ارتباط شکل‌های شیمیایی روی با شاخص‌های لوبیا در برخی خاک‌های آهکی با و بدون لجن فاضلاب

حمیدرضا متقیان[1] و علیرضا حسین‌پور

استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ hrm_61@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

دریافت: 91/9/20 و پذیرش: 92/7/22

چکیده

بررسی ارتباط شکل‌های روی با شاخص‌های گیاه در خاک امکان تعیین شکل یا شکل‌های قابل استفاده این عنصر را می‌دهد. در این تحقیق 10 نمونه خاک آهکی انتخاب و سپس خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب (1٪ وزنی- وزنی) به مدت 1 ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه خوابانده شدند. قبل از کشت در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده، شکل‌های شیمیایی روی (تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با ماده‌آلی و باقیمانده) تعیین شدند. سپس، بذرهای لوبیا در هر گلدان کشت و پس از 8 هفته بخش هوایی گیاهان برداشت و غلظت، ماده خشک، جذب روی پاسخ و عملکرد نسبی تعیین شد. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش تمام شکل‌ها روی شد. نتایج کشت گلدانی نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده، بین غلظت، ماده خشک و جذب روی و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین در خاک‌های تیمارشده، ماده خشک با همه شکل‌ها روی (به‌جز روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز) همبستگی معنی‌داری (r=-0/77*-0/65*) داشت. همچنین، پاسخ و عملکرد نسبی با روی تبادلی همبستگی معنی‌داری داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که شکل‌ها دارای قابلیت استفاده در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده زیر کشت لوبیا متفاوت بودند.

واژه‌های کلیدی: روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، جذب روی

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

خاک از ترکیبات مختلف مانند کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز، کربنات‌ها، مواد آلی و دیگر شکل‌های جامد تشکیل شده است. همچنین، گونه‌های شیمیایی مختلف عناصر در محلول خاک وجود دارند (تسیر[1] و همکاران، 1979). شکل‌های مختلف عناصر قابلیت استفاده یکسانی برای گیاه ندارند و قابلیت استفاده عناصر برای گیاه اغلب ارتباط زیادی با نحوه توزیع آن عنصر در اجزاء مختلف خاک دارد (متقیان و همکاران، 1391 (الف)؛ هان[2] و همکاران، 1995؛ روپا[3] و شوکلا[4]، 1999). بر همین اساس جداسازی شکل‌های عناصر در برآورد مقدار قابل استفاده آنها حائز اهمیت است. یکی از اولین روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای به وسیله تسیر و همکاران (1979) ارائه شده است و به صورت گسترده‌ای در تعیین شکل‌های عناصر سنگین به شکل‌های تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با ماده‌آلی و باقیمانده در خاک‌ها به کاربرده می‌شود (آلوارز[5] و همکاران، 2006).

استفاده از لجن فاضلاب (Sewage sludge) در زمین‌های کشاورزی ایران در حال افزایش است. کشاورزان به‌دلیل ارزان بودن این کود تمایل زیادی برای مصرف آن دارند. تعیین مقدار کل روی در این کود اطلاعاتی درباره مقدار قابل استفاده این عنصر برای گیاه در اختیار قرار نمی‌دهد (آمیر[6] و همکاران، 2005). در حالی‌که امکان برآورد شکل یا شکل‌های روی که قابلیت استفاده برای گیاه دارند در طی مطالعه تعیین شکل‌های عناصر در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، فراهم می‌گردد. به علاوه نحوه توزیع عناصر کم‌نیاز از جمله روی در شکل‌های مختلف، بیانگر توان خاک در تأمین میزان کافی عناصر برای رشد گیاه است (آلوارز و همکاران، 2006).

