود گاوی



شکل ۴- مقایسه پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار اشباع با منیزیم بخش رس موجود در کود گاوی در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) و در مقایسه با نمونه قبل از آزمایش.

Figure 4. X-ray diffractograms of Mg-saturated clay fraction of cow manure during the composting process (45, 90, 135 and 180 days) as compared to the control.

و با گذشت زمان به‌واسطه کاهش عناصر غذایی و ایجاد رقابت بین میکروارگانیسم‌ها و نیز تجمع ذرات مقاوم‌تر فلوگوپیت سرعت هوادیدگی کاهش یافته است.

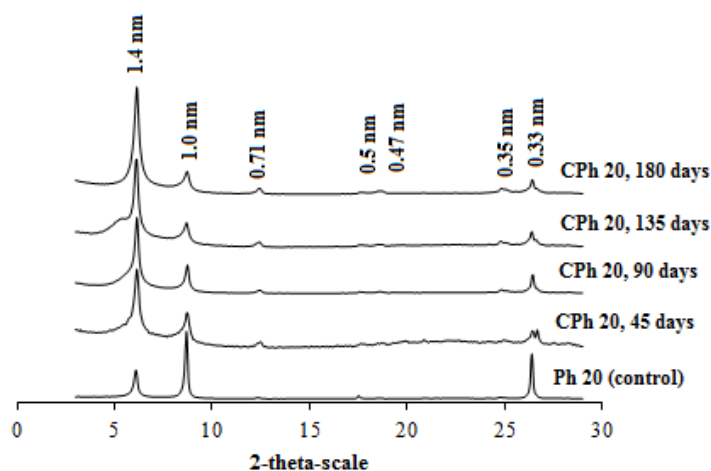
در زمینه تأثیر مواد آلی بر هوادیدگی مواد معدنی می‌توان به مطالعه نادری‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. ایشان بیان داشتند که تجزیه مواد آلی و فعالیت‌های ریشه، باعث تسهیل در آزادسازی پتاسیم از کانی تری‌اکتاهدرال فلوگوپیت و تبدیل این کانی به کانی ورمی‌کولایت، تا حدی اسمکتایت و نیز تشکیل جزئی کلرایت شده است (۲۳). مصلح و همکاران (۲۰۱۴) طی پژوهشی به بررسی تأثیر گیاه بابونه آلمانی و کود دامی بر هوادیدگی خاک‌های مختلف

پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های اشباع با منیزیم مربوط به تیمار حاوی فلوگوپیت در مقایسه با تیمار شاهد در شکل ۵ نشان داده است. این پراش نگاشت‌ها تغییرات کانی فلوگوپیت را در شرایط کمپوستینگ نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در تمامی تیمارها از شدت پیک ۱/۰ نانومتر کاسته شده و پیک ۱/۴ نانومتر افزایش یافته است و این روند افزایش پیک ۱/۴ نانومتر با گذشت زمان بیش‌تر بوده است. هم‌چنین این نکته به وضوح قابل مشاهده است که سرعت هوادیدگی در ابتدا زیاد بوده است که احتمالاً به دلیل کافی‌بودن عناصر غذایی برای تمام میکروارگانیسم‌ها و علاوه بر آن، هوادیدگی سریع‌تر ذرات ریزتر و ضعیف‌تر فلوگوپیت در ترکیب می‌باشد

کود گاوی است که به جهت تغذیه از کود گاوی مخلوط شده با کانی فلوگوپیت اتفاق افتاده است. از طرف دیگر اسیدهای آلی تولید شده در اثر تجزیه ماده آلی می‌تواند با تشکیل کمپلکس با عناصر باعث تغییرات قابل توجه کانی‌شناسی فلوگوپیت شود. محصولات تجزیه ترکیبات آلی هم‌چون اسید فولویک و اسید هومیک تمایل به تشکیل کمپلکس اسید آلی - فلز با بعضی از یون‌های فلزی در ساختار کانی دارند و تجزیه کانی‌ها را تشدید می‌کنند (۷).

