

## تأثیر کاربرد کودهای آلی و فسفر بر تجمع کروم VI در گیاه تربچه آبیاری شده با آب آلوده

قاسم صیدالی<sup>۱\*</sup>، علی عباسپور<sup>۲</sup>، حمیدرضا اصغری<sup>۳</sup>، حسن قربانی قوژدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۸

۱\_ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲\_ دانشیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۳\_ دانشیار گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۴\_ مربی گروه مهندسی باغبانی و گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gh.seydali@gmail.com

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای فسفره و ترکیبات آلی بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه تربچه (*Rhaphanus sativus* L) آبیاری شده با آب آلوده به کروم VI با غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد، کود دی‌آمونیم فسفات (۴۱ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم)، کود سوپر فسفات تریپل (۴۱ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم)، پودر یونجه (۱ درصد)، اسید هومیک (۱/۳۸ گرم بر کیلوگرم)، کود دی‌آمونیم فسفات + پودر یونجه، کود دی‌آمونیم فسفات + اسید هومیک، سوپر فسفات تریپل + اسید هومیک و سوپر فسفات تریپل + پودر یونجه بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر فسفر محلول خاک، کروم VI ریشه، هدایت الکتریکی (EC) و pH اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود داشت. مؤثرترین تیمار در کاهش غلظت کروم VI ریشه در کاربرد ترکیبی سوپر فسفات تریپل به همراه اسید هومیک مشاهده شد که باعث کاهش ۵۷/۵ درصدی نسبت به شاهد گردید. مقدار تجمع کروم VI در ریشه ۵۹/۱۱ درصد بیشتر از اندام‌های هوایی گیاه تربچه بود. با توجه به خوراکی بودن ریشه گیاه تربچه، به نظر می‌رسد استفاده از کودهای فسفره و ترکیبات آلی می‌تواند سبب کاهش جذب کروم به وسیله گیاه تربچه و مانع از تجمع کروم VI در اندام‌های گیاه به خصوص ریشه شود.

واژه‌های کلیدی: اسید هومیک، پودر یونجه، تربچه، فسفر، کروم VI

## The Effect of Organic and Phosphorus Fertilizers Application on Chromium VI Accumulation in the Radish Irrigated with Contaminated Water

Gh Seydali<sup>1\*</sup>, A Abbaspour<sup>2</sup>, HR Asghari<sup>3</sup>, H Ghorbani Ghujdi<sup>4</sup>

Received: 10 June 2012 Accepted: 18 July 2016

1- M.Sc. Graduate, Water and Soil Dept., Faculty of Agric., Shahrood Univ., of Technology, Iran

2- Assoc. Prof., Water and Soil Dept., Faculty of Agric., Shahrood Univ., of Technology, Iran

3- Assoc. Prof., Agronomy and Plant Breeding Eng. Dept., Faculty of Agric., Shahrood Univ., of Technology, Iran

4- Lecturer, Horticulture and plant protection Eng. Dept., Faculty of Agric., Shahrood Univ., of Technology, Iran

\*Corresponding Author, Email: gh.seydali@gmail.com

### Abstract

In order to evaluate the effect of phosphate fertilizers and organic compounds on some growth characteristics of the radish (*Rhaphanus sativus* L) irrigated with chromium- contaminated water at the concentration of  $0.25 \text{ mg L}^{-1}$ , a greenhouse experiment was conducted at the Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology as a randomized complete block design with three replications. The treatments were: control, di-ammonium phosphate ( $41 \text{ mg P kg}^{-1}$ ), triple superphosphate ( $41 \text{ mg P kg}^{-1}$ ), alfalfa powder (1%), humic acid ( $1.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ), di-ammonium phosphate + alfalfa powder, humic acid + di-ammonium phosphate, triple super phosphate + humic acid and triple superphosphate + alfalfa powder. Analysis of variance revealed that there were significant differences among treatments on soluble phosphorus of soil, root chromium VI, electrical conductivity (EC) and pH. The most effective treatment for reducing chromium VI concentration of the radish root, was observed in application of triple super phosphate combined with humic acid, so that its concentration was reduced by 57.5 percent in comparison to the control treatment. The concentration of chromium VI in the root was 59.11 percent more than that in the shoot. Considering the edible root of radish, it seems the use of phosphate fertilizers and organic compounds can decrease the absorption of chromium in the radish plant and prevent the accumulation of chromium VI in the tissues of the plant, especially in root.

**Keywords:** Alfalfa Powder, Cr VI, Humic Acid, Phosphorus, Radish

### مقدمه

این آلاینده در زنجیره غذایی می‌تواند زندگی بشر را به مخاطره بیندازد (ماتِه گاسپار و آنتون ۲۰۰۲). آلودگی فلزات سنگین به غلظت‌های بالاتر از حد خطر ساز اطلاق می‌شود. سطوح طبیعی و حدود آلودگی فلزات سنگین در خاک در

فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم محیط زیست به‌شمار می‌روند که عمدتاً از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بشر منشأ می‌گیرند. حضور آن‌ها در اتمسفر، آب و خاک حتی در غلظت‌های بسیار پایین و انباشته شدن

