

## تغییر در قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی روی در ریزوسفر لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) در تعدادی از خاک‌های آهکی

حمیدرضا متقیان<sup>۱\*</sup> و علیرضا حسین پور<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۲۵)

### چکیده

ریزوسفر محیطی کوچک با خصوصیات میکروبیولوژیک و شیمیایی کاملاً متفاوت از توده خاک می‌باشد که ممکن است قابلیت استفاده و جزءبندی روی در آن نیز متفاوت از توده خاک باشد. در این تحقیق، به بررسی روی قابل استفاده و شکل‌های آن در فاز جامد خاک ریزوسفر لوبیا و توده ۱۰ خاک آهکی با استفاده از ریزوباکس در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شد. کل کربن آلی، کربن آلی محلول، کربن بیومس میکروبی، pH، روی قابل استفاده (با استفاده از ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی) و شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک‌های ریزوسفری و توده تعیین شد. نتایج نشان داد که کل کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیومس میکروبی در خاک‌های ریزوسفر لوبیا افزایش معنی‌دار ( $p < 0/01$ ) و pH کاهش معنی‌دار ( $p < 0/01$ ) یافتند. مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به‌جز مهلیج ۱ و HCl) در خاک‌های ریزوسفری کمتر از خاک‌های توده بود. هم‌چنین، شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفری کاهش معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) نسبت به خاک‌های توده یافتند. نتایج نشان داد که ضرایب همبستگی معنی‌دار بیشتری در خاک ریزوسفر بین روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی و پاسخ‌های لوبیا نسبت به خاک‌های توده وجود داشت. غلظت و جذب روی در لوبیا با روی تبادل‌ی و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های توده همبستگی معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که قابلیت استفاده روی در خاک‌های ریزوسفری متفاوت از خاک‌های توده است. بنابراین، استفاده از خاک ریزوسفر در بررسی روی قابل استفاده گیاه لوبیا پس از رشد گیاه، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جزءبندی، عصاره‌گیرهای شیمیایی

### مقدمه

به‌صورت پیوسته ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی و ویتامین‌ها را آزاد می‌کنند که می‌توانند مورد استفاده ریزجانداران قرار گرفته و خصوصیات خاک ریزوسفری را نیز تغییر دهند (۴۰). خصوصیات شیمیایی و بیولوژیک متفاوت خاک ریزوسفری می‌تواند بر شکل‌های عناصر و قابلیت استفاده

ریزوسفر به‌عنوان ناحیه در برگیرنده ریشه‌های فعال مؤثر بر خصوصیات بیولوژیک و شیمیایی خاک در نظر گرفته می‌شود (۹). بنابراین، ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیک خاک ریزوسفری می‌تواند متفاوت از خاک توده باشد. ریشه‌های گیاه

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hrm\_61@yahoo.com

آنها مؤثر باشد (۴ و ۱۲).

عنصر روی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی موجودات زنده دخالت دارد. اما کمبود آن در بسیاری از اراضی کشاورزی دنیا گزارش شده که منجر به کاهش محصول شده است (۶). قابلیت استفاده روی برای گیاه به خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، ماده آلی، کربنات کلسیم و مقدار روی بستگی دارد (۶). مقدار کل روی در اغلب خاک‌ها زیاد و دارای دامنه ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۲۷). روی در شکل‌های مختلف در خاک وجود دارد (۴۱) 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 اجزای مختلف در خاک می‌شود (۱۹). در خاک‌ها، شکل‌های مختلف روی شامل روی در محلول خاک، روی تبادل، روی پیوند شده با ترکیبات آلی، روی محبوس شده یا هم‌رسوب با اکسیدهای فلزی، کربنات‌ها و سایر کانی‌های ثانویه و روی درون ساختار کریستاله کانی‌های اولیه می‌باشند (۴۱). براساس این‌که عناصر با فازهای ژئوشیمیایی مختلف خاک پیوند داده‌اند، روش‌های عصاره‌گیری مختلفی برای شناسایی این شکل‌ها پیشنهاد شده است (۲۱ و ۳۲). از بین روش‌های پیشنهاد شده، روش تسیر و همکاران (۴۱) بسیار مورد استفاده قرار گرفته است.

در برخی از تحقیقات به مقایسه شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفر و توده پرداخته شده است. وانگ و همکاران (۴۳) با استفاده از ریزوباکس، شکل‌های روی در ریزوسفر گندم را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که در خاک ریزوسفری روی محلول در آب، روی تبدلی، روی پیوند شده با کربنات‌ها و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز نسبت به خاک توده کاهش یافتند؛ در حالی که مقدار روی پیوند شده با ماده آلی در خاک ریزوسفری افزایش یافت. نتایج آنها نشان داد که شکل‌های روی با غلظت روی در بخش هوایی گندم همبستگی معنی‌داری نداشتند و بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوند شده با ماده آلی و غلظت

روی در ریشه گندم همبستگی معنی‌دار بود (ضرایب همبستگی به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۴۶).

