

## تأثیر برخی کودهای آلی بر شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک و ارتباط آن با جذب روی در گندم

مجتبی نوروزی\*، امیرحسین خوش‌گفتارمنش و مجید افیونی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶)

### چکیده

کودهای آلی می‌توانند با تأثیر بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و به‌ویژه شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک باعث بهبود قابلیت استفاده روی در خاک شوند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی و کود شیمیایی سولفات روی بر شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک ریزوسفر در دو سال پی‌درپی در مزرعه تحقیقاتی رودشت اصفهان انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه عبارت بودند از: لجن فاضلاب و کود گاوی هرکدام در دو سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار و کود شیمیایی سولفات روی (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و هم‌چنین یک تیمار بدون مصرف کود روی به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پس از سه هفته از اعمال تیمارها، رقم بک کراس گندم (*Triticum aestivum*) کشت گردید. نتایج نشان داد که کودهای آلی سبب افزایش غلظت روی در اجزاء تبادلی، آلی و اکسیدی شد. با این وجود تغییرات در شکل‌های شیمیایی روی به نوع تیمار کودی وابسته است. مخازن تبادلی، آلی و اکسیدی روی در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با جذب روی در گندم نشان دادند. بنابراین، این اجزاء به‌عنوان مخازن قابل دسترس روی که نقش معنی‌داری در فراهم نمودن روی برای گیاه دارند، در نظر گرفته می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: جزء‌بندی، روی، قابلیت دسترسی، کودهای آلی، گندم

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m\_norouzi@ag.iut.ac.ir

## مقدمه

شکل‌های مختلف را مورد مطالعه قرار داد و از این طریق قابلیت دسترسی آن را در خاک تعیین نمود. تاکنون پژوهشگران مختلف به بررسی شکل‌های شیمیایی روی و سایر عناصر در خاک تیمار شده با لجن (۱۲ و ۱۴) و خاک تیمار شده با کمپوست (۳ و ۶) پرداختند. با این وجود در زمینه تأثیر کودهای آلی بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک و ارتباط آنها با جذب روی در گیاه گندم به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای مطالعات اندکی صورت گرفته است. بنابراین، به‌منظور درک بهتر تأثیر ضایعات آلی بر قابلیت جذب روی خاک و مشخص نمودن اشکال شیمیایی قابل دسترس روی در فاز جامد خاک بهتر است تأثیر این ضایعات بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک بررسی گردد. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تأثیر کودهای آلی و کود شیمیایی سولفات روی بر توزیع شکل‌های مختلف روی در فاز جامد خاک ریزوسفر و ارتباط آنها با جذب کل روی در گندم می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

## مکان‌های آزمایشی و خصوصیات خاک

این مطالعه در دو سال پی‌درپی (۱۳۸۹-۱۳۸۸ و ۱۳۹۰-۱۳۸۹) در دو مزرعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت که در شرق اصفهان با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی واقع شده است، انجام شد. خصوصیات خاک اندازه‌گیری شده مکان‌های آزمایشی در جدول ۱ آمده است. خاک مزارع مورد آزمایش براساس حد بحرانی کمبود روی در خاک (۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، (۱۳) دچار کمبود شدید روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (اصطلاحاً قابل جذب) بود (جدول ۱).

## آزمایشات

## اعمال تیمارهای کودی

در هر دو سال آزمایش پس از آماده‌سازی کرت‌ها، لجن فاضلاب در دو سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار، کود گاوی در دو

کمبود روی در خاک‌ها و گیاهان یکی از مشکلات جهانی کمبود عناصر کم مصرف می‌باشد که در بسیاری از کشورها (۴) همانند ایران (۵ و ۸) گزارش شده است. برطرف کردن کمبود این عنصر در خاک به دلیل اثر بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی اهمیت زیادی دارد (۲). استفاده از کودهای شیمیایی، یکی از روش‌های رایج در برطرف کردن کمبود عناصر کم مصرف برای گیاه است. استفاده از کودهای شیمیایی مشکلاتی را به همراه دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به درصد پایین عناصر کم مصرف در این کودها، هزینه به نسبت بالا و کارایی زراعی کم با درجه ناخالصی بالا اشاره نمود. از دیگر روش‌های برطرف کردن کمبود روی در خاک، کاربرد ضایعات آلی می‌باشد. کمبود مواد آلی در خاک‌های کشاورزی از یک سو و تولید انبوه مواد زاید و مشکلات زیست‌محیطی به دست آمده از آنها از سوی دیگر، ایجاب می‌کند که این مواد به‌نحو مطلوب و آگاهانه به‌عنوان کود آلی مورد استفاده قرار گیرند (۱).