محققین در مطالعات زیادی به ارزیابی قابلیت استفاده عناصر کم‌نیاز خاک با استفاده از روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای پرداخته‌اند (کیان[7] و همکاران، 1996؛ پرز-کید[8] و همکاران، 2002). همچنین در تحقیقات زیادی رابطه بین شکل‌های مختلف عناصر کم‌نیاز و شاخص‌های گیاه مورد توجه قرار گرفته است (کریشنامورتی[9] ونایدو[10]، 2002؛ لوپز-والدیوا[11] و همکاران، 2002). با وجود این، به‌خصوص در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، تعیین شکل یا شکل‌های روی که قابلیت استفاده بیشتری برای گیاهان دارند هنوز مسئله‌ای حل نشده است، زیرا قابلیت استفاده عناصر به وسیله گیاه به نوع گیاه و نوع خاک بستگی دارد. بنابراین بررسی رابطه بین شکل‌های روی در خاک و شاخص‌های گیاهان مختلف ضروری است (آلوارز و همکاران، 2006). لیانگ[12] و همکاران (1991) به بررسی شکل‌های عنصر روی در خاک‌های اسیدی و آهکی تحت کشت لوبیا و یونجه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که روی جذب شده به وسیله هر دو گیاه در خاک‌های آهکی با شکل‌های تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها و باقیمانده و در خاک‌های اسیدی با شکل‌های تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها و پیوندشده با اکسیدهای منگنز همبستگی معنی‌داری داشت. متقیان و همکاران (1391 ب) قابلیت استفاده شکل‌های روی برای گیاه گندم در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب (1٪ وزنی- وزنی) در تعدادی از خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری مطالعه و دریافتند که در خاک‌های تیمارنشده شکل‌های تبادلی و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و در خاک‌های تیمارشده شکل‌های تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با شاخص‌های گندم همبستگی معنی‌داری داشتند. باکرسی‌اوقلو[13] و همکاران (2011) در خاک‌های ترکیه به بررسی همبستگی شکل‌های روی با غلظت این عنصر در گیاه گندم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که شکل‌های تبادلی و پیوندشده با اکسیدها با شاخص غلظت روی در گندم ضریب همبستگی به‌ترتیب $0/715^{*}$ و $0/621^{*}$ داشتند. آلوارز و همکاران (2006) مشاهده کردند که غلظت روی در گیاه جو با شکل باقیمانده همبستگی معنی‌داری ($r=0/67^{**}$) داشت. در تحقیقات کمی به بررسی شکل‌بندی عناصر کم‌نیاز در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب پرداخته شده است (لک‌لاری[14] و همکاران، 1984؛ اسپوزیتو[15] و همکاران، 1982). لک‌لاری و همکاران (1984) مشاهده کردند که در

1. Tessier
2. Han
3. Rupa
4. Shukla
5. Alvarez
6. Amir
7. Qian
8. Perez-Cid
9. Krishnamurti
10. Naidu
11. Lopez-Valdivia
12. Liang
13. Bakircioglu
14. LeClaire
15. Sposito

خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب بین غلظت روی در برگ جو با مقدار روی تبادلی، پیوندشده با ماده‌آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و باقیمانده همبستگی معنی‌داری وجود داشت.

اطلاع چندانی از قابلیت استفاده شکل‌های روی برای لوبیا در خاک‌های آهکی تیمارشده با لجن فاضلاب وجود ندارد. هدف این مطالعه بررسی رابطه بین شکل‌های روی و شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب بود.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

این تحقیق بر روی 10 نمونه خاک لایه شخم (30 – 0 cm) استان چهارمحال و بختیاری که از نظر روی قابل استفاده، درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل تغییرات زیادی داشتند، انجام شد. بر اساس رده‌بندی آمریکایی خاک‌های مورد مطالعه در زیرگروه‌های Typic calcixerepts و Typic haploxerepts قرار دارند. بافت خاک به‌روش هیدرومتر (گی[1] و باودر[2]، 1986)، pH خاک در سوسپانسون دو به یک آب به خاک (توماس[3]، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (رودز[4]، 1996)، کربنات کلسیم معادل معادل به‌روش تیتراسیون (لوپرت[5] و سوآرز[6]، 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی به‌روش استات سدیم در pH=7 (سامنر[7] و میلر[8]، 1996)، ماده‌آلی به‌روش اکسیداسیون مرطوب (نلسون[9] و سامرس[10]، 1996) تعیین شدند. مقادیر قابل استفاده آهن، منگنز، مس و روی به‌ترتیب با استفاده از DTPA-TEA (لیندزی[11] و نورول[12]، 1978) و کل روی با اسید نیتریک 4 مولار (اسپوزیتو و همکاران، 1982) تعیین شدند. پتاسیم خاک‌ها با استات آمونیوم 1 مولار اندازه‌گیری شدند.

لجن فاضلاب

لجن فاضلاب خشک شهری از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد تهیه و از الک 1 میلی‌متری عبور داده شد. خصوصیات لجن فاضلاب شامل pH در سوسپانسیون پنج به یک آب به لجن فاضلاب، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره پنج به یک آب به لجن فاضلاب و مقادیر کل و قابل استفاده روی به‌ترتیب با استفاده از هضم با اسید نیتریک 4 مولار (اسپوزیتو و همکاران، 1982) و DTPA-TEA (لیندزی و نورول، 1978) تعیین شدند. همچنین مقدار کل عناصر کادمیم، نیکل، سرب و مس با استفاده از هضم با اسید نیتریک 4 مولار (اسپوزیتو و همکاران، 1982) تعیین شد.

کشت گلخانه‌ای

مقدار 10 گرم لجن فاضلاب به هر کیلوگرم خاک اضافه و رطوبت خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب و خاک‌های تیمارنشده به حدود ظرفیت مزرعه‌ای رسانده و به مدت 1 ماه خوابانده شدند (متقیان و همکاران، 1391ب؛ هودا[13] و آلووی[14]، 1994). در طول دوره انکوباسیون رطوبت خاک‌ها در حدود ظرفیت مزرعه‌ای ثابت شد (سو[15]، 2006). در پایان دوره انکوباسیون و قبل از کشت، در خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب شکل‌های مختلف روی با روش تسیر و همکاران (1979) تغییر یافته در تعیین شکل باقیمانده عصاره‌گیری شدند (جدول 1).

