

اثر مواد آلی و شوری بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی پس از کشت ذرت

حمیدرضا بوستانی*^۱، مصطفی چرم^۲، عبدالامیر معزی^۲، نعیمه عنایتی ضمیر^۲، نجف‌علی کریمیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۳

^۱استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

^۲و ^۲به ترتیب دانشیاران و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳استاد سابق گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: hr.boostani@shirazu.ac.ir

چکیده

اطلاع از توزیع شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های آهکی جهت شناخت زیست‌فراهمی و تحرک آن ضروری است. به منظور بررسی اثرات شوری و ماده آلی بر شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی تحت کشت ذرت، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورها شامل سه سطوح شوری (۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌اکی والان نمک در کیلوگرم خاک) و دو نوع ماده آلی (کود گاوی و کاه-کلش گندم) هر کدام در دو سطح (۰ و ۲ درصد وزنی) بود. اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی از طریق روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری، غلظت شکل‌های محلول+تبادلی، کربناتی و اکسیدمنگنز روی افزایش و شکل آلی کاهش یافت. کاربرد مواد آلی سبب افزایش غلظت شکل‌های محلول+تبادلی، کربناتی، آلی، پیوسته به اکسید منگنز و اکسید آهن بلورین شد. کاربرد تیمارهای آلی درصد نسبی شکل‌های محلول+تبادلی، کربناتی، آلی، کربناتی، اکسید منگنز و اکسیدی آهن را افزایش و درصد نسبی شکل تنمه را کاهش داد. تیمار شوری درصد نسبی شکل‌های محلول+تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز را افزایش، و شکل‌های آلی و اکسید آهن بلورین را کاهش داد. بنابراین کاربرد ماده آلی و شوری سبب توزیع مجدد شکل‌های شیمیایی روی شد. همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های محلول+تبادلی، کربناتی، اکسید منگنز و اکسید آهن با روی قابل جذب در خاک وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: خاک آهکی، روی، شکل‌های شیمیایی، شوری، ماده آلی

Effect of Salinity and Organic Matter on Distribution of Zinc Chemical Forms in a Calcareous Soil after Maize Cultivation

HR Boostani^{*1}, M Chorom², A Moezzi², N Enayatizamir², N Karimian³

Received: 20 January 2015 Accepted: 3 July 2016

¹-Assis. Prof., Faculty of Agric. Natural. Res., Darab, Univ. of Shiraz, Iran

^{2, 2, 2}-Assoc. Prof., Assoc. prof., and Assist. Prof., Dept. of soil sci., Faculty of Agric., Univ. of Shahid chamran, Iran, respectively

³- Former Prof. Dept. of soil sci., Faculty of Agric., Univ. of Shiraz, Iran

*Corresponding Author, Email: hr.boostani@shirazu.ac.ir

Abstract

Information about forms of zinc (Zn) in calcareous soils is essential for understanding its bioavailability and mobility. To investigate the effects of salinity and organic matter on the chemical forms of Zn in a calcareous soil under maize cultivation, a factorial experiment as completely randomized design with three replications was conducted in greenhouse conditions. Factors included three salinity levels (0, 15 and 30 meq salt kg⁻¹ soil) and two types of organic matter (manure and wheat straw), each of them at two levels (0 and 2 percent). Sequential extraction procedure of Singh et al. was used to measure Zn chemical forms. Results showed that the Zn concentrations of soluble+exchangeable, carbonatic, mn-oxide fractions were increased and Organic fraction was decreased by increasing of salinity levels. Application of the all organic treatments caused to increase the Zn concentrations of soluble+ exchangeable, carbonatic, organic, mn-oxide and fe-oxide fractions. The Zn concentration of residual fraction in wheat straw treatment was reduced. The relative percentage of soluble + exchangeable, organic, carbonatic, mn-oxide and fe-oxide fractions were increased and residual fraction was decreased by application of all organic treatments. Salinity caused to increase the relative percentage of soluble+exchangeable, carbonatic and mn-oxide fractions and to reduce the organic and crystalline fe-oxide fractions. Therefore, application of salinity and organic matter caused to redistribution of Zn chemical fractions. Also, the available Zn in soil had a positive and significant correlation with soluble+exchangeable, carbonatic, mn-oxide and fe-oxide fractions.

Keywords: Calcareous soil, Chemical forms, Organic matter, Salinity, Zinc

مقدمه

شوری نیز یکی از مهمترین تنش‌های محیطی غیرزیستی است که رشد و تولید محصولات را در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌سازد. pH بالا و غلظت زیاد کلسیم مسئول اصلی کمبود روی در اکثر خاک‌های شور می‌باشند (از طریق رقابت با جذب روی) (الووی ۲۰۰۴). بنابراین در خاک‌های آهکی و شور قابلیت زیست‌فراهمی روی پایین است. در سال‌های اخیر از عصاره‌گیری

روی یکی از عناصر غذایی ضروری می‌باشد که گیاهان برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی و زایشی خود به مقدار کم به این عنصر نیاز دارند (چیدانانداپا و همکاران ۲۰۰۸). کمبود روی به‌طور گسترده در خاک‌هایی با pH بالا، میزان کم ماده آلی، آهکی و شور و سدیمی گزارش شده است (راتان و شارما ۲۰۰۴).

همکاران ۱۹۹۶ و قدیر و همکاران (۱۹۹۷) درحالی که مطالعه اثرات شوری بر شکل های شیمیایی روی در خاک های تحت کشت گیاه بسیار محدود است. کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر شوری آب آبیاری را بر قابلیت عصاره گیری و شکل های شیمیایی روی در تعدادی از خاک های آهکی ایران در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش سطوح شوری شکل محلول و تبدالی روی حدود ۲۰ الی ۸۰ درصد و شکل آلی روی حدود ۸/۶ تا ۴۳ درصد افزایش نشان داد و شکل تنمه به طور معنی داری کاهش نشان داد. با توجه به اینکه پژوهش های بسیار محدودی در مورد اثرات شوری و همچنین اثرات ماده آلی در حضور شوری بر شکل های شیمیایی روی در خاک تحت کشت گیاه صورت گرفته، بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثرات شوری و ماده آلی و برهمکنش آنها بر شکل های شیمیایی روی در یک خاک آهکی تحت کشت ذرت در شرایط گلخانه می باشد.