بنابراین با توجه به کمبود مواد آلی و شرایط نامطلوب در اکثر مناطق کشور، لازم است از همه منابع آلی استفاده شود تا ضمن بهبود باروری و حاصل‌خیزی خاک‌های کشاورزی و به‌دنبال آن افزایش کمی و کیفی تولیدات زراعی، توسعه پایدار در کشاورزی ممکن شود. از این رو، برای درک بهتر تأثیر ضایعات آلی بر قابلیت جذب روی در خاک لازم است تغییرات شکل‌های شیمیایی این عنصر مورد مطالعه قرار گیرد. اندازه‌گیری شکل‌های مختلف عناصر در خاک در مطالعه نگهداری و آزادسازی عناصر به‌وسیله خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۷). در این روش‌ها مقدار فلز همراه با هر جزء از فاز جامد خاک تعیین شده و سهم هر یک از مخازن قابل دسترس گیاهی پیش‌بینی می‌شود (۱۰). با تعیین مقدار کل روی در خاک‌های تیمار شده با کودهای آلی، اطلاعاتی درباره مقدار قابل استفاده این عنصر در خاک‌های تیمار شده با این کودها در اختیار قرار نمی‌گیرد. بنابراین با اندازه‌گیری شکل‌های مختلف روی در خاک می‌توان چگونگی تبدیل این عنصر در خاک تحت تأثیر تیمارهای کودی به

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش.

سال دوم	سال اول	ویژگی خاک
۷/۶	۷/۶	pH
۰/۴	۰/۴۵	ماده آلی (%)
۳۰	۳۲	کربنات کلسیم معادل (%)
۰/۱۹	۰/۱۶	روی قابل دسترس (mg/kg)
۵۶/۵	۵۹	روی کل (mg/kg)

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب و کود گاوی.

USEPA	کود گاوی	لجن فاضلاب	ویژگی‌های شیمیایی
-	۷/۶	۶/۶	پ. هاش
-	۱۴/۵	۸/۲	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)
-	۱۷	۲۳	ماده آلی (%)
۲۸۰۰	۷۶	۵۱۰	روی (mg/kg)
-	۸۴۵	۱۴۷۴	آهن (mg/kg)
۳۹	۰/۸	۱/۲	کادمیم (mg/kg)

### نمونه‌برداری و تجزیه خاک

در مرحله برداشت از رشد رقم بک‌کراس گندم، نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری در هر دو سال آزمایش جهت تعیین شکل‌های مختلف شیمیایی عنصر روی در فاز جامد خاک انجام شد. لازم به ذکر است که جهت افزایش دقت و اعتبار نتایج حاصل از مطالعه، داده‌های هر تکرار از آزمایش، از میانگین سه نمونه خاک حاصل گردید. جهت جداسازی اجزای شیمیایی از روش تسیر و همکاران (۱۹) استفاده گردید. در این روش ۵ جزء تبادل، کربناته، اکسیدهای آهن و منگنز، آلی و باقیمانده تعیین می‌گردد. همچنین جهت کنترل صحت نتایج حاصل از عصاره‌گیری متوالی، غلظت کل روی پس از هضم نمونه‌ها با اسید نیتریک (۱۸) تعیین و با مجموع نتایج مراحل مختلف عصاره‌گیری متوالی مقایسه گردید.

سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار و کود شیمیایی سولفات روی به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شده و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری مخلوط گردید. همچنین یک تیمار شاهد (بدون افزودن هر گونه تیمار آلی و شیمیایی) در نظر گرفته شد. معیار انتخاب مقادیر لجن فاضلاب و کود گاوی براساس مقدار گزارش شده توسط یگانه و همکاران (۲۲) در نظر گرفته شد. مقدار کود شیمیایی سولفات روی (حاوی ۲۸/۳ درصد روی) نیز براساس مقدار رایج مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد. برخی از ویژگی‌های کودهای آلی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است. مقایسه غلظت عناصر در لجن و کود گاوی مورد آزمایش با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) نشان داد که غلظت این عناصر در محدوده مجاز بوده و این کودها از پتانسیل آلودگی خیلی کمی برخوردار می‌باشند (۲۰).

