

تغییرات شکل‌های نیکل تحت تأثیر زمان و مصرف ورمی کمپوست و زئولیت در دو خاک آهکی با بافت متفاوت

سمانه فلاحتی، ابراهیم ادهمی* و حمیدرضا اولیایی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۹)

چکیده

با توجه به اهمیت نیکل و اثرات افزودنی‌های معمول به خاک در توزیع شکل‌های نیکل، این پژوهش برای ارزیابی اثر بافت خاک، زئولیت و ورمی کمپوست بر تغییرات شکل‌های نیکل در طی زمان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل شامل دو سطح ورمی کمپوست (صفر و ۲٪ وزنی)، سه سطح زئولیت (صفر، ۴٪ وزنی زئولیت فیروزکوه و ۴٪ وزنی زئولیت سمنان) و دو بافت خاک (رسی و لوم‌شنی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها با سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک آلوده شدند. در زمان‌های ۲۰ و ۶۰ روز شکل‌های نیکل عصاره‌گیری و اندازه‌گیری شدند. در خاک‌های اولیه نیکل کربناتی در خاک لوم شنی بیشتر از خاک رسی بود در حالی که شکل‌های نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن، همراه با ماده آلی و باقیمانده در خاک رسی بیشتر بود. در خاک لوم‌شنی مقدار بیشتری از نیکل در شکل‌های تبدلی و کربناتی بازیابی شد در حالی که بازیابی نیکل در شکل‌های همراه با اکسیدهای منگنز- آهن، آلی و باقیمانده در خاک رسی بیشتر بود. مصرف زئولیت سبب کاهش معنی‌دار نیکل تبدلی و کربناتی در خاک رسی در روز ۶۰ و سطح ۱۰۰ نیکل شد. نیکل تبدلی در اثر مصرف ورمی کمپوست در روز ۲۰ در هر دو سطح نیکل کاهش یافت. مصرف ورمی کمپوست سبب کاهش نیکل همراه با اکسیدهای آهن و منگنز در هر دو خاک و زمان مورد مطالعه شد و شکل آلی نیکل در هر دو خاک و سطوح نیکل با کاربرد ورمی کمپوست افزایش یافت. گذشت زمان به صورت کلی سبب کاهش نیکل تبدلی شد ولی اثر زمان بر شکل کربناتی نیکل بستگی به بافت خاک داشت. گذشت زمان اثری بر نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن و نیکل باقیمانده نداشت، ولی نیکل همراه با ماده آلی را در خاک رسی افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، زئولیت، عصاره‌گیری جزء به جزء، فلزات سنگین، ورمی کمپوست

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: eadhami@gmail.com

مقدمه

نیکل به عنوان یک عنصر مفید برای گیاهان معرفی شده است ولی سمیت آن نیز برای موجودات زنده مورد توجه است (۱۹ و ۲۹). حد مجاز ورود نیکل به خاک یک تا ده میلی گرم در کیلوگرم خاک پیشنهاد شده است (۳۰). غلظت‌های زیاد نیکل در خاک ممکن است به صورت طبیعی در خاک‌های حاوی سرپانتین یافت شود، یا در اثر فعالیت‌های انسانی، مانند معدن‌کاوی، مصرف مکرر لجن فاضلاب یا در اثر دفن زباله‌های صنعتی ایجاد شود (۳ و ۱۶).

تثبیت فیزیکی و تثبیت شیمیایی از جمله راهکارهای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هستند. در طی تثبیت شیمیایی قابلیت جذب فلزات سنگین کاهش می‌یابد و سبب رسوب آن‌ها در محیط می‌شود (۸). زئولیت یکی از موادی است که به علت ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد (۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی مول بار مثبت در کیلوگرم) به صورت متداول برای تثبیت فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۰). توانایی زئولیت برای حذف فلزات سنگین، از جمله نیکل، از منابع آبی و تثبیت آنها در خاک بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است (۱، ۲۵). گزارش شده است که مصرف زئولیت تا ۵۰ درصد وزنی در یک خاک شنی با پ‌هاش ۸/۴ سبب کاهش شست‌وشوی نیکل تا حدود ۵۰ درصد شد و زئولیت مورد مطالعه توانایی بیشتری برای تثبیت سرب و تمایل کمتری برای تثبیت نیکل و کادمیم در خاک نشان داد (۲۶). گزارش شده است که مصرف زئولیت صرف نظر از مقدار پ‌هاش خاک، شست و شوی کادمیم را از خاک کاهش داد و افزایش مصرف زئولیت سبب کاهش معنی‌داری در غلظت کادمیم زه‌آب خروجی شد (۴ و ۱۵). بوروس-لایزور و همکاران (۷) زئولیت را برای اصلاح اثرات مضر مقادیر سمی نیکل در خاک و گیاه استفاده کردند. آنان گزارش کردند که غلظت زیاد نیکل سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های دی‌هیدروژناز، اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی در خاک مورد مطالعه شد و زئولیت اثر کمی بر کاهش اثرات نامطلوب نیکل بر آنزیم‌های خاک و رشد گیاه نشان داد.

نتایج متناقضی درباره اثر کاربرد بقایای آلی بر تثبیت و قابلیت جذب فلزات سنگین وجود دارد. ترکیبات آلی محلول می‌توانند تحرک و قابلیت جذب فلزات سنگین را در خاک‌های آلوده افزایش دهند (۵). افزودن ورمی‌کمپوست به خاک غلظت نیکل و مس را در کاهو به حد بیشتر از سمیت افزایش داد (۱۲). عباسپور و گلچین (۱) مشاهده کردند که افزودن ورمی‌کمپوست به یک خاک آهکی آلوده سبب کاهش غلظت فلزات سنگین عصاره‌گیری شده با DTPA شد. آنها نتیجه‌گیری کردند که نسبت زیاد مواد آلی هموسی شده در کمپوست سبب کاهش قابلیت جذب فلزات سنگین به علت افزایش جذب سطحی و تشکیل کمپلکس‌های پایدار شد. با این وجود عباسپور و همکاران (۲) گزارش کردند که با توجه به پ‌هاش خاک، اثرات مواد آلی بر شکل‌های کادمیم می‌تواند متفاوت باشد.

