

## Investigation of EDTA Effects on Cd Absorption By Roots And Its Accumulation In Different Parts for Summer Crops In Iran

B. Yargholi<sup>1\*</sup>, A. A. Azimi<sup>2</sup> and A. Baghvand<sup>3</sup>

### Abstract

Environmental pollution caused by heavy metals is a global concern. The main source of heavy metals in soil is the urban and industrial wastewater, synthetic phosphate fertilizers, sewage sludge, and metal extraction mines. The level of heavy metals absorption in plants not only depends on the concentration of the metals and the physical and chemical composition of the soil, but also varies in different parts of each plant. The main objective of this study was analyzing the impact of various levels of Cadmium concentration in soil and EDTA in irrigation water on its absorption and accumulation in various parts of five cucurbit types. The experiments were carried out under laboratory conditions, using the factorial in randomized blocks design by five treatments and three repetitions. The treatments included the Cd concentration in 4 levels (i.e. soil without adding Cd as control treatment, soil with 50 mg kg<sup>-1</sup> Cd, soil with 50 mg kg<sup>-1</sup> Cd and irrigation water with 0.5 molar EDTA, and soil with 100 mg kg<sup>-1</sup> Cd and irrigation water with 0.5 molar EDTA). The results showed that the level of Cadmium accumulation in the plant species is in direct proportion to the level of Cadmium concentration in soil. Adding EDTA to the irrigation water (third and fourth treatments) effectively increased the amount of Cadmium absorption and accumulation in plants. All plant specimens showed significant increases in the rate of absorption and amount of Cadmium accumulation compared to the second treatment. The increase was recorded as 53% in root, 122% in leaf, 31% in stem, and 27% in root. The results also showed that in all treatments except the control treatment Cadmium accumulation is in excess of permissible limits for human consumptions.

**Keywords:** Cadmium, Plant absorption, Polluted soil, Wastewater, EDTA, Summer crops

## بررسی اثر EDTA در آب آبیاری بر میزان جذب کادمیوم از خاک توسط ریشه و تجمع آن در اندام مختلف گونه‌های جالیزی

بهمن یارقلی<sup>۱\*</sup>، علی اکبر عظیمی<sup>۲</sup> و اکبر باغوند<sup>۳</sup>

### چکیده

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش مطرح می باشد. میزان قابلیت دسترسی گیاهان به این فلزات و قابلیت تجمع آنها در بخشهای مختلف آنها (ریشه، ساقه و برگ) از دو جنبه سلامتی انسان و همچنین پالایش خاک‌های آلوده حائز اهمیت بوده و تعیین شرایط و فاکتورهای موثر بر قابلیت دسترسی و جذب فلزات سنگین توسط گیاهان ضروری می باشد. یکی از روشهای متداول برای برآورد و تعیین قابلیت دسترسی فلزات سنگین در گیاهان استفاده از اسیدهای معدنی و آلی (اسید کلریدریک، اسید نیتریک، اسیدهای سیتریک، تارتاریک و مالیک) و نیز ترکیبات کلیت کننده‌ای نظیر EDTA<sup>۱</sup> (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) می باشد.

این تحقیق با هدف بررسی تاثیر افزودن EDTA به آب آبیاری بر میزان جذب فلز کادمