

اثر ریزوسفر گندم (*Triticum aestivum* L.) بر قابلیت استفاده و شکل‌های روی در تعدادی از خاک‌های آهکی

حمیدرضا متقیان*، علیرضا حسین‌پور، فایز رئیسی و جهانگرد محمدی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲)

چکیده

ریزوسفر ناحیه‌ای کوچک با خصوصیات شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی متفاوت از توده خاک است. در این تحقیق به بررسی روی قابل استفاده و شکل‌های آن در خاک ریزوسفر گندم و توده خاک با استفاده از ریزوباکس در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شد. کربن آلی، کربن آلی محلول، کربن بیوماس میکروبی، روی قابل استفاده (با استفاده از ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی) و شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده تعیین شد. نتایج نشان داد که کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ($P < 0/01$) داشتند. مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به جز کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) در خاک‌های ریزوسفری بیشتر از خاک‌های توده بود. هم‌چنین شکل‌های روی (به جز روی پیوندشده با کربنات‌ها) در خاک‌های ریزوسفری با خاک‌های توده تفاوت معنی‌داری ($P < 0/01$) داشتند. نتایج نشان داد که هم‌بستگی بین شاخص جذب و روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA و مهلیج ۳ معنی‌دار ($P < 0/05$) بود. هم‌چنین شاخص جذب با روی تبادل و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و توده هم‌بستگی معنی‌داری ($P < 0/05$) داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که قابلیت استفاده و شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری متفاوت از خاک‌های توده است. بنابراین در بررسی این خصوصیات پس از رشد گیاه استفاده از خاک ریزوسفری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ریزوسفر، روی، شکل‌ها، عصاره‌گیرهای شیمیایی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hrm_61@yahoo.com

مقدمه

روی (Zn) از عناصر ضروری برای گیاه و انسان است. روی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موجودات زنده دخالت دارد، اما کمبود آن در بسیاری از اراضی کشاورزی دنیا گزارش شده که منجر به کاهش محصول شده است (۳). در بسیاری از کشورها، غلات به عنوان غذای اصلی انسان محسوب می‌شوند. بنابراین کمبود روی در غلات باعث سوء تغذیه در انسان می‌شود. بیش از ۶۰ درصد خاک‌های قابل کشت در ایران دارای مقادیر کمی روی هستند که موجب کاهش ۵۰ درصدی محصول شده است (۲۸).

ریزوسفر به عنوان ناحیه در برگرفته ریشه‌های فعال مؤثر بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک در نظر گرفته می‌شود (۱۱). بنابراین خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک ریزوسفری می‌تواند متفاوت از خاک توده باشد. ریشه‌های گیاه به‌صورت پیوسته ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی و ویتامین‌ها را آزاد می‌کنند که می‌توانند مورد استفاده ریزجانداران قرار گیرند و خصوصیات خاک ریزوسفری را تغییر دهند (۴۳). خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفری، می‌تواند بر شکل‌های عناصر و قابلیت استفاده آنها مؤثر باشد (۱۳ و ۴۴).

قابلیت استفاده روی برای گیاه به خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، ماده آلی، کربنات کلسیم و مقدار روی بستگی دارد (۳). مقدار کل روی در اغلب خاک‌ها زیاد و دارای دامنه ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۲۹). روی در شکل‌های مختلف در خاک وجود دارد (۴۵) که بر قابلیت استفاده این عنصر برای گیاه مؤثر هستند. جداسازی شکل‌های یک عنصر فرآیندی است که منجر به شناسایی و تعیین توزیع عناصر در اجزاء مختلف در خاک می‌شود (۲۱). در خاک‌ها شکل‌های روی عبارتند از روی در محلول خاک، روی تبادل، روی پیوندشده با ترکیبات آلی، روی محبوس شده یا هم‌رسوب با اکسیدهای فلزی، کربنات‌ها و سایر کانی‌های ثانویه و روی درون ساختار کریستاله کانی‌های اولیه (۴۵). بر اساس این‌که

عناصر با فازهای ژئوشیمیایی مختلف خاک پیوند داده‌اند، روش‌های عصاره‌گیری مختلفی برای شناسایی این شکل‌ها پیشنهاد شده است (۲۳ و ۳۵). از بین روش‌های پیشنهاد شده، روش تسیر و همکاران (۴۵) بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. تسیر و همکاران (۴۵) روش عصاره‌گیری دنباله‌ای را برای تعیین ۵ شکل عناصر سنگین شامل تبادل، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با ماده آلی و تتمه ارائه کردند. وانگ و همکاران (۴۷) با استفاده از ریزوباکس، شکل‌های روی در ریزوسفر گندم را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که در خاک ریزوسفری روی محلول در آب، روی تبادل و روی پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز نسبت به خاک توده کاهش یافتند، درحالی‌که مقدار روی پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری افزایش یافت. آنها علت کاهش در مقدار روی محلول در آب، روی تبادل و روی پیوندشده با کربنات‌ها را تغییر pH و ایجاد کمپلکس روی تبادل و محلول در آب با ترکیبات آلی خروجی از ریشه در ناحیه ریزوسفر بیان کردند. همچنین کاهش مقدار روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز را به دلیل احیای اکسیدها به وسیله اسیدهای آلی خروجی از ریشه گیاه و علت افزایش روی پیوندشده با ماده آلی را به دلیل افزایش ترکیبات آلی ترشح شده در ریزوسفر بیان کردند. نتایج آنها نشان داد که شکل‌های روی با غلظت روی در بخش هوایی گندم هم‌بستگی معنی‌داری نداشتند و بین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوندشده با ماده آلی و غلظت روی در ریشه گندم هم‌بستگی معنی‌داری (ضرایب هم‌بستگی به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۴۶) بود.