کشورهای مختلف متفاوت است. حضور فلزات سنگین در منطقه ریزوسفر و ورود آن‌ها به گیاه باعث کاهش رشد شده و متابولیسم سلولی را به هم می‌زند، بنابراین روی فرایندهای مهمی مانند انتقال آب، فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندری، فتوسنتز و مقدار کلروفیل اثر منفی می‌گذارد (ویتوریا و همکاران ۲۰۰۵). کروم شش ظرفیتی عمدتاً به صورت یون‌های هیدروکرومات ( $\text{HCrO}_4^-$ )، کرومات ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) در آب و خاک یافت می‌شود (استپنیوسکا و بیوسر ۲۰۰۱). به‌طور اساسی، جذب سطحی کروم در خاک با میزان رس و به مقدار کمتر با هیدروکسیدهای آهن و میزان مواد آلی ارتباط دارد. همبستگی مثبت بین کروم و اجزاء دانه‌های ریز در خاک منجر به بیش‌ترین میزان کروم در خاک‌های سیلتی و لومی نسبت به خاک‌های شنی می‌شود (کاباتا-پندیاس و پندیاس ۲۰۰۱). اثرات سمیت آن تا حد زیادی به خصوصیات خاک، به‌ویژه بافت و اسیدیته خاک وابسته است (کاباتا-پندیاس و پندیاس ۱۹۹۹). کروم VI محلول در خاک‌ها برای گیاهان و موجودات خاکزی سمی بوده و سمیت آن بسیار بیشتر از کروم ۳ ظرفیتی است. این عنصر به‌علت استفاده‌های وسیع صنعتی طی دهه اخیر، به یک آلاینده جدی محیطی تبدیل شده است. غلظت‌های بالای کروم VI به‌عنوان عاملی تنش‌زا برای گیاهان به‌شمار می‌رود که می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده رشد، خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (پیروز ۱۳۹۱). سازمان جهانی بهداشت (WHO) سرطان‌زا بودن کروم ۶ را در انسان تایید کرده است. آژانس حفاظت محیط زیست امریکا حد مجاز کروم ۶ ظرفیتی در استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی را ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و برای

آب آشامیدنی ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است (پاولوسکی ۱۹۹۲، آوارز و همکاران ۲۰۰۶). یکی از روش‌های کنترل فلزات سنگین در خاک استفاده از روش غیر پویاسازی شیمیایی آن‌ها است. این روش با کاهش حلالیت فلزات سنگین باعث کاهش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود. تثبیت شیمیایی فلزات سنگین به‌دلیل هزینه کم و سرعت نسبتاً زیاد نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارد. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها از طریق سازوکار جذب سطحی، واکنش‌های اسید-باز، رسوب، اکسایش و کاهش تبادل یونی و هوموسی شدن باعث غیر پویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند. انتخاب افزودنی مناسب تحرک و فراهمی آلاینده را به‌سرعت کاهش داده و از آب‌شویی و جذب به‌وسیله گیاهان و موجودات زنده خاک جلوگیری می‌کند (اسچکل و رایان ۲۰۰۳). انتخاب اصلاح‌کننده‌ها وابسته به مواردی مانند نوع آلاینده، خصوصیات خاک، مقدار کارایی مد نظر هست. همچنین اصلاح‌کننده‌ها باید به آسانی قابل‌دسترس و نسبتاً ارزان باشند، کاربرد راحت داشته باشند و باعث تخریب بیشتر محیط‌زیست نشوند (اسکندر ۲۰۰۱). سوپرفسفات تریپل از جمله کودهای فسفره است که حلالیت مناسبی در آب دارد که باعث واکنش پذیری بیشتر فسفر با فلزات سنگین خواهد شد. همچنین با داشتن خاصیت اسیدی سبب کاهش اسیدیته خاک شده و انحلال فلزات سنگین را باعث می‌شود (محمدی ثانی و همکاران ۱۳۸۹). تحقیقات زیادی برای کاهش اثرات سمی فلزات سنگین انجام شده است و از مواد بانداکننده مختلفی چون  $\text{EDTA}^{2-}$  و  $\text{DTPA}^{3-}$  اسید هومیک استفاده شده است اما در این بین اسید هومیک مورد توجه خاص هستند

<sup>۱</sup>Ethylene diamine tetraacetic acid<sup>۲</sup>Diethylene triamine pentaacetic acid<sup>۳</sup>World Health Organization

پس از عبور دادن از الک ۵ میلی‌متر به گلدان‌های پلاستیکی با گنجایش ۵ کیلوگرم منتقل شد. بدین منظور به هر یک از تیمارها مقادیر ۴۱ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم به صورت دی آمونیوم فسفات و یا سوپر فسفات تریپل با خاک مخلوط و ۱/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم اسید هومیک (ساخت شرکت گرین در کشور ایتالیا خریداری شده توسط شرکت کشاورزی هامون) به صورت محلول، ۱ درصد پودر یونجه خشک آسیاب شد و قبل از کاشت به گلدان‌ها اضافه شد. بدین ترتیب، تیمارها شامل شاهد (C)، کود دی آمونیوم فسفات (AP)، کود سوپرفسفات تریپل (TP)، پودر یونجه (OM)، اسید هومیک (HA)، کود دی آمونیوم فسفات + پودر یونجه (AP+OM)، کود دی آمونیوم فسفات + اسید هومیک (AP+HA)، سوپر فسفات تریپل + اسید هومیک (TP+HA)، سوپرفسفات تریپل + پودر یونجه (TP+OM) بودند. در هر گلدان ۷ بذر تربچه کشت گردید و بعد از دو هفته تعداد گیاهان به ۵ بوته کاهش یافت. آب آلوده به کروم از منطقه فرومد تهیه گردید (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده برای آبیاری.

dS m <sup>-1</sup>	۰/۸۱	EC
-	۷/۶	pH
meq L <sup>-1</sup>	۳	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
meq L <sup>-1</sup>	۴/۸	Cl <sup>-</sup>
meq L <sup>-1</sup>	۰/۸	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
meq L <sup>-1</sup>	۲/۷	Na <sup>+</sup>
meq L <sup>-1</sup>	۴/۹	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>
(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	۱/۸	SAR
mg L <sup>-1</sup>	۰/۲۵	Cr (VI)