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. به هر گلدان در خاک‌های تیمارنشده 20 میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌صورت تقسیط در سه مرحله، 100 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و 5 میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین 138 اضافه شد. همچنین مقدار کود فسفره پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن قبل از کشت، به هر گلدان اضافه شد. براساس نتایج تجزیه خاک به هر گلدان در خاک‌های تیمارنشده 20 میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره در ابتدای کشت اضافه شد. همچنین به هر گلدان مقدار 100 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و 5 میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین 138 اضافه شد.

---

1. Gee
2. Bauder
3. Thomas
4. Rhoades
5. Loeppert
6. Suarez
7. Sumner
8. Miller
9. Nelson
10. Sommers
11. Lindsay
12. Norvell
13. Hooda
14. Alloway
15. Hseu

جدول 1- خلاصه روش عصاره‌گیری تسیر برای تعیین شکل‌های روی (تسیر و همکاران، 1979)

شکل	مرحله	روش عصاره‌گیری	دما (سلسیوس)	زمان (ساعت)
تبادلی	1	1 گرم خاک + 8 میلی‌لیتر $MgCl_2$ 1 مولار (pH =7)	دمای اتاق	2
پیوندشده با کربنات‌ها	2	8 میلی‌لیتر CH_3COONa 1 مولار (pH=5)	دمای اتاق	6
پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	3	20 میلی‌لیتر $NH_2OH.HCl$ 0/04 مولار (در اسید استیک 25٪)	96±3	6
پیوندشده با ماده‌آلی	4	5 میلی‌لیتر HNO_3 0/02 مولار + 8 میلی‌لیتر H_2O_2 30٪ (pH=2) + 5 میلی‌لیتر NH_4OAC 3/2 مولار (در اسید نیتریک 20٪)	85±2	5
			دمای اتاق	0/5
باقیمانده *	5	7 میلی‌لیتر HNO_3 4 نرمال	80±2	16

* باقیمانده با استفاده از روش عصاره‌گیری اسپوزیتو و همکاران (1982) اندازه‌گیری شد. 1 گرم خاک برای عصاره‌گیری استفاده شد.

بذرهای لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (رقم صیاد) با استفاده از هیپوکلریت سدیم 3٪ استریل و پس از 24 ساعت قرارگیری در آب مقطر، با استفاده از مایه تلقیح رایزوبیوم تلقیح شدند. سپس 3 بذر در هر گلدان کشت و در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه‌ای ثابت بماند. گیاهان 8 هفته پس از جوانه‌زدن برداشت شدند. بخش‌های هوایی با آب مقطر شستشو و به‌مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سلسیوس در آون تهویه‌دار خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. غلظت عنصر روی در اندام‌های هوایی با روش خاکستر خشک (کمپل[1] و بلانک[2]، 1998) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، 932) تعیین و سپس روی جذب‌شده، پاسخ و عملکرد نسبی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

- ماده خشک (کیلوگرم در گلدان) × غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) - روی جذب‌شده (میلی‌گرم در گلدان)
- ماده خشک در خاک‌های تیمارنشده (گرم در گلدان) - ماده خشک در خاک‌های تیمارشده (گرم در گلدان) - پاسخ (گرم در گلدان)
- ماده خشک در خاک‌های تیمارشده (گرم در گلدان) / ماده خشک در خاک‌های تیمارنشده (گرم در گلدان) - عملکرد نسبی (درصد)

معنی‌داربودن تفاوت بین شکل‌های روی و شاخص‌های لوبیا در سطح احتمال 5 درصد در خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده با استفاده از آزمون t-test (نمونه‌های جفت‌نشده) انجام شد. برای تعیین رابطه و قابلیت استفاده شکل یا شکل‌های روی در کشت لوبیا ضرایب همبستگی (r) بین شاخص‌های لوبیا با شکل‌های روی در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب در سطح احتمال 5 درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 تعیین شد.

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول 2 نشان داده شده است. بر اساس نتایج دامنه تغییرات رس 25 تا 55 درصد و سیلت دارای دامنه 33 تا 55 درصد بود. دامنه pH در خاک‌های مورد مطالعه 7/5 تا 8/1 و قابلیت هدایت الکتریکی 0/12 تا 0/25 دسی‌زیمنس بر متر بود. دامنه تغییرات کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک‌ها به ترتیب 0/30 تا 1/19 و 11/27 تا 41/03 درصد بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها 11/5 تا 22/5 سانتی‌مول بار در کیلوگرم بود. دامنه تغییرات فسفر 7/1 تا 35/4 میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم 136 تا 296 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقدار قابل استفاده روی در دامنه 0/34 تا 1/31 میلی‌گرم در کیلوگرم و مقدار کل روی خاک‌های مورد مطالعه در دامنه 34 تا 58 میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول 3 نشان داده شده است. مقایسه مقادیر عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب مورد استفاده با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نشان داد که غلظت این عناصر در لجن فاضلاب کمتر از حداکثر غلظت استاندارد این عناصر (حداکثر غلظت استاندارد عناصر روی، مس، کادمیم، نیکل و سرب به‌ترتیب 7500، 4300، 85، 420 و 840 میلی‌گرم) بود (USEPA، 1995).