## اعتبارسنجی نتایج جزءبندی شیمیایی با استفاده از محاسبه درصد بازیابی

جهت برآورد دقت روش عصاره‌گیری پی‌درپی تسیر و همکاران (۱۹۷۹)، در استخراج کامل اشکال یک فلز در خاک، درصد بازیابی محاسبه گردید. درصد بازیابی اشکال فلز از نسبت مجموع غلظت فلز در اشکال مختلف اجزاء خاک به مقدار کل عنصر عصاره‌گیری شده (اسپوسیتو و همکاران ۱۹۸۲) در عدد ۱۰۰ محاسبه می‌گردد.

## تجزیه‌های گیاه

غلظت روی در اندام‌های هوایی رقم بک‌کراس گندم پس از هضم در مایکروویو با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ (کشور سازنده: آمریکا- سال ۱۹۸۲) تعیین گردید.

## تجزیه‌های آماری

در این مطالعه بررسی شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک و مقدار جذب روی توسط گندم در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون توکی (Tukey) در سطح پنج درصد انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute 2000) انجام شد.

## نتایج

### درصد بازیابی عنصر روی در تیمارهای کودی

درصد بازیابی عنصر روی به روش عصاره‌گیری متوالی تسیر و همکاران (۱۹) در خاک از ۸۵ تا ۱۰۴ درصد با متوسط ۹۱ درصد در سال اول آزمایش و از ۸۴ تا ۱۰۷ درصد با متوسط ۹۴ درصد در سال دوم آزمایش محاسبه گردید. در این راستا، نوگیرا و همکاران (۱۴)، مقدار متوسط بازیابی روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب را ۱۲۰ درصد گزارش نمودند.

## تأثیر تیمارهای کودی بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک

### جزء تبدالی

تمامی تیمارها، غلظت روی تبدالی خاک را به‌طور معنی‌داری (از ۶۶/۶ درصد تا نزدیک به ۸ برابر) در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کوددهی روی) افزایش دادند (شکل ۱). لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار و کود گاوی در سطح ۵ تن در هکتار، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی تبدالی داشتند (شکل ۱).

### شکل پیوندشده با کربنات‌ها

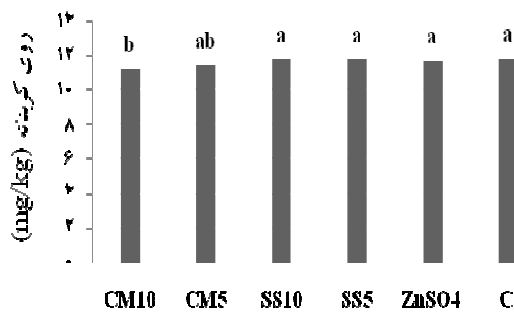
روی پیوند شده با کربنات‌ها تنها در تیمار کود گاوی در سطح ۱۰ تن در هکتار به‌طور معنی‌داری (۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۲).

### شکل پیوندشده با اکسیدها

تمامی تیمارها به غیر از کود شیمیایی سولفات روی، روی پیوند شده با اکسیدها در ریزوسفر گندم را به‌طور معنی‌داری (۴۶ تا ۷۶/۴۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۳). تیمار لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار و کود گاوی در سطح ۵ تن در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی پیوند شده با اکسیدها داشتند (شکل ۳).

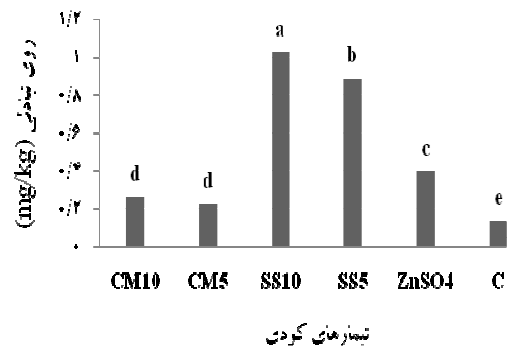
### شکل پیوندشده با مواد آلی

تمامی تیمارها به غیر از کود شیمیایی سولفات روی، روی پیوند شده با مواد آلی در ریزوسفر گندم را به‌طور معنی‌داری (۶۴/۳ تا ۹۶/۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۴). تیمار لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار و کود گاوی در سطح ۵ تن در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی پیوند شده با مواد آلی خاک داشتند (شکل ۴).