پرداختند. نتایج کانی‌شناسی این مطالعه بیانگر آن است که در خاک قبل از کشت کانی‌های میکا، ورمی‌کولایت، کائولینایت و کلرایت تری‌اکتاهدرال وجود داشته است که پس از کشت بابونه و کاربرد کود دامی، کانی کائولینایت از خاک حذف گردیده و کلرایت تری‌اکتاهدرال (غنی از آهن) به کلرایت دی‌اکتاهدرال (غنی از آلومینیوم) تبدیل شده است (۲۲).

در واقع تغییر در شدت پیک ۱/۴ نانومتر (شکل ۵) ناشی از فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های موجود در



شکل ۵- مقایسه پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار اشباع با منیزیم بخش رس مخلوط کود گاوی با کانی فلوگوپیت ۲۰٪، در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) و در مقایسه با نمونه قبل از آزمایش.

**Figure 5. X-ray diffractograms of Mg-saturated clay-sized particles of the mixture of cow manure and 20% phlogopite during the composting process as compared to that of the control.**

زیاد) و اسمکتایت کانی‌های جدیدی می‌باشند که در اثر هوادیدگی تشکیل شده‌اند. افزایش پیک ۱/۴ نانومتر در تیمار منیزیم اشباع در مقایسه با تیمار شاهد و هم‌چنین افزایش شدت پیک ۱/۰ نانومتر در تیمار پتاسیم اشباع نشان‌دهنده ورمی‌کولایتی شدن فلوگوپیت است. هم‌چنین در پراش نگاشت‌های شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که پیک ۱/۷۲ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول افزایش یافته است و علاوه بر آن وجود پیک ۱/۲ نانومتر در تیمار اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند دلیلی

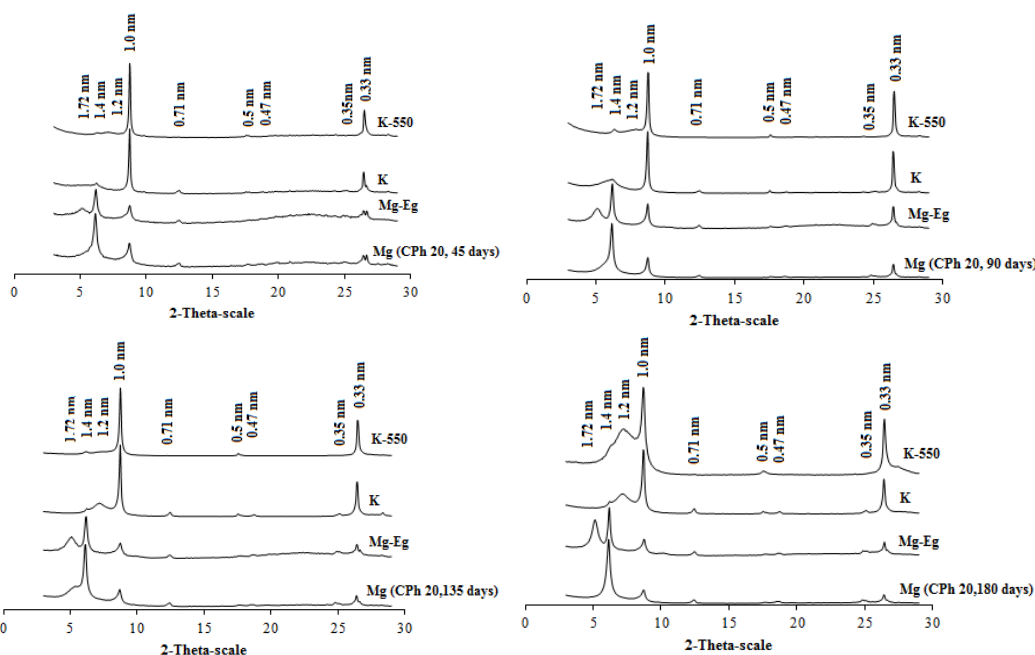
تغییرات پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در بخش رس تیمارهای C Ph 20 و C Ph 0 در طی فرآیند کمپوستینگ (۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در تمامی پراش نگاشت‌های تیمار C Ph 20، میکا (فلوگوپیت)، کلرایت، اسمکتایت و ورمی‌کولایت قابل مشاهده است. در مقایسه با نمونه قبل از انجام آزمایش (Ph 20) (شکل ۳) ورمی‌کولایت (بسیار