گیاهان از طریق ترشحات ریشه یا تغییر pH در ریزوسفر توانایی تبدیل شکل‌های عناصر غذایی را برای جذب آنها دارند (۵، ۱۷ و ۴۷). تحقیقات نشان داده است که اندازه‌گیری فعالیت یون‌ها قبل از کشت در محلول خاک نمی‌تواند قابلیت استفاده عناصر برای گیاه را به خوبی برآورد کند (۳۶). به علاوه ریزجانداران با تأثیر بر رشد و مورفولوژی ریشه، فیزیولوژی و

عرض ۱۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر شامل سه بخش بودند. بخش مرکزی یا ناحیه ریزوسفری (دارای عرض ۳۰ میلی‌متر) با استفاده از پارچه نایلونی از دو بخش غیر ریزوسفری (دارای عرض ۵۰ میلی‌متر) جدا شده بود (شکل ۱).

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. مقدار ۴/۵ کیلوگرم خاک به هر ریزوباکس منتقل و به هر ریزوباکس ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به صورت تقسیم در سه مرحله، ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین ۱۳۸ اضافه شد. هم‌چنین کود فسفره پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن به هر ریزوباکس اضافه شد. قبل از کشت، بذره‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم بک کراس روشن با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم (۳٪) استریل و سپس ۳ بذر در هر ریزوباکس کشت شد. در طول دوره رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه ثابت بماند. بخش هوایی گیاهان ۸ هفته پس از جوانه‌زدن برداشت و ریزوباکس‌ها باز و خاک بخش مرکزی (خاک ریزوسفری) با استفاده از الک کردن از ریشه‌ها جدا و در نهایت ریشه‌های باقیمانده در خاک ریزوسفری با استفاده از انبرک برداشته شدند. هم‌چنین دو ناحیه غیر ریزوسفری با هم مخلوط شده و هر دو نمونه (خاک ریزوسفری و توده) برای آزمایش‌های بعدی آماده شدند. بخش‌های هوایی با آب مقطر شسته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون تهویه‌دار خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. غلظت روی در اندام‌های هوایی با روش خاکستر خشک عصاره‌گیری (۱۰) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی بی سی، ۹۳۲) تعیین و سپس روی جذب شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$0.001 \times \text{عملکرد خشک (گرم در گلدان)} \times \text{غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)} = \text{روی جذب شده (میلی‌گرم در گلدان)}$

نمو گیاه، شکل‌های عناصر و جذب عناصر به وسیله گیاه بر قابلیت استفاده عناصر کم‌نیاز مؤثر هستند (۹). بنابراین تعیین شکل‌های روی در خاک ریزوسفری که در آن فعالیت ریشه و ریزجانداران آثار مهمی بر خاک دارد و هم‌چنین جذب این عنصر در این ناحیه صورت می‌گیرد، ضروری است.

ویژگی‌های خاک در تماس با ریشه که به عنوان خاک ریزوسفری معرفی می‌شود از خاک توده متفاوت است. ترشحات و فعالیت ریشه و ریزجانداران می‌تواند بر شکل‌های روی و قابلیت استفاده و جذب آن به وسیله گیاه مؤثر باشند. این تحقیق با هدف تعیین قابلیت استفاده و شکل‌های روی در خاک ریزوسفری و توده، بررسی هم‌بستگی بین شکل‌های روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی و بررسی هم‌بستگی شاخص‌های گندم با شکل‌های روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی انجام شد.

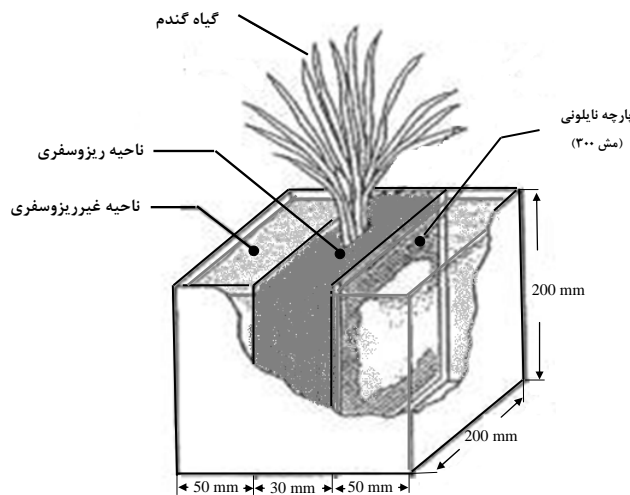
مواد و روش‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

این تحقیق روی ۱۰ نمونه خاک سطحی (۰ - ۳۰ cm) استان چهارمحال و بختیاری که از نظر روی قابل استفاده، درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل تغییرات زیادی داشتند انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۶)، pH خاک در سوسپانسون دو به یک آب به خاک (۴۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (۳۷)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۶)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در pH برابر با ۸/۲ (۴۲)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۳) تعیین شدند. مقدار کل روی با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۴۱) تعیین شد.