1. Campbell
2. Plank

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	مس	روی	روی کل
			(٪)			($dS\ m^{-1}$)	($cmol\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)	قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)				($mg\ kg^{-1}$)
1	55	40	28/67	0/72	7/8	0/13	20/9	20/4	250	3/79	7/58	1/18	0/50	57
2	53	44	35/58	0/30	8/1	0/13	19/3	25/7	238	3/85	7/71	1/50	0/59	54
3	49	39	29/37	0/51	7/9	0/12	22/5	7/1	197	4/54	9/09	1/86	0/34	45
4	46	42	26/37	0/71	7/8	0/14	21/6	19/2	296	4/66	9/32	1/12	0/75	45
5	41	42	32/19	0/54	8/1	0/13	16/0	35/4	225	3/76	7/53	1/07	0/54	37
6	37	44	32/49	0/80	7/6	0/16	15/6	16/7	230	4/09	8/18	0/85	0/66	44
7	25	33	41/03	0/47	7/7	0/21	11/5	10/3	136	2/24	6/48	0/54	0/77	34
8	38	55	23/06	1/19	8/1	0/24	17/9	27/0	292	3/05	6/90	1/30	0/73	58
9	48	46	11/27	1/16	7/8	0/25	18/5	15/2	202	3/72	7/44	0/89	1/31	54
10	49	46	14/76	0/970	7/9	0/23	17/9	19/6	279	3/71	7/41	1/41	0/39	56

جدول 3- برخی ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی	واحد	مقدار	حداکثر غلظت استاندارد (USEPA)	غلظت استاندارد (USEPA)
pH	-	7/5	-	-
کربن آلی	درصد	20/3	-	-
نیتروژن	"	5/7	-	-
فسفر	"	1/5	-	-
پتاسیم	"	0/45	-	-
روی قابل استفاده	میلی‌گرم در کیلوگرم	558	-	-
مس قابل استفاده	"	41	-	-
روی	"	1321	7500	2800
مس	"	78	4300	1500
کادمیم	"	73	85	39
نیکل	"	45	420	420
سرب	"	583	840	300

مقادیر شکل‌های مختلف روی در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب در جدول 4 نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج این جدول نشان می‌دهد در بین شکل‌های روی در خاک‌های تیمارنشده، شکل تبادلی با میانگین 0/19 میلی‌گرم در کیلوگرم حداقل مقدار را داشت. بعد از شکل تبادلی، شکل‌های پیوندشده با کربنات‌ها و پیوندشده با ماده‌آلی با میانگین به‌ترتیب 0/39 و 0/77 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت. شکل باقیمانده با میانگین 42/2 میلی‌گرم در کیلوگرم حداکثر مقدار را در بین شکل‌های روی در خاک‌های تیمارنشده داشت. بعد از شکل باقیمانده، شکل پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با میانگین 4/82 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت.

شکل تبادلی با میانگین 0/24 میلی‌گرم در کیلوگرم حداقل مقدار را در بین شکل‌های روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب داشت. بعد از شکل تبادلی، شکل‌های پیوندشده با کربنات‌ها و پیوندشده با ماده‌آلی با میانگین 4/48 و 1/49 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشتند. در بین شکل‌های روی در خاک‌های تیمارشده شکل باقیمانده با میانگین 46/8 میلی‌گرم در کیلوگرم حداکثر مقدار را داشت. بعد از شکل باقیمانده، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با میانگین 13/10 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت. بر اساس نتایج، تفاوت شکل‌های روی در خاک‌های مختلف نشان‌دهنده تفاوت ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده و همچنین واکنش‌پذیری متفاوت روی با ترکیبات مختلف در خاک‌ها است.

در پژوهش‌های زیادی گزارش شده است که بیشترین مقدار روی در شکل باقیمانده و بعد از آن شکل پیوندشده با اکسیدهای آهن قرار دارد (آلوارز و همکاران، 2006؛ اوبرادور[1] و همکاران، 2003؛ روپا و شوکلا، 1999). اوبرادور و همکاران (2003) مشاهده کردند که در خاک‌های آهکی بیشترین مقدار روی به صورت شکل باقیمانده بود. آنها گزارش کردند که قرارگیری بیشترین مقدار روی در شکل باقیمانده می‌تواند بدلیل تمایل روی به قرارگیری در شکل غیر قابل استفاده و باقیماندن در خاک‌های قلیایی باشد. نتایج آنها نشان داد که بعد از شکل باقیمانده، شکل‌های پیوندشده با اکسیدهای آهن، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با ماده‌آلی و پیوندشده با اکسیدهای منگنز قرار داشتند. همچنین آنها گزارش کردند که مقدار روی در محلول خاک و شکل تبادلی قابل تشخیص برای دستگاه جذب اتمی نبود. ریحانی‌تبار و همکاران (1385) و قانع و کریمیان (1382) به ترتیب در خاک‌های آهکی استان‌های تهران و فارس گزارش کردند که روی به شکل باقیمانده بیشترین مقدار را داشت. آلوارز و همکاران (2006) گزارش کردند که در خاک‌های قلیایی مورد مطالعه بیشترین مقدار روی به صورت شکل باقیمانده بود. بر اساس نتایج آنها، بعد از شکل باقیمانده، شکل‌های پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با ماده‌آلی و تبادلی قرار داشتند. روپا و شوکلا (1999) گزارش کردند که بعد از مقدار روی در شکل باقیمانده، بیشترین مقدار روی در شکل پیوندشده با اکسیدهای آهن بود. شریواستاوا[2] و بانرجی[3] (2004) مشاهده کردند که در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب روی باقیمانده بیشترین مقدار را دارد و بعد از آن شکل‌های پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با ماده‌آلی و تبادلی قرار داشتند.