در زمینه بررسی اثر ریزوسفر بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف شیمیایی مطالعات اندکی انجام شده است. متقیان و همکاران (۴) به بررسی اثر ریزوسفر گندم بر مقدار روی قابل استفاده و شکل‌های آن در ۱۰ نمونه خاک آهکی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از ریزوباکس پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی در خاک‌های ریزوسفر گندم بیشتر از خاک‌های توده بود. هم‌چنین، روی تبدلی و روی پیوند شده با ماده آلی در خاک‌های ریزوسفری کاهش یافته و در مقابل روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و شکل تنه افزایش یافت. آنها افزایش روی قابل استفاده را به دلیل تغییر در شکل‌های روی مربوط دانستند و تغییر در شکل‌های روی را به دلیل تغییرات در ویژگی‌های بیولوژیک و شیمیایی خاک در ریزوسفر نسبت به خاک توده گزارش کردند.

ترشحات و فعالیت ریشه و ریزجانداران و تغییر pH می‌تواند بر شکل‌های عناصر و قابلیت استفاده و جذب آنها به وسیله گیاه مؤثر باشد (۴، ۷ و ۱۵). تحقیقات نشان داده که ریزجانداران با تأثیر بر رشد و مورفولوژی ریشه، فیزیولوژی و نمو گیاه، شکل‌های عناصر و جذب عناصر به وسیله گیاه، بر قابلیت استفاده عناصر کم‌نیاز مؤثر هستند (۹). بنابراین، تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک ریزوسفری که در آن فعالیت ریشه و ریزجانداران اثر مهمی بر خاک دارد، ضروری است. این تحقیق، با هدف تعیین قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفر لوبیا و توده انجام گرفته است. هم‌چنین، بررسی همبستگی بین شکل‌های شیمیایی روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی و همبستگی بین پاسخ لوبیا با شکل‌های شیمیایی روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

این پژوهش در مورد ۱۰ نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ cm) شهرستان شهرکرد در 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 (۱۳)، pH خاک در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (۴۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (۳۵)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۵) و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۱) تعیین شدند. مقدار روی قابل استفاده با کاربرد DTPA-TEA (۲۴) تعیین شد.

### کشت گلخانه‌ای

در این تحقیق، برای کشت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به‌عنوان یکی از محصولات مهم منطقه، از ریزوباکس (۴ و ۴۳) استفاده شد. ریزوباکس‌های مورد استفاده دارای طول ۲۰۰ میلی‌متر، عرض ۱۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر و شامل سه بخش بودند. بخش مرکزی یا ناحیه ریزوسفری (دارای عرض ۳۰ میلی‌متر) با استفاده از پارچه نایلونی از دو بخش غیرریزوسفری (دارای عرض ۵۰ میلی‌متر) جدا شده بود (۴). این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. به هر ریزوباکس ۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره، ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین ۱۳۸ اضافه شد. همچنین، مقدار کود فسفره پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن (۳۴) قبل از کشت، به هر ریزوباکس اضافه شد. بذره‌های لوبیا (رقم صیاد) با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۳٪ استریل و پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر، با استفاده از مایه تلقیح رازوبیوم تلقیح شدند. سپس، ۳ بذر در هر گلدان کشت و در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی 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 غیرریزوسفری با هم مخلوط شده و هر دو نمونه (خاک ریزوسفری و توده) برای آزمایش‌های بعدی آماده شدند. بخش‌های هوایی با آب مقطر شسته شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آن تهویه‌دار خشک و سپس عملکرد 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:

غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) = روی جذب شده (میلی‌گرم در گلدان) × ۰/۰۱ × عملکرد خشک (گرم در گلدان) ×

[۱]

### روی قابل استفاده و شکل‌های روی

برای تعیین روی قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده از روش‌های DTPA-TEA (۲۴)، AB-DTPA (۳۷)، مهلیچ ۱ (۲۸)، مهلیچ ۲ (۲۹)، مهلیچ ۳ (۳۰)، HCl ۰/۱ نرمال (۴۴) و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (۱۶) استفاده شد. همچنین، برای تعیین شکل‌های تبدیلی، پیوند شده با کربنات‌ها، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوند شده با ماده آلی از روش تیسیر و همکاران (۴۱) و برای تعیین شکل تهمه از روش اسپوزیتو و همکاران (۳۸) استفاده شد.

### خصوصیات شیمیایی و بیولوژیک خاک‌ها

مقدار کل کربن آلی (TOC) با استفاده از روش اکسیداسیون تر (۳۱)، کربن بیومس میکروبی (MBC) در خاک‌های ریزوسفری و توده با استفاده از روش تدخین با کلروفورم و خواباندن (۱۷) و pH خاک در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (۴۲) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی محلول (DOC) از عصاره دو به یک خاک تازه به آب مقطر استفاده شد

### خصوصیات شیمیایی و بیولوژیک خاک‌ها

مقادیر DOC، TOC و MBC در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ویژگی‌های خاک ریزوسفر بدون توجه به نوع خاک‌ها با خاک توده متفاوت بود. میانگین DOC، TOC و MBC در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ( $p < 0/01$ ) نسبت به خاک‌های توده داشتند. در حالی که میانگین pH کاهش معنی‌داری ( $p < 0/01$ ) در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده داشت. متقیان و همکاران (۴) در تحقیقی به بررسی اثر ریزوسفر گندم بر DOC، TOC و MBC پرداختند. نتایج آنها نشان داد که میانگین DOC، TOC و MBC در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ( $p < 0/01$ ) نسبت به خاک‌های توده داشتند. افزایش کربن آلی در ریزوسفر به دلیل وجود ترشحات ریشه در این ناحیه می‌باشد و بر همین اساس کربن بیومس میکروبی نیز افزایش می‌یابد (۲۶). لی و همکاران (۲۲) در مطالعه ریزوسفر گیاه لوبیا مشاهده کردند که pH در ریزوسفر لوبیا ۱/۶۶ واحد نسبت به خاک کشت نشده (شاهد) کاهش یافت. هینسینگر و همکاران (۱۴) گزارش کردند که لگوم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اغلب به دلیل جذب بیشتر کاتیون نسبت به آنیون، محیط ریزوسفر خود را اسیدی می‌کنند.