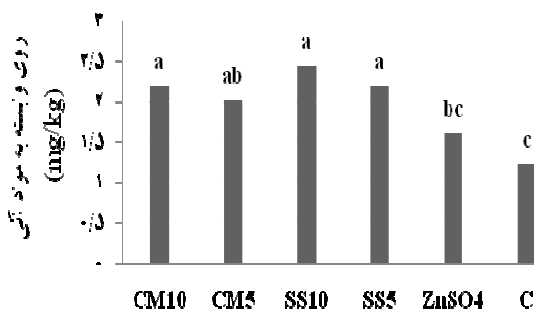


تیمارهای کودی

شکل ۲. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت روی پیوندشده با کربنات‌ها. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.

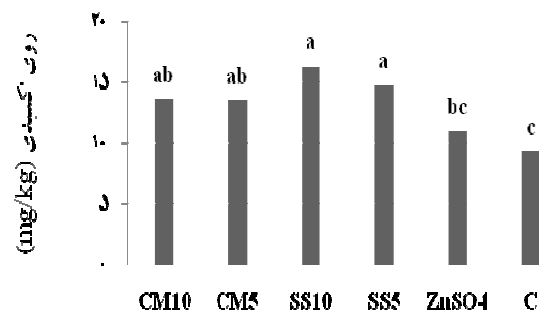


شکل ۱. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت روی در جزء تبادل‌ی. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.



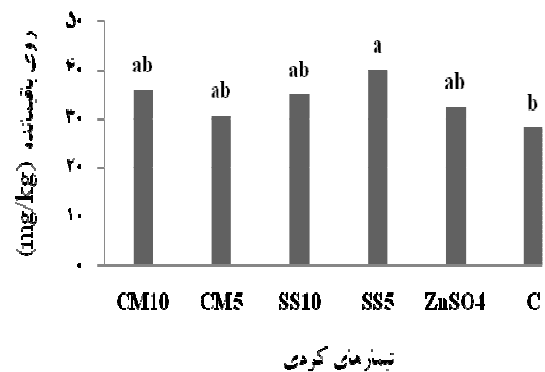
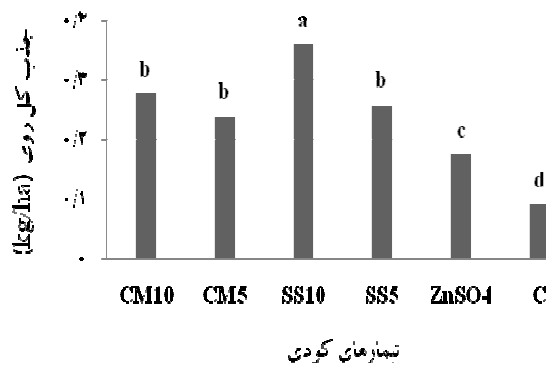
تیمارهای کودی

شکل ۴. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت روی پیوندشده با مواد آلی. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.



تیمارهای کودی

شکل ۳. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت روی پیوندشده با اکسیدها. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.



شکل ۶. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر جذب کل روی در گندم. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.

شکل ۵. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت روی در جزء باقیمانده. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.

#### جزء باقیمانده

جزء باقیمانده روی در ریزوسفر گندم تنها در تیمار لجن فاضلاب در سطح ۵ تن در هکتار، به‌طور معنی‌داری (۲۴/۲ درصد) بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۵).

#### تأثیر تیمارهای کودی بر جذب کل روی در گندم

تمامی تیمارهای کودی، جذب کل روی گندم را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری (از ۹۲/۹ درصد تا نزدیک به ۴ برابر) افزایش دادند (شکل ۶). لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب، بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش جذب کل روی گندم داشتند (شکل ۶).