فرومد در شرق شهرستان میامی استان سمنان واقع گردیده است که برخی چاه‌های آن حاوی تعدادی از فلزات سنگین به ویژه کروم (به دلیل واقع شدن معدن کرومیت در منطقه فرومد و آلوده بودن آب آبیاری

زیرا جزء ترکیبات طبیعی آلی خاک محسوب می‌شوند (البرتس و همکاران ۲۰۰۰). تربچه با نام علمی *Rhaphanus sativus* L. یک سبزی ریشه‌ای مهم و متعلق به خانواده چلیپائیان هست که به عنوان انباشت‌کننده فلزات سنگین مطرح هست (هارا و همکاران ۲۰۰۹). از آنجایی که سبزی‌ها از مهم‌ترین منابع روزانه انتقال آلودگی فلزات سنگین می‌باشند و ضمن اینکه کشاورزان در منطقه آلوده، به کشت گیاه تربچه می‌پردازند، در این تحقیق سعی شد اثر ترکیبات آلی (اسید هومیک و پودر یونجه) و کودهای فسفوره (دی آمونیوم فسفات و سوپر فسفات تریپل) بر قابلیت دسترسی و جذب کروم VI در گیاه تربچه بررسی شود.

#### مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان در سال زراعی ۹۳ به صورت گلدانی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود برداشته شد (جدول ۱)

جدول ۱- نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

۱۹	رس (%)
۲۸	سیلت (%)
۴۳	شن (%)
۱۴/۳	فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )
۰/۵۲	کربن آلی (%)
۰/۹۱	ماده آلی (%)
۰/۰۴۵	نیترژن کل (%)
۰/۹۷	هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )
۷/۷۸	pH
لوم	بافت خاک
Nd*	کروم (mg kg <sup>-1</sup> )

\*Not Detectable

نمونه هضم شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (میلر ۱۹۹۸).

#### تعیین کروم (VI) در خاک

۵ گرم نمونه خاک خشک با ۵۰ میلی‌لیتر از محلول  $KH_2PO_4$  ۰/۰۰۵ مولار و  $K_2HPO_4$  ۰/۰۵ مولار مخلوط نموده و نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در شیکر با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد. pH محلول با اسید سولفوریک (۱۰ درصد) در حدود ۲/۵- ۱/۵ تنظیم شد (ماریوس و همکاران ۲۰۰۹).

#### اندازه‌گیری کروم (VI) به روش دی‌فنیل کاربازید

برای اندازه‌گیری غلظت کروم VI در نمونه‌های گیاهی، ۹۵ میلی‌لیتر عصاره با ۲ میلی‌لیتر معرف دی‌فنیل کاربازید (DPC) (برای تهیه این معرف ۰/۲۵ دی‌فنیل کاربازید به ۵۰ میلی‌لیتر استون اضافه شد) مخلوط و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (بارتلت و کیمبل ۱۹۷۶). اندازه‌گیری غلظت کروم VI در عصاره‌های خاک همانند نمونه‌های گیاهی انجام شد، با این تفاوت که به جای ۹۵ میلی‌لیتر، ۴۵ میلی‌لیتر از عصاره برداشته شد و در نهایت حجم محلول به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از ده دقیقه غلظت کروم VI با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید (جیمز و بارتلت، ۱۹۸۴). برای تهیه منحنی استاندارد کروم VI از دی کرومات پتاسیم  $K_2Cr_2O_7$  استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و SPSS و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. شکل‌ها با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

#### نتایج و بحث

EC و pH: نتایج تجزیه جدول واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مورد استفاده در مقادیر EC و pH در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

مزارع کشاورزی به کروم) است. نمونه‌برداری آب از چاه‌های منطقه براساس سیستم UTM<sup>۴</sup> در محدوده جغرافیایی ۶۸۱۱۴ تا ۴۸۶۰۳۳ طول شرقی و ۴۰۴۷۹۵۵ تا ۴۷۳۷۴۲۰ عرض شمالی انجام شد. آبیاری گلدان‌ها با آب آلوده به کروم پس از ۱ هفته از رشد بذرهای گیاه صورت گرفت. تعیین زمان آبیاری از طریق توزین روزانه گلدان‌ها و رطوبت خاک آن‌ها در حد ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. بعد از ۴۵ روز از کشت تربچه، اندام‌های ساقه و ریشه برداشت شد. با شستشوی نمونه‌ها، قسمت ریشه از اندام‌های هوایی جدا و با قرار دادن در پاکت به آزمایشگاه منتقل شد. وزن تر ریشه و اندام‌های هوایی با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و نمونه‌ها توسط دستگاه آون در دمای ۷۰°C به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری pH، EC و فسفر محلول از سوسپانسیون ۱ به ۲/۵ خاک به آب مقطر استفاده شد. برای تعیین فسفر محلول خاک به روش رنگ‌سنجی، از کلرید قلع استفاده گردید. مقدار فسفر بعد از ده دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت گردید (زرین کفش ۱۳۷۲). اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش واکلی و بلاک (آلیسون و مودی ۱۹۶۵)، فسفر قابل جذب (اولسن و همکاران ۱۹۵۴)، نیتروژن خاک به روش کج‌دال (برمنر و مولوانی ۱۹۸۲) و بافت به روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶) انجام گرفت.