مطالعه‌ای جهت بازیافت ضایعات میکا به‌عنوان منبع غنی از پتاسیم از تکنولوژی کمپوستینگ استفاده کرد. استفاده از این کمپوست در خاک نشان داد که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پتاسیم محلول و قابل‌استفاده خاک افزایش یافته که نشان می‌دهد مقدار قابل‌توجهی پتاسیم از کمپوست آزاد شده است (۶). بادر (۲۰۰۶) طی پژوهشی به بررسی کمپوست تهیه‌شده از ترکیبات آلی + کانی فلدسپار پتاسیم‌دار + باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر عملکرد گوجه‌فرنگی پرداخت. نتایج وی نشان داد که عملکرد گوجه‌فرنگی در کمپوست فلدسپار تلقیح شده با باکتری به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش داشت. به عقیده وی از مزیت‌های این کمپوست کاهش هزینه‌های کشت به‌واسطه استفاده از فلدسپار پتاسیم می‌باشد (۳).

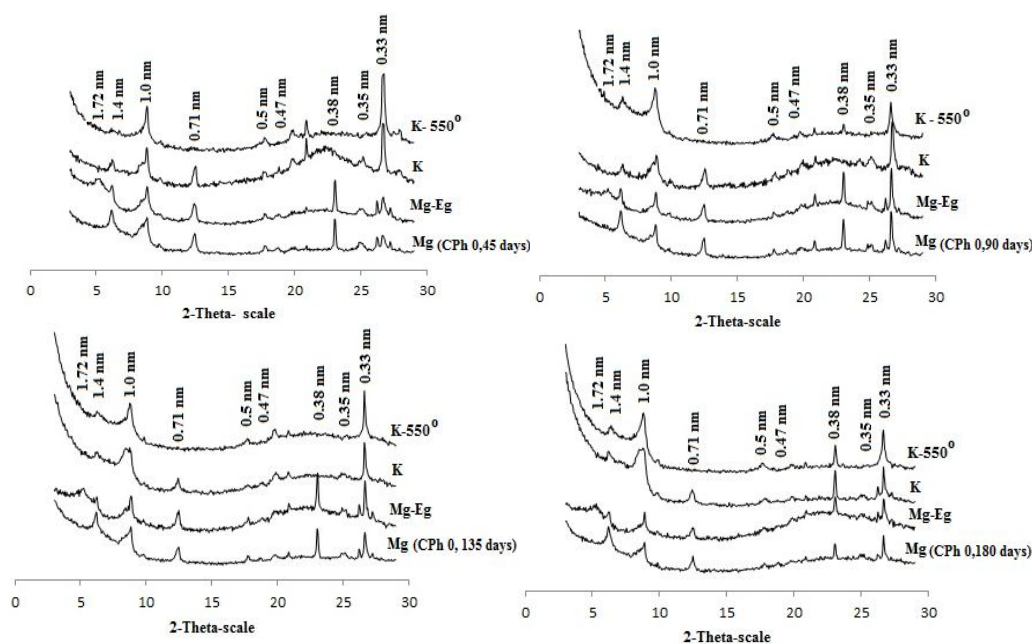
بر ایجاد مقداری اسمکتایت به‌ویژه در تیمار (CPh 20, 180 days) باشد.

در طول هوادیدگی کانی‌های میکایی معمولاً پتاسیم از موقعیت‌های بین لایه‌ای خارج شده و به ترکیبات معدنی هم‌چون ورمی‌کولایت و اسمکتایت تبدیل می‌شود (۸). جعفری و همکاران (۲۰۲۰) طی بررسی تغییرات زمانی برخی ویژگی‌های مهم کود دامی غنی‌شده با فلوگوپیت طی فرآیند کمپوست شدن نشان دادند که در تمامی تیمارها با گذشت زمان میزان کربن آلی کاهش و میزان نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم کل و قابل‌استفاده افزایش یافت. هم‌چنین نتایج ایشان نشان داد که غنی‌سازی کود با فلوگوپیت تامین عناصر غذایی هم‌چون پتاسیم، منیزیم و آهن را برای مدت طولانی‌تری نسبت به کمپوست‌های غنی نشده تضمین می‌نماید (۱۵). باساک (۲۰۱۸)، در



شکل ۶- مقایسه پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و دامی ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در بخش رس مخلوط کود گاوی با ۲۰ درصد وزنی کانی فلوگوپیت در طی فرآیند کمپوستینگ به‌مدت‌های ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز.