توالی‌های عصاره‌گیری جزء به جزء راهکارهای ساده، کاربردی و قابل سازگاری با آزمایش‌های معمول خاک هستند و می‌توانند درک بهتری از وضعیت فلزات سنگین از جمله نیکل، در خاک نسبت به آزمون‌های قابلیت جذب معمول ایجاد کنند. این عصاره‌گیرها به‌طور معمول با یک عصاره‌گیر ضعیف برای رهاسازی شکل‌های به نسبت محلول شروع می‌شوند و با واکنشگرهای قوی‌تر برای آزادسازی شکل‌های پایدارتر دنبال می‌شوند. یکی از معمول‌ترین این توالی‌ها توسط تسیر و همکاران (۲۷) پیشنهاد شده است. این توالی را کاشم و سینگ (۱۳) اصلاح کردند و عناصر سنگین را به شش گروه مختلف: محلول در آب، تبدلی، کربناتی، همراه با اکسیدهای آهن و منگنز، همراه با ماده آلی و شکل باقیمانده تقسیم بندی کردند.

با وجود اینکه نیکل جزء عناصر سودمند در تغذیه گیاه طبقه‌بندی شده است، اثرات سمی آن بیشتر مورد توجه است. اطلاعات کمی از وضعیت نیکل و سرنوشت نیکل افزوده شده به خاک در حضور افزودنی‌های معمول نظیر ورمی‌کمپوست و زئولیت در خاک‌های آهکی در دسترس است. به همین علت مطالعه‌ی حاضر برای ارزیابی اثر کاربرد زئولیت و

رطوبت به حد مناسب، نمونه‌ها به خوبی مخلوط شدند. نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه و رطوبت ۲۰٪ وزنی برای بافت رسی و ۱۵٪ وزنی برای بافت لوم شنی خوابانده شدند. شکل‌های نیکل در دو نمونه خاک اولیه، و در نمونه‌های تیمار شده در زمان‌های ۲۰ و ۶۰ روز اندازه‌گیری شد. عصاره‌گیری جزء به جزء نیکل به روش کاشم و سینگ (۱۳) بر نمونه‌های دو گرمی انجام شد (جدول ۳). پس از هر مرحله نمونه‌ها در ۶۰۰g سانتیفریژ شدند و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شدند. غلظت نیکل با دستگاه جذب اتمی هیتاچی مدل ZCAST 2300 اندازه‌گیری شد. همزمان رطوبت وزنی نمونه‌ها با خشک‌کردن جرم مشخصی از نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. تمام محاسبات براساس رطوبت وزنی نمونه‌ها تصحیح شد. نتایج توسط نرم افزار آماری MSTAT-C و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

شکل‌های نیکل در خاک‌های اولیه

مقدار نیکل در شکل محلول در هر دو نمونه خاک کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. مقدار نیکل تبدالی در هر دو نمونه خاک در حد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. شکل کربناتی نیکل در خاک لوم شنی بیشتر از خاک رسی بود، درحالی که شکل‌های نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن، همراه با ماده آلی و شکل باقیمانده در خاک رسی بسیار بیشتر از خاک لوم شنی بود (جدول ۴). مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک شنی تقریباً دو برابر خاک رسی بود که می‌تواند بیشتر بودن شکل کربناتی را در خاک شنی توضیح دهد. به صورت کلی مجموع مقدار شکل‌های نیکل در خاک لوم شنی (۲۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بسیار کمتر از خاک رسی (۷۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بود. در هر دو خاک مورد مطالعه بخش اصلی نیکل در شکل باقیمانده وجود داشت که ۶۵ درصد و ۷۰ درصد از مجموع شکل‌های نیکل را به ترتیب در خاک لوم شنی و رسی

ورمی‌کمپوست بر شکل‌های نیکل در دو نمونه خاک آهکی در یک دوره ۶۰ روزه انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک

آزمایش حاضر بر دو خاک آهکی با بافت رسی و شنی لومی از افق سطحی انجام شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری شامل درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک به روش هیدرومتر، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، pH در گل اشباع و EC در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

ابتدا ورمی‌کمپوست در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده و سپس در تعلیق ۱:۱۰ با آب مقطر پس از گذشت ۲۴ ساعت EC (۴/۳۵ ds/m) و pH (۷/۳۴) آن اندازه‌گیری شد. بعد از خشک کردن مقدار کافی نمونه در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت، یک گرم از نمونه خشک شده در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت خاکستر شد و کاهش وزن آن در اثر احتراق (LOI=۳۶٪) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های زئولیت از دو معدن فیروزکوه و سمنان از نوع کلینوپتیلولیت به صورت پودری با اندازه ۲۰۰ مش (۰/۰۷۴ میلی‌متر) تهیه شد. پهاش زئولیت در تعلیق ۱:۱۰ با آب مقطر اندازه‌گیری شد. عناصر موجود در نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل ۳ عاملی با دو نوع خاک (بافت رسی و لوم شنی)، ۳ سطح زئولیت (صفر، ۴٪ وزنی زئولیت معدن فیروزکوه، ۴٪ وزنی زئولیت معدن سمنان) و دو سطح ورمی‌کمپوست (صفر و ۲٪) با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نمونه‌های خاک با مقدار زئولیت و ورمی‌کمپوست لازم تیمار شده و به خوبی مخلوط شدند. سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک به صورت محلول کلرید نیکل به تیمارها افزوده شد و پس از رسیدن

جدول ۱. برخی خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مورد آزمایش

CCE (%)	O.M (%)	EC (dS/m)	CEC (cmol ⁺ /kg)	pH	شن	سیلت	رس	بافت
۳۳/۱	۰/۶۸۱	۰/۲۱۱	۲۴/۲۳	۷/۹۱	۲۳/۶	۲۸	۴۸/۴	رسی
۷۶/۸	غیر قابل اندازه‌گیری	۰/۸۷۶	۶/۶۹	۷/۶۵	۷۳/۶	۱۰	۱۶/۴	لوم‌شنی

جدول ۲. ترکیب شیمیایی زئولیت های مورد استفاده

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	نمونه
٪									
۷۰/۶۵	۱۱/۲۹	۰/۷۳	۰/۱۹	۴/۰۲	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۰۱	سمنان
۶۸/۲۵	۱۶/۱۳	۰/۶۹	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۲۳	۱۲/۶۰	۰/۰۶	فیروزکوه