#### بحث

براساس نتایج مطالعه حاضر، تیمارهای کودی باعث افزایش غلظت روی در اجزاء تبادلی، آلی و اکسیدی گردیده است اما

مقدار این تغییرات بسته به نوع تیمار متفاوت بود. تیمارهای کودی غلظت بیشتری از روی موجود در اجزاء تبادلی و آلی را در مقایسه با تیمار شاهد داشتند که این رخداد با افزایش معنی‌دار جذب کل روی در این تیمارها همراه بوده است. با در نظر گرفتن غلظت روی در تیمارهای کودی (۷۶ میلی‌گرم در لیتر) در مقایسه با تیمار شاهد (۵۱۰ میلی‌گرم در لیتر) در لجن فاضلاب و (۲۸۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در کود شیمیایی سولفات روی، ۱۱۳۲۰ گرم روی در هکتار از طریق کود شیمیایی سولفات روی، ۵۱۰۰ گرم روی در هکتار از طریق مصرف ۱۰ تن در هکتار لجن فاضلاب و ۷۶۰ گرم روی در هکتار از طریق مصرف ۱۰ تن در هکتار کود گاوی به خاک اضافه شده است. از این‌رو مقادیر متفاوتی روی از منابع مختلف کودی به خاک اضافه شده که سبب تغییر توزیع روی در فاز جامد خاک شده است. به‌نظر می‌رسد که اثر تیمارهای کودی بر جذب روی در گندم علاوه بر مقدار روی اضافه شده به‌وسیله آنها، به تأثیر آنها بر توزیع روی بین شکل‌های مختلف در فاز

شده با مواد آلی می‌باشد. مقدار کربن آلی محلول خاک به‌طور معنی‌داری در تیمارهای کودی بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۸).

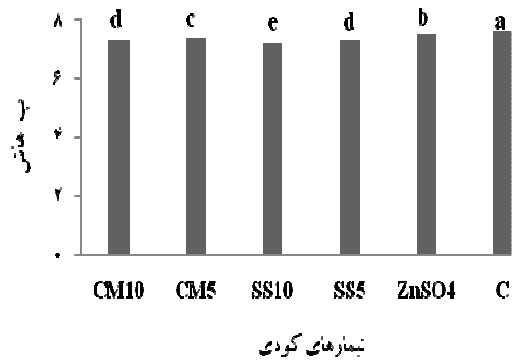
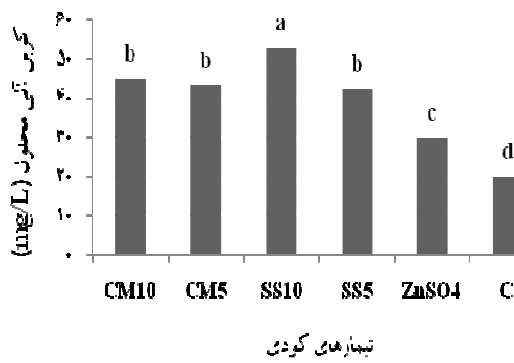
کاربرد لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار بیشترین تأثیر را بر افزایش روی پیوند شده با مواد آلی داشت (شکل ۴). دلیل این امر را می‌توان بالا بودن درصد مواد آلی در لجن و از طرف دیگر وجود روی قابل توجه در آن و در نتیجه افزایش جزء آلی روی ذکر نمود. آچیا و همکاران (۳) گزارش نمودند که اصلاح‌کننده‌های آلی سبب افزایش معنی‌دار روی پیوند شده با جزء آلی می‌شوند. هم‌چنین، تیمار لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار بیشترین تأثیر را بر افزایش روی پیوند شده با اکسیدها داشت (شکل ۳). این موضوع می‌تواند به دلیل وجود مقدار قابل توجه اکسیدهای فلزی در لجن فاضلاب باشد. نیامانگارا (۱۵) گزارش نمود که در اثر کاربرد لجن فاضلاب در خاک، غلظت روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز به مقدار ۷۱ درصد افزایش یافته است.

در مطالعه حاضر، مقدار پ. هاش خاک در تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۷). به نظر می‌رسد کاهش پ. هاش خاک در تیمار کود گاوی نسبت به تیمار شاهد (شکل ۷) و به دنبال آن افزایش انحلال روی پیوند شده با کربنات‌ها و تبدیل این جزء از روی به اشکال دیگر نظیر جزء تبادل‌ی سبب کاهش غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها نسبت به تیمار شاهد شده است. با وجود پ. هاش پایین در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب، مقدار روی متصل به کربنات‌ها نسبتاً بالا می‌باشد که این موضوع می‌تواند به دلیل این باشد که لجن فاضلاب در ترکیب خود دارای مواد کربناتی است.