Figure 6. X-ray diffractograms of Mg-saturated (Mg), Mg-saturated and ethylene glycol-solvated (Mg-Eg), (K); K- saturated, and (K-550): K-saturated and heated at 550 °C treatments of clay-sized particles in a mixture of cow manure and 20% phlogopite during the composting process for 45, 90, 135 and 180 days.



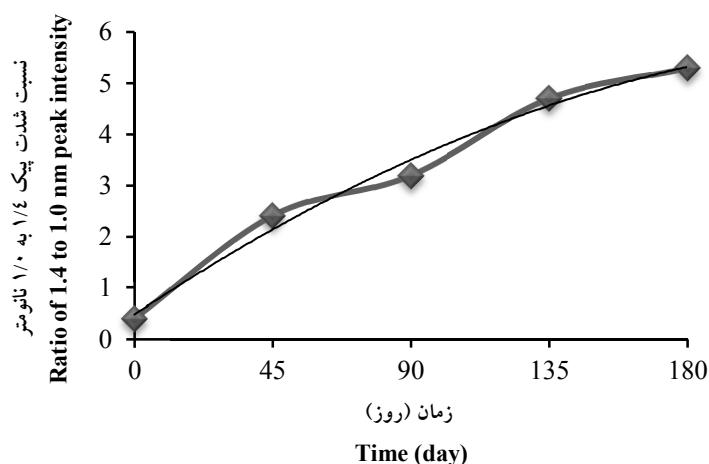
شکل ۷- مقایسه پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در بخش رس موجود در کود گاوی در طی فرآیند کمپوستینگ به مدت‌های ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز.

**Figure 7. X-ray diffractograms of Mg-saturated, Mg-saturated and ethylene glycol-solvated, K-saturation and K-saturated and heated at 550 °C of clay-sized particles of cow manure during the composting process for 45, 90, 135 and 180 days.**

تایید می‌نماید. در این نمودار نیز در ابتدای کمپوستینگ، نمودار با شیب زیادی کاهش یافته است و با گذشت زمان شیب نمودار کم شده و در نهایت به یک میزان ثابت رسیده است. میزان  $C/N$  در طی این تغییرات از حدود ۲۳ در زمان شروع فرآیند تا حدود ۱۵ در انتهای فرآیند کاهش یافته است. نسبت  $C/N$  کم‌تر از ۲۰ نشان‌دهنده درجه بالایی از تجزیه مواد آلی و حد قابل قبولی از پایداری کمپوست و ورمی‌کمپوست می‌باشد (۲۱). کاهش کربن آلی به صورت  $CO_2$  و افزایش نیتروژن، منجر به کاهش میزان نسبت  $C/N$  در محصول نهایی می‌شود (۱۶ و ۲۸). در تجزیه بقایای آلی معمولاً ابتدا قندهای محلول خارج می‌شوند و به دنبال آن پلی‌ساکاریدها، سلولز، همی‌سلولز و نهایتاً لیگنین تجزیه می‌شود (۲). به دلیل پیچیدگی و تنوع پیوندهای مختلف در لیگنین این ماده در مقابل تجزیه میکروبی بسیار مقاوم‌تر از کربوهیدرات‌ها می‌باشد (۲۹).