جدول ۳. روش عصاره‌گیری مورد استفاده (۱۳)

مرحله	شکل	واکنشگر عصاره‌گیر	روش استخراج
۱	محلول در آب	آب مقطر	یک ساعت تکان دادن
۲	تبادلی	استات آمونیوم یک مولار خشتی	یک ساعت تکان دادن
۳	کربناتی	استات آمونیوم یک مولار پ هاش ۵/۲	دو ساعت تکان دادن
۴	همراه با اکسیدهای منگنز-آهن	هیدروکسل آمین. هیدروکلرید ۰/۰۴ مولار در استیک اسید ۲۵٪ حجمی، پ هاش ۳. ۱۵.۱ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰٪	۶ ساعت حمام آب داغ ۸۰ درجه سانتی‌گراد با تکان دادن دستی
۵	همراه با ماده آلی	حجمی - پ هاش ۵.۲ میلی لیتر استات آمونیوم ۳/۲ مولار در ۲۰٪ حجمی اسید نیتریک	۱. ۵/۵ ساعت حمام آب داغ ۸۰ درجه سانتی‌گراد با تکان دادن دستی ۲. نیم ساعت تکان دادن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد
۶	باقیمانده	اسید نیتریک ۷ مولار	۶ ساعت حمام آب داغ ۸۰ درجه سانتی‌گراد با تکان دادن دستی

جدول ۴. غلظت شکل های مختلف نیکل در خاک‌های اولیه (میلی گرم در کیلوگرم خاک)

خاک	محلول در آب	تبادلی	کربناتی	همراه با اکسیدهای آهن و منگنز	همراه با ماده آلی	باقیمانده
لوم‌شنی	غیر قابل اندازه‌گیری	۰/۵۵	۲/۲۵	۲/۳۵	۱/۴	۱۳/۲
رسی	غیر قابل اندازه‌گیری	۰/۵۵	۱/۷	۱۱/۵	۵/۶۵	۵۰/۹

تجمع یافت. رحمت‌الله و همکاران (۲۱) در بررسی شکل‌های نیکل در ۹ خاک آهکی گزارش کردند که تا ۷۲ درصد از نیکل کل در شکل باقیمانده وجود داشت که شامل نیکل موجود در ساختار کانی‌ها است. هان و بنین (۱۱) گزارش کردند که در هر دو خاک مورد مطالعه نیکل عمدتاً در شکل باقیمانده وجود

به خود اختصاص داد. در هر دو خاک مورد مطالعه مجموع شکل‌های پایدار نیکل شامل شکل‌های همراه با اکسیدهای منگنز-آهن، شکل آلی و باقیمانده بیشتر از ۹۰ درصد مجموع شکل‌های نیکل را شامل می‌شد. رجایی و همکاران (۲۳) مشاهده کردند که نیکل اغلب در شکل‌های اکسیدی و باقیمانده

به‌صورت میانگین نیکل تبدالی در سطح ۱۰۰ نیکل در خاک لوم‌شنی از حدود ۶ به ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافت و در خاک رسی از حدود ۲/۷ میلی‌گرم به ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت (جدول‌های ۴ و ۵). در سطح ۵۰ نیکل در خاک رسی، نیکل تبدالی در زمان ۶۰ روز به کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافت (جدول ۶). رجایی و همکاران (۲۳) مشاهده کردند که نیکل تبدالی + محلول، عصاره‌گیری شده با نیترا ت مینزیم یک مولار، به‌صورت معنی‌داری در طی ۱۶ هفته کاهش یافت. آنها گزارش کردند که تنها ۰/۵ میلی‌گرم از ۶۰ میلی‌گرم نیکل افزوده شده به خاک در شکل محلول + تبدالی پس از ۸ هفته بازیابی شد و پس از ۱۶ هفته غیرقابل اندازه‌گیری بود.

در سطح ۱۰۰ نیکل مصرف زئولیت فیروزکوه سبب کاهش معنی‌دار نیکل تبدالی در خاک رسی در روز ۶۰ شد ولی به‌صورت کلی مصرف زئولیت اثرات یکنواخت و مشخصی بر نیکل تبدالی نشان نداد (جدول ۶). عباسپور و گلچین (۱) گزارش کردند که افزودن زئولیت طبیعی به یک خاک آهکی آلوده با عناصر سنگین سبب افزایش کادمیم تبدالی، کاهش سرب تبدالی و عدم تغییر مس و روی تبدالی شد. با وجود اینکه زئولیت یک افزودنی معمول برای حذف عناصر سنگین از آب و نیز کاهش قابلیت جذب فلزات و بهبود رشد گیاهان است (۱۴)، اثرات آن می‌تواند وابسته به عنصر مورد نظر باشد. گزارش شده است که زئولیت توانایی زیادی برای تثبیت سرب و تمایل کمتری برای جذب کادمیم و نیکل از خود نشان داد (۲۶). قاسمی مبتکر و همکاران (۱۰) توضیح دادند که ابقای کمتر نیکل با زئولیت احتمالاً بدلیل شعاع کوچک و تراکم بار الکتریکی زیاد نیکل است که سبب می‌شود شعاع آب‌پوشیده آن افزایش و در نتیجه ظرفیت تبادل آن کاهش یابد. همچنین، بخشی از اثر زئولیت می‌تواند به افزایش پهاش در اثر مصرف زئولیت نسبت داده شود (۴).

کاربرد ورمی‌کمپوست، نیکل تبدالی را اندکی در خاک لوم‌شنی در روز ۲۰ در هر دو سطح نیکل کاهش داد (جدول ۵) ولی

داشت. وجود مقدار بیشتر نیکل در خاک رسی و در جزء باقیمانده در هر دو خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد که نیکل به‌صورت طبیعی در جزء رس خاک تجمع می‌یابد.

بازیابی نیکل در شکل‌های مختلف

بازیابی نیکل در شکل محلول در آب در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود. نیکل محلول در آب متحرک‌ترین شکل نیکل است که می‌تواند به سرعت توسط گیاه جذب شود یا در خاک منتقل شود. حلالیت فلزات سنگین در زمان افزوده شدن به خاک زیاد است و در اثر واکنش‌های مختلف، مانند جذب بر سطوح رس‌ها، اکسیدهای آهن و منگنز، ماده آلی و رسوب به شکل ترکیبات نامحلول، حلالیت آنها در طی زمان کاهش می‌یابد (۲۲، ۲۳).