مواد و روش ها

انتخاب و جمع آوری خاک

برای انجام این آزمایش مقدار مناسبی خاک از عمق (۳۰-۰ سانتی متری) از منطقه شمال خوزستان (منطقه صفی آباد دزفول) که قابلیت هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی پایینی دارد، برداشته شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی متری برخی ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک به روش های استاندارد آزمایشگاهی اندازه گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر ۱۹۸۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، pH به وسیله الکتروود شیشه ای (توماس ۱۹۹۶)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتر کردن با فروآمونیم سولفات (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، فسفر قابل جذب به روش عصاره گیری با بی کربنات سدیم (اولسن و همکاران ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل جذب توسط استات

دنباله ای برای تعیین شکل های شیمیایی فلزات در خاک های ایران استفاده شده است (یثربی و همکاران ۱۹۹۴). اساس این روش کاربرد متوالی عصاره گیرهای انتخابی در یک نمونه واحد خاک می باشد. قدرت عصاره گیری از مرحله ای به مرحله بعد افزایش یافته و در نهایت به عصاره گیرهای بسیار قوی و شدیداً اسیدی می رسد که قادر به تخریب شبکه بلور کانی می باشند. به عبارتی هر عصاره گیر به طور انتخابی شکل معدنی یا آلی از خاک را حل کرده و سبب رهاسازی فلزات و عناصر متصل به آن می شود. روش عصاره گیری دنباله ای به عنوان ابزاری نیرومند در تعیین شکل های شیمیایی عناصر به کار می رود (تسیر و همکاران ۱۹۷۹). به طور کلی این روش عنصر روی را بصورت شکل های شیمیایی متفاوت جدا می کند. برخی از این شکل ها عبارتند از محلول و تبدالی، آلی، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز و تنمه (تسیر و همکاران ۱۹۷۹؛ ما و اورن ۱۹۹۵). درباره عوامل مؤثر بر تغییر میزان نسبی شکل های شیمیایی روی در خاک تحقیقات زیادی انجام شده است. مواد آلی یکی از عوامل مؤثر بر تغییر میزان نسبی شکل های مختلف روی در خاک است (سینگانیا و همکاران ۱۹۸۳). افزودن ماده آلی به خاک به صورت لجن فاضلاب، کودهای دامی، کمپوست و بقایای گیاهی معمولاً سبب توزیع مجدد روی در خاک می شود (کلمنت و برنال ۲۰۰۶). سخون و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که افزودن کود آلی در مدت طولانی در غیاب کود شیمیایی روی، شکل های شیمیایی روی را از جمله شکل تبدالی و محلول، آلی، اکسیدهای منگنز و اکسید آهن بی شکل را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش داد. جلالی و خانبلوکی (۲۰۰۸) پس از عبور دادن شیرابه کود مرغی به مدت چند ساعت از یک ستون خاک مشاهده کردند که شکل متصل به اکسیدهای منگنز روی به میزان ۲۸/۱۲ درصد افزایش نشان داد. گزارشات منتشر شده در مورد اثر شوری بر قابلیت استفاده روی محدود است (راویکوویچ و همکاران ۱۹۶۸، پیچ و

جذب اتمی GBC مدل Savant AA ساخت کشور استرالیا، اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

آمونیم، نیتروژن کل (TN) به‌روش کلدال (برمنر ۱۹۹۶) و آهن، منگنز، مس و روی قابل‌جذب به‌روش DTPA (لیندسی و نورول ۱۹۷۸) به‌وسیله دستگاه

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت.

گروه بافت خاک	EC _e (dS m ⁻¹)	pH	OC (%)	CaCO ₃ (%)	TN (%)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	منگنز قابل جذب	مس قابل جذب	روی قابل جذب
لوم رسی سیلتی	۲	۷/۸	۰/۷	۴۳/۲	۰/۰۶	۱۲	۱۰۴	۱۳/۲	۹/۴	۲/۶	۰/۵

کربن آلی (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، غلظت روی کل به‌روش خشک سوزانی و حل خاکستر حاصله در اسید کلریدریک دو نرمال و قرائت غلظت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (GBC مدل Savant AA ساخت کشور استرالیا)، فسفر کل در نمونه کود به‌روش رنگ سنجی (چاپمن و پرات ۱۹۶۱) و نیتروژن کل به‌روش کلدال (برمنر ۱۹۹۶) اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

مواد آلی مورد استفاده

نمونه‌های ماده آلی از دو منبع مختلف شامل کود گاوی (CM) پوسیده و کاه و کلش گندم (WS) که از نظر میزان روی و سایر ویژگی‌ها با هم متفاوت بودند، انتخاب و پس از خشک کردن در هوا به آزمایشگاه منتقل شد و برخی از ویژگی‌های آن نظیر pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره یک به پنج ماده آلی به آب،

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی به‌کار رفته در آزمایش.

ویژگی	کود گاوی	کاه و کلش گندم
قابلیت هدایت الکتریکی (۱:۵) (dS m ⁻¹)	۷/۲	۷/۴
pH (۱:۵)	۷/۹	۶/۵
کربن آلی (%)	۲۱	۳۰
نیتروژن کل (%)	۲/۱۴	۱/۴
فسفر کل (%)	۰/۵۸	۰/۰۸
روی کل (mg kg ⁻¹)	۲۰۳	۱۸

تیمارها و خواباندن خاکها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل دو نوع ماده آلی (کود گاوی (CM) و کاه-کلش گندم (WS)) هر کدام در دو سطح (۰ و ۲ درصد وزنی) و فاکتور دوم شامل شوری (S) در سه سطح (S₁)_۰، ۱۵ (S₂) و ۳۰ (S₃) میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم خاک) از منبع کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم با نسبت اکی‌والانی

Mg:Ca:Na معادل ۱:۲:۳ بود. در آغاز نمونه‌های هفت کیلوگرمی از خاک هوا خشک که از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده را درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و سپس تیمارهای آلی، طبق طرح آزمایشی به خاکها افزوده شدند. خاک درون کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مخلوط و به گلدان‌های هفت کیلوگرمی انتقال داده شد و رطوبت خاک توسط آب مقطر به‌حدود رطوبت ظرفیت مزرعه رساتده شد. برای انجام واکنش‌های لازم، نمونه‌های خاک

روی از طریق تفاوت بین میزان کل روی خاک با جمع شکل های دیگر محاسبه شد (کمالی و همکاران ۲۰۱۱). غلظت روی کل در خاک در عصاره بدست آمده از ۲ گرم خاک که به مدت یک شب توسط ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال در دمای ۸۰ درجه سلسیوس هضم شده، اندازه گیری شد (اسپوزیتو و همکاران ۱۹۸۲). بعد از عصاره گیری روی در هر مرحله، غلظت روی به وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شد. لازم به ذکر است که استانداردهای روی در محلول هایی که از نظر ترکیب و غلظت مشابه عصاره گیری های هر مرحله است، تهیه شد.