همانطور که در جدول 4 مشاهده می‌شود بر اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک‌های مورد مطالعه، مقدار شکل‌های روی افزایش معنی‌داری یافت. میانگین شکل‌های روی در خاک‌های تیمارنشده با میانگین شکل‌های روی در خاک تیمارشده با لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری (به جز روی تبادلی در سطح احتمال 5٪) در سطح احتمال 1٪ داشتند. بر اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک‌ها، میانگین شکل تبادلی 1/42، شکل پیوندشده با کربنات‌ها 3/79، شکل پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز 2/71، شکل پیوندشده با ماده‌آلی 1/93 و شکل باقیمانده 1/11 برابر افزایش یافت. به‌طورکلی لجن فاضلاب همواره دارای مقدار زیادتری عناصر کم‌نیاز نسبت به خاک است. بنابراین افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌شود (مک‌گراس[4] و همکاران، 2000). نتایج این تحقیق نشان داد که روی آزادشده از لجن فاضلاب با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز در خاک پیوند داده و بنابراین مقدار این شکل‌های در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب افزایش می‌یابد. افزایش مقدار روی پیوندشده با کربنات‌ها در خاک‌های آهکی تیمارشده می‌تواند به این دلیل باشد که خاک‌های آهکی منبع بزرگ کربنات‌ها هستند و توانایی پیوند با روی آزادشده از لجن فاضلاب را دارند. همچنین اکسیدهای آهن تمایل زیادی برای جذب روی دارند (استانتون[5] و بورگر[6]، 1967). بنابراین

1. Obrador

2. Shrivastava
3. Banerjee
4. McGrath
5. Stanton
6. Burger

مقدار روی پیوندشده با این دو شکل نسبت به سایر شکل‌های روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب افزایش بیشتری یافته بود. برازاوسکین[1] و همکاران (2008) مشاهده کردند که با افزایش لجن فاضلاب به خاک‌ها مقدار روی تبادلی افزایش یافت. نتایج آنها نشان داد که در طی انکوباسیون روی از شکل‌های تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها به شکل‌های پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با ماده‌آلی انتقال می‌یابد.

نتایج بررسی قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها پس از کشت نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب و خاک‌های تیمارنشده تفاوت معنی‌داری نداشتند (اعداد نشان داده نشده است)، به عبارت دیگر علیرغم بالا بودن قابلیت هدایت الکتریکی لجن فاضلاب، به دلیل مصرف کم لجن فاضلاب و یا رسوب املاح محلول موجود در لجن به صورت املاح با حلالیت کمتر، کاربرد لجن فاضلاب تأثیری بر شور کردن خاک‌ها نداشته است.

جدول 5 شاخص‌های گیاه لوبیا را در 10 خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود غلظت روی و ماده خشک گیاه در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب افزایش معنی‌داری در سطح احتمال 1٪ داشت. متقیان و همکاران (1391، ب) گزارش کردند بر اثر افزودن 10 گرم لجن فاضلاب به هر کیلوگرم خاک، ماده خشک، غلظت روی و میزان جذب گندم افزایش یافت. افیونی[2] و همکاران (2006) افزایش مقدار جذب روی به وسیله گیاهان کاهو و اسفناج در اراضی تیمارشده با لجن فاضلاب را گزارش کردند.

ضرایب همبستگی بین مقادیر شکل‌های مختلف روی در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب با شاخص‌های لوبیا در جدول 6 نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج این جدول نشان می‌دهد در خاک‌های تیمارنشده، غلظت روی، ماده خشک و جذب روی با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری داشتند. ضرایب همبستگی غلظت روی، ماده خشک و جذب روی با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز به‌ترتیب 0/80، 0/85 و 0/89 بود.