بافت خاک به‌صورت معنی‌داری بر بازیابی نیکل در شکل تبدالی اثر داشت. مقدار نیکل بازیابی شده در روز بیست در سطح ۵۰ نیکل، در خاک لوم‌شنی از ۲/۴۶ تا ۳/۱۶ بود در حالی که در خاک رسی ۱/۰۸ تا ۱/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. با افزایش سطح نیکل مقدار نیکل تبدالی در خاک لوم‌شنی به ۵/۶ تا ۶/۶ و در خاک رسی به ۲/۳۰ تا ۲/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت (جدول ۵). نتایج مشابهی از بازیابی نیکل در شکل تبدالی در خاک‌های آهکی گزارش شده است (۱۱ و ۲۳). رجایی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که تبدیل نیکل افزوده شده به شکل تبدالی + محلول در خاک لوم‌شنی بیشتر از خاک لوم رسی بود. شکل تبدالی یکی از شکل‌های قابل جذب گیاه است. در خاک‌های سبک‌بافت به علت توانایی محدود در جذب و تثبیت فلزات، شکل تبدالی بیشتر خواهد بود. بیشتر بودن شکل‌های با قابلیت جذب بیشتر در بافت‌های سبک‌تر بازتابی از قابلیت استفاده بیشتر فلزات سنگین در این خاک‌ها نسبت به خاک‌های بافت سنگین است که در پژوهش‌های آنتونیادیس و آلووی (۵) و روانبخش و همکاران (۲۴) نیز گزارش شده است. با گذشت زمان نیکل تبدالی به شکل واضحی در همه‌ی تیمارها کاهش یافت.

جدول ۵. میانگین بازیابی نیکل در شکل‌های مختلف (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) پس از بیست روز خوابانیدن (n=۳)

۱۰۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک		۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک		زئولیت	خاک
ورمی‌کمپوست	تبادل	ورمی‌کمپوست	تبادل		
۴	صفر	۴	صفر		
تبادل					
۵/۸۵bc	۶/۶۰a	۲/۵۴b	۳/۰۰a	صفر	لوم شنی
۵/۸۸bc	۶/۱۷ab	۲/۶۴b	۳/۱۶a	سمنان ۴٪	
۵/۶۰c	۶/۳۱ab	۲/۴۶b	۲/۹۸a	فیروز کوه ۴٪	
۲/۳۲e	۲/۶۳de	۱/۲۵cd	۱/۰۸d	صفر	رسی
۲/۷۴de	۲/۹۴d	۱/۱۸cd	۱/۱۶cd	سمنان ۴٪	
۲/۷۵de	۲/۸۸d	۱/۱۳cd	۱/۴۲c	فیروز کوه ۴٪	
کربناتی					
۹/۳۲bc	۸/۹۹b-d	۷/۲۸ab	۶/۰۰d	صفر	لوم شنی
۱۱/۰a	۶/۹۳f	۷/۸۲a	۷/۵۴ab	سمنان ۴٪	
۸/۵۹b-e	۹/۵۵ab	۷/۵۸a	۷/۱۰ab	فیروز کوه ۴٪	
۷/۵۳d-f	۷/۸۹c-f	۳/۳۶cd	۴/۱۵c	صفر	رسی
۸/۱۱b-f	۹/۳۴bc	۳/۹۶c	۳/۶۰cd	سمنان ۴٪	
۸/۰۸b-f	۷/۳۳ef	۳/۵۲cd	۶/۱۹b	فیروز کوه ۴٪	
همراه با اکسیدهای منگنز-آهن					
۱۹/۳e	۲۳/۹d	۱۲/۴d	۱۲/۶d	صفر	لوم شنی
۱۹/۸e	۲۱/۲e	۱۳/۵cd	۱۴/۷c	سمنان ۴٪	
۲۰/۱e	۲۱/۱e	۱۲/۶d	۱۲/۲d	فیروز کوه ۴٪	
۲۶/۴bc	۲۸/۷a	۲۰/۲a	۱۸/۸ab	صفر	رسی
۲۶/۲c	۲۸/۶a	۱۷/۸b	۱۸/۵b	سمنان ۴٪	
۲۵/۹cd	۲۸/۵ab	۱۸/۵b	۲۰/۳a	فیروز کوه ۴٪	
همراه با ماده آلی					
۳/۷۲d	۳/۴۹d	۳/۰۳e	۲/۱۴ef	صفر	لوم شنی
۴/۷۱d	۳/۱۹d	۳/۱۱e	۲/۲۵ef	سمنان ۴٪	
۴/۰۷d	۳/۱۰d	۲/۹۳e	۱/۸۱f	فیروز کوه ۴٪	
۹/۳۶ab	۸/۳۶a-c	۸/۴۱a	۶/۲۶bc	صفر	رسی
۹/۹۳a	۷/۵۶bc	۶/۴۰b	۵/۲۶cd	سمنان ۴٪	
۸/۷۰a-c	۶/۹۱c	۷/۷۸a	۲/۱۴ef	فیروز کوه ۴٪	
باقیمانده					
۱۸/۵f	۲۲/۸e	۲۱/۶de	۲۱/۳de	صفر	لوم شنی
۱۸/۵f	۱۸/۰f	۲۱/۶de	۱۹/۸de	سمنان ۴٪	
۱۹/۳f	۲۲/۴e	۱۶/۶f	۱۹/۲e	فیروز کوه ۴٪	
۳۷/۷a	۳۶/۹a	۲۲/۳d	۳۰/۶a	صفر	رسی
۲۹/۰d	۳۰/۸cd	۲۵/۳c	۲۷/۸b	سمنان ۴٪	
۳۲/۹bc	۳۴/۸ab	۲۲/۰d	۲۵/۶bc	فیروز کوه ۴٪	

در هر سطح نیکل میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح یک درصد آماری تفاوت معنی دار ندارند.