کشت گلخانه‌ای

در این تحقیق برای کشت گندم از ریزوباکس (۴۷) استفاده شد. ریزوباکس‌های مورد استفاده دارای طول ۲۰۰ میلی‌متر،



شکل ۱. طرحی از ریزوباکس مورد استفاده در این تحقیق.

سپس مقدار کربن آلی محلول با استفاده از روش اکسیداسیون تر (۳۳) برآورد شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین معنی دار بودن تفاوت بین خصوصیات خاک‌های ریزوسفری و توده از آزمون t-test (نمونه‌های جفت شده) استفاده شد. ضرایب هم‌بستگی پیرسون (r) بین شکل‌های روی و مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از ۷ روش شیمیایی، بین مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی و شاخص‌های گندم و بین شکل‌های روی و پاسخ‌های گیاهی در سطح احتمال ۵٪ و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 تعیین شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که خصوصیات خاک‌ها از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار هستند. دامنه تغییرات رس ۲۵ تا ۵۵ درصد است. خاک‌های مورد مطالعه دارای pH قلیایی و قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار

روی قابل استفاده و شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده

برای تعیین روی قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده از روش‌های DTPA-TEA (۲۴)، AB-DTPA (۴۰)، مهلیچ ۱ (۳۰)، مهلیچ ۲ (۳۱)، مهلیچ ۳ (۳۲)، HCl ۰/۱ نرمال (۴۸) و CaCl_2 ۰/۰۱ مولار (۱۸) استفاده شد. هم‌چنین برای تعیین شکل‌های تبادل، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با ماده آلی از روش تسیر و همکاران (۴۵) و برای تعیین شکل تمه از روش اسپوزیتو و همکاران (۴۱) استفاده شد.

خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده

مقدار کل کربن آلی (TOC) با استفاده از روش اکسیداسیون تر (۳۳) و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری و توده با استفاده از روش تدخین با کلروفورم و خواباندن (۱۹) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی محلول (DOC) از عصاره ۱ به ۲ خاک تازه به آب مقطر استفاده شد (۱۲). سپس سوسپانسیون در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت تکان داده شد و سپس ۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر ۰/۴۵ میکرومتر جدا شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	گنجایش تبادل کاتیونی (cmol _c kg ⁻¹)	روی کل (mg kg ⁻¹)
۱	۵۵	۴۰	۲۸/۷	۰/۷۲	۷/۸	۰/۱۳	۲۰/۹	۵۷
۲	۵۳	۴۴	۳۵/۶	۰/۳۰	۸/۱	۰/۱۳	۱۹/۳	۵۴
۳	۴۹	۳۹	۲۹/۴	۰/۵۱	۷/۹	۰/۱۲	۲۲/۵	۴۵
۴	۴۶	۴۲	۲۶/۴	۰/۷۱	۷/۸	۰/۱۴	۲۱/۶	۴۵
۵	۴۱	۴۲	۳۲/۲	۰/۵۴	۸/۱	۰/۱۳	۱۶/۰	۳۷
۶	۳۷	۴۴	۳۲/۵	۰/۸۰	۷/۶	۰/۱۶	۱۵/۶	۴۴
۷	۲۵	۳۳	۴۱/۰	۰/۴۷	۷/۷	۰/۲۱	۱۱/۵	۳۴
۸	۳۸	۵۵	۲۳/۱	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۴	۱۷/۹	۵۸
۹	۴۸	۴۶	۱۱/۳	۱/۱۶	۷/۸	۰/۲۵	۱۸/۵	۵۴
۱۰	۴۹	۴۶	۱۴/۸	۰/۹۷۰	۷/۹	۰/۲۳	۱۷/۹	۵۶

۰/۷۶ درصد، میانگین کربن آلی محلول ۴۸ میلی گرم کربن در لیتر و میانگین کربن بیوماس میکروبی ۱۹۲ میلی گرم کربن در کیلوگرم بود. در خاک‌های توده، بین کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی ضریب هم‌بستگی معنی‌داری به‌دست آمد ($r=0.77^{**}$). هم‌بستگی کربن آلی و کربن بیوماس میکروبی معنی‌دار نبود. هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌داری ($r=0.83^{**}$) بین کربن آلی محلول و کربن آلی به‌دست آمد. در خاک‌های ریزوسفری، کربن آلی محلول با کربن بیوماس میکروبی ضریب هم‌بستگی معنی‌داری ($r=0.73^*$) داشت. هم‌بستگی کربن آلی و کربن بیوماس میکروبی معنی‌دار نبود. هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌داری ($r=0.90^{**}$) بین کربن آلی محلول و کربن آلی به‌دست آمد کربن آلی در ریزوسفر به دلیل ترشحات ریشه افزایش یافته و بر همین اساس کربن بیوماس میکروبی افزایش می‌یابد (۲۷).

روی قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر روی قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به‌جز کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) در خاک‌های ریزوسفری

کربن آلی پایین هستند. کربنات کلسیم معادل خاک‌ها ۱۱/۳ تا ۴۱/۰ درصد است. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها ۱۱/۵ تا ۲۲/۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک است. مقدار کل روی خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۳۴ تا ۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بر اساس رده‌بندی آمریکایی خاک‌های مورد مطالعه در زیر گروه‌های Typic calcixerepts و Typic haploxerepts قرار دارند.

خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر کربن آلی کل، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که میانگین کل کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ($P<0.01$) نسبت به خاک‌های توده داشتند. در خاک‌های ریزوسفری میانگین کربن آلی ۰/۸۰ درصد، میانگین کربن آلی محلول ۶۵ میلی‌گرم کربن در لیتر و میانگین کربن بیوماس میکروبی ۲۷۹ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم بود. درحالی‌که در خاک‌های توده میانگین کربن آلی

جدول ۲. برخی از خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره خاک	کربن آلی (%)		کربن آلی محلول (mg C L ⁻¹)		کربن بیوماس میکروبی (mg C kg ⁻¹)	
	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده
۱	۰/۸۲ ^a	۰/۷۶ ^b	۶۲ ^a	۴۳ ^b	۴۳۶ ^a	۱۷۲ ^b
۲	۰/۳۸ ^a	۰/۳۴ ^a	۴۰ ^a	۲۰ ^b	۲۲۵ ^a	۱۵۲ ^b
۳	۰/۵۵ ^a	۰/۵۳ ^a	۳۹ ^a	۲۲ ^b	۱۶۷ ^a	۱۱۹ ^b
۴	۰/۷۵ ^a	۰/۷۱ ^b	۸۹ ^a	۷۳ ^b	۳۲۷ ^a	۲۲۸ ^b
۵	۰/۵۱ ^a	۰/۴۸ ^a	۴۷ ^a	۲۱ ^b	۲۴۵ ^a	۱۸۸ ^b
۶	۰/۸۷ ^a	۰/۸۵ ^a	۴۶ ^a	۳۶ ^b	۱۳۹ ^a	۱۲۹ ^b
۷	۰/۵۶ ^a	۰/۴۹ ^a	۴۷ ^a	۳۹ ^b	۲۰۸ ^a	۱۲۹ ^b
۸	۱/۳۰ ^a	۱/۲۳ ^b	۹۹ ^a	۷۱ ^b	۳۶۶ ^a	۱۷۸ ^b
۹	۱/۲۴ ^a	۱/۱۸ ^b	۱۰۴ ^a	۷۶ ^b	۳۹۶ ^a	۲۸۷ ^b
۱۰	۱/۰۴ ^a	۱/۰۱ ^b	۹۳ ^a	۷۴ ^b	۲۸۷ ^a	۲۳۸ ^b
میانگین ×	۰/۸۰ ^A	۰/۷۶ ^B	۶۵ ^A	۴۸ ^B	۲۷۹ ^A	۱۹۲ ^B

* : حروف متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.

جدول ۳. مقادیر روی عصاره‌گیری شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره خاک	DTPA-TEA		AB-DTPA		مهلج ۱		مهلج ۲		مهلج ۳		HCl		CaCl ₂	
	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
۱	۰/۵۲	۰/۵۰	۱/۰۵	۱/۰۴	۰/۴۰	۰/۲۹	۱/۱۳	۰/۹۲	۲/۳۵	۲/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۲
۲	۰/۵۱	۰/۴۵	۱/۳۶	۱/۲۳	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۷۴	۱/۸۶	۱/۸۷	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۱۹
۳	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۵۵	۰/۴۶	۱/۳۶	۱/۳۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۲
۴	۰/۶۱	۰/۵۷	۱/۴۱	۱/۲۸	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۸۸	۰/۷۵	۳/۱۰	۲/۶۹	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۲۶	۰/۲۳
۵	۰/۵۲	۰/۴۷	۱/۲۵	۰/۹۶	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۷۶	۰/۶۵	۱/۵۰	۱/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۴۶	۰/۲۲
۶	۰/۶۵	۰/۶۰	۱/۶۹	۱/۵۴	۰/۲۷	۰/۲۳	۱/۴۸	۱/۰۲	۲/۴۳	۲/۲۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۳
۷	۰/۷۳	۰/۶۹	۱/۵۴	۱/۵۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۱/۷۴	۰/۹۵	۲/۲۳	۲/۲۰	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۲۵
۸	۰/۸۵	۰/۸۱	۲/۱۵	۱/۹۸	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۸۰	۰/۷۶	۳/۲۰	۳/۱۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۵
۹	۱/۴۴	۱/۳۹	۲/۶۰	۲/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۰	۱/۸۸	۱/۴۰	۳/۳۹	۳/۳۷	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۸
۱۰	۰/۵۶	۰/۵۶	۱/۳۹	۱/۳۸	۰/۲۸	۰/۲۱	۲/۴۴	۱/۸۱	۲/۲۲	۲/۰۸	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۲۸
میانگین	۰/۶۸ ^a	۰/۶۳ ^b	۱/۵۳ ^a	۱/۴۱ ^b	۰/۳۲ ^a	۰/۲۶ ^b	۱/۲۴ ^a	۰/۹۴ ^b	۲/۳۶ ^a	۲/۲۲ ^b	۰/۲۶ ^a	۰/۲۱ ^b	۰/۲۶ ^a	۰/۲۲ ^a

R: خاک‌های ریزوسفری B: خاک‌های توده

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین هر عصاره‌گیر در خاک‌های ریزوسفری و توده در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.

باقیمانده در خاک‌های قلیایی باشد. نتایج آنان نشان داد که بعد از شکل متمه، شکل‌های پیوندشده با اکسیدهای آهن، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با ماده‌آلی و پیوندشده با اکسیدهای منگنز قرار داشتند.