#### تعیین کروم (VI) در گیاه

پس از آسیاب نمودن نمونه‌های گیاهی، ۰/۵ گرم از ماده خشک با ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک + ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک مخلوط نموده و به مدت یک شب به حال خود رها شد. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس، یک ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و دو ساعت در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا عمل هضم به‌طور کامل انجام گیرد.

<sup>۵</sup> (1,5- Diphenyl Carbazide)

<sup>۴</sup> Universal Transverse Mercator

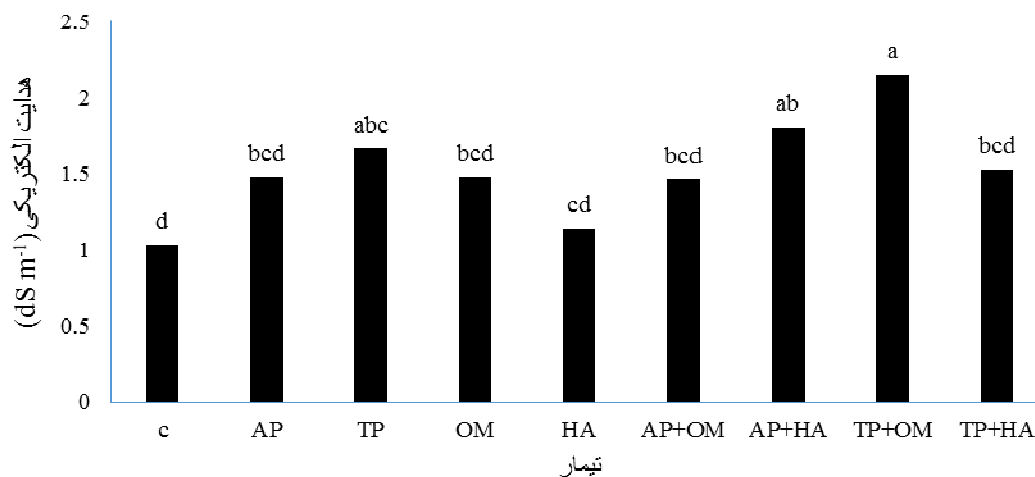
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه تربچه.

منابع تغییر	DF	EC	pH	فسفر محلول خاک	کروم VI خاک	کروم VI ریشه	کروم VI اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۱۶۴	۰/۰۲۴	۳/۲۷۴	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۰۴۳
تیمار	۸	۰/۳۳ *	۰/۰۹۲ *	۱۹/۸۴ **	۰/۰۰۰۵۶ ns	۰/۰۰۰۵۷ *	۰/۰۰۰۱۸۶ ns
خطا	۱۶	۰/۱۰۸	۰/۰۲۹	۳/۵۵	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۱۶۹
ضریب تغییرات	-	۲۱/۵۷	۲/۲۱	۱۴/۶۸	۲۶/۰۸	۲۳/۸۲	۲۷/۸۵

\*\*\*، ns و \*\* به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری هست.

مقایسه با تیمار شاهد شدند و تأثیر کود سوپرفسفات تریپل نسبت به دی آمونیوم فسفات در این خصوص بیشتر بود. تجزیه مواد آلی نیز سبب آزاد شدن عناصر موجود در آن شده و به تدریج سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. پروتون‌های آزاد شده در طول اکسایش آمونیوم با کاتیون‌هایی همچون کلسیم و پتاسیم مبادله می‌شوند، که به موجب آن EC خاک در تیمار مربوطه افزایش می‌یابد.

در بین تیمارها کود سوپرفسفات تریپل (TP) به تنهایی و به همراه پودر یونجه (TP+OM) و نیز کود دی آمونیوم فسفات به همراه اسید هومیک (AP+HA) سبب افزایش معنی دار هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد (C) شدند. کمترین مقدار EC خاک مربوط به تیمار شاهد (C) و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار TP+OM بود که هدایت الکتریکی خاک را نسبت به شاهد ۲ برابر افزایش داد (شکل ۱). احتمالاً کاربرد کودهای شیمیایی به دلیل حالیت زیاد، باعث افزایش EC خاک در



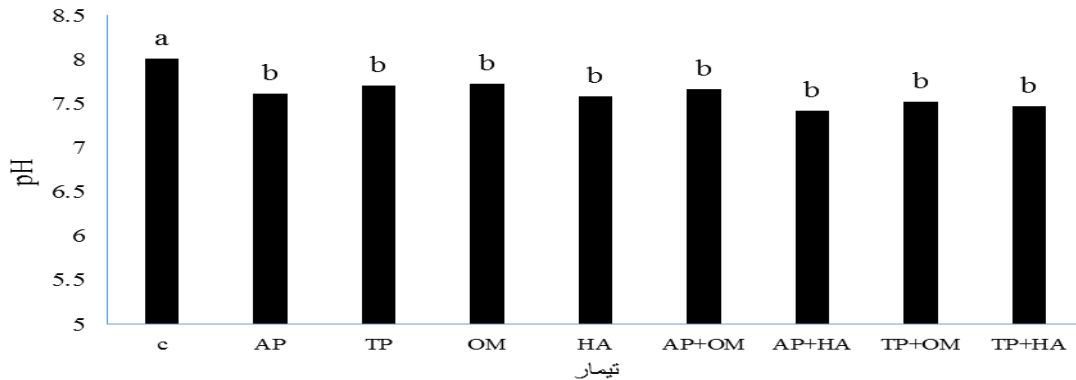
شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف بر EC خاک.