جدول ۶. میانگین بازیابی نیکل در شکل های مختلف (میلی گرم در کیلوگرم خاک) پس از شصت روز خوابانیدن (n=۳)

۱۰۰ میلی گرم نیکل در کیلوگرم خاک		۵۰ میلی گرم نیکل در کیلوگرم خاک		زئولیت	خاک
ورمی کمپوست (%)					
۴	صفر	۴	صفر		
تبادلی					
۴/۱۳ab	۴/۳۶a	۱/۸۰bc	۲/۱۰a	صفر	لوم شنی
۳/۹۷ab	۴/۳۶a	۱/۷۲c	۱/۹۶ab	سمنان ۴٪	
۳/۸۱b	۴/۰۷ab	۱/۷۶bc	۱/۸۴bc	فیروز کوه ۴٪	
۱/۴۵c	۱/۵۹c	۰/۶۱۰de	۰/۶۸۰de	صفر	رسی
۱/۸۶c	۱/۸۳c	۰/۶۳۰de	۰/۷۹۰d	سمنان ۴٪	
۰/۷۴۰d	۰/۷۰۰d	۰/۶۳۰de	۰/۴۸۰e	فیروز کوه ۴٪	
کربناتی					
a۱۳/۱	c۱۰/۰	b-d۴/۷۴	d۶/۰۰	صفر	لوم شنی
۱۲/۰ab	۱۲/۶a	۶/۰۲ab	۷/۵۴ab	سمنان ۴٪	
۱۲/۴ab	۱۱/۲bc	۶/۸۰a	۷/۱۰ab	فیروز کوه ۴٪	
۶/۱۱d	۶/۵۵d	۳/۱۲d-f	۴/۱۵c	صفر	رسی
۳/۴۱e	۳/۹۰e	۵/۲۹a-c	۳/۶۰cd	سمنان ۴٪	
۳/۲۱e	۴/۲۰e	۲/۷۲f	۶/۱۹b	فیروز کوه ۴٪	
همراه با اکسیدهای منگنز-آهن					
۱۸/۹f	۲۳/۵d	۱۲/۱f	۱۲/۴f	صفر	لوم شنی
۱۹/۶f	۲۱/۵e	۱۳/۰f	۱۴/۸e	سمنان ۴٪	
۱۹/۷f	۲۰/۶ef	۱۲/۳f	۱۲/۱f	فیروز کوه ۴٪	
۲۶/۲bc	۲۸/۲a	۲۰/۱b	۱۸/۷cd	صفر	رسی
۲۶/۵a-c	۲۷/۵ab	۱۷/۵d	۱۸/۸b-d	سمنان ۴٪	
۲۵/۷c	۲۶/۲bc	۱۹/۲bc	۲۲/۲a	فیروز کوه ۴٪	
همراه با ماده آلی					
۳/۵۵e	۳/۳۷e	۳/۹۲d	۲/۹۴de	صفر	لوم شنی
۵/۰۵e	۳/۸۱e	۲/۶۰de	۲/۴۱e	سمنان ۴٪	
۴/۸۱e	۳/۵۰e	۳/۳۵de	۲/۳۴e	فیروز کوه ۴٪	
۱۳/۳ab	۱۲/۲b-d	۱۱/۰a	۷/۵۳b	صفر	رسی
۱۵/۰a	۱۰/۲cd	۷/۷۰b	۸/۳۱b	سمنان ۴٪	
۱۲/۳bc	۹/۹۹d	۱۲/۰a	۵/۸۵c	فیروز کوه ۴٪	
باقیمانده					
۲۰/۸e	۲۰/۰e	۱۹/۵bc	۱۹/۴bc	صفر	لوم شنی
۲۱/۶e	۲۰/۸e	۱۷/۶cd	۱۶/۰d	سمنان ۴٪	
۱۷/۴f	۱۷/۲f	۱۸/۱cd	۱۷/۰cd	فیروز کوه ۴٪	
۳۸/۳bc	۳۸/۸b	۲۷/۰a	۲۵/۴a	صفر	رسی
۴۱/۰a	۳۷/۴b-d	۲۲/۳b	۲۶/۵a	سمنان ۴٪	
۳۶/۶cd	۳۶/۳d	۲۱/۲b	۲۱/۶b	فیروز کوه ۴٪	

در هر سطح نیکل میانگین های دارای یک حرف مشترک در سطح یک درصد آماری تفاوت معنی دار ندارند.

کربناتی شد. تغییرات شکل کربناتی نیکل در طی زمان نشان داد که در خاک لوم‌شنی از روز ۲۰ به ۶۰، شکل کربناتی در سطح ۱۰۰ نیکل افزایش یافت درحالی که در خاک رسی گذشت زمان سبب کاهش آن شد. در روز ۲۰ و سطح ۱۰۰ نیکل شکل کربناتی نیکل در خاک لوم‌شنی ۶/۹۳ تا ۹/۵۵ بود که در روز ۶۰ به ۱۰/۰ تا ۱۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت، ولی در خاک رسی شکل کربناتی نیکل از ۹/۳۴-۷/۳۳ به ۲۱/۵۵-۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافت. این تغییر می‌تواند نشان دهد که نیکل در خاک‌های بافت سبک تمایل به تجمع در شکل‌های با تحرک بیشتر از جمله نیکل کربناتی دارد، درحالی که در خاک‌های بافت سنگین این تمایل به نفع شکل‌های با تحرک کمتر است. گزارش شده است که در طی ۱۶ ماه نیکل معدنی افزوده شده به سه خاک با پ‌هش اسیدی، خنثی و قلیایی از شکل محلول و تبادل به شکل‌های کربناتی، همراه با ماده آلی و همراه با اکسیدهای منگنز آهن تبدیل شدند (۲۸). صفاری و همکاران (۲۵) گزارش کردند که در یک خاک آهکی تیمار شده با نیکل، تا حدود ۳۰ درصد از نیکل در شکل کربناتی بازیابی شد که پس از شکل باقیمانده، بیشترین شکل نیکل بود. ما و یورن (۱۸) توضیح دادند که غلظت زیاد کادمیم در خاک‌های آلوده که با استات آمونیوم یک مولار پ‌هش ۵/۲ پس از کلرید منیزیم عصاره‌گیری شده است می‌تواند علاوه بر شکل متصل به کربنات، از شکل جذب ویژه شده منشأ بگیرد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