جدول ۴ نشان می‌دهد که تفاوت میانگین شکل‌های روی (به شکل روی پیوندشده با کربنات‌ها) در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده معنی‌دار ($P < 0/05$) بود. روی تبدالی و روی پیوندشده با ماده‌آلی در خاک‌های ریزوسفری کاهش یافته و در مقابل روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و شکل متمه افزایش یافت. در خاک‌های ریزوسفری میانگین روی تبدالی و روی پیوندشده با ماده‌آلی به ترتیب $0/14$ و $0/27$ درصد از روی کل) و $0/78$ و $1/47$ درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در حالی که میانگین این شکل‌ها در خاک‌های توده به ترتیب $0/17$ و $0/33$ درصد از روی کل) و $0/83$ و $1/62$ درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین میانگین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و شکل متمه در خاک‌های ریزوسفری $0/17$ و $9/78$ درصد از روی کل) و $46/5$ و $87/83$ درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود در حالی که میانگین این شکل‌ها در خاک‌های توده $4/81$ و $9/37$ درصد از روی کل) و $45/2$ و $87/93$ درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۲).

کاهش مقدار روی تبدالی به وسیله یوسف و چاینو (۴۹) گزارش شده است. شکل‌های محلول و تبدالی می‌توانند با ترکیبات آلی ترشح شده از ریشه‌ها پیوند دهند (۴۴). بنابراین این شکل‌ها در خاک‌های ریزوسفری گندم کاهش می‌یابند. جمعیت میکروبی در ناحیه ریزوسفر افزایش یافته (جدول ۲) و ریزجانداران می‌توانند ترکیبات آلی را اکسید کرده (۲۰) بنابراین روی پیوندشده با ماده‌آلی در خاک ریزوسفری آزاد می‌شود. اسید سیتریک در ریزوسفر در دامنه 10^{-5} تا 10^{-3} مولار است، وجود لیگاندهای سیترات در طی تشکیل اکسیدهای آهن منجر به تغییر خصوصیات سطحی اکسیدهای آهن شامل سطح ویژه، حفرات، بار و شکل سطح می‌شود

به صورت معنی‌داری ($P < 0/05$) بیشتر از خاک‌های توده است. برنال و مک‌گراس (۸) گزارش کردند که افزایش مقدار روی قابل استفاده در ریزوسفر می‌تواند به دلیل کمپلکس روی با ترکیبات آلی در محلول خاک باشد که عصاره‌گیرها توانایی استخراج این گونه روی را دارند. افزایش روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده می‌تواند به دلیل تغییر در مقادیر اجزای روی در این خاک‌ها باشد. محققین زیادی (۷، ۱۳ و ۴۴) شرایط بیولوژیکی و شیمیایی متفاوت ریزوسفر نسبت به توده خاک را باعث تغییر در اجزاء عناصر در خاک و در نتیجه تغییر در قابلیت استفاده عناصر برای گیاه گزارش کرده‌اند. دینکلاکر و همکاران (۱۴) گزارش کردند که سیترات ترشح شده در ریزوسفر گیاه در خاک آهکی، می‌تواند با ایجاد رسوب کلسیم-سیترات افزایش معنی‌داری در مقدار روی قابل عصاره‌گیری با DTPA داشته باشد.

شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیشترین مقادیر روی به ترتیب در شکل‌های متمه، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با ماده‌آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و روی تبدالی بود. عصاره‌گیری دنباله‌ای روی در خاک‌ها روش مناسبی برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌هاست. در تحقیقات زیادی گزارش شده است که بیشترین مقدار روی در شکل متمه و بعد از آن شکل پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز قرار دارد (۴، ۳۶ و ۳۸). ریحانی‌تبار و همکاران (۱) و قانع و کریمیان (۲) به ترتیب در خاک‌های آهکی استان‌های تهران و فارس گزارش کردند که روی به شکل متمه بیشترین مقدار را داشت. اوبرادور و همکاران (۳۶) مشاهده کردند که در خاک‌های آهکی بیشترین مقدار روی به صورت شکل متمه بود. آنها گزارش کردند که فرارگیری بیشترین مقدار روی در شکل متمه می‌تواند به دلیل تمایل روی به قرارگیری در شکل غیرقابل استفاده و