تجزیه آماری

تجزیه آماری داده ها، به وسیله برنامه های کامپیوتری Excel و MSTATC انجام و میانگین های مربوط به اثرهای اصلی هر یک از عامل ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد. تعیین ضرائب همبستگی روی، با برنامه کامپیوتری SPSS 14.0 انجام شد.

نتایج و بحث

۱- اثر مواد آلی و سطوح مختلف شوری بر شکل های شیمیایی روی در خاک

۱-۱- شکل محلول و تبدالی

اثرات اصلی تیمار شوری و ماده آلی و همچنین اثرات متقابل آنها بر شکل محلول و تبدالی روی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول تجزیه واریانس به علت محدودیت صفحات ارائه نشده است).

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار ماده آلی نشان داد که با کاربرد همه تیمارهای ماده آلی شکل محلول و تبدالی روی به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد ماده آلی) افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان افزایش مربوط به تیمار کاربرد توأم ماده آلی (CM+WS) به میزان ۱۳۲ درصد و کمترین میزان افزایش مربوط به تیمار کاربرد مجزای کاه-کلش گندم (WS) به میزان ۱۰۹ درصد بود (جدول ۳). مقایسه

تیمار شده توسط مواد آلی را به مدت ۱۵ روز در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بعد از این مرحله تمامی مقدار مورد نیاز پتاسیم و فسفر به صورت سولفات پتاسیم و سوپرفسفات و نیمی از نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره بر اساس نتایج آزمون خاک، به خاکها افزوده شدند. نوبت دوم نیتروژن، در آخر هفته چهارم رشد گیاه به خاک گلدانها افزوده شد.

آزمایش گلخانه ای

پس از اعمال تیمارها، کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت رقم مبین ۷۰۴ در عمق حدود ۲ سانتی متری انجام شد. در هفته سوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدانها روزانه به صورت وزنی با استفاده از آب مقطر (بدون ایجاد زهاب) در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه داشته شدند. پس از تنک کردن گیاهان و در پایان هفته سوم رشد، جهت اجتناب از شوک اسمزی ناشی از شوری، مقادیر نمک در هر یک از تیمارها به تدریج و به مدت یک هفته به آب آبیاری افزوده شد تا در نهایت نمک مصرفی به اندازه تیمار مورد نظر برسد. به منظور کنترل سطوح شوری در طول آزمایش از گلدانهای فاقد گیاه (تخریبی) استفاده گردید. دامنه اندازه گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای شوری S_0 ، S_1 و S_2 در طول فصل رشد به ترتیب برابر با ۱/۹-۲/۲، ۴/۶-۵/۵ و ۷/۸-۸/۶ دسی زیمنس بر متر بود.

اندازه گیری شکل های شیمیایی روی در خاک

پس از ۱۰ هفته، گیاهان برداشت شده و قسمتی از خاک گلدانها پس از جدا نمودن ریشه ها و عبور از الک ۲ میلی متری برای تعیین شکل های شیمیایی روی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. جهت اندازه گیری شکل های شیمیایی روی از روش سینگ و همکاران (۱۹۸۸) استفاده گردید. این روش، روی را به شکل های محلول و تبدالی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی شکل، اکسیدهای آهن بلورین و تتمه جدا می کند. شکل تتمه

روی در نقاط تبدالی توسط ماده آلی کاربردی مربوط می‌شود. تاگویرا و همکاران (۱۹۹۲) معتقدند وجود ماده آلی در خاک سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده و مکان‌های جذب قابل برگشت را بر سطوح خاک افزایش می‌دهد، به همین دلیل روی می‌تواند بیشتر در شکل تبدالی قرار بگیرد. سخون و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که افزودن کود آلی در غیاب کود شیمیایی روی، شکل محلول و تبدالی را نسبت به تیمار شاهد به-طور معنی‌داری افزایش داد. کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) افزایش شکل محلول و تبدالی روی را در اثر افزایش شوری آب آبیاری در برخی از خاک‌های آهکی ایران گزارش کردند.

۱-۲- شکل کربناتی

اثرات اصلی تیمار شوری و ماده آلی بر شکل کربناتی روی از نظر آماری به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد، در حالی که اثرات متقابل آن‌ها بر این شکل روی معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار ماده آلی نشان داد که کاربرد هر سه تیمار آلی سبب افزایش معنی‌دار شکل کربناتی روی نسبت به تیمار شاهد شد و میزان این افزایش به صورت کاربرد توأم ماده آلی < کود گاوی > کاه-کلش گندم بود (جدول آورده نشده). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از S_0 به S_2 شکل کربناتی روی به طور معنی‌داری افزایش یافت در صورتی که بین سطوح شوری S_0 و S_1 از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین اثرات متقابل شوری و ماده آلی بر این شکل روی معنی‌دار نشد، بنابراین تأثیر تیمارهای آلی در افزایش این شکل روی به سطوح شوری خاک بستگی نداشت. عثمان و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که با افزودن کود آلی به خاک آهکی شکل کربناتی روی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری می‌یابد. توجیه آنان این