در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، بین ماده خشک با روی تبادلی، روی پیوندشده با کربنات‌ها، روی پیوندشده با ماده‌آلی و روی باقیمانده همبستگی معنی‌داری وجود داشت. ضرایب همبستگی ماده خشک با روی تبادلی، روی پیوندشده با کربنات‌ها، روی پیوندشده با ماده‌آلی و روی باقیمانده به‌ترتیب 0/65-، 0/77-، 0/65 و 0/74 بود. همچنین، جذب روی در لوبیا با روی پیوندشده با کربنات‌ها همبستگی معنی‌داری (0/65-) داشت. به‌علاوه، شاخص‌های پاسخ و عملکرد نسبی با روی تبادلی همبستگی معنی‌داری (ضرایب همبستگی به‌ترتیب 0/68- و 0/64) داشتند (جدول 6).

نتایج نشان داد که شکل یا شکل‌های دارای قابلیت استفاده لوبیا با تغییر شکل‌های روی در اثر تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب تغییر می‌کنند. متقیان و همکاران (1391، ب) به بررسی قابلیت استفاده شکل‌های روی برای گیاه گندم در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب (1٪ وزنی- وزنی) پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده، بین غلظت روی در گندم و شکل‌های تبادلی ($r= 0/92^{**}$) و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز ($r= 0/76^{*}$) همبستگی معنی‌داری وجود داشت. علاوه بر آن، مقدار روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با جذب روی همبستگی معنی‌داری ($r= 0/86^{**}$) داشت. همچنین درخاک‌های تیمارشده، غلظت روی، عملکرد و جذب روی در گندم با روی تبادلی همبستگی معنی‌داری (به‌ترتیب $0/84^{**}$، $0/71^{*}$ و $0/81^{**}$) داشتند. همچنین، ماده خشک با روی پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری (به‌ترتیب $0/69^{*}$ و $0/75^{*}$) داشت. جذب روی با مقدار روی پیوندشده با کربنات‌ها همبستگی معنی‌داری ($r=0/64^{*}$) داشت. بنابراین، در خاک‌های تیمارشده زیر کشت گیاه گندم، روی پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز دارای قابلیت استفاده بودند. اما در خاک‌های تیمارشده زیر کشت لوبیا این شکل‌های قابلیت استفاده نداشتند. بنابراین، استفاده از لجن فاضلاب و نوع گیاه می‌توانند بر شکل یا شکل‌های روی دارای قابلیت استفاده مؤثر باشند.

عناصر در محلول خاک و شکل تبادلی قابلیت استفاده زیادی برای گیاه دارند، همچنین شکل‌های پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدها و پیوندشده با ماده‌آلی نیز می‌توانند قابل استفاده گیاه باشند (هی[3] و همکاران، 2005). در تحقیقات زیادی همبستگی معنی‌داری بین غلظت روی در گیاه و روی تبادلی گزارش شده است (لک‌لاری و همکاران، 1984؛ روپا و شوکلا، 1999).

1. Brazauskine
2. Afyuni
3. He

جدول 4- مقادیر شکل‌های مختلف روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده

شماره خاک	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده‌آلی	باقیمانده
			خاک‌های تیمارنشده		
1	0/18	0/37	3/53	0/91	51/7
2	0/12	0/35	4/61	0/80	48/4
3	0/16	0/25	2/58	0/41	41/7
4	0/23	0/40	4/82	0/85	38/9
5	0/19	0/33	3/60	0/70	32/4
6	0/22	0/55	6/27	0/65	36/1
7	0/21	0/49	4/33	0/81	28/3
8	0/21	0/25	7/34	0/72	49/3
9	0/22	0/44	7/02	0/92	45/7
10	0/18	0/45	4/09	0/94	50/0
میانگین*	0/19 a	0/39 a	4/82 a	0/77 a	42/2 a
			خاک‌های تیمارشده		
1	0/19	0/93	11/23	1/64	56/8
2	0/21	0/97	10/77	1/60	52/9
3	0/22	1/80	13/55	1/25	45/4
4	0/30	1/11	13/46	1/58	42/9
5	0/22	2/12	13/82	1/54	36/7
6	0/28	1/16	14/44	1/42	41/8
7	0/29	2/37	12/72	1/22	32/8
8	0/22	1/01	13/02	1/56	54/0
9	0/27	1/77	16/71	1/57	50/6
10	0/20	1/59	11/29	1/54	54/3
میانگین*	0/24 b	1/48 b	13/10 b	1/49 b	46/8 b

*حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار درسطح احتمال 5 درصد میانگین هر شکل با استفاده از آزمون t-test در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب هستند.