در خاک‌های ریزوسفری، DOC همبستگی‌های معنی‌داری با MBC ( $0/71^*$ ) و TOC ( $0/86^{**}$ ) داشت. با این وجود، همبستگی TOC و MBC معنی‌دار نبود. همچنین، در خاک‌های توده، DOC همبستگی‌های معنی‌داری با MBC ( $0/71^*$ ) و TOC ( $0/79^{**}$ ) به دست داد. اما، همبستگی TOC و MBC معنی‌دار نبود. نتایج مشابهی توسط متقیان و همکاران (۴) در کشت گندم گزارش شده است.

### روی قابل استفاده در خاک‌ها

مقادیر روی قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به جز

(۱۱). سپس، سوسپانسیون در دمای اتاق به مدت دو ساعت تکان داده شد و سپس پنج دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر ۰/۴۵ میکرومتر جدا شد. مقدار کربن آلی محلول با استفاده از روش اکسیداسیون تر (۳۱) برآورد شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین خصوصیات خاک‌های ریزوسفری و توده برای هر خاک، از آزمون t-test (نمونه‌های جفت شده) و برای مقایسه میانگین خصوصیات مختلف ۱۰ نمونه خاک ریزوسفری با توده، از آزمون چنددامنه دانکن استفاده شد. ضرایب همبستگی بین شکل‌های روی و مقدار روی عصاره‌گیری شده، بین مقدار روی عصاره‌گیری شده و پاسخ لوبیا و بین شکل‌های روی و پاسخ گیاه در سطح احتمال ۵٪ و با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA 8.0 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 ویژگی‌های 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 کربن آلی کمی هستند. کربنات کلسیم معادل خاک‌ها ۱۱/۳ تا ۴۱/۰ درصد است. براساس رده‌بندی آمریکایی، خاک‌های مورد مطالعه در زیرگروه‌های Typic calcixerepts و haploxerepts قرار دارند. حد بحرانی روی عصاره‌گیری شده با روش DTPA در خاک‌های زیر کشت لوبیا ۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱). بنابراین، در خاک‌های مورد مطالعه، خاک‌هایی با مقدار روی قابل استفاده کمتر، نزدیک و بیشتر از حد بحرانی وجود داشت.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی	pH	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	روی قابل استفاده
							(mg/kg)
۱	۵۵	۴۰	۲۸/۷	۰/۷۲	۷/۸	۰/۱۳	۰/۵۰
۲	۵۳	۴۴	۳۵/۶	۰/۳۰	۸/۱	۰/۱۳	۰/۵۹
۳	۴۹	۳۹	۲۹/۴	۰/۵۱	۷/۹	۰/۱۲	۰/۳۴
۴	۴۶	۴۲	۲۶/۴	۰/۷۱	۷/۸	۰/۱۴	۰/۷۵
۵	۴۱	۴۲	۳۲/۲	۰/۵۴	۸/۱	۰/۱۳	۰/۵۴
۶	۳۷	۴۴	۳۲/۵	۰/۸۰	۷/۶	۰/۱۶	۰/۶۶
۷	۲۵	۳۳	۴۱/۰	۰/۴۷	۷/۷	۰/۲۱	۰/۷۷
۸	۳۸	۵۵	۲۳/۱	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۴	۰/۷۳
۹	۴۸	۴۶	۱۱/۳	۱/۱۶	۷/۸	۰/۲۵	۱/۳۱
۱۰	۴۹	۴۶	۱۴/۸	۰/۹۷۰	۷/۹	۰/۲۳	۰/۳۹

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

شماره خاک	pH		کربن آلی (%)		کربن آلی محلول (mg C/L)		کربن بیومس میکروبی (mg C/kg)	
	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده
۱	۷/۵ b	۷/۸ a	۰/۸۳ a	۰/۷۵ b	۶۹ a	۵۱ b	۵۱۶ a	۲۵۸ b
۲	۷/۵ b	۷/۸ a	۰/۴۱ a	۰/۳۵ b	۵۷ a	۴۴ b	۳۳۰ a	۱۶۵ b
۳	۷/۴ b	۷/۸ a	۰/۵۹ a	۰/۵۵ b	۵۴ a	۳۸ b	۲۲۷ a	۱۴۴ b
۴	۷/۵ b	۷/۸ a	۰/۸۱ a	۰/۷۲ b	۸۷ a	۷۴ b	۴۲۳ a	۲۳۷ b
۵	۷/۵ b	۷/۹ a	۰/۵۳ a	۰/۴۷ b	۵۷ a	۴۲ b	۲۷۸ a	۲۰۶ b
۶	۷/۶ b	۷/۹ a	۰/۹۰ a	۰/۸۶ b	۵۳ a	۳۹ b	۲۶۸ a	۱۹۶ b
۷	۷/۵ b	۷/۹ a	۰/۵۷ a	۰/۵۲ b	۵۷ a	۴۲ b	۲۴۸ a	۱۷۵ b
۸	۷/۸ b	۸/۲ a	۱/۳۳ a	۱/۲۵ b	۹۸ a	۷۶ b	۴۲۳ a	۲۱۷ b
۹	۷/۶ b	۷/۸ a	۱/۲۶ a	۱/۱۹ b	۱۰۰ a	۸۰ b	۵۰۵ a	۳۳۰ b
۱۰	۷/۵ b	۷/۷ a	۱/۱۳ a	۱/۰۷ b	۹۴ a	۷۵ b	۳۴۰ a	۲۲۷ b
میانگین	۷/۵ B	۷/۹ A	۰/۸۴ A	۰/۷۷ B	۷۳ A	۵۶B	۳۵۶ A	۲۱۶ B