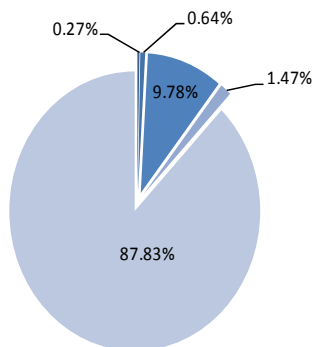
جدول ۴. مقادیر مطلق شکل‌های مختلف روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره خاک	تبادلی		پیوندشده با کربنات‌ها		پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز		پیوندشده با ماده آلی		باقیمانده	
	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
۱	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۰	۳/۴۱	۴/۱۴	۱/۲۰	۱/۲۰	۵۴/۵	۵۵/۱
۲	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۸	۳/۲۵	۳/۶۰	۰/۷۴	۰/۶۴	۴۸/۶	۵۲/۵
۳	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۲/۸۰	۳/۲۱	۰/۵۸	۰/۴۱	۴۳/۸	۴۶/۸
۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۱۶	۶/۴۷	۷/۱۵	۰/۶۸	۰/۶۸	۴۸/۶	۵۰/۲
۵	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۸	۲/۸۱	۳/۱۰	۰/۸۱	۰/۷۹	۴۰/۰	۴۰/۴
۶	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۹۳	۰/۵۶	۵/۷۷	۶/۰۵	۰/۸۶	۰/۸۱	۳۷/۷	۳۹/۴
۷	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۵۴	۰/۴۸	۴/۷۰	۵/۳۱	۰/۷۷	۰/۷۰	۳۳/۹	۳۴/۲
۸	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۴۶	۰/۴۷	۶/۸۷	۷/۰۰	۰/۷۴	۰/۶۹	۴۸/۴	۴۹/۰
۹	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۴۱	۰/۵۰	۷/۴۸	۷/۶۵	۰/۸۸	۰/۸۵	۴۶/۳	۴۶/۶
۱۰	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۵۴	۰/۵۴	۴/۵۷	۴/۵۳	۱/۰۳	۱/۰۱	۵۰/۰	۵۰/۵
میانگین	۰/۱۷ ^a	۰/۱۴ ^b	۰/۳۸ ^a	۰/۳۴ ^b	۴/۸۱ ^b	۵/۱۷ ^a	۰/۸۳ ^a	۰/۷۸ ^b	۴۵/۲ ^b	۴۶/۵ ^a

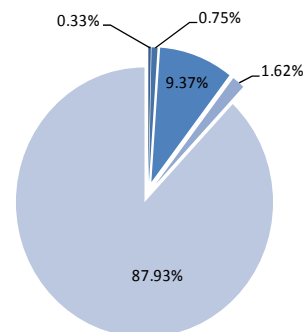
R: خاک‌های ریزوسفری B: خاک‌های توده

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین هر جزء در خاک‌های ریزوسفری و توده در سطح احتمال ۵٪ هستند.

خاک‌های ریزوسفری



خاک‌های توده



شکل ۲. درصد شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده

اکسیدهای آهن و منگنز در خاک ریزوسفر گندم کاهش یافت. علت تفاوت نتایج آنها با این تحقیق می‌تواند به دلیل تفاوت روش جداسازی، تفاوت خاک‌ها و به دلیل کشت تعداد زیاد گندم (۲۰ گیاه) در ناحیه ریزوسفر ریزوباکس آنها و جذب مقدار بیشتر روی از خاک باشد.

(۲۵). سطح اکسیدهای آهن در ارتباط با محلول خاک و سایر فازهای جامد، ریشه گیاه و ریزجانداران خاک است (۳۹). تغییر خصوصیات اکسیدهای آهن که تمایل زیادی برای جذب روی دارند می‌تواند منجر به تغییر در مقدار روی در ریزوسفر شود. وانگ و همکاران (۴۷) گزارش کردند که روی پیوند شده با

جدول ۵. ضریب همبستگی (r) بین مقادیر شکل‌های مختلف روی و روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی

عصاره‌گیر	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	باقی مانده
خاک‌های ریزوسفری					
DTPA-TEA	۰/۷۸**	۰/۵۶ ^{ns}	۰/۷۶*	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}
AB-DTPA	۰/۶۳*	۰/۶۶*	۰/۸۱**	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}
مهلیج ۱	۰/۳۹ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}
مهلیج ۲	۰/۵۵ ^{ns}	۰/۷۷*	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}
مهلیج ۳	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۹۶**	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}
HCl	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۸۰**	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}
CaCl ₂	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}
خاک‌های توده					
DTPA-TEA	۰/۸۹**	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۷۹**	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
AB-DTPA	۰/۷۴*	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۸۸**	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
مهلیج ۱	۰/۴۹ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}
مهلیج ۲	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}
مهلیج ۳	۰/۶۹*	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۹۴**	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}
HCl	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}
CaCl ₂	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۰/۶۸*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}

** : معنی دار در سطح اطمینان ۱ درصد

* : معنی دار در سطح اطمینان ۵ درصد ns: غیرمعنی دار

همبستگی بین شکل‌های روی و مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی

همبستگی ساده (r) بین مقادیر شکل‌های روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری، همبستگی معنی‌داری بین روی تبادلی با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ($P < 0/01$) و AB-DTPA ($P < 0/05$) به دست آمد. همبستگی بین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ($P < 0/05$)، AB-DTPA ($P < 0/01$) و مهلیج ۳ ($P < 0/01$) معنی دار بود. روی پیوندشده با کربنات‌ها با روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA، مهلیج ۲ و HCl ۰/۱ مولار

معنی دار ($P < 0/05$) بود. در خاک‌های توده، همبستگی بین روی تبادلی و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیج ۳ معنی دار ($P < 0/01$) بود. هم‌چنین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار همبستگی معنی‌داری ($P < 0/05$) داشت. در خاک‌های ریزوسفری و توده روی پیوندشده با ماده آلی و تمه با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های شیمیایی همبستگی معنی‌داری نداشتند.