همبستگی بین شکل‌های مختلف روی در فاز جامد خاک و مقدار جذب کل روی گندم انجام شده است (جدول ۳). جذب کل روی گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت روی در جزء تبادل‌ی و روی پیوند شده با مواد آلی در هر دو سال آزمایش و روی پیوند شده با اکسیدها در سال اول آزمایش و همبستگی منفی و معنی‌داری با روی پیوند شده با کربنات‌ها در

جامد خاک بستگی دارد. کودهای آلی و شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر جذب کل روی در گندم داشتند. افزایش جذب روی در گندم کشت شده در این تیمارها در مقایسه با شاهد می‌تواند به دلیل افزایش غلظت کل روی خاک (اضافه نمودن روی از طریق کودها) و افزایش قابلیت دسترسی روی باشد.

غلظت کل روی در خاک به مقدار نسبتاً زیادی از طریق کودهای آلی افزایش یافت. در این زمینه زلجاکو و وارمان (۲۳) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. به علاوه، تیمار لجن فاضلاب در سطح ۱۰ تن در هکتار بیشترین غلظت روی در اجزاء تبادل‌ی و آلی را به خود اختصاص داد که با افزایش معنی‌دار جذب کل روی گندم در این تیمار همراه بوده است. به نظر می‌رسد که ترکیبات حاصل از تجزیه لجن به‌طور غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر پ. هاش خاک و کربن آلی محلول خاک (شکل ۷ و ۸)، افزایش روی در اجزاء تبادل‌ی و آلی را باعث گردیده است. از جمله عوامل موثر بر افزایش بخش تبادل‌ی و آلی روی، آزادسازی روی و ترکیبات آلی از تیمارهای کودی و ترکیبات حاصل از تجزیه آنها می‌باشد که علاوه بر اثر مستقیم از طریق تشکیل کمپلکس با فلز می‌تواند به صورت غیرمستقیم و از طریق کاهش پ. هاش خاک باشد. در واقع کاهش پ. هاش و فرآیند متحرک شدن سبب شده تا روی از شکل‌های با قابلیت تحرک کمتر به شکل‌های با قابلیت تحرک بیشتر انتقال پیدا کند. مک‌گراس و سگرا (۱۱)، افزایش شکل‌های تبادل‌ی و آلی روی را در اثر کاربرد لجن فاضلاب گزارش نمودند. مادرید و همکاران (۹) نیز گزارش نمودند که افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک می‌تواند سبب غیر متحرک شدن فلزات به واسطه تشکیل کمپلکس‌های پایدار با گروه‌های هیدروکسیل یا کربوکسیل بر روی سطوح جامد پلیمرهای آلی شود. ترشح ترکیبات مختلف آلی از ریشه گیاه و ترکیبات حاصل از تجزیه تیمارهای کودی می‌تواند سبب افزایش روی در جزء آلی در تیمارهای کودی نسبت به شاهد گردد. در همین راستا، روند تغییرات کربن آلی محلول خاک تقریباً شبیه روند تغییرات جزء روی پیوند



شکل ۸. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر کربن آلی محلول خاک. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.

شکل ۷. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر پ. هاش خاک. CM<sub>10</sub>: کود گاوی سطح ۱۰ تن در هکتار، CM<sub>5</sub>: کود گاوی سطح ۵ تن در هکتار، SS<sub>10</sub>: لجن فاضلاب سطح ۱۰ تن در هکتار، SS<sub>5</sub>: لجن فاضلاب سطح ۵ تن در هکتار، ZnSO<sub>4</sub>: کود شیمیایی سولفات روی، C: شاهد می‌باشند. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌دار بودن تأثیر سال، میانگین نتایج دو سال آورده شده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین غلظت روی در شکل‌های مختلف در فاز جامد خاک با جذب روی در گندم.

تبادلی	کربناته	اکسیدی	آلی	باقیمانده
سال اول	ns	۰/۵۲*	۰/۸۸**	ns
سال دوم	-۰/۵۹*	ns	۰/۹۱**	ns

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

به‌طور کلی نتایج این مطالعه، اهمیت نیاز به بازیافت لجن فاضلاب و کود گاوی را از طریق مصرف در اراضی کشاورزی به روشنی مشخص نمود. چنانچه ملو و همکاران (۱۲) و ریووردو (۱۶) نیز در زمینه استفاده از لجن فاضلاب به نتایج مشابهی دست یافتند. با این وجود پیشنهاد می‌گردد که مطالعات بعدی در زمینه اثرات طولانی مدت کاربرد کودهای آلی بر تغییرات شکل‌های شیمیایی روی در خاک انجام گردد.