خاکها در اثر کاربرد کودهای آمونیومی هست (شکل ۲). تجزیه ترکیبات آلی و تولید اسیدهای آلی و اسیدکربنیک نیز سبب کاهش pH خاک در تیمارهای حاوی ترکیبات آلی می‌گردد. همچنین کاشم و سینگ (۲۰۰۱) در تحقیقات خود دریافتند که دی اکسید کربن

نتایج مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که همه تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی داری دارند و تأثیر تیمارهای حاوی کودهای فسفره و ترکیبات آلی در کاهش pH خاک محسوس تر بود. تبدیل آمونیوم به نترات در فرایند نیتریفیکاسیون از عوامل کاهش pH

و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقات خود دریافتند که تجزیه بقایای گیاهی در طول زمان و تولید ترکیبات اسیدزا معمولاً باعث کاهش pH خاک‌های آهکی می‌گردد.

حاصل از فرایند تجزیه مواد آلی با آب، اسیدکربنیک تولید می‌نماید. آمونیاک نیز یکی دیگر از ترکیباتی است که با اکسید شدن در فرایند نیترات‌سازی، پروتون آزاد کرده و موجبات کاهش pH را فراهم می‌نماید. عباسپور

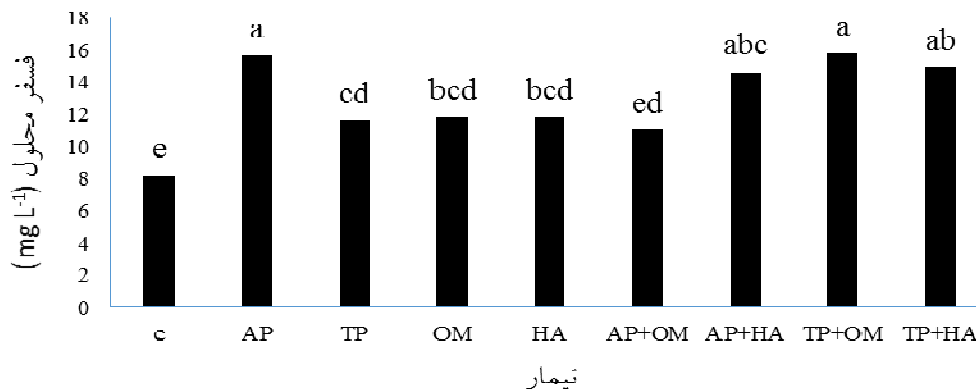


شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف بر pH خاک.

داشتند. اما نسبت به تیمار C اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۳). طبیعی است که افزودن کودهای فسفوره سبب افزایش فسفر محلول خاک می‌گردد. اما دلیل دیگر بالا رفتن فسفر محلول خاک در تیمار AP به‌خاطر وجود آمونیوم است که در اثر فرایند نیتریفیکاسیون پروتون تولید نموده و مقدمات کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش فسفر محلول خاک را فراهم می‌نماید.

#### فسفر محلول خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها در فسفر محلول خاک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار فسفر محلول خاک مربوط به تیمار AP و کمترین میزان فسفر محلول خاک مربوط به تیمار شاهد (C) بود (شکل ۳). تیمارهای AP, TP+OM, AP+HA و TP+HA از نظر آماری در یک گروه قرار



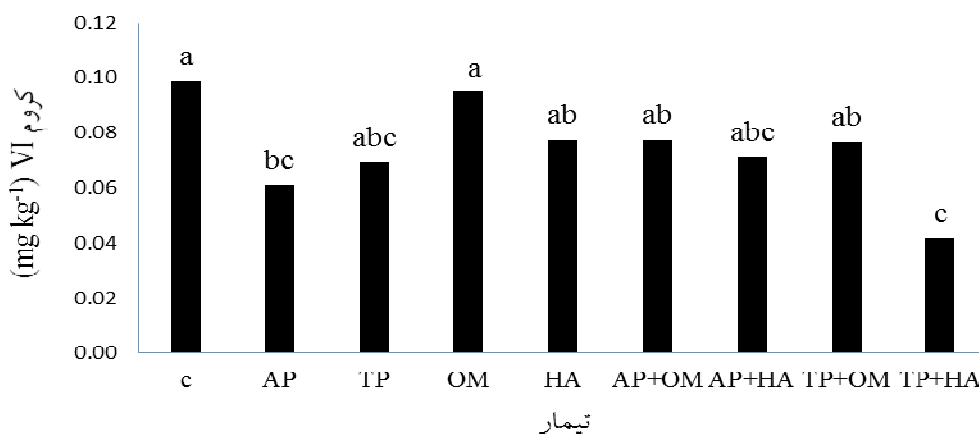
شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر فسفر محلول خاک.

افزایش به دلیل حضور کود فسفر است. باید یادآور شد که تجزیه مواد آلی سبب آزاد شدن فسفر موجود در آن شده و بدین طریق نیز سبب افزایش فسفر محلول خاک می‌گردد. در کل، همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد (C) فسفر محلول خاک را افزایش دادند که بیشترین مقدار افزایش فسفر محلول خاک مربوط به تیمار AP به میزان ۹۲/۵۳ درصد و کمترین مقدار افزایش مربوط به تیمار AP+OM به میزان ۳۳/۸۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (C) بوده است (شکل ۳).

#### کروم VI (خاک، ریشه و اندام هوایی)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر غلظت کروم VI ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۳). به طور کلی همه تیمارها غلظت کروم VI ریشه را نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند اما تنها تیمارهای TP+HA و AP نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشترین مقدار کاهش مربوط به تیمار TP+HA به میزان ۵۷/۸ درصد و کمترین مقدار کاهش مربوط به تیمار OM به میزان ۳/۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است (شکل ۴).