بود که چون خاک آهکی است روی به صورت

کربنات روی رسوب می‌دهد و درصد زیادی از روی قابل

میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری شکل محلول و تبدالی روی به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که از $0/629$ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار S_0 به $0/803$ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار S_2 رسید که این افزایش معادل $27/66$ درصد بود. در این آزمایش افزایش سطوح شوری سبب افزایش معنی‌دار شکل محلول و تبدالی روی شد، که احتمالاً به-دلیل جایگزینی یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم به جای روی قابل تبادل می‌باشد. مکانیسم اصلی کنترل‌کننده حرکت و پویایی روی در خاک رقابت با کلسیم بر سر جایگزینی در نقاط جذب سطحی است. بعد از کلسیم، رقابت روی با منیزیم و سولفات در جذب سطحی دیگر عوامل کنترل‌کننده پویایی و حرکت روی در خاک هستند (اکوستا و همکاران ۲۰۰۱). کاساگراند و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که با افزایش شوری قدرت یونی محلول خاک افزایش یافته، در نتیجه اکتیویته روی در محلول کاهش یافته و جذب روی در سطح تبدالی کانی‌های رسی کم شده و همین امر سبب افزایش غلظت روی دوظرفیتی در محلول خاک می‌شود. علت کاهش جذب سطحی روی رقابت کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم با کاتیون دو ظرفیتی روی می‌باشد. مقدار روی دوظرفیتی خاک به عواملی چون غلظت کل روی خاک، نوع نمک یا کود اضافه شده، سطح شوری و نیز وجود یا وجود نداشتن گیاه در خاک بستگی دارد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و ماده آلی نشان داد که در هر سه سطح شوری مقدار روی در شکل محلول و تبدالی به صورت کاربرد توأم ماده آلی < کود گاوی > کاه-کلش گندم بود اما در سطح شوری S_1 بین تیمارهای کود گاوی و کاه-کلش گندم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در اثر افزایش سطوح شوری در تیمارهای آلی میزان افزایش شکل محلول و تبدالی کمتر از تیمار شاهد بود که احتمالاً به افزایش اولیه مقدار این شکل روی در تیمارهای کاربردی ماده آلی در اثر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و قدرت نگهداری بیشتر

خاک همبستگی مثبت و معنی داری دارد. آنان مشاهده کردند که خاک تیمار شده با کود غیر آلی دارای غلظت کمی از روی کربناتی بود.

جذب حاصل از تجزیه ماده آلی اضافه شده به خاک در شکل کربناتی رسوب می کند. همچنین زیناتی و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که شکل کربناتی روی با کربن آلی

جدول ۳- تأثیر کاربرد ماده آلی بر شکل محلول و تبادل (WEx) روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

اثرات اصلی	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
۰/۳۷۴ D	۰/۵۱۷ g	۰/۳۵۱ h	۰/۲۵۴ i	C
۰/۷۸۵ C	۰/۸۶۲ c	۰/۸۱۱ d	۰/۶۸۳ f	WS
۰/۸۳۰ B	۰/۹۰۳ b	۰/۸۲۱ d	۰/۷۶۶ e	CM
۰/۸۶۸ A	۰/۹۳۱ a	۰/۸۶۰ c	۰/۸۱۵ d	CM+WS
	۰/۸۰۳ A	۰/۷۱۱ B	۰/۶۲۹ C	اثرات اصلی

میانگین های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند.

در همه جداول حروف اختصاری C، WS، CM، و CM+WS به ترتیب نشانگر تیمارهای شاهد، کاه کلش گندم، کود گاوی و کود گاوی + کاه-کلش گندم و حروف اختصاری S₀، S₁ و S₂ به ترتیب نشانگر عدم کاربرد نمک، ۱۵ و ۳۰ میلی اکی والان ترکیب نمکی در کیلوگرم خاک می باشد.

۱-۳- شکل آلی

اثرات اصلی تیمار شوری و ماده آلی و همچنین اثرات متقابل آنها بر شکل آلی روی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری به طور معنی داری شکل آلی روی کاهش یافت، به طوری که از ۰/۷۰۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تیمار S₀ به ۰/۵۵۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تیمار S₂ رسید که این کاهش معادل ۲۱ درصد بود (جدول ۴). گزارش شده است که شوری دارای اثر منفی بر میزان جمعیت و فعالیت میکروبی و همچنین فرایندهای بیوشیمیایی ضروری که برای نگهداشت ماده آلی خاک ضروری است، دارد (تریفاتی و همکاران ۲۰۰۶). ماوی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزایش شوری خاک سبب کاهش فعالیت موجودات زنده خاک و در نتیجه میزان کربن آلی محلول را به طور معنی داری کاهش داد. کاهش معنی دار کربن آلی محلول در اثر افزایش شوری توسط

دهقانی و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. شاید بتوان کاهش میزان روی در شکل آلی در اثر افزایش شوری خاک را این طور توجیه کرد که افزایش شوری از یک سو سبب کاهش رشد و توسعه ریشه از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط ریشه شده و از سوی دیگر نیز فعالیت موجودات زنده خاک را نیز کاهش داده است. بنابراین تولید و ترشح مواد آلی توسط ریشه و موجودات زنده در این شرایط کاهش یافته و نتیجه آن کاهش میزان کربن آلی محلول است و از آنجا که روی تمایل زیادی برای جذب بر روی مولکول های آلی دارد، (راموس و همکاران ۱۹۹۴) میزان روی در شکل آلی کاهش می یابد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار ماده آلی نشان داد که کاربرد همه تیمارهای آلی سبب افزایش معنی دار شکل آلی روی شد به طوری که تاثیر کاربرد کود گاوی و کاه-کلش گندم در افزایش شکل آلی روی نسبت به تیمار شاهد یکسان و به طور معنی داری کمتر از تیمار کاربرد

روی در اثر افزایش سطوح شوری خاک به نوع ماده آلی کاربردی بستگی داشت. الماس و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که مواد آلی تازه مانند کود دامی غنی از ترکیبات محلول هستند که می‌تواند سبب افزایش حلالیت فلزات، کمی بعد از افزودن این مواد به خاک و همچنین سبب تشکیل ترکیبات آلی فلزی محلول شوند. خالد (۲۰۰۴) با افزودن ۲۰ گرم در کیلوگرم کمپوست لجن فاضلاب به یک ستون خاک در وضعیت رطوبت ظرفیت-مزرعه افزایش ۶/۳ درصدی شکل آلی روی را گزارش-کرد. سخون و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که افزودن کود آلی در غیاب کود شیمیایی روی، شکل‌های شیمیایی روی، از جمله شکل آلی را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