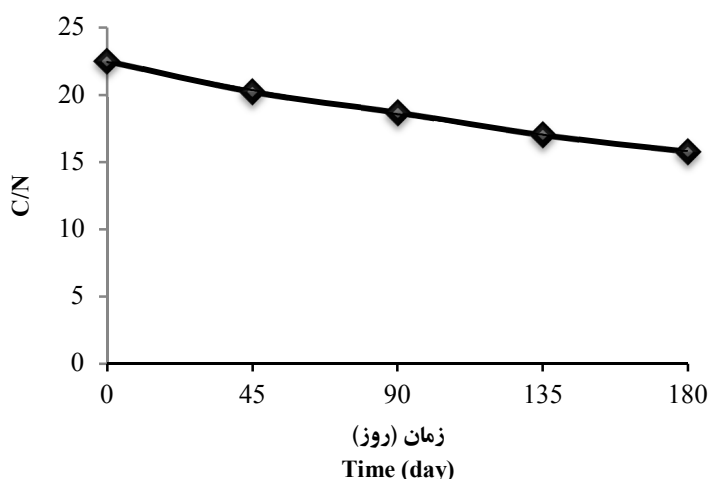
تغییرات زمانی کانی‌های رسی و  $C/N$  در تیمار حاوی فلوگوپیت طی فرآیند کمپوستینگ: در شکل ۸ نمودار تغییرات زمانی نسبت پیک ۱/۴ به ۱/۰ منیزیم اشباع تیمارهای حاوی فلوگوپیت نشان داده شده است. از نسبت ۱/۴ به ۱/۰ به دو دلیل استفاده شد: ۱- پیک ۱/۰ نانومتر، پیک موجود در نمونه اولیه بوده و ۱/۴ نانومتر پیک مربوط به کانی‌های جدید می‌باشد بنابراین این نسبت معیار خوبی برای بررسی تغییرات ایجاد شده می‌باشد، ۲- با بررسی این نسبت دیگر تأثیر مقادیر ناچیز ناخالصی در کانی فلوگوپیت اولیه و همچنین مقادیر ناچیز رس موجود در کود گاوی حذف می‌شود.

نتایج بیانگر آن است که هوادیدگی فلوگوپیت در مراحل اولیه کمپوستینگ سریع‌تر و با گذشت زمان به تدریج کاهش یافته و در نهایت با سرعت ثابتی ادامه می‌یابد (شکل ۸). نمودار تغییرات زمانی نسبت  $C/N$  تیمار حاوی فلوگوپیت (شکل ۹)، نیز این نتایج را



شکل ۸- تغییرات نسبت شدت پیک ۱/۴ به ۱/۰ نانومتر در طی فرآیند کمپوستینگ تیمار حاوی فلوگوپیت.

Figure 8. Changes in peak intensity ratio of 1.4 to 1.0 nm during the composting process in phlogopite-containing treatment.



شکل ۹- تغییرات نسبت C/N در طی فرآیند کمپوستینگ تیمار حاوی فلوگوپیت.

Figure 9. Changes of C/N ratio during the composting process in phlogopite-containing treatment.

بیشتر ذرات ریزتر و ضعیفتر فلوگوپیت، بیشتر بوده است که با گذشت زمان و نزدیک شدن به انتهای فرآیند کمپوستینگ ( $C/N = 15$ )، سرعت هوادیدگی به یک میزان ثابت رسیده است.

در این پژوهش به بررسی مکانیزم هوادیدگی کانی فلوگوپیت توسط میکروارگانیسم‌های موجود در سوبسترا، پرداخته نشده است اما با توجه به مطالعات گذشته هوادیدگی کانی فلوگوپیت را می‌توان به تأثیر

### نتیجه گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که در طی فرآیند کمپوستینگ، کانی فلوگوپیت موجود در آن به کانی ورمی‌کولایت و کانی اسمکتایت هوادیده شده است و این هوادیدگی با افزایش زمان بیشتر شده است. البته این نکته نیز به وضوح مشاهده شد که در ابتدای فرآیند کمپوستینگ با توجه به نیمه پوسیده بودن کود گاوی ( $C/N = 23$ ) سرعت هوادیدگی به‌واسطه تغذیه بیشتر میکروارگانیسم‌ها و حضور

## سپاسگزاری

بدین وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به دلیل حمایت‌های مالی (طرح تحقیقاتی مصوب شماره ۹۶۰۰۲۳۷۸) و همچنین از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه Cartagena (اسپانیا) که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

فعالیت‌های جوامع میکروبی که با تجزیه مواد آلی (کود دامی) تشدید شده است، نسبت داد.