بی‌غم (۱۹۹۶) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که کاربرد ترکیبات فسفری به خصوص کودهای مبتنی بر آمونیوم می‌توانند به طرز بالقوای pH خاک را اسیدی کنند. به دلیل اینکه در خاک‌های با pH بالا آمونیوم به آسانی به نیترات، اکسیده می‌شود بنابراین پروتون‌هایی را آزاد می‌کند. به هر حال تیمارهایی که حاوی کود سوپر فسفات تریپل، بقایای گیاهی و اسید هومیک بودند نیز تا حدودی توانستند فسفر محلول خاک را افزایش دهند. تجزیه مواد آلی نیز سبب تولید ترکیبات آلی اسیدی و نیز اسیدکربنیک نموده که بدین طریق سبب کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش غلظت فسفر محلول خاک می‌گردد. برخی تحقیقات نشان می‌دهد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش مقدار شکل‌های فراهم تر فسفر در خاک می‌شود (میناکسی ۲۰۱۰). والن و چانگ (۲۰۰۲) در آزمایش‌های خود دریافتند که کاربرد درازمدت مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی تر نگهداری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند نتایج موخرجی و زیمرمان (۲۰۱۳) نیز موید همین مطلب است آن‌ها بیان کردند که تیمار فسفر و بیوچار باعث افزایش معنی‌داری در فسفر محلول نسبت به شاهد می‌شود که عامل اصلی این



شکل ۴- تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI ریشه.

تیمار حاوی پودر یونجه تأثیر معنی‌داری بر کاهش انباشت کروم در ریشه ترپچه نشان نداد. این در حالی

بیشترین میزان انباشت کروم در ریشه گیاه ترپچه در تیمار شاهد و ماده آلی (پودر یونجه) بود.



است که مطالعات مختلف نشان داده است افزودن ترکیبات آلی نظیر کود سبز، ضایعات آلی، زغال و بیوجار سبب کاهش قابلیت دسترسی کروم VI در خاک می‌گردد (بولان و تیاگاراگان ۲۰۰۱). برخی ترکیبات با جذب بر روی سطوح ذرات خاک سبب آزاد کردن آنیون های نظیر فسفات، کرومات و آرسنات می‌شوند. به هر حال در تیمارهایی که از کود فسفره به صورت ترکیبی با ترکیبات آلی استفاده شد (TP+OM, AP+OM, TP+HA) کمترین میزان تجمع کروم را در ریشه گیاه تربچه نشان داد (شکل ۴). لی و همکاران (۲۰۰۶) با افزودن ۱۵ درصد مواد آلی به صورت کود گاوی و کود خوکی دریافتند که کروم ۶ ظرفیتی قابل استخراج در اندام‌های هوایی گیاه گندم کاهش یافت. به نظر می‌رسد که افزودن فسفر به خاک به دلیل رقابت با کروم، از جذب آن توسط ریشه گیاه می‌کاهد. لوپزباسیو و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود دریافتند که در سطح بالای کروم (۱۴۰ میلی‌مولار کروم VI)، افزودن فسفر سبب کاهش اثرات سمیت کروم در گیاه آرابیدوپسیس شد که رشد و عملکرد گیاه همانند تیمار بدون کروم بود. آن‌ها با افزودن سولفات به محیط کشت تأثیر کمتری نسبت به فسفر در کاهش سمیت کروم مشاهده نمودند. این محققان پیشنهاد نمودند به منظور کاهش اثرات سمیت کروم می‌توان از کودهای فسفره با حلالیت بالا استفاده نمود. کودهای فسفره به خصوص کود دی آمونیوم فسفات در تیمار AP باعث کاهش کروم VI در ریشه تربچه شد. چون کروم با فسفر اثر رقابتی دارد فسفر مانع جذب کروم در ریشه می‌شود و باعث تثبیت کروم در خاک می‌شود. لوپزباسیو و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند در نهال *Arabidopsis thaliana* جذب کروم VI توسط فسفر کاهش می‌یابد که فسفر و مکمل‌های سولفات ممکن است در این استراتژی برای بررسی خاک‌های آلوده مفید باشند و گزارش کردند که مواد مغذی و مواد معدنی از قبیل فسفات و سولفات و نیترات سمیت کروم VI را کاهش می‌دهند. قانعیان و همکاران

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارها.

تیمار	کروم VI خاک (mg kg <sup>-1</sup> )	کروم VI اندام هوایی (mg kg <sup>-1</sup> DW <sup>-1</sup> )
C	۰/۱۵۴ a	۰/۰۵۷ a
AP	۰/۱۰۰ a	۰/۰۴۸ a
TP	۰/۱۳۷ a	۰/۰۵۴ a
OM	۰/۱۱۰ a	۰/۰۵۶ a
HA	۰/۱۲۸ a	۰/۰۳۷ a
AP+OM	۰/۰۹۸ a	۰/۰۴۰ a
AP+HA	۰/۰۹۸ a	۰/۰۴۴ a
TP+OM	۰/۰۸۶ a	۰/۰۳۸ a
TP+HA	۰/۱۱۷ a	۰/۰۴۳ a

کاربرد تیمارهای مختلف غلظت کروم VI اندام‌های هوایی را کاهش داد اگر چه از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین غلظت کروم VI در ریشه و کمترین غلظت در اندام هوایی تربچه بود. مقدار تجمع کروم VI در ریشه گیاه تربچه نسبت به اندام هوایی به طور متوسط ۵۹/۱۱ درصد بیشتر بود. فاکتور انتقال (TF)، نسبت غلظت کروم VI اندام هوایی به غلظت کروم VI ریشه طبق فرمول زیر اندازه گیری شد (تاپیرو و همکاران ۲۰۰۷).