همبستگی بین پاسخ‌های گندم با مقدار روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های ریزوسفری پاسخ‌های جذب و عملکرد با روی

جدول ۶. ضریب هم‌بستگی (r) بین مقادیر شکل‌های مختلف روی و پاسخ‌های گیاه گندم

پاسخ	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	باقیمانده
خاک‌های ریزوسفری					
غلظت	۰/۵۶ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۷۵*	-۰/۲۰ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}
عملکرد	۰/۶۵*	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}
جذب	۰/۷۹**	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۷۶*	-۰/۱۹ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
خاک‌های توده					
غلظت	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۶۹*	-۰/۳۵ ^{ns}	-۰/۱۵ ^{ns}
عملکرد	۰/۶۴*	-۰/۳۱ ^{ns}	۰/۴۵	-۰/۲۳ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}
جذب	۰/۶۸*	-۰/۱۱ ^{ns}	۰/۷۵*	-۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}

** : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns : غیر معنی دار

* : معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری با پاسخ‌های گندم بیشتر از ضرایب هم‌بستگی این شکل‌ها با شاخص‌های گندم در خاک‌های توده بود. در تحقیقات زیادی هم‌بستگی معنی‌داری بین شاخص غلظت روی در گیاه و روی تبادلی گزارش شده است (۲۲ و ۳۸). روی پیوندشده با ماده آلی قابلیت استفاده زیادی برای گیاه ندارد، زیرا اجزای ماده آلی با وزن ملکولی زیاد، مقدار کمی از عناصر پیوندشده را با سرعت کم آزاد می‌کنند (۱۵). باکتری اوقلو و همکاران (۶) به بررسی هم‌بستگی شکل‌های روی با غلظت این عنصر در گیاه گندم پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شکل‌های تبادلی و پیوندشده با اکسیدها با غلظت روی در گندم ضریب هم‌بستگی به ترتیب 0.715^* و 0.621^* داشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک توده افزایش معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به جز کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) در خاک‌های ریزوسفری بیشتر از خاک‌های توده بود. هم‌چنین شکل‌های روی (به جز روی

عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA هم‌بستگی معنی‌داری (ضریب هم‌بستگی به ترتیب 0.65^* و 0.68^*) داشتند. این شاخص‌ها با روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA به ترتیب ضریب هم‌بستگی 0.64^* و 0.64^* داشتند. هم‌چنین در خاک‌های ریزوسفری جذب کل روی با روی عصاره‌گیری شده با مهلیچ ۳ هم‌بستگی معنی‌داری ($r = 0.71^*$) داشت. در خاک‌های توده جذب کل روی با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ($r = 0.67^*$) و مهلیچ ۳ ($r = 0.70^*$) هم‌بستگی معنی‌داری داشت. نتایج نشان می‌دهد بنابراین، ضرایب هم‌بستگی معنی‌دار بیشتری بین روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی و پاسخ‌های گندم در خاک ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده به دست آمد.

جدول ۶ ضرایب هم‌بستگی بین پاسخ‌های گندم و شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری و توده را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان داد که پاسخ‌های عملکرد و جذب کل روی با روی تبادلی در خاک‌های ریزوسفری و توده هم‌بستگی معنی‌داری داشتند. هم‌چنین هم‌بستگی بین پاسخ‌های غلظت و جذب با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. همان‌طور که نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد ضرایب هم‌بستگی بین

هم‌بستگی در خاک‌های ریزوسفری بالاتر بود. نتایج نشان داد که هم‌بستگی جذب کل با روی تبادل و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار بود. نتایج این تحقیق نشان داد که روی تبادل و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، شکل‌های قابل استفاده گندم بودند. مطالعه روی ریزوسفر به دلیل اهمیت این ناحیه در مطالعات کشاورزی و زیست محیطی بسیار ضروری است.

پیوندشده با کربنات‌ها) در خاک‌های ریزوسفری با خاک‌های توده تفاوت معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که روی تبادل و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و توده با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA و AB-DTPA هم‌بستگی معنی‌داری داشتند. هم‌بستگی جذب کل روی و روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA و مهلیچ ۳ معنی‌دار و ضرایب