حروف کوچک متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون t-test در سطح احتمال ۱٪ برای هر خاک و حروف بزرگ متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین براساس آزمون چنددامنه دانکن در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

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

شماره خاک	DTPA-TEA		DTPA		AB-DTPA		مهلج ۱		مهلج ۲		مهلج ۳		HCl		کلرید کلسیم	
	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده
۱	۱/۱۸ b	۱/۳۶ a	۱/۳۲ b	۱/۸۲ a	۰/۱۲ a	۰/۱۱ a	۰/۵۷ b	۰/۹۲ a	۲/۱۹ a	۱/۴۶ b	۱/۴۶ b	۰/۱۳ a	۰/۱۵ a	۰/۱۳ a	۰/۱۱ b	۰/۱۲ a
۲	۱/۲۹ b	۱/۳۳ a	۱/۵۳ a	۱/۵۸ a	۰/۰۸ b	۰/۱۰ a	۰/۵۶ a	۰/۵۸ a	۱/۶۶ a	۱/۲۹ b	۱/۶۶ a	۰/۱۱ a	۰/۱۲ a	۰/۱۲ a	۰/۱۱ b	۰/۱۳ a
۳	۱/۰۳ b	۱/۱۰ a	۱/۱۹ a	۱/۲۰ a	۰/۱۱ a	۰/۱۱ a	۰/۴۹ b	۰/۵۴ a	۱/۰۲ b	۱/۰۲ b	۱/۵۹ a	۱/۰۲ b	۰/۱۲ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۱۵ a
۴	۱/۳۰ b	۱/۴۲ a	۱/۱۹ b	۱/۹۵ a	۰/۱۰ a	۰/۱۰ a	۰/۷۷ b	۰/۸۲ a	۲/۳۶ a	۲/۱۹ b	۲/۳۶ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۱۹ b	۰/۲۲ a
۵	۱/۲۲ b	۱/۳۳ a	۱/۳۵ b	۱/۴۴ a	۰/۰۹ b	۰/۱۳ a	۰/۶۱ a	۰/۶۳ a	۱/۵۴ b	۱/۵۴ b	۱/۶۲ a	۰/۱۱ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۸۸ b	۰/۳۱ a
۶	۱/۳۴ b	۱/۵۰ a	۱/۷۷ a	۱/۷۸ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۴ b	۰/۹۱ a	۲/۳۸ b	۲/۳۸ b	۲/۵۶ a	۰/۱۴ a	۰/۱۴ a	۰/۱۴ a	۰/۸۸ b	۰/۲۲ a
۷	۱/۳۲ b	۱/۵۵ a	۱/۵۹ a	۱/۶۶ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۹۶ a	۰/۹۶ a	۲/۳۰ a	۲/۱۸ b	۲/۳۰ a	۰/۱۳ a	۰/۱۴ a	۰/۱۳ a	۰/۱۷ a	۰/۱۸ a
۸	۱/۶۰ b	۱/۸۱ a	۱/۶۶ b	۱/۸۹ a	۰/۰۹ a	۰/۱۰ a	۰/۵۶ b	۰/۷۸ a	۳/۱۰ a	۳/۱۰ a	۳/۱۰ a	۰/۱۵ a	۰/۱۵ a	۰/۱۶ a	۰/۱۳ b	۰/۱۵ a
۹	۱/۳۹ b	۱/۵۷ a	۱/۷۵ b	۱/۸۱ a	۰/۱۳ a	۰/۱۳ a	۰/۷۴ b	۰/۹۰ a	۲/۹۴ a	۲/۶۸ b	۲/۹۴ a	۰/۱۵ a	۰/۱۵ a	۰/۱۶ b	۰/۲۰ a	۰/۳۰ a
۱۰	۱/۴۴ b	۱/۵۲ a	۱/۶۳ b	۱/۹۷ a	۰/۱۳ a	۰/۱۲ a	۰/۸۱ b	۰/۹۷ a	۳/۴۷ a	۲/۸۴ b	۳/۴۷ a	۰/۱۵ a	۰/۱۵ a	۰/۱۰ b	۰/۱۳ a	۰/۲۰ a
میانگین	۱/۳۱ B	۱/۴۵ A	۱/۵۶ B	۱/۷۱ A	۰/۱۱ A	۰/۱۲ A	۰/۶۹ B	۰/۸۰ A	۲/۳۸ A	۲/۰۷ B	۲/۳۸ A	۰/۱۳ A	۰/۱۴ A	۰/۱۵ B	۰/۱۷ A	۰/۲۰ A

حروف کوچک متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون t-test در سطح احتمال ۵٪ برای هر خاک و حروف بزرگ متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین بر اساس آزمون چنددامنه دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

قانع و کریمیان (۳) به ترتیب در خاک‌های آهکی استان‌های تهران و فارس گزارش کردند که روی به شکل متمه بیشترین مقدار را داشت.

نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد که تفاوت میانگین شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری در مقایسه با خاک‌های توده معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بود. نتایج نشان داد که در خاک‌های ریزوسفر، شکل‌های شیمیایی روی در مقایسه با توده کاهش یافتند. در خاک‌های ریزوسفر، میانگین روی تبدلی  $0.14/0.26$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده کربنات‌ها  $0.17/0.32$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده با ماده آلی  $0.02/0.2$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز  $0.43/0.37$  (درصد از روی کل) و جزء متمه  $0.46/0.2$  (درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در حالی که در خاک‌های توده، میانگین روی تبدلی  $0.17/0.30$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده کربنات‌ها  $0.21/0.38$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده با ماده آلی  $0.15/0.2$  (درصد از روی کل)، روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز  $0.25/0.38$  (درصد از روی کل) و جزء متمه  $0.46/0.5$  (درصد از روی کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۱).

شکل‌های محلول و تبدلی می‌توانند با ترکیبات آلی ترشح شده از ریشه‌ها پیوند یابند (۴۳ و ۴۵). بنابراین، این شکل‌ها در خاک‌های ریزوسفری لوبیا کاهش یافتند. در ناحیه ریزوسفر لوبیا، جمعیت ریزجانداران افزایش یافته بود (جدول ۲). آنها می‌توانند ترکیبات آلی را اکسید کرده (۱۸) و بنابراین روی پیوند شده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کاهش یافت. وانگ و همکاران (۴۳) گزارش کردند که روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک ریزوسفر گیاه گندم کاهش یافت. آنها علت کاهش این شکل روی در ریزوسفر را احیای اکسیدهای آهن و منگنز گزارش کردند. کاهش شکل متمه می‌تواند به دلیل قرارگیری در ساختاری باشد که توان استخراج آن برای اسید نیتریک ۴ نرمال ممکن نبود.

مهلیچ ۱ و HCl ۱/۰ (نرمال) در خاک‌های ریزوسفری به صورت معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) کمتر از خاک‌های توده بود. متقیان و همکاران (۴) گزارش کردند که مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی از قبیل DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۱، مهلیچ ۲ و مهلیچ ۳ در خاک‌های ریزوسفر گیاه گندم بیشتر از خاک‌های توده بود. محققین زیادی (۴، ۸، ۱۲، ۴۳) شرایط بیولوژیک و شیمیایی متفاوت ریزوسفر نسبت به خاک توده را باعث تغییر در شکل‌های شیمیایی عناصر در خاک و در نتیجه تغییر در قابلیت استفاده عناصر برای گیاه گزارش کرده‌اند.

در خاک‌های ریزوسفر، بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده به ترتیب با روش‌های مهلیچ ۳، AB-DTPA، DTPA-TEA، مهلیچ ۲، HCl ۱/۰ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و مهلیچ ۱ بود. در خاک توده، مشابه با خاک‌های ریزوسفر، بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده به ترتیب با روش‌های مهلیچ ۳، AB-DTPA، DTPA-TEA، مهلیچ ۲، HCl ۱/۰ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ به دست آمد (جدول ۳). میانگین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۱، مهلیچ ۲، مهلیچ ۳، HCl ۱/۰ مولار در خاک‌های ریزوسفر نسبت به خاک‌های توده به ترتیب ۹/۷، ۸/۹، ۶/۶، ۱۴/۲، ۱۳/۱، ۶/۱ و ۶/۱ درصد کاهش یافتند.

#### شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌ها

مقادیر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیشترین مقادیر روی به ترتیب در شکل‌های متمه، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوند شده با ماده آلی، پیوند شده با کربنات‌ها و روی تبدلی بود. در تحقیقات زیادی گزارش شده که بیشترین مقدار روی در شکل متمه و بعد از آن شکل پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز قرار دارد (۵ و ۳۳). ریحانی‌تبار و همکاران (۲) و

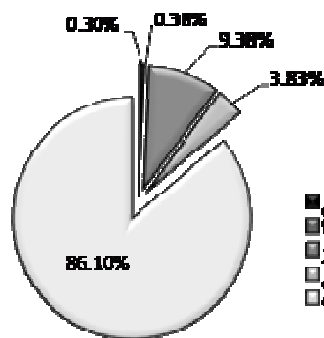
جدول ۴. مقادیر شکل‌های شیمیایی روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره	پیوندشده با کربنات‌ها		پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز		پیوندشده با ماده‌آلی		شماره
	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	
۱	۰/۱۱a	۰/۱۳b	۰/۲۴a	۰/۲۴a	۲/۴۸a	۲/۱۹b	۵۷/۲a
۲	۰/۱۷b	۰/۱۴a	۰/۱۵a	۰/۱۴a	۵/۰۶a	۲/۰۹a	۵۷/۸a
۳	۰/۰۹a	۰/۰۹b	۰/۱۲a	۰/۰۹b	۲/۸۸a	۱/۹۶a	۴۸/۸a
۴	۰/۲۴a	۰/۲۲b	۰/۲۵a	۰/۲۲b	۵/۰۸a	۲/۰۶a	۵۰/۴a
۵	۰/۱۷a	۰/۲۳a	۰/۲۵a	۰/۲۳a	۴/۳۷a	۱/۹۸a	۴۳/۱a
۶	۰/۲۱a	۰/۱۶a	۰/۱۷a	۰/۱۶a	۶/۳۵a	۲/۱۵a	۴۱/۶a
۷	۰/۱۳b	۰/۱۶a	۰/۴۶a	۰/۳۳b	۴/۶۴a	۲/۱۱a	۳۳/۲a
۸	۰/۱۶a	۰/۱۷b	۰/۱۹a	۰/۱۷b	۷/۳۵a	۲/۲۲a	۵۰/۱a
۹	۰/۲۶a	۰/۲۱b	۰/۱۳a	۰/۱۲a	۶/۸۰a	۲/۲۰a	۴۷/۱a
۱۰	۰/۰۸a	۰/۰۶b	۰/۱۶a	۰/۱۱b	۴/۵۳a	۲/۱۸a	۵۳/۰a
میانگین	۰/۱۷A	۰/۱۷B	۰/۲۱A	۰/۱۷B	۵/۲۵A	۲/۰۲B	۴۶/۵A