با وجود ماهیت آهکی خاک‌های مورد مطالعه، غلظت نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن در آنها زیاد بود. مقدار نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن در خاک لوم‌شنی در سطح ۵۰ نیکل تقریباً ۱۲ و در سطح ۱۰۰ نیکل تقریباً ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود، درحالی که در خاک رسی این شکل نیکل ۱۹-۲۰ و ۲۶-۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ترتیب در سطح ۵۰ و ۱۰۰ نیکل بودند. در هر دو بافت خاک مورد مطالعه مصرف ورمی‌کمپوست سبب کاهش نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن در روزهای ۲۰ و ۶۰ شد. مصرف ورمی‌کمپوست

این اثر در روز ۶۰ در خاک لوم‌شنی و نیز هر دو زمان مورد مطالعه در خاک رسی چندان مشهود نبود. نتایج متفاوتی درباره اثر ماده آلی بر شکل تبدلی فلزات سنگین گزارش شده است. افزودن کمپوست می‌تواند سبب کاهش شکل تبدلی کادمیم در خاک‌های دارای بار متغیر شود (۶). عباسپور و گلچین (۱) دریافتند که مصرف مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری بر شکل تبدلی کادمیم، مس و روی نداشت. عباسپور و همکاران (۲) بقایای تازه مواد آلی، از جمله پودر یونجه، را به سه خاک با پ‌هش متفاوت افزودند. افزودن دو درصد ماده آلی سبب کاهش سرب تبدلی در همه خاک‌ها شد، درحالی که اثر آن بر کادمیم تبدلی متفاوت و وابسته به پ‌هش خاک بود.

بازیابی نیکل در شکل کربناتی، استخراج شده با استات آمونیوم یک مولار با پ‌هش ۵/۲، روندی مشابه با شکل تبدلی نیکل نشان داد ولی نسبت به شکل تبدلی مقدار بیشتری از نیکل در هر دو سطح نیکل و هر دو زمان مطالعه در شکل کربناتی بازیابی شد (جدول‌های ۴ و ۵). به صورت کلی در هر دو سطح نیکل و هر دو زمان مطالعه، نیکل کربناتی در خاک لوم‌شنی بیشتر از خاک رسی بود. مقدار نیکل کربناتی در سطح ۵۰ نیکل در روز ۲۰ در خاک لوم‌شنی در محدوده ۶-۷/۵ و در خاک رسی در محدوده ۳/۶ تا ۶/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. در روز بیست در سطح ۱۰۰ نیکل نیز ۱۱-۶/۹۳ و ۳/۳۴-۷/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از نیکل افزوده شده به ترتیب در خاک لوم‌شنی و رسی در شکل کربناتی وجود داشت. روند مشابهی از بازیابی نیکل در روز ۶۰ مشاهده شد. بازیابی بیشتر نیکل در شکل کربناتی در خاک بافت سبک که از جمله شکل‌های با تحرک زیاد در خاک است، می‌تواند نشان‌دهنده توانایی کمتر خاک شنی برای تثبیت نیکل و حضور بیشتر نیکل در شکل‌های با قابلیت دسترسی زیستی بیشتر باشد. کاربرد ورمی‌کمپوست نتوانست تغییرات معنی‌دار یکنواختی در مقدار نیکل کربناتی در هر دو سطح مصرف نیکل، خاک و زمان‌های مورد مطالعه ایجاد کند. مصرف ژئولیت تنها در روز ۶۰ و در خاک رسی و سطح ۱۰۰ نیکل سبب کاهش نیکل

در سطح ۱۰۰ نیکل به صورت میانگین در هر دو بافت مورد مطالعه، سبب کاهش نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن از ۲۵/۳ به ۲۲/۹ میلی گرم در کیلوگرم در روز بیست، و از ۲۴/۶ به ۲۲/۸ در روز ۶۰ شد (جدول‌های ۴ و ۵). در روز بیست در سطح ۱۰۰ نیکل، شکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن در خاک لوم شنی در محدوده ۲۳/۹-۲۱/۱ بود که با مصرف ورمی کمپوست به ۱۹/۳ تا ۲۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافت. در خاک رسی نیز مصرف ورمی کمپوست سبب شد که نیکل همراه با اکسیدهای منگنز- آهن به صورت میانگین از ۲۸/۶ به ۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش یابد. در روز ۶۰ نیز روند مشابهی مشاهده شد، به نحوی که این شکل نیکل در سطح ۱۰۰ نیکل در خاک لوم شنی به صورت میانگین از ۲۱/۸ به ۱۹/۴ و در خاک رسی از ۲۷/۳ به ۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. این شکل نیکل تغییرات فاحشی را در طی زمان از روز ۲۰ به ۶۰ نشان نداد و احتمالاً نشان می‌دهد که تشکیل این شکل نیکل با سرعت بیشتری به حالت تعادل با محیط می‌رسد. کاربرد زئولیت و گذشت زمان تغییرات معنی دار و واضحی را در این شکل نیکل ایجاد نکرد.

بافت خاک اثر معنی داری بر مقدار نیکل همراه با ماده آلی داشت. مقدار نیکل همراه با ماده آلی در هر دو سطح نیکل و هر دو زمان مطالعه در خاک رسی بیشتر از خاک لوم شنی بود (جدول‌های ۴ و ۵). مقدار نیکل بازیابی شده در شکل آلی در روز بیستم در خاک لوم شنی و رسی به صورت میانگین ۲/۰۷ و ۵/۴ میلی گرم بر کیلوگرم بود و در سایر زمان‌ها و تیمارها نیز روند مشابهی مشاهده شد به نحوی که این شکل نیکل در خاک رسی بیشتر از ۲ برابر بافت لوم شنی بود. مصرف ورمی کمپوست سبب افزایش معنی دار این شکل نیکل شد ولی این گونه به نظر می‌رسد که مصرف ورمی کمپوست اثر بیشتری بر نیکل همراه با ماده آلی در خاک رسی نسبت به خاک لوم شنی داشته است. مصرف ورمی کمپوست در سطح ۱۰۰ نیکل سبب شد که در روز ۲۰ شکل همراه با ماده آلی در خاک رسی به صورت میانگین از ۷/۶۱ به ۹/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم

افزایش یابد. در خاک شنی نیز به صورت میانگین نیکل همراه با ماده آلی در سطح ۱۰۰ نیکل از ۳/۲۶ به ۴/۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم با مصرف ورمی کمپوست افزایش یافت. گذشت زمان سبب افزایش قابل توجه نیکل در شکل آلی در خاک رسی تیمار شده با ورمی کمپوست شد. در عدم مصرف ورمی کمپوست و سطح ۵۰ نیکل به صورت میانگین نیکل آلی در خاک رسی از ۵/۴ در روز ۲۰ به ۷/۲۳ در روز ۶۰، و در سطح ۱۰۰ نیکل از ۷/۶۱ به ۱۰/۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت. در تیمارهای دریافت کننده ورمی کمپوست خاک رسی نیز روند مشابهی دیده شد و میانگین نیکل آلی در سطح ۱۰۰ نیکل از ۹/۳۳ به ۱۳/۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک رسید که افزایشی تقریباً ۵۰ درصدی را در این شکل نیکل با گذشت زمان نشان می‌دهد. مصرف زئولیت در برخی موارد سبب کاهش شکل آلی نیکل شد ولی این تغییرات به صورت جهت دار و پایدار نبودند. رجایی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که نیکل همراه با ماده آلی تغییرات مشخصی را در طی زمان نشان نداد. جذب و رهاسازی فلزات سنگین توسط ماده آلی خاک تحت تأثیر ساخت و تجزیه ماده آلی قرار دارد و مقدار نسبی شکل همراه با ماده آلی و سایر شکل‌های شیمیایی ممکن است تحت تأثیر خصلت ناپایدار بودن ماده آلی قرار گیرد. عباسپور و گلچین (۱) گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست اثرات مشخصی بر مس، روی و کادمیم همراه با ماده آلی نشان نداد، درحالی که بولن و همکاران (۶) گزارش کردند که کاربرد کمپوست سبب افزایش شکل کادمیم همراه با ماده آلی شد. کمترین مقدار نیکل همراه با ماده آلی در تیمار زئولیت فیروزکوه مشاهده شد.

بازیابی نیکل در شکل باقیمانده در خاک لوم شنی در حدود ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ نیکل بود. در خاک رسی در سطح ۵۰ نیکل به صورت میانگین ۲۵ و در سطح ۱۰۰ نیکل ۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در شکل باقیمانده بازیابی شد. در خاک رسی گذشت زمان سبب افزایش نیکل در شکل باقیمانده شد به نحوی که در سطح ۱۰۰ نیکل

نتیجه گیری

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بافت خاک اثر بسیار زیادی بر شکل‌های مختلف نیکل دارد و در خاک بافت سبک شکل‌های نیکل با تحرک زیاد مانند شکل‌های تبادل‌ی و کربناتی مقدار بیشتری از بازیابی نیکل را به خود اختصاص دادند در حالی که در بافت سنگین‌تر شکل‌های با تحرک کمتر مانند شکل همراه با اکسیدهای آهن و منگنز، شکل همراه با ماده آلی و شکل باقیمانده بیشتر بودند. گذشت زمان سبب کاهش شکل تبادل‌ی نیکل شد. گذشت زمان با افزایش شکل کربناتی نیکل در خاک لوم‌شنی و کاهش آن در خاک رسی همراه بود. شکل آلی نیکل با گذشت زمان در خاک رسی افزایش یافت. بیشترین اثر ورمی‌کمپوست بر شکل آلی نیکل مشاهده شد که با افزایش آن همراه بود. کاربرد ژئولیت اثرات کمی بر شکل‌های مختلف نیکل نشان داد.

شکل باقیمانده نیکل از ۳۳ در روز ۲۰ به ۳۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در روز ۶۰ افزایش یافت. مصرف ورمی‌کمپوست و ژئولیت تغییرات جهت‌دار و پایداری در شکل باقیمانده نیکل ایجاد نکرد. چنین به نظر می‌رسد که عاملی سبب محدودیت تبدیل نیکل افزوده شده به خاک لوم‌شنی به شکل باقیمانده شده باشد و احتمال دارد به علت محدودیت در مکان‌های ویژه جذب و رسوب نیکل در خاک لوم‌شنی، این شکل نیکل تغییرات زیادی را در طی زمان متحمل نشده باشد. نیکل به علت انرژی تبلور زیاد نسبت به سایر فلزات دو ظرفیتی تمایل دارد که در جزء رس خاک تجمع یابد. هان و بنین (۱۱) گزارش کردند که در دو خاک غیرآلوده، نیکل اساساً در شکل باقیمانده حضور داشت. ما و رائو (۱۷) گزارش کردند که ۵۴ تا ۹۴ درصد از نیکل کل در خاک‌های آلوده در شکل باقیمانده حضور داشت.

منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, A. and A. Golchin 2011. Immobilization of heavy metals in a contaminated soil in Iran using di-ammonium phosphate, vermicompost and zeolite. *Environmental Earth Science* 63: 935-943.
2. Abbaspour, A., M. Kalbasi, S. Hajrasuliha and A. Golchin 2007. Effects of plant residue and salinity on fractions of cadmium and lead in three soils. *Journal of Soil and Sediment Contamination* 16: 539-555.
3. Adhami, E., A. Salmanpour, A. Omidi, N. Khosravi, R. Ghasemi-Fasaei and M. Maftoun. 2008 Nickel adsorption characteristics of selected soils as related to some soil properties. *Journal of Soil and Sediment Contamination* 17: 643-653.
4. Ansari-Mahabadi, A., M. A. Hajabbasi, H. Khademi and H. Kazemian. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. *Geoderma* 137: 388-393.
5. Antoniadis, V. and B. J. Alloway. 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils. *Environmental Pollution* 117: 515-521.
6. Bolan, N. S, D. C. Adrian, P. Duraisamy and A. Mani. 2003. Immobilization and phyto availability of cadmium in variable charge soils. III. Effect of biosolid compost addition. *Plant and Soil* 256: 231-241.
7. Boros-Lajszner, E., J. Wyzkowska and J. Kucharski. 2018. Use of zeolite to neutralise nickel in a soil environment. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(1): 1-13
8. Conder, J. M., R. P. Lanno and N.T. Basta. 2001. Assessment of metal availability in smelter soil using earthworms and chemical extractions. *Journal of Environmental Quality* 30: 1231-1237.
9. Falahati, S. and E. Adhami. 2015. Effect of vermicompost and two types of zeolite (Firoozkoh and Semnan) on the kinetic of nickel fixation in two calcareous soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 19(71): 253-264.
10. Ghasemi-Mobtaker, H., H. Kazemian, M. A. Zeinali-Danaloo, A. Malekinejad and M. R. Pakzad. 2006. The sorption of some heavy metal cations using A and P zeolites, synthesized from Iranian natural clinoptilolite and investigation of ionic interference effects on sorption. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 25: 87-95.
11. Han, F. X. and A. Banin. 1999. Long-term transformation and redistribution of potentially toxic heavy metals in arid-zone soils: Incubation in field capacity content. *Water Air Soil Pollution* 114: 221-250.
12. Jordão, C. P., L. L. Fialho, J. C. Neves, P. R. Cecon, S. E. Mendonça and R. L. F. Fontes. 2007. Reduction of heavy