جدول 5- شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	خاک‌های تیمارنشده			خاک‌های تیمارشده				
	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده خشک (گرم در گلدان)	جذب (میلی‌گرم در گلدان)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده‌خشک (گرم در گلدان)	جذب (میلی‌گرم در گلدان)	پاسخ (گرم در گلدان)	عملکرد نسبی (درصد)
1	15/30	8/05	0/12	26/30	22/79	0/64	14/74	35
2	20/95	10/32	0/22	28/30	20/88	0/60	10/56	49
3	15/10	5/91	0/09	26/70	16/20	0/43	10/29	36
4	20/60	9/70	0/20	28/80	15/32	0/45	5/62	63
5	17/60	8/30	0/15	29/55	15/69	0/46	7/40	53
6	19/50	10/30	0/20	28/60	16/77	0/48	6/47	61
7	15/75	8/63	0/14	27/60	11/45	0/32	2/82	75
8	20/90	10/91	0/23	22/05	17/46	0/39	6/56	62
9	22/70	12/14	0/28	27/50	15/92	0/44	3/78	76
10	15/60	10/43	0/16	22/90	15/65	0/34	5/22	67
میانگین*	18/40 b	9/47 b	0/18 b	26/83 a	16/71 a	0/45a	7/34	58

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال 1 درصد هستند.

در این تحقیق، همبستگی معنی‌داری بین ماده خشک و روی باقیمانده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب بدست آمد، درحالی‌که شکل باقیمانده معمولاً قابل استفاده گیاه نیست (هی و همکاران، 2005). نتایج بررسی همبستگی نشان داد که بین ماده خشک و درصد رس همبستگی معنی‌داری (0/74) وجود داشت. همچنین، بین روی باقیمانده و درصد رس نیز همبستگی معنی‌داری (0/73) وجود داشت. بنابراین، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ماده خشک در خاک‌های تیمارشده با روی باقیمانده می‌تواند به دلیل رابطه مشترک آنها با درصد رس باشد.

اکسیدهای آهن تمایل زیادی برای جذب روی دارند، اما روی پیوند شده با اکسیدهای آهن به شکل غیرقابل استفاده تبدیل نمی‌شود (استانتون و بورگر، 1967). بر همین اساس مقدار نسبی روی پیوندشده با اکسیدهای آهن بیشتر از روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز است (ما[1] و اورن[2]، 1998). همچنین روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز تأثیری بر قابلیت استفاده روی ندارند (مک‌کنزی[3]، 1978). بنابراین به نظر می‌رسد در خاک‌های تیمارنشده اهمیت روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز در قابلیت استفاده روی کمتر از روی پیوندشده با اکسیدهای آهن باشد، اما بدلیل اینکه در روش عصاره‌گیری تسیر و همکاران (1979) یک شکل پیوندشده با اکسیدها شامل اکسیدهای آهن و منگنز را عصاره‌گیری می‌کند، علیرغم قابلیت استفاده کم روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز بین شاخص‌های گیاه کشت شده در خاک‌های تیمارنشده با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری بدست آمد. ضرایب همبستگی منفی و معنی‌دار بین برخی شاخص‌های لوبیا و شکل‌های تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها می‌تواند به دلیل تغییر در مقادیر شکل‌های روی در نتیجه افزودن لجن فاضلاب حاوی مقادیر قابل توجه این عنصر به نمونه‌های خاک باشد که منجربه تغییر روابط بین شاخص‌های لوبیا و شکل‌های روی در این خاک‌ها گردیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب در بین شکل‌های روی، روی تبادلی حداقل و روی باقیمانده حداکثر مقدار را داشتند. بعد از روی باقیمانده، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز قرار داشت. تمایل زیاد اکسیدهای آهن برای جذب روی باعث افزایش مقدار این شکل در خاک‌های مورد مطالعه شده بود و بعد از شکل باقیمانده بیشترین مقدار را در بین شکل‌های روی داشت. بر اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک‌ها، مقدار شکل‌های روی افزایش معنی‌داری یافت. بر اثر افزودن لجن فاضلاب میانگین روی پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز بیشترین افزایش را یافتند. در خاک‌های تیمارنشده، در بین شکل‌های مختلف روی، تنها روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با شاخص‌های لوبیا همبستگی معنی‌داری داشت. در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، بین ماده خشک با روی تبادلی، روی پیوندشده با کربنات‌ها، روی پیوندشده با ماده‌آلی و روی باقیمانده همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین، شاخص‌های پاسخ و عملکرد نسبی با روی تبادلی همبستگی معنی‌داری داشتند. بنابراین، با تغییر مقادیر شکل‌های روی در اثر تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب، قابلیت استفاده شکل‌های نیز تغییر می‌کند.

---

1. Ma
2. Uren
3. McKenzie

جدول 6- ضریب همبستگی (r) بین مقادیر شکل‌های مختلف روی و شاخص‌های لوبیا

شاخص	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده‌آلی	باقیمانده
			خاک‌های تیمارنشده		
غلظت	0/27 ns	0/03 ns	0/80**	0/22 ns	0/14 ns
ماده خشک	0/34 ns	0/38 ns	0/85**	0/62 ns	0/29 ns
جذب	0/32 ns	0/20 ns	0/89**	0/43 ns	0/25 ns
			خاک‌های تیمارشده		
غلظت	0/45ns	0/24 ns	0/33ns	-0/13ns	-0/60ns
ماده خشک	-0/65*	-0/77*	-0/43ns	0/65*	0/74*
جذب	-0/39ns	-0/65*	-0/27ns	0/54 ns	0/41 ns
پاسخ	-0/68*	-0/52 ns	-0/51 ns	0/30 ns	0/49 ns
عملکرد نسبی	0/64*	0/35 ns	0/43 ns	-0/10 ns	-0/30 ns