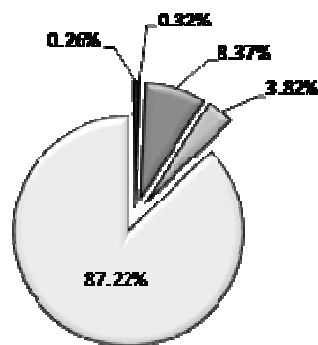
\*: حروف کوچک متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون t-test در سطح احتمال ۰/۰۵. برای هر خاک و حروف بزرگ متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین بر اساس آزمون چنددامنه دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.



خاک‌های توده



خاک‌های ریزوسفری



شکل ۱. توزیع شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفری و توده

روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف شیمیایی همبستگی معنی‌داری نداشتند. متقیان و همکاران (۴) بین روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA, AB-DTPA و مهلیچ ۳ و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری گزارش کردند. نتایج این بخش نشان داد که روش‌های عصاره‌گیری مختلف با شکل‌های مختلف روی در خاک‌های ریزوسفر و توده همبستگی معنی‌داری داشتند. بنابراین، تغییر روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف می‌تواند به دلیل تغییر در شکل‌های شیمیایی روی باشد.

#### همبستگی بین پاسخ لوبیا با مقدار روی عصاره‌گیری شده و شکل‌های شیمیایی روی

همبستگی بین پاسخ لوبیا با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های عصاره‌گیری مختلف در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در خاک‌های ریزوسفر، همبستگی بین غلظت، عملکرد و جذب بخش هوایی با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش AB-DTPA معنی‌دار بود. هم‌چنین همبستگی بین عملکرد و جذب در بخش هوایی با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از DTPA-TEA و شاخص عملکرد بخش هوایی با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش مهلیچ ۳ معنی‌دار بود. در خاک‌های توده، همبستگی معنی‌داری بین عملکرد با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA,

همبستگی بین شکل‌های روی و مقدار روی عصاره‌گیری شده دلیل تغییر در روی قابل استفاده، تغییر در شکل‌های شیمیایی روی بیان شد. بنابراین، نیاز به بررسی همبستگی بین روی قابل استفاده با مقادیر شکل‌های شیمیایی روی وجود دارد. ضرایب همبستگی بین مقادیر شکل‌های روی و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف 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 کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ( $p < 0/01$ ) وجود داشت. همبستگی بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ( $p < 0/01$ ), AB-DTPA ( $p < 0/05$ ) و مهلیچ ۳ معنی‌دار بود. همبستگی بین مقدار تمه با روی عصاره‌گیری شده با مهلیچ ۲ و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بود. در خاک‌های توده، همبستگی معنی‌داری بین روی تبادلی با روی عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ( $p < 0/05$ ) به دست آمد. همبستگی بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ( $p < 0/01$ ), AB-DTPA ( $p < 0/05$ ) و مهلیچ ۳ معنی‌دار بود. روی پیوند شده با ماده آلی با روی عصاره‌گیری شده با HCl ۰/۱ نرمال همبستگی معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) داشت. با این وجود، در خاک‌های ریزوسفری و توده، روی پیوند شده با کربنات‌ها با

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

عصاره‌گیر	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	تتمه
خاک‌های ریزوسفر					
DTPA-TEA	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۹۰ <sup>**</sup>	۰/۵۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۵ <sup>ns</sup>
AB-DTPA	۰/۶۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۷۶ <sup>*</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	-۰/۲۰ <sup>ns</sup>
مهلیج ۱	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	-۰/۵۹ <sup>ns</sup>
مهلیج ۲	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۲ <sup>ns</sup>	۰/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	-۰/۶۹ <sup>*</sup>
مهلیج ۳	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۸ <sup>**</sup>	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱ <sup>ns</sup>
HCl	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	-۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۴ <sup>ns</sup>	-۰/۰۶ <sup>ns</sup>
کلرید کلسیم	۰/۸۳ <sup>**</sup>	۰/۵۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۰ <sup>ns</sup>	-۰/۳۹ <sup>ns</sup>	-۰/۶۹ <sup>*</sup>
خاک‌های توده					
DTPA-TEA	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۶ <sup>**</sup>	۰/۳۵ <sup>ns</sup>	-۰/۱۹ <sup>ns</sup>
AB-DTPA	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۶۹ <sup>*</sup>	۰/۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۸ <sup>ns</sup>
مهلیج ۱	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۶ <sup>ns</sup>
مهلیج ۲	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۵۹ <sup>ns</sup>	-۰/۲۵ <sup>ns</sup>
مهلیج ۳	-۰/۰۵ <sup>ns</sup>	-۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۲ <sup>**</sup>	۰/۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>
HCl	-۰/۱۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۵ <sup>ns</sup>	۰/۶۹ <sup>*</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>
کلرید کلسیم	۰/۷۱ <sup>*</sup>	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	-۰/۴۶ <sup>ns</sup>	-۰/۶۳ <sup>*</sup>

ns، \* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۶. ضرایب همبستگی (r) بین روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و پاسخ گیاه لوبیا