توأم ماده آلی بود. نتایج اثرات متقابل شوری و ماده آلی نشان داد که در سطوح شوری S_0 و S_2 ترتیب شکل آلی روی به‌صورت کاربرد توأم ماده آلی < کودگاو = کاه-کاهش گندم < شاهد بود درحالی‌که در سطح شوری S_1 فقط تاثیر تیمار کاربرد توأم ماده آلی بر این شکل روی معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین روند تغییر شکل آلی روی در تیمارهای آلی با افزایش سطوح شوری متفاوت بود به‌طوری‌که در تیمارهای کاربرد توأم ماده آلی و کاه کاهش گندم با افزایش شوری از S_0 به S_1 کاهش معنی‌دار شکل آلی روی مشاهده شد اما بین شوری S_1 با S_2 تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود. درحالی‌که در تیمار کود گاو کاهش معنی‌دار شکل آلی روی فقط از تیمار S_1 به S_2 مشاهده شد. بنابراین تاثیر تیمارهای آلی در افزایش شکل آلی روی به سطوح شوری خاک و کاهش شکل آلی

جدول ۴- تأثیر کاربرد ماده آلی بر شکل آلی (Org) روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

تیمار	S_0	S_1	S_2	اثرات اصلی
C	۰/۵۷۱ cd	۰/۵۶۲ d	۰/۴۷۳ e	۰/۵۳۵ C
WS	۰/۶۹۸ b	۰/۵۸۴ cd	۰/۵۵۳ d	۰/۶۱۱ B
CM	۰/۶۷۷ b	۰/۶۵۰ bc	۰/۵۶۰ d	۰/۶۲۹ B
CM+WS	۰/۸۷۸ a	۰/۶۵۲ bc	۰/۶۴۶ bc	۰/۷۲۵ A
اثرات اصلی	۰/۷۰۶ A	۰/۶۱۲ B	۰/۵۵۸ C	

میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

۴-۱- شکل روی متصل به اکسید منگنز

اثرات اصلی ماده آلی و همچنین اثرات متقابل آن-ها بر شکل روی متصل به اکسید منگنز از نظر آماری در سطح یک درصد و اثرات اصلی تیمار شوری در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار ماده آلی نشان داد که همه تیمارهای کاربردی ماده آلی سبب افزایش معنی‌دار این شکل روی نسبت به تیمار شاهد شد، به‌طوری‌که تأثیر تیمارهای کود گاو و کاربرد توأم ماده آلی در افزایش این شکل روی

یکسان و به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار کاربرد کاه-کاهش گندم بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از S_0 به S_2 افزایش معنی‌داری در این شکل روی مشاهده شد اما بین سطوح شوری S_0 و S_1 از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و ماده آلی نشان داد که در سطح شوری S_0 تأثیر هر سه تیمار کاربردی ماده آلی در افزایش این شکل روی نسبت به تیمار شاهد یکسان بود درحالی‌که در سطوح

(۲۰۰۸) پس از عبور دادن شیرابه کود مرغی به مدت چند ساعت از یک ستون خاک مشاهده کردند که شکل متصل به اکسیدهای منگنز روی به میزان ۲۸/۱۲ درصد افزایش نشان داد.

شوری S_1 و S_2 تأثیر تیمار کاربرد توأم ماده آلی و کود گاوی یکسان و به طور معنی داری بیشتر از کاربرد تیمار کاه-کلش گندم بود (جدول ۵). بنابراین تأثیر کاربرد تیمارهای آلی در افزایش شکل روی متصل به اکسیدهای منگنز بسته به درجه شوری خاک بود. جلالی و خانبلوکی

جدول ۵- تأثیر کاربرد ماده آلی بر روی متصل به اکسیدهای منگنز (MnO_x) (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

اثرات اصلی	S_2	S_1	S_0	تیمار
۰/۸۵۳ C	۰/۸۹۳ f	۰/۷۶۰ g	۰/۸۵۳ fg	C
۱/۷۸۳ B	۱/۶۹۰ e	۱/۸۲۰ cd	۱/۸۴۰ cd	WS
۱/۸۹۳ A	۲/۰۱۷ a	۱/۹۱۰ abc	۱/۷۵۳ de	CM
۱/۹۱۸ A	۱/۹۶۳ ab	۱/۹۲۳ abc	۱/۸۶۷ bcd	CM+WS
	۱/۶۴۱ A	۱/۶۰۳ AB	۱/۵۷۸ B	اثرات اصلی

میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند.

۱-۵- شکل روی متصل به اکسید آهن بی شکل

اثرات اصلی تیمار ماده آلی بر شکل روی متصل به اکسید آهن بی شکل در سطح یک درصد معنی دار شد در حالی که اثرات اصلی تیمار شوری و همچنین اثرات متقابل شوری و ماده آلی بر این شکل روی معنی دار نشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کاربرد ماده آلی نشان داد که تأثیر کاربرد کود گاوی و کاربرد توأم ماده آلی بر افزایش این شکل روی نسبت به تیمار شاهد معنی دار شد ولی کاربرد تیمار کاه و کلش گندم تأثیر معنی داری را در افزایش این شکل روی نداشت (جدول نشان داده نشده است). تأثیر تیمار کاربرد کود گاوی در افزایش این شکل روی به طور معنی داری بیشتر از کاربرد تیمار توأم ماده آلی بود. شومن (۱۹۸۸) نشان داد که در اثر کاربرد مواد آلی مقدار روی در شکل همراه با اکسیدهای آهن بی شکل افزایش یافت. وی بیان کرد که روی از طریق محبوس شدن و جذب شدن در ارتباط با اکسیدهای آهن است و هنگامی که اکسیدهای آهن حل می شوند، روی آزاد می گردد.

۱-۶- شکل روی متصل به اکسید آهن بلورین

اثرات اصلی تیمار ماده آلی بر شکل روی متصل به اکسید آهن بلورین در سطح یک درصد معنی دار شد در حالی که اثرات اصلی تیمار شوری و همچنین اثرات متقابل شوری و ماده آلی بر این شکل روی معنی دار نشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کاربرد ماده آلی نشان داد که همه تیمارهای آلی کاربردی سبب افزایش معنی دار این شکل روی نسبت به تیمار شاهد شدند بدین صورت که تأثیر کاربرد مجزای تیمارهای کود گاوی و کاه کلش گندم در افزایش این شکل روی یکسان و به طور معنی داری کمتر از تیمار کاربرد توأم ماده آلی بود (جدول نشان داده نشده است). لو و کریستی (۱۹۹۸) گزارش کردند که روی میل زیادی به جذب بر سطوح اکسیدهای آهن و منگنز بخصوص در pH های بالا دارد. به همین دلیل ممکن است مقداری از روی افزوده شده به خاک و همچنین روی موجود در مواد آلی به این اکسیدها متصل شده و بنابراین با افزودن کود آلی مقادیر مربوط به این شکلها تا حدی افزایش نشان دهد.