** معنی‌دار در سطح اطمینان 1 درصد، * معنی‌دار در سطح اطمینان 5 درصد و ns غیرمعنی‌دار

فهرست منابع:

1. ریحانی‌تبار، ع.، ن. کریمیان، م. معزاردلان، غ. ثواقبی، و م.ر. قنادها. 1385. توزیع شکل‌های روی و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان تهران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی 10(2): 135-125.
2. قانع، ه. و ن. کریمیان. 1382. توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های خاک. هشتمین کنگره علوم خاک ایران، صفحه 642-641. رشت (گیلان).
3. متقیان، ح.ر. ع.ر. حسین‌پور، ف. رئیسی و ج. محمدی. 1391. (الف). 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).
4. متقیان، ح.ر. ع.ر. حسین‌پور، ف. رئیسی و ج. محمدی. 1391. (ب). ارزیابی روش جزءبندی در تعیین روی قابل استفاده گندم (*Triticum aestivum* L.) در تعدادی از خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). (در دست چاپ).
5. Afyuni, M., Y. Rezaeinejad and R. Schulin. 2006. Extractability and plant uptake of Cu, Zn, Pb and Cd from a sludge - amended Haplargid in Central Iran. Arid Land Res. Manag., 20(1): 29-41.
6. 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.
7. Amir, S., M. Hafidi, G. Merlina and J.C. Revel. 2005. Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. Chemosphere, 59: 801–810.
8. 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.
9. Brazauskiene, D.M., V. Paulauskas and N. Sabiene. 2008. Speciation of Zn, Cu, and Pb in the soil depending on soil texture and fertilization with sewage sludge compost. J. Soils Sediments, 8:184-192.
10. Campbell, C.R. and C.O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. *In:* Kalra, Y.P. ed. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. pp. 37-50.

11. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. *In:* Klute, A. ed. Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 404-407.
12. Han, F.X., A.T. Hu and Y.H. Qi. 1995. Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. Geoderma, 66: 121- 135.
13. He, Z.L.L., X.E. Yang and P.J. Stoffella. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. Journal of Trace Elements in Medicine &Biology, 19: 125-140.
14. Hooda, P.S. and B.J. Alloway. 1994. The plant availability and DTPA extractability of trace metals in sludge-amended soils. The Science of the Total Environ., 149:39-51.
15. Hseu, Z.Y. 2006. Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. Chemosphere, 63:762-771.
16. Krishnamurti, G.S.R. and R. Naidu. 2002. Solid-phase speciation and phytoavailability of copper and zinc in soils. Environ. Sci. Technol., 36: 2645-2651.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Loeppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. *In:* Sparks, D.L. ed. Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 437-474.
21. Lopez-Valdivia, L.M., M.D. Fernandez, A. Obrador and J.M. Alvarez. 2002. Zinc transformations in acidic soil and zinc efficiency on maize by adding six organic zinc complexes. J. Agric. Food Chem., 50: 1455-1460.
22. Ma, Y.B. and N.C. Uren. 1998. Transformations of heavy metals added to soil application of a new sequential extraction procedure. Geoderma, 84: 157-168.
23. McGrath, S.P., F.J. Zhao, S.J. Dunhum, A.R. Crosland and K. Coleman. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. J. Environ. Qual., 29:87-883.
24. McKenzie, R.M. 1978. The effect of two manganese dioxides on the uptake of lead, nickel, copper and zinc by subterranean clover. Aust. J. Soil Res., 16:209-214.
25. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. *In:* Sparks, D.L. Ed. Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 961-1010.
26. 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.
27. Perez-Cid, B., M. De Jesus, E. Fernandez. 2002. Comparison of single extraction procedures, using either conventional shaking or microwave heating, and the Tessier sequential extraction method for the fractionation of heavy metals from environmental samples. Analyst, 127: 681-688.
28. Qian, J., Z. Wang, X. Shan, Q. Tu, B. Wen and B. Chen. 1996. Evaluation of plant availability of soil trace metals by chemical fractionation and multiple regression analysis. Environ. Pollut., 91: 309–315.
29. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *In:* Sparks, D.L. ed. Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 417-435.
30. 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.

31. Shrivastava, S.K. and D.K. Banerjee. 2004. Speciation of metals in sewage sludge and sludge-amended soils. Water Air, Soil Pollut., 152: 219–232.
32. Sposito, G., L.J. Lund and A. 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.
33. Stanton, D.A. and R.T. Burger. 1967. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. Geoderma, 1:13-17.
34. Sumner, M.E. and P.M. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. *In:* Sparks, D.L. Ed. Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 1201-1230.
35. 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.
36. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *In:* Sparks, D.L. ed. Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 475-490.
37. USEPA. 1995. Land application of sewage sludge and domesic septage. Section 503. EPA/625/R-95/001 USEPA. Washington, DC. pp. 290.