پاسخ	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیج ۱	مهلیج ۲	مهلیج ۳	HCl	کلرید کلسیم
خاک‌های ریزوسفر							
غلظت	۰/۵۲ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>*</sup>	-۰/۳۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۳۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۳۲ <sup>ns</sup>
عملکرد	۰/۸۳ <sup>**</sup>	۰/۸۳ <sup>**</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۷۶ <sup>*</sup>	۰/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>
جذب	۰/۷۰ <sup>*</sup>	۰/۷۸ <sup>**</sup>	-۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۶۱ <sup>ns</sup>	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>
خاک‌های توده							
غلظت	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	-۰/۲۹ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۴۱ <sup>ns</sup>
عملکرد	۰/۷۵ <sup>*</sup>	۰/۷۱ <sup>*</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۶۹ <sup>*</sup>	۰/۴۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>
جذب	۰/۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۵۴ <sup>ns</sup>	-۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۴۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۰ <sup>ns</sup>

ns، \* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۷. ضرایب همبستگی (r) بین مقادیر شکل‌های روی و پاسخ گیاه لوبیا

پاسخ	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	تمه
خاک‌های ریزوسفر					
غلظت	۰/۸۴**	-۰/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۶۳*	-۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۲ <sup>ns</sup>
عملکرد	۰/۵۳ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۲**	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>
جذب	۰/۷۳*	-۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۸۲**	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>
خاک‌های توده					
غلظت	۰/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۰**	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	-۰/۲۳ <sup>ns</sup>
عملکرد	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	-۰/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۴۰ <sup>ns</sup>
جذب	۰/۵۳ <sup>ns</sup>	-۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۷۶*	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>

ns و \*، \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۱ و ۰/۵ و بدون اختلاف معنی‌دار

معنی‌داری با پاسخ لوبیا است. همان‌طور که نتایج جدول ۷ نشان داد ضرایب همبستگی بین شکل‌های روی در خاک‌های ریزوسفری با پاسخ لوبیا بیشتر از ضرایب همبستگی این شکل‌ها با پاسخ لوبیا در خاک‌های توده بود. متقیان و همکاران (۴) روی تبادلی و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز را به‌عنوان شکل‌های قابل دسترس برای گندم گزارش کردند. اکسیدهای آهن تمایل زیادی برای جذب روی دارند. اما روی جذب شده بر اکسیدهای آهن در خاک به شکل غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل نمی‌شود (۳۹).

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، کل کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیومس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک توده افزایش معنی‌داری داشتند. در حالی که pH در خاک‌های ریزوسفری نسبت به توده کاهش معنی‌داری یافت. نتایج نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به‌جز مهلیچ ۱) در خاک‌های ریزوسفری کمتر از خاک‌های توده بود. هم‌چنین شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفری کاهش معنی‌داری نسبت به خاک‌های توده یافتند. در خاک‌های ریزوسفری و توده، همبستگی معنی‌داری بین روی تبادلی با روی عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱

AB-DTPA و مهلیچ ۳ به‌دست آمد. بنابراین، ضرایب همبستگی معنی‌دار و سطح اطمینان بیشتری بین روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی و پاسخ لوبیا در خاک ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده به‌دست آمد.

ضرایب همبستگی بین پاسخ لوبیا و شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که غلظت و جذب روی در بخش هوایی با روی تبادلی همبستگی معنی‌داری داشتند. غلظت، عملکرد و جذب روی در بخش هوایی با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری همبستگی معنی‌داری داشتند. در خاک‌های توده، همبستگی معنی‌داری بین غلظت و جذب روی در بخش هوایی با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز وجود داشت. در تحقیقات زیادی، همبستگی معنی‌داری بین پاسخ گیاه و روی تبادلی گزارش شده است (۴، ۲۰، ۲۳، ۳۶ و ۴۵). این شکل شیمیایی روی در خاک‌های ریزوسفر لوبیا دارای همبستگی معنی‌داری با پاسخ گیاه لوبیا بود. در حالی که در خاک‌های توده، همبستگی معنی‌داری به‌دست نیامد. بر اساس نتایج، به‌نظر می‌رسد که در خاک ریزوسفری که تماس مستقیم ریشه گیاه با خاک در آن اتفاق افتاده است، روی تبادلی به‌عنوان قابل استفاده‌ترین شکل شیمیایی روی مطرح می‌گردد (۳۶ و ۴۵) و دارای همبستگی

غلظت و جذب روی در گیاه لوبیا با روی تبدلی و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های توده همبستگی معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) داشت. باتوجه به نتایج این تحقیق، استفاده از خاک ریزوسفری در انجام مطالعات آینده در زمینه بررسی روی قابل استفاده گیاه، توصیه می‌گردد.

### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد که هزینه‌های اجرای این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مولار و بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز با روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ به‌دست آمد. در خاک‌های ریزوسفر، همبستگی بین روی توده با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مهلیچ ۲ و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار معنی‌دار بود. در خاک‌های توده، روی پیوند شده با ماده آلی با روی عصاره‌گیری شده با HCl ۰/۱ نرمال و روی توده با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مهلیچ ۲ و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار همبستگی معنی‌داری داشت. براساس نتایج، عصاره‌گیر AB-DTPA دارای بیشترین توان در برآورد روی قابل استفاده لوبیا بود. نتایج نشان داد که ضرایب همبستگی معنی‌دار بیشتری در خاک ریزوسفر بین روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی و پاسخ لوبیا نسبت به خاک‌های توده وجود داشت. بررسی همبستگی نشان داد که

### منابع مورد استفاده

۱. دادپور، م.، م. ع. خودشناس و ج. قدبیک لوک. ۱۳۸۸. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان.
۲. 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.
۳. 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، رشت، گیلان، صفحات ۶۴۱-۶۴۲.
۴. متقیان، ح. ر.، ع. ر. حسین‌پور، ف. رئیسی و ج. محمدی. ۱۳۹۱. اثر ریزوسفر گندم (*Triticum aestivum* L.) بر قابلیت استفاده و شکل‌های روی در تعدادی از خاک‌های آهکی. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، (در دست چاپ).
۵. متقیان ح. ر.، ع. ر. حسین‌پور، ف. رئیسی و ج. محمدی. ۱۳۹۱. ارتباط اجزاء روی با پاسخ‌های گندم *Triticum aestivum* L. در برخی خاک‌های آهکی تیمار شده و تیمار نشده با لجن فاضلاب. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، (در دست چاپ).
6. Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ. Geochem. Health* 31: 537-548.
7. 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.
8. 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.
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. 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.
12. Dessureault-Romppe, 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.
13. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 404-407. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, 2<sup>nd</sup> edition, Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.*
14. Hinsinger, P., C. Plassard, C. Tang and B. Jaillard. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant Soil* 248: 43-59.
15. 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.*
16. Hoyt, P.B. and M. Nyborg. 1971. Toxic metals in acid soil. II. Estimation of plant available manganese. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 141-144.
17. Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
18. 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.
19. Kot, A. and J. Namiesnik. 2000. The role of speciation in analytical chemistry. *Trends Anal. Chem.* 19: 69-79.
20. 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. Am. J.* 48: 509-513.
21. Leleyter, L. and J. 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.
22. Li, H., J. Shen, F.M. Zhang, J.J. Clairotte, E. LeCadre and P. Hinsinger. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) grown in monocropping and intercropping systems. *Plant Soil* 312: 139-150.
23. Liang, J., R.E. Karamanos and J.W.B. Stewart. 1991. Plant availability of Zn fractions in Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 71: 507-517.
24. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
25. 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, WI.*
26. Lynch, J.M. and J.M. Whipps. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil* 129: 1-10.
27. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, London.
28. Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>. North Carolina Soil Testing Div. Mimeo, Raleigh.
29. 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.
30. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
31. 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, WI.*
32. 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.
33. 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. Am. J.* 67: 564-572.
34. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. PP. 403-430. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Physical Properties, Part 1, 2<sup>nd</sup> ed., Agron. Monogr. No. 9, Madison, WI.*
35. 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, WI.*
36. 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: 2579-2591.
37. 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: 195-207.
38. 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: 260-265.

39. Stanton, D.A. and R.T. Burger. 1967. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. *Geoderma* 1: 13-17.
40. Szmigielska, A.M., K.C.J. Van Rees, 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.
41. 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.
42. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, SSSA, Madison, WI.*
43. 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.
44. 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: 215-230.
45. 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.

## Change in availability and fractions of zinc in the rhizosphere of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in some calcareous soils

H. R. Motaghian<sup>1\*</sup> and A. R. Hosseinpour<sup>1</sup>

(Received: 11 March-2013 ; Accepted: 14 Apr-2013)

### Abstract

Rhizosphere is a micro zone with profoundly different microbiological and chemical properties compared to the bulk soil, where availability and fractionation of zinc (Zn) may also vary from the bulk soil. This greenhouse research was performed to study the available Zn and its fractions in the bean rhizosphere and bulk soils of 10 calcareous soils using rhizobox. Total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), pH and available Zn using 7 chemical extraction procedures and Zn-fractions were determined in the rhizosphere and bulk soils. The results indicated that in the bean rhizosphere soils, TOC, DOC and MBC increased significantly ( $P<0.01$ ) and pH decreased significantly ( $P<0.01$ ). Extracted Zn using several chemical extractants (except Mehlich 1 and HCl) in the rhizosphere was significantly ( $p<0.05$ ) lower than the bulk soils. Also, concentrations of Zn-fractions in the rhizosphere were significantly ( $p<0.05$ ) lower than the concentrations of Zn-fractions in the bulk soils. Results indicated that significant correlation coefficients between bean indices and extracted Zn using different extractants in the rhizosphere soils were more than the bulk soils. Significant correlation ( $p<0.05$ ) was found between concentration and uptake of Zn in bean with exchangeable Zn and Zn associated with Fe and Mn in the rhizosphere soils, and with Zn associated with Fe and Mn in the bulk soils. The results of this research illustrated that availability of Zn in the rhizosphere soils are different from the bulk soils. Therefore, using rhizosphere soil would be recommended in the study of available Zn after planting.

**Keywords:** Fractionation, Chemical extractants.

---

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: hrm\_61@yahoo.com