منابع مورد استفاده

۱. ریحانی‌تبار، ع.، ن. کریمیان، م. معزاردلان، غ. ثواقبی و م. ر. قنادها. ۱۳۸۵. توزیع شکل‌های روی و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان تهران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۲): ۱۲۵-۱۳۵.
۲. قانع، ه. و ن. کریمیان. ۱۳۸۲. توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های خاک. هشتمین کنگره علوم خاک ایران، صفحه ۶۴۲-۶۴۱، رشت (گیلان).
3. Alloway, B. J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environ. Geochem. Health. 31: 537-548.
4. Alvarez, J. M., L. M. Lopez-Valdivia, J. Novillo, A. Obrador, and M. I. Rico. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. Geoderma 132: 450-463.
5. Awad, F., V. Romheld and H. Marschner. 1994. Effect of root exudates on mobilization in the rhizosphere and uptake of iron by wheat plants. Plant Soil 165: 213-218.
6. Bakircioglu, D., Y. Bakircioglu Kurtulus and H. Ibar. 2011. Investigation of trace elements in agricultural soils by BCR sequential extraction method and its transfer to wheat plants Environ. Monit. Assess. 175:303-314.
7. Bernal, M. P. and S. P. McGrath. 1994. Effects of pH and heavy metal concentrations in solution culture on the proton release, growth and elemental composition of *Alyssum murale* and *Raphanus sativus* L. Plant Soil 166: 83-92.
8. Bernal, M. P., S. P. McGrath, A. J. Miller and A. J. M. Baker. 1994. Comparison of the chemical changes in the rhizosphere of the nickel hyperaccumulator *Alyssum murale* with the non-accumulator *Raphanus sativus*. Plant Soil 164: 251-259.
9. Bowen, G. D. and A. D. Rovira. 1991. The rhizosphere, the hidden half of the hidden half. PP. 629-641. In: Waisel, Y., A. Eshel and Y. Kafkafi. (Eds.), Plant Roots, the Hidden Half. Marcel Dekker, New York..
10. Campbell, C. R. and C. O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. PP. 37-50. In: Kalra, Y.P. (Ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.
11. Chen, Y. M., M. K. Wang and P. M. Huang. 2006. Catechin transformation as influenced by aluminum. J. Agric. Food Chem. 54: 212-218.
12. Corre, M. D., R. R. Schnabel and J. A. Shaffer. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. Soil Biol. Biochem. 31:1531-1539.
13. Dessureault-Rompere, J., B. Nowack, R. Schulin, M. L. Tercier-Waeber and J. Luster. 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of *Lupinus albus* cluster roots. Environ. Sci. Technol. 42:7146-7151.
14. Dinkelaker, B., V. Römheld and H. Marschner. 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). Plant Cell Environ. 12: 285-292.
15. Filgueiras, A.V., I. Lavilla and C. Bendicho. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. J. Environ. Monit. 4: 823-857.
16. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 404-407. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed., Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere. PP. 25-40. In: Gobran, G.R., W.W. Wenzel and E. Lombi (Eds.), Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press,

Boca Raton.

18. Hoyt, P. B. and M. Nyborg. 1971. Toxic metals in acid soil: 2. Estimation of plant available manganese. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:141-144.
19. Jenkinson, D. S. and D. S. Powelson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
20. Jones, D. L., A. M. Prabowo and L.V. Kochian. 1996. Kinetics of malate transport and decomposition in acid soil and isolated bacterial-populations-the effect of microorganisms on root exudation of malate under Al stress. *Plant Soil* 182: 239-247.
21. Kot, A. and J. Namiesnik. 2000. The role of speciation in analytical chemistry. *Trends Anal. Chem.* 19: 69-79.
22. LeClaire, J. P., A. C. Chang, C S. Levesque and G. Sposito. 1984. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: IV. Correlations between zinc uptake and extracted soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48:509-513.
23. Leleyter, L. and J. L. Probst. 1999. A new sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements in river sediments. *Intl. J. Environ. Anal. Chem.* 73: 109-128.
24. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
25. Liu, C., and P. M. Huang. 1999. Atomic force microscopy and surface characteristics of iron oxides formed in citrate solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63: 65-72.
26. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis.* SSSA, Madison.
27. Lynch, J. M. and J. M. Whipps. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil* 129: 1-10.
28. Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern & Russian J. Plant Sci. and Biotechnol.* 1(1): 1-12.
29. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* 2nd ed., Academic Press, London.
30. Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. North Carolina Soil Testing Div. Mimeo, Raleigh.
31. Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 477-492.
32. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
33. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 961-1010. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis.* SSSA, Madison.
34. Nolan, A. L., H. Zhang and M. J. McLaughlin. 2005. Prediction of zinc, cadmium, lead, and copper availability to wheat in contaminated soils using chemical speciation, diffusive gradients in thin films, extraction, and isotopic dilution techniques. *J. Environ. Qual.* 34: 496-507.
35. Novozamsky, I., T. M. Lexmond and V. J. G. Houba. 1993. A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. *Intl. J. Environ. Anal. Chem.* 51: 47-58.
36. Obrador, A., J. Novillo and J. M. Alvarez. 2003. Mobility and availability to plants of two zinc sources applied to a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 67:564-572.
37. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis.* SSSA, Madison.
38. Rupa, T. R. and L. M. Shukla. 1999. Comparison of four extractants and chemical fractions for assessing available zinc and copper in soils of India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30 (19&20): 2579-2591.
39. Schwertmann, U. and R. M. Taylor. 1989. Iron oxides. PP. 379- 438. *In: Dixon J. B. and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments.* 2nd ed., SSSA Book Series No.1. SSSA, Madison, Wis.
40. Soltanpour, P. N. and A. P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(3):195-207.
41. 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. Amer. J.* 46:260-265.
42. Sumner, M. E. and P. M. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1230. *In: Sparks, D.L. (Ed.) Methods of Soil Analysis.* SSSA, Madison.
43. Szmigielska, A. M., K. C. J. VanRees, C. Cieslinski and P. M. Huang. 1996. Low molecular weight dicarboxylic acids in rhizosphere soil of durum wheat. *J. Agric. Food Chem.* 44: 1036-1040.
44. Tao, S., Y. J. Chen, F. L. Xu, J. Cao and B. G. Li. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. *Environ. Pollut.* 122: 447-454.
45. 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.
46. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis.*

SSSA, Madison.

47. Wang, Z., X. Q. Shan and S. Zhang. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere* 46(8): 1163–1171.
48. Wollan, E. and P. H. T. Beckett. 1979. Changes in the extractability of heavy metals on the interaction of sewage sludge with soil. *Environ. Pollut.* 20:215-30.
49. Youssef, R. A. and M. Chino. 1989. Root-induced changes in the rhizosphere of plants. II. Distribution of heavy metals across the rhizosphere in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35: 609-621.