مختلف تأثیر معنی‌داری بر غلظت کروم VI محلول خاک نداشت.

#### روابط بین پارامترهای مورد مطالعه

در بین پارامترهای اندازه‌گیری شده، فسفر محلول خاک با کروم VI (خاک و ریشه)، همبستگی غیر همسو و معنی‌داری به ترتیب  $(r = -0.77)$  و  $(r = -0.68)$  در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۴). همچنین EC خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری  $(r = 0.71)$  با فسفر محلول خاک و همبستگی غیر همسو و معنی‌داری  $(r = -0.72)$  با کروم VI خاک در سطح ۵ درصد را نشان داد (جدول ۵). به عبارت دیگر، با افزایش فسفر محلول خاک، مقدار کروم VI ریشه و خاک کاهش یافت.

$$TF = \text{mg Cr(VI)/kg dw shoot} / \text{mg Cr(VI)/kg dw root}$$

[۱]

فاکتور انتقال (TF) کروم VI در گیاه تریچه ۰/۶۲ بود. بنابراین آشکار است انتقال کروم VI از ریشه به اندام هوایی به‌کندی صورت می‌گیرد. میرلس (۲۰۰۴) و نیز افیونی و همکاران (۲۰۰۷) دلیل تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه نسبت به اندام هوایی و دانه را به پویایی کم این عناصر در گیاه نسبت می‌دهند. مقدار کروم VI محلول خاک در تیمار شاهد ۰/۱۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گلدان بود (جدول ۴). افزودن تیمارهای

جدول ۵- ماتریکس همبستگی (به‌روش پیرسون) بین پارامترهای خاکی و گیاهی.

EC	pH	فسفر محلول خاک	کروم VI خاک	کروم VI ریشه	کروم VI اندام هوایی
۱					
۰/۲۳	۱				
۰/۷۱*	۰/۱۱	۱			
-۰/۷۲*	-۰/۲۴	-۰/۷۷*	۱		
-۰/۳۰	-۰/۱۶	-۰/۶۸*	۰/۳۵	۱	
-۰/۲۹	۰/۲۸	-۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۳	۱

\*\*\*،\*\* به ترتیب بیان‌گر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هست.

علاوه بر غلظت عناصر در خاک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر دیگر نیز بر غلظت عنصر در گیاه مؤثر هست.

#### نتیجه‌گیری کلی

استفاده از آب آلوده به کروم سبب جذب کروم توسط ریشه و تا حدودی اندام‌های هوایی گیاه تریچه شد. کاربرد کودهای آلی نظیر اسید هومیک تا حدودی از جذب کروم توسط تریچه کاست اما تأثیر کاربرد پودر یونجه در این خصوص کمتر بود. افزودن کودهای

کیان و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر کاربرد فسفر را بر سمیت کروم در جلبک کلرلا بررسی کردند آن‌ها دریافتند که کروم جذب‌شده توسط گیاه سبب کاهش رشد، تخریب کلروپلاست و در نتیجه کاهش کلروفیل برگ شد. اما اثرات سوء کروم ۲/۲ تا ۳/۷ برابر کاهش یافت زمانی که به بستر کشت، فسفر افزوده شد. به هر حال، همبستگی معنی‌داری بین سایر پارامترها مشاهده نشد. غلظت عناصر در گیاه تحت تأثیر غلظت عناصر در خاک است به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود با افزایش غلظت عناصر در خاک، غلظت آن‌ها در گیاه افزایش یابد. اگر چنانچه این همبستگی مشاهده نشود بدین علت است که

فسفره نسبت به سایر تیمارها تأثیر بهتری در کاهش جذب کروم توسط گیاه داشت. فسفر یک عنصر ضروری برای گیاه و یک عنصر رقیب برای کروم جهت جذب توسط ریشه گیاه محسوب می‌شود، لذا پیشنهاد می‌شود در خاک‌ها یا آب‌های آلوده به کروم از کودهای

فسفره بیشتری در کاهش جذب کروم توسط گیاه داشت. فسفر یک عنصر ضروری برای گیاه و یک عنصر رقیب برای کروم جهت جذب توسط ریشه گیاه محسوب می‌شود، لذا پیشنهاد می‌شود در خاک‌ها یا آب‌های آلوده به کروم از کودهای