- metal contents in liquid effluents by vermicomposts and the use of the metal-enriched vermicomposts in lettuce cultivation. *Bioresource Technology* 98: 2800-2813.
13. Kashem, M. A. and B. R. Singh. 2001. Solid phase speciation of Cd, Ni and Zn in some contaminated and non-contaminated tropical soils. PP. 213-227. In: Iskandar, I. K. and M.B. Krikham. (Eds.), Trace Elements in Soil Bioavailability, Flux and Transfer. Boca Raton, FL: CRS;
 14. Keller, C., M. Marchetti, L. Rossi and N. Lugon-Moulin. 2005. Reduction of cadmium availability to tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants using soil amendments in low cadmium contaminated agricultural soils: a pot experiment. *Plant and Soil* 276: 69-84.
 15. Lin, C. F., S. S. Lo, H. Y. Lin and Y. Lee. 1998. Stabilization of cadmium contaminated soils using synthesized zeolite. *Journal of Hazardous Materials* 60: 217-226.
 16. Ma, Y., E. Lombi, M. J. McLaughlin, I. W. Oliver, A. L. Nolan, K. Oorts and E. Smolders. 2013. Aging of nickel added to soils as predicted by soil pH and time. *Chemosphere* 92: 962-968.
 17. Ma, L. Q. and G. N. Rao. 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils. *Journal of Environmental Quality* 26: 259-264.
 18. Ma, Y. B. and N. C. Uren. 1998. Transformations of heavy metals added to soil-application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma* 84: 157-168.
 19. McGrath, S. P. 1995. Chromium and nickel. PP. 152-178. In: Alloway, B. J. (Ed), Heavy Metals in Soils, Glasgow UK Blakie Academic and Professional.
 20. Misaelides, P. 2011. Application of natural zeolites in environmental remediation: A short review. *Microporous and Mesoporous Materials* 144: 15-18.
 21. Rahmatullah, B. Z., M. Salim and K. Hussain. 2001. Nickel forms in calcareous soils and influence of Ni supply on growth and N supply of oats grown in soil fertilized with urea. *International Journal of Agriculture Biology* 3(2): 230-232.
 22. Rajaie, M., N. Karimian, M. Maftoun, J. Yasrebi and M. T. Assad. 2006. Chemical forms of cadmium in two calcareous soil textural classes as affected by application of cadmium-enriched compost and incubation time. *Geoderma* 135: 533-541.
 23. Rajaie, M., N. Karimian and J. Yasrebi 2008. Nickel transformation in two calcareous soil textural classes as affected by applied nickel sulfate. *Geoderma* 144: 344-351.
 24. Ravanbakhsh, M. H., A. Fotovat and G. H. Haghnia. 2009. The effect of sewage sludge and incubation time on the availability and speciation of Nickel and Cadmium in the calcareous soil solutions. *Journal of Water and Soil* 23: 239-249.
 25. Saffari, M., N. Karimian, A. Ronaghi, J. Yasrebi and R. Ghasemi-Fasaei. 2015. Stabilization of nickel in a contaminated calcareous soil amended with low-cost amendments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15(4): 896-913.
 26. Shanableh, A. and A. Kharabsheh. 1996. Stabilization of Cd, Ni and Pb in soil using natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials* 45: 207-217.
 27. Tessier, A, P.G.C. Campbell and M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* 51: 844-851.
 28. Tewari, G., L. Tewari, P. C. Srivastava and B. Ram. 2010. Nickel chemical transformation in polluted soils as affected by metal source and moisture regime. *Chemical Speciation and Bioavailability* 22: 141-155.
 29. Uren, N. C. 1992. Forms, reactions and availability of nickel in soils. *Advanced in Agronomy* 48: 141-203.
 30. Vodyanitskii, Y. N. 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian science* 14(3): 257-263.

Changes in Nickel Fractions as Affected by Aging and Vermicompost and Zeolite Application in Two Calcareous Soils with Different Texture

S. Falahati, E. Adhami* and H. R. Owliaie¹

(Received: June 14-2022 ; Accepted: October 1-2022)

Abstract

Due to the importance of nickel (Ni), and the effect of common soil additives on Ni fractions distribution, the present study was conducted to evaluate the effect of zeolite and vermicompost on nickel fractions over time. The experimental design consisted of a factorial combination of two levels of vermicompost (zero and 2% by weight), three levels of zeolite (zero, 4% by weight of Firoozkooch zeolite, and 4% by weight of Semnan zeolite), and two soil texture (clay and sandy loam) in a completely randomized design in triplicates. Treatments were contaminated with 50 and 100 mg nickel/kg soil. Ni fractions were extracted and measured at 20 and 60 days. The results showed that in initial soils, Car-Ni in sandy loam soil was higher than in clay soil, while the content of Fe, Mn- Ox Ni, OM-Ni, and Res-Ni in the clay soil was higher. In sandy loam soil, more nickel was recovered in Exch- and Car-fractions, while nickel recovery was higher in Mn, Fe-Ox Ni, OM-Ni, and Res-Ni in the clay texture. Zeolite addition caused a significant decrease of Exch- and Car-Ni in the clay soil on 60d and 100 mg/kg Ni level. Exch-Ni was reduced due to vermicompost application. Vermicompost application caused the decrease in Fe, Mn Ox-Ni in both studied soils and times, and OM-Ni increased by vermicompost application. Aging generally reduces the Exch-Ni but changes in Car-Ni over time depending on the soil texture. Aging did not affect Mn, Fe-Ox Ni, and Res-Ni, while OM-Ni increased over time in clay soil.

Keywords: Calcareous soils, Zeolite, Sequential extraction, Heavy metals, Vermicompost

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*: Corresponding author, Email: eadhami@gmail.com