۱-۷- شکل تتمه

اثرات اصلی تیمار ماده آلی بر شکل روی تتمه در سطح یک درصد معنی دار شد درحالی که اثرات اصلی تیمار شوری و همچنین اثرات متقابل شوری و ماده آلی بر این شکل روی معنی دار نشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کاربرد ماده آلی نشان داد که کاربرد تیمار کاه-کلش گندم سبب کاهش معنی دار شکل تتمه روی نسبت به تیمار شاهد شد درحالی که دیگر تیمارهای آلی تأثیر معنی داری را بر این شکل روی نگذاشتند (جدول آورده نشده). بنابراین تیمار کاه-کلش گندم علی-رغم دارا بودن مقدار کم روی، از طریق کاهش در شکل تتمه روی و تبدیل روی به شکل‌های با قابلیت استفاده بیشتر، سبب توزیع مجدد روی در خاک شده است. همچنین افزایش نیافتن مقدار روی تتمه در اثر کاربرد تیمارهای کود گاوی و توام ماده آلی مشخص کننده این است که رویی که به خاک از طریق این مواد آلی افزوده شده در شکل‌های دیگر روی با قابلیت استفاده بیشتر توزیع گشته است. در اثر افزایش سطوح شوری نیز مقدار روی تتمه کاهش یافت ولی این کاهش معنی دار نبود. احتمالاً کاهش شکل تتمه روی در اثر افزایش شوری در اثر افزودن ماده آلی به خاک تا حدی جبران شده است. سیمز و کلاین (۱۹۹۱) مشاهده کردند که سطوح مختلف کمپوست زباله شهری، سبب تغییر در توزیع روی از شکل تتمه به شکل‌های کربناتی و آلی شد. ایلرا و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله-ای تسیر و همکاران (۱۹۷۹) مشاهده کردند که با افزودن ۸۰ تن کمپوست در هکتار به مدت یک سال به خاک، شکل تبدالی ۰/۶ درصد، شکل محلول در اسید ۲/۳ درصد، شکل متصل به اکسیدهای آهن و منگنز ۱۵/۳ درصد و شکل آلی ۲۷/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش و شکل تتمه ب میزان ۵۴ درصد کاهش نشان داد.

۲- درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک

محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی تحت تأثیر کاربرد تیمار ماده آلی و شوری نشان داد

(جدول آورده نشده) که در اثر کاربرد تمامی مواد آلی درصد نسبی شکل‌های تبدالی و محلول، کربناتی، آلی، اکسید منگنز، اکسید آهن بی‌شکل و بلورین افزایش و شکل تتمه کاهش یافت. همچنین در اثر اعمال تیمار شوری درصد نسبی شکل‌های محلول و تبدالی، کربناتی و اکسید منگنز افزایش، و شکل‌های آلی و اکسید آهن بلورین کاهش پیدا کرد. در همه شکل‌ها غیر از شکل تتمه، درصد نسبی اشکال شیمیایی روی در تیمار کاربرد توأم ماده آلی در بین تیمارهای آلی اعمال شده بیشترین است درحالی که کمترین مقدار درصد نسبی روی در شکل تتمه مربوط به کاربرد توأم دو ماده آلی است. با توجه به محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی، ترتیب شکل‌های شیمیایی روی بومی در خاک به صورت زیر بود:

تتمه << اکسید آهن بلورین > اکسید آهن بی شکل < اکسید منگنز > کربناتی < آلی > محلول و تبدالی در اثر کاربرد تیمارهای کود گاوی و کاه-کلش گندم ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در خاک مشابه و به-صورت زیر تغییر یافت:

تتمه << اکسید آهن بلورین > اکسید آهن بی شکل < اکسید منگنز > کربناتی < محلول و تبدالی > آلی درحالی که ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در تیمار کاربرد توأم ماده آلی به شکل زیر بود:

تتمه << اکسید آهن بلورین > اکسید آهن بی شکل < کربناتی > اکسید منگنز < محلول و تبدالی > آلی همچنین در اثر کاربرد تیمار شوری نیز ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در خاک به صورت زیر تغییر یافت:

تتمه << اکسید آهن بلورین > اکسید آهن بی شکل < اکسید منگنز > کربناتی < محلول و تبدالی > آلی زیناتی و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی اثر کمپوست

لجن فاضلاب بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان دادند، بیشترین مقدار روی در شکل تتمه و سپس در شکل پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز وجود داشت. بنابراین با توجه به محاسبه درصد نسبی شکل‌های

۳- ضرائب همبستگی شکل‌های شیمیایی روی در خاک

نتایج ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک پس از کشت ذرت تحت تأثیر کاربرد ماده آلی و شوری خاک نشان داد که بین شکل‌های محلول و تبدالی، کربناتی و اکسید منگنز و اکسیدهای آهن روی، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول آورده نشده)، درحالی‌که شکل آلی روی فقط با شکل اکسید آهن بلورین همبستگی معنی‌داری را نشان داد. هیچکدام از شکل‌های شیمیایی روی همبستگی معنی‌داری را با شکل تتمه روی نشان ندادند. همچنین نتایج ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک و روی قابل جذب (عصاره‌گیری شده توسط DTPA در زمان ۲ ساعت) در خاک پس از کشت ذرت تحت تأثیر کاربرد ماده آلی و شوری خاک نشان داد که بین شکل‌های محلول و تبدالی، کربناتی، اکسید منگنز و اکسیدهای آهن روی در خاک با روی قابل استفاده خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (نتایج ارائه نشده است). بنابراین با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که بین شکل‌های یاد شده در بالا در خاک، در شرایط آزمایش حاضر، رابطه‌ای پویا و تنگاتنگ وجود داشته و این شکل‌ها توانایی تبدیل شدن به یکدیگر را در خاک دارا هستند و نقش به‌سزایی را در فرآیند روی مورد نیاز گیاه در خاک دارند. سپهوند و فرقانی (۱۳۹۰) گزارش کردند که برخی شکل‌های روی بین خود دارای همبستگی معنی‌داری بودند که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آن شکل‌ها در خاک است. همچنین آنان همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین و بی‌شکل و مقدار روی عصاره‌گیری شده توسط DTPA مشاهده کردند. آنان بیان کردند که شاید این شکل‌های روی منبع بالقوه‌ای برای تأمین روی مورد نیاز گیاه در خاک‌های آهکی استان لرستان باشد.