#### منابع مورد استفاده

- پیروز پ. ۱۳۹۱. بررسی فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان تحت تنش کروم: تأثیر بر رشد، تجمع و القای تنش اکسیداتیو در ریشه آفتابگردان (*Helianthus annuus*). زیست‌شناسی گیاهی، سال ۴، شماره ۱۱، صفحه‌های ۷۳ تا ۸۶.
- زرین کفش م، ۱۳۷۲. خاک‌شناسی کاربردی: ارزیابی و مورفولوژی و تجزیه‌های کمی خاک، آب و گیاه. انتشارات دانشگاه تهران، صفحه‌های ۱۲۸ تا ۱۳۴.
- قانعیان م، جمشیدی ب، امرالهی م، دهواری م و تقوی م، ۱۳۹۲. کاربرد فرایند جذب زیستی توسط پودر هسته انار در حذف کروم شش ظرفیتی از محیط آبی. کومش، جلد ۱۵، شماره ۲ (پیاپی ۵۰)، صفحه‌های ۲۰۵ تا ۲۱۱.
- محمدی ثانی م، آستارایی ع، فتوت ا، لکزیان ا و طاهری م، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر زئولیت و سوپر فسفات تریپل بر توزیع سرب، روی و کادمیوم در ضایعات معدن. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۱، صفحه‌های ۴۲ تا ۵۰.
- Abbaspour A, Kalbasi M, and Shariatmadari H, 2004. Effect of steel converter sludge as Iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 27(2): 377-394.
- Afyuni M, Karami M, and Schulin R, 2007. Effects of sewage sludge application on heavy metals status in soil and wheat. In: *Biogeochemistry of trace elements: Environmental, Protection, Remediation and Human Health, China*, 576.
- Alberts JJ, Takacs M and Pattanayek M, 2000. Influence of IHSS standard and reference materials on copper and mercury toxicity to *Vibrio fischeri*. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 28: 428-435.
- Allison LE and Moodie CD, 1965. Carbonate. P 1379-1396, In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., and Clark, F.E (eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Alvarez PC and Blanco M, 2006. The adsorption of chromium (VI) from industrial wastewater by acid and base-activated lignocellulosic residues. *Journal of Hazardous Materials* 409(6): 60-67.
- Bartlett RJ and Kimble JM, 1976. Behavior of chromium in soils. II. Hexavalent forms. *Journal of Environmental Quality* 5(4): 383-386.
- Bigham JM 1996. Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods, American Society of Agronomy, Inc, Madison.
- Bolan NS and Thiagarajan S, 2001. Retention and plant availability of chromium in soils as affected by lime and organic matter amendments. *Australian Journal of Soil Research* 39: 1091-1104.
- Bremner JM and Mulvaney, C.S. 1982. Total nitrogen. Pp. 1119-1123. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeny, (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.
- Gee GW and JW Bauder. 1986. Particle-size analysis. Pp. 383-411. In A Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9 (2ed). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Hara M, Ito F, Asai T and Kuboi T, 2009. Variation in Amylase Activities in Radish (*Raphanus sativus*) Cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition* 64: 188-192.
- Iskandar IK, 2001. Environmental restoration of metals contaminated soils. Lewis Publishers.
- James BR, and Bartlett RJ, 1984. Plant-soil interactions of chromium. *Journal of Environmental Quality* 13: 67-70.
- Kabata-pendias A and Pendias H, 1999. *biogeochemistry of trace elements*, 2nd. , Wyd nauk PVEN, Warszawa (in Polish).
- Kabata-pendias A and Pendias H, 2001. *Trace metals in soils and plants*, 3rd edition, CRC Press Inc., Boca Rot on, Florida, USA.
- Kashem MA and Sing BR, 2001. Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH, and solubility of Cd, Ni, and Zn. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 247-255.

- Lee DY, Shih Y, Zheng HC, Chen CP, Juang WK and Lee JF, 2006. Using the Selective Ion Exchange Resin Extraction and XANES Methods to Evaluate the Effect of Compost Amendments on Soil ChromiumVI Phytotoxicity Plant and Soil 281(1-2): 87-96.
- Lo'pez-Bucio J, Cervante C and Ortiz-Castro R, 2014. Phosphate relieves chromium toxicity in *Arabidopsis thaliana* plants by interfering with chromate uptake. Springer Science+business Media New York: 363-270.
- Marius GHEJU, Ionel balcu and Mihaela ciopec, 2009. Analysis of hexavalent chromium uptake by plants in polluted soils. Ovidius University Annals of Chemistry 20 (1): 127-131.
- Mathe-Gaspar G, Anton A, 2002. Heavy metal uptake by two radish varieties. Acta Biologica Szegediensis 46: 113-114.
- Miller RO, 1998. Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel. Pp In: Kalra YP, ed., Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis, London 57-61.
- Minaxi SJ, 2010. Disease suppression and crop improvement in moong beans (*Vigna radiata*) through *Pseudomonas* and *Burkholderia* strains isolated from semi arid region of Rajasthan. Biological Control 55 (6): 799-810.
- Mireles A, 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with waste water from Mexico city. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 219-220: 187-190.
- Mukherjee A and Zimmerman AR, 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar soil mixtures. Geoderma 193-194: 122-130.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean CA, 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Soil Science Society of America Journal 21: 144 - 149.
- Pawłowski L, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. In: Arnold E. Greenberd, Lenore S. Clesteri, Andrew D. Eaton (eds). Journal of Water environment t federation. 18th ed, Alexandria 1025-1030.
- Qian H, Sun Z, Sun I and Jiang Y, 2013. Phosphorus availability changes chromium toxicity in the freshwater alga *Chlorella vulgaris*. Chemosphere 93 (6): 885-891.
- Scheckel K and Ryan J, 2003. In vitro formation of pyromorphite via reaction of Pb source with soft-drink phosphoric acid. Science of the Total Environment 302: 253-265.
- Stepniewska Z and Bucior K, 2001. Chromium contamination of soils, water, and plants in the vicinity of a tannery water lagoon. Environmental Geochemistry and Health 23(3) 241-245.
- Tappero R, Peltier E, Gräfe M, Heidel K, Ginder-Vogel M, Livi KJT, Rivers ML, Marcus MA, Chaney RL and Sparks DL, 2007. Hyperaccumulator *Alyssum murale* relies on a different metal storage mechanism for cobalt than for nickel. News in Physiological Sciences 175: 641-654.
- Vitoria AP, Cunha MD, Azevedo RA, 2005. Ultra structural changes of Radish leaf exposed to cadmium. Environ. Journal of experimental botany 58:47-52.
- Whalen J.K, and Chang, C, 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years. Communication of Soil Science and Plant Analysis 23: 1011-1026.