سال دوم آزمایش داشت. به‌طور کلی در این پژوهش با توجه به ضرایب همبستگی نسبتاً بالا و مثبت و معنی‌دار بین جذب کل روی گندم با اجزاء آلی، تبادلی و اکسیدی، می‌توان این اجزاء را به‌عنوان مخازن قابل دسترس روی خاک در نظر گرفت (جدول ۳). در این زمینه وانگ و همکاران (۲۱)، نوگیرا و همکاران (۱۴) و هان و همکاران (۷) به نتایج مشابهی دست یافتند.

## منابع مورد استفاده

1. حجتی، س.، ف. نوربخش و ک. خاورزی. ۱۳۸۵. تأثیر لجن فاضلاب بر شاخص بیومس میکروبی خاک، فعالیت‌های آنزیمی و عملکرد گیاه ذرت. علوم خاک و آب. ۲۰ (۱): ۸۴-۹۲.
2. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک مشکلات و راه‌حل‌ها. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران.
3. Achiba, W. B., N. Gabteni, A. Lakhdar, G. Du Laing, M. Verloo, N. Jedidi and T. Gallali. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* 130: 156-163.
4. Alloway, B. J. 2004. Zinc In Soils And Crop Nutrition. IZA Publications. International Zinc Association, Brussels. PP. 1-11.
5. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil.* 302: 1-17.
6. Hamidpour, M., M. Afyuni, E. Khadivi, A. Zorpas and V. Inglezakis. 2012. Composted municipal waste effect on chosen properties of calcareous soil. *Int. Agrophys* 26: 365-374.
7. Han, X., X. Li, N. Uren and C. Tang. 2011. Zinc fractions and availability to soybeans in representative soils of Northeast China. *J. Soil Sediment* 11: 596-606.
8. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi and M. R. Khajehpour. 2004a. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 27: 1953-1962.
9. Madrid, F., R. Lo'pez and F. Cabrera. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 199: 249-256.
10. Mattiazzo, M. E., R. S. Berton and M. C. P. Cruz. 2001. Availability and evaluation of potentially toxic heavy metals. PP: 213-234. *In: Ferreira, M. E. et al. (Eds.), Micronutrients and Toxic Elements in Agriculture (in Portuguese). CNPq/FAPESP/POTA- FOS, Jaboticabal.*
11. McGrath, S. P. and J. Cegarra. 1992. Chemical extractability of heavy metals during and after long-term applications of sewage-sludge to soil. *J. Soil Sci.* 43: 313-321.
12. Melo, W. J., P. S. Aguiar, G. M. P. Melo and V. P. Melo. 2007. Nickel in a tropical soil treated with sewage sludge and cropped with maize in a long-term field study. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1341-1347.
13. Mortvedt, J. J. 1985. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. *J. Environ. Qual.* 14: 424-427.
14. Nogueira, T. A. R., W. J. Melo, I. M. Fonseca, S. A. Marcussi, G. M. P. Melo and M. O. Marques. 2010. Fractionation of Zn, Cd and Pb in a tropical Soil after niney year sewage sludge applications. *Pedosphere* 20: 545-556.
15. Nyamangara, J. 1998. Use of sequential extraction to evaluate zinc and copper in a soil amended with sewage sludge and inorganic metal salts. *Agr. Ecosyst. Environ.* 69: 135-141.
16. Revoredo, M. D. 2005. Chemical and biochemical attributes of an Oxisol treated with sewage sludge contaminated with nickel and cultivated with sorghum. Ph. D. Dissertation, Sao Paulo State University.
17. Shuman, L. M. 1979. Zinc, manganese and copper in soil fractions. *Soil Sci.* 127: 10 -17.
18. Sposito, G. L., J. Lund and A. C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
19. Tessier, A. P., G. C. Campbell and M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51: 844-851.
20. U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Clean water act. section 503. Vol.58, No. 32, USEPA. Washington, DC.
21. Wang, J., C. B. Zhang and Z. X. Jin. 2009. The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma.* 148: 299-306.
22. Yeganeh, M., M. Afyuni, A. H. Khoshgoftarmanesh, Y. Rezaeinejad and R. Schulin. 2010. Transport of zinc, copper, and lead in a sewage sludge amended calcareous soil. *Soil Use Manage.* 26: 176-182.
23. Zheljzakov, V. D. and P. R. Warman. 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environ. Pollut.* 13:187-195.