شیمیایی روی در خاک کاربرد تیمارهای شوری و ماده آلی سبب توزیع مجدد روی از شکل‌هایی با قابلیت استفاده کمتر به شکل‌های با قابلیت استفاده بیشتر شده است. محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان داد که بیش از ۸۵ درصد روی بومی خاک در شکل تتمه بود که برای گیاه قابل استفاده نیست. به‌نظر می‌رسد که در خاک‌های آهکی که مقدار روی کل معمولاً به میزان کافی است، استفاده از تیمارهای آلی که سبب توزیع مجدد روی از شکل‌های غیر قابل استفاده گیاه به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیشتر می‌شود یک راه کار مناسب برای بهبود تغذیه روی در گیاه باشد. الجلود و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی عناصر کم مصرف در ۳۷ خاک آهکی عربستان ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌ها را به‌صورت زیر گزارش کردند:

تتمه < اکسیدی < کربناتی < آلی < محلول و تبدالی که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر بعد از شکل تتمه شکل‌های اکسیدی آهن شکل غالب روی را در خاک تشکیل می‌داد و کمترین بخش روی در شکل محلول و تبدالی و آلی مشاهده شد. سپهوند و فرقانی (۱۳۹۰) بیان کردند که در خاک‌های آهکی استان لرستان بعد از شکل تتمه، شکل غالب روی، روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین و بی‌شکل بود که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. پری‌زنگنه و همکاران (۲۰۰۷) علت بالا بودن غلظت روی در شکل متصل به اکسیدهای آهن را جذب ترجیحی این عنصر بر سطوح این اکسیدها دانستند. کمالی و همکاران (۲۰۱۱) نیز با مطالعه بر روی خاک‌های آهکی دریافتند که در بین شکل‌های شیمیایی روی کمترین بخش مربوط به شکل آلی و محلول و تبدالی است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنان دلیل این را میزان کم ماده آلی خاک، مقدار بالای کربنات کلسیم و pH خاک و همچنین احتمالاً تمایل کم روی برای جذب سطحی توسط سطوح رس‌ها در مقایسه با کربنات کلسیم در خاک دانستند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که افزایش سطوح شوری سبب افزایش غلظت شکل‌های محلول و تبادل، کربناتی، اکسیدمنگنز و کاهش شکل آلی روی شد. کاربرد تیمار کاه کلش گندم سبب افزایش شکل‌های شیمیایی محلول و تبادل، کربناتی، آلی، اکسید منگنز و اکسید آهن بلورین روی شد و شکل تتمه روی کاهش نشان داد. تیمار کاربرد توأم ماده آلی و کود گاوی سبب افزایش غلظت تمامی شکل‌های شیمیایی روی به‌جز شکل تتمه شدند و تغییری در شکل تتمه ایجاد نکرد. محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان داد که در اثر کاربرد تیمارهای آلی درصد نسبی شکل‌های شیمیایی تبادل و محلول، آلی، کربناتی، اکسید منگنز و اکسیدی آهن افزایش و درصد نسبی شکل تتمه کاهش یافت. ترتیب شکل‌های شیمیایی روی بومی خاک به‌صورت تتمه < اکسیدی آهن < اکسید منگنز < کربناتی < آلی <

محلول و تبدالی بود که در اثر کاربرد تیمارهای کود گاوی و کاه کلش گندم ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در خاک به‌صورت تتمه < اکسید آهن < اکسید منگنز < کربناتی < محلول و تبدالی < آلی و در اثر کاربرد تیمار توأم ماده آلی صورت تتمه < اکسیدی آهن < کربناتی < اکسید منگنز < محلول و تبدالی < آلی تغییر یافت. همچنین در اثر کاربرد تیمار شوری ترتیب شکل‌های شیمیایی روی به‌صورت تتمه < اکسید آهن < اکسید منگنز < کربناتی < محلول و تبدالی < آلی تغییر یافت. بین شکل‌های شیمیایی محلول و تبادل، کربناتی، اکسید منگنز و اکسید آهن روی در خاک همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین بین این شکل‌ها و روی قابل جذب در خاک نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. بنابراین کاربرد تیمارهای آلی (کود گاوی و کاه کلش گندم) و شوری سبب توزیع مجدد روی در خاک و افزایش شکل‌هایی از روی که قابلیت استفاده و تحرک بیشتری برای گیاه دارند، شده است.