این پژوهش به وضوح نشان داد که افزایش عناصر قابل استفاده هم‌چون پتاسیم در کمپوست‌های غنی شده با میکا نسبت به کمپوست‌های غنی نشده ناشی از هوادیدگی کانی‌های میکایی می‌باشد و می‌توان از آن به‌عنوان کود آلی مناسب و بدون ترکیبات شیمیایی استفاده نمود.

## منابع

- Adamtey, N., Cofie, O., Ofosu-Budu, G.K., Danso, S.K., and Forster, D. 2009. Production and storage of N-enriched co-compost. *Waste Management*. 29: 9. 2429-2436.
- Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, 576p.
- Badr, M.A. 2006. Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate dissolving bacteria on tomato yield. *J. Appl. Sci. Res.* 2: 1191-1198.
- Bailey, S.W. 1984. Classification and structures of the micas. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 13: 1. 1-12.
- Barker, W.W., Welch, S.A., and Banfield, J.F. 1997. Biogeochemical weathering of silicate minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 35: 1. 391-428.
- Basak, B.B. 2018. Recycling of waste biomass and mineral powder for preparation of potassium-enriched compost. *J. Mater. Cycle Waste Manage.* 20: 3. 1409-1415.
- Basak, B.B., and Biswas, D.R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare Pers.*) grown under two Alfisols. *Plant and Soil*. 317: 1-2. 235-255.
- Bigham, J.M., Bhatti, T.M., Vuorinen, A., and Tuovinen, O.H. 2001. Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. *Hydrometallurgy*. 59: 2-3. 301-309.
- Biswas, D.R. 2011. Nutrient recycling potential of rock phosphate and waste mica enriched compost on crop productivity and changes in soil fertility under potato-soybean cropping sequence in an Inceptisol of Indo-Gangetic Plains of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89: 1. 15-30.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P 1085-1121. In: D.L. Sparks, (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Brown, K.W. 1977. Shrinking and swelling of clay, clay strength and other properties of clay soils and clays. P 689-707. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America. Madison.
- Fanning, D.S., Keramidas, V.Z., and El-Desoky, M.A. 1989. Micas, P 551-634. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Harley, A.D., and Gilkes, R.J. 2000. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 56: 1. 11-36.

14. Jackson, M.L. 1979. Soil chemical analysis: advanced course (2<sup>nd</sup> edition). University of Wisconsin, Madison, WI, 895p.
15. Jafari, F., Khademi, H., Shariatmadari, H., and Ayoubi, S. 2020. Temporal variations of important features of phlogopite enriched manure during composting and vermicomposting. *J. Water Soil Sci.* 23: 4. 43-54. (In Persian)
16. Kaur, A., Singh, J., Vig, A.P., Dhaliwal, S.S., and Rup, P.J. 2010. Cocomposting with and without *Eisenia fetida* for conversion of toxic paper mill sludge to a soil conditioner. *Bioresource Technology.* 101: 21. 8192-8198.
17. Khayamim, F., Khademi, H., and Sabzalian, M.R. 2011. Effect of Neotyphodium endophyte-tall fescue symbiosis on mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite. *Plant and Soil.* 341: 1-2. 473-484.
18. Manley, E.P., and Evans, L.J. 1986. Dissolution of feldspars by low-molecular-weight aliphatic and aromatic acids. *Soil Science.* 141: 2. 106-112.
19. Meena, M.D., and Biswas, D.R. 2013. Residual effect of rock phosphate and waste mica enriched compost on yield and nutrient uptake by soybean. *Legume Research.* 36: 5. 406-413.
20. Meena, M.D., and Biswas, D.R. 2014. Phosphorus and potassium transformations in soil amended with enriched compost and chemical fertilizers in a wheat-soybean cropping system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 45: 5. 624-652.
21. Metzger, J. 1998. Growing plants with worm poop: Vermicompost as an amendment for soilless media. Ohio State University Floriculture Research Update. Ohio State University, Columbus, 227p.
22. Mosleh, Z., Salehi, M.H., Rafieiolhossaini, M., and Mehnatkesh, A. 2014. Formation of hydroxy-interlayer vermiculite (HIV) in rhizosphere soils under German camomile cultivation and manure application. *Clay Minerals.* 49: 1. 63-73.
23. 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: 3-4. 296-303.
24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 961-1010. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
25. Nishanth, D., and Biswas, D.R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology.* 99: 9. 3342-3353.
26. Pinzari, F., Cuadros, J., Napoli, R., Canfora, L., and Bardají, D.B. 2016. Routes of phlogopite weathering by three fungal strains. *Fungal Biology.* 120: 12. 1582-1599.
27. Schulze, D.G. 2002. An introduction to soil mineralogy. P 1-35. In: J. B. Dixon and D.G. Schulze (eds.) *Soil Mineralogy with Environmental Applications.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
28. Senapati, B.K., Dash, M.C., Rana, A.K., and Panda, B.K. 1980. Observation on the effect of earthworm in the decomposition process in soil under laboratory conditions. *Comparative Physiology and Ecology.* 5: 3. 140-142.
29. Sollins, P., Homann, P., and Caldwell, B.A., 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma.* 74: 1-2. 65-105.
30. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. P 201-276. In: R.D. Munson (ed.), *Potassium in Agriculture.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
31. Weed, S.B., Davey, C.B. and Cook, M.G., 1969. Weathering of mica by fungi. *Soil Science Society of America Proceedings.* 33: 5. 702-706.



## Mineralogical changes of phlogopite during the process of enriched compost production

\*F. Jafari<sup>1</sup> and H. Khademi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 03.12.2019; Accepted: 09.29.2019

### Abstract

**Background and Objectives:** Soil is the thin layer of materials covering the Earth's surface and forms from the interaction of the atmosphere, lithosphere, biosphere and hydrosphere. Soil formation, development and functions influence the sustainability of ecosystem. The unique characteristics of soil have made it one of the key subjects of the Earth Science. Minerals are important components of the soil environment. They influence on the water-holding capacity of soils and affect their cation exchange capacity. Mineral weathering is an important process in soils, during which available forms of important nutrient elements are released from minerals structure into the soil system for root uptake. Micaceous minerals are common components of soils, sediments and minerals. Several studies have examined the characteristics of compost enriched with mineral compounds. While the mineralogical changes during the process of compost production have not yet been investigated. Therefore, the objective of this research was to evaluate the rate of biological weathering of phlogopite with time in phlogopite-enriched compost.

**Materials and methods:** An experiment was run in petri dishes under laboratory conditions using 2 levels of phlogopite mineral (0 and 20% by weight) and four time periods (45, 90, 135 and 180 days) in 3 replications. Each petri dish contained 20 g of a mixture of cow manure and phlogopite mineral. In each period, 6 petri dishes were separated and their contents were oven dried at 30 °C, powdered and passed through a 2 mm sieve. After preparing the contents of petri dishes, organic carbon content of the samples was measured by wet oxidation method and their total nitrogen by Kjeldahl method. The mineralogical changes were evaluated using X-ray diffraction analysis.

**Results:** XRD patterns showed that during the composting process, phlogopite was partially weathered to vermiculite and smectite. The rate of weathering was higher at the early stages. The weathering of phlogopite was influenced considerably by the activity of microbial communities during organic matter decomposition process. At the end of the composting process, the weathering rate decreased and continued at a stable rate. Mineralogical changes occurred in phlogopite during the composting were in line with the reduction of C/N ratio with time. The C/N ratio rapidly changes at the early stages of the composting process and gradually becomes constant.

**Conclusions:** In general, the results indicate that the increase of availability of elements such as potassium in mica-enriched compost is in fact due to the weathering of micaceous minerals added. The weathering rate was influenced by the activities of microbial communities.

**Keywords:** Cow manure, Enriched compost, Phlogopite, Vermiculitization, Weathering

\* Corresponding Author; Email: f.jafari@ag.iut.ac.ir