منابع مورد استفاده

- سپهوند ه و فرقانی ا، ۱۳۹۰. بررسی توزیع شکل‌های مختلف روی و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک در شماری از خاک‌های آهکی استان لرستان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۱۵، صفحه‌های ۱۱۲۸ تا ۱۱۳۷.
- Acosta JA, Jansen B, Kalbi, K, Faz A and Martinez S, 2001. Salinity increase mobility of heavy metals in soils. *Chemosphere* 85(8): 1318-1324.
- Al jaloud AA, Al rabhi MA and Bashour II, 2013. Availability and fractions of trace elements in arid calcareous soils. *Emir J Food Agric* 25(9): 702-712.
- Alloway BJ, 2004. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association (IZA). <http://www.Zinc-crop.org>, 128p.
- Almas A, Sing BR and Salbu B, 1999. Mobility of cadmium-109 and zinc-65 in soil influenced by equilibration time, temperature and organic matter. *J Environ Qual* 64: 955-962.
- Bremner JM, 1996. Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods. Nitrogen Total. SSSA Book Series No. 5. Sparks, DL eds. Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc. pp. 1085 1121.
- Chapman HD and Pratt DF, 1961. Method of analysis for Soil, plant and water. Univ Calif Div Agric Sci Pp. 60-62.
- Casagrande J C, Alleon LRF, Camargo OA and Arnone AD, 2004. Effects of pH and Ionic Strength on Zinc Sorption by a Variable Charge Soil. *Commun. Soil Sci Plant Anal* 35: 2087-2095.
- Clement R and Bernal MP, 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere* 64: 1264-1273.
- Chidanandappa HM, Khan H, Chikkaramappa T and Shivaprakash BL, 2008. Forms and distribution of zinc in soils under mulberry (*Morus indica* L.) of multivoltine seed area in Karnataka. *J Agric Sci* 42:26-32.
- Dehghani A, Fotovat A, Haghnia GH and Keshavarz P, 2007. Effect of salinity and cow manure on the concentrations and distribution of species in the soil solution. *Sci Tech Agric Natur Resource* 41(11): 53-61.
- Gee GW and Bauder JW, 1986. Methods of Soil Analysis. 2 nd ed. Part 1. Particle size analysis, hydrometer method. Pp. 404-408. In: A, Klute (ed). America Society of Agronomy Madison. WI.
- Jalali M and Khanboluki G, 2008. Redistribution of Zinc, Cadmium and Lead among soil fractions in a sandy calcareous soil due to application of poultry litter. *Environ Monit Assess* 136: 327-335.
- Kamali S, Ronaghi A and Karimian N, 2011. Soil Zinc Transformations as Affected by Applied Zinc and Organic Materials. *Commun Soil Sci Plant Anal* 42(9): 1038-1049.

- Keshavarz P, Malakouti MJ, Karimian N and Fotovat A, 2006. The effect of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils of Iran. *J Agric Sci Tech* 8: 181-190.
- Khaled EM, 2004. Distribution of different fraction of heavy metals in desert sandy soil amended with composted sewage sludge. *Inter Conf. on Water Resource and Arid Research*: 5-7 November, Egypt.
- Khoshgoftarmansh AH, Shariatmadari H, Kalbasi M and Ma LQ, 2003. Effect of NaCl salinity and Zn application on species of Cd and Zn in soil solution. Pp.4. *Seventh International Conference on the Biogeochemistry of Trace Element*, 15-19 June, Uppsala University, Sweden.
- Lindsay WL and Norvel WA, 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci Soc Am J* 42: 421-428.
- Luo YM and Christie P, 1998. Bioavailability of Copper and Zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludge. *J Environ Qual* 27:335-342.
- Ma YB and Uren NC, 1995. Application of a new fractionation scheme for heavy metals in soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 26: 3291-3303.
- Mavi MS, Marschner A, Chittleborough DJ and Cox JW, 2010. Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in the soils are affected by salinity and sodicity. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solution for Changing World*.
- Nelson DW and Sommers LE, 1996. *Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods*. Total carbon, organic carbon and organic matter. SSSA Book Series No. 5. Sparks, DL eds. Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc. pp.961-1011.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA Cric 939 US Gov Print Office, Washington, DC
- Page AL, Changeand AC and Adriano DC, 1996. Deficiencies and Toxicities of Trace Elements. In: "Agricultural salinity assessment and management" No. 71 (Ed.) Tanji KK, Pp. 138-160. Amer Soc Civil Eng. New York.
- Parizanganeh A, Lakhan VC and Jalalian H, 2007. A geochemical and statistical approach for assessing heavy metal pollution in sediments from southern Caspian coast. *International J Env Sci Technol* 4: 351-358.
- Qadir M, Qureshi RH and Ahmed N, 1997. Nutrient Availability in a Calcareous Saline-sodic Soil during Vegetative Bioremediation. *Arid Soil Res* 11: 343-352.
- Ramos L, Hernandez LM and Gonzaaalez MJ, 1994. Sequential fraction of Cu, Pb, Cd and Zn in soils from or near Donana national Park. *J Environ Qual* 23: 50-57.
- Ravikovitch S, Margolin M and Navrot J, 1968. Zinc availability in calcareous soils: I. comparison of chemical extraction methods for estimation of plant availability zinc. *Soil Sci* 105: 57-61.
- Rattan RK and Sharma PD, 2004. Main micronutrients available and their method of use. Pp. 1-10. *Proceedings IFA International Symposium on Micronutrients*. 23-25 February, New Delhi, India.
- Sekhon KS, Singh JP and Mehla DS, 2006. Long-term effect of organic/inorganic input on the distribution of zinc and copper in soil fractions under a rice-wheat cropping system. *Arch Agron Soil Sci* 52: 551-556.
- Shuman LM, 1988. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci* 140: 11-22.
- Sims JT and Kline JS, 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with Co-compost sewage sludge. *J Environ Qual* 20: 387-395.
- Singhania RA, Reitz E, Sochting H and Sauerbeak DR, 1983. Chemical transformation and plant availability of zinc salts added to organic manure. *Plant Soil* 73: 337-344.
- Singh JP, Karwarsa SPS and Singh M, 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci* 146: 359-366.
- Sposito G, Lund LJ and Chang AC, 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cd and Pb solid phases. *Soil Sci Soc Am J* 46: 260-264.
- Tagwira F, Riho M and Mugwira L, 1992. Effect of PH and phosphorous and organic matter on zinc availability and distribution in two Zimbabwean soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 23: 1485-1491.
- Thomas GW, 1996. *Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods*. Soil and Soil acidity. SSSA Book Series No. 5. Sparks, DL eds. Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc. Pp: 475-490.
- Tessier A, Campbell PGC and Bisson M, 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particular trace elements. *Anal Chem* 51: 844-851.
- Tripathi S, Kumari S, Chakraborty A, Gupta A, Chakrabarti K and Bandyapadhyay BK, 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biol Fertil Soil* 42: 273-277.
- Usman ARA, Kuzyakov Y and Stahr K, 2004. Dynamics of organic C mineralization and the mobile fraction of heavy metals in a calcareous soil incubated with organic wastes. *Water Air Soil Pollut* 158: 401-418.
- Yasrebi J, Karimian N, Maftoun M, Abtahi A and Sameni AM, 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as affected by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. *Commun Soil Sci Plant Anal* 25: 2133-2145.
- Zinati GM, Li Y and Bryan HH, 2001. Accumulation and fractionation of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils amended with compost. *J Environ Sci Health* 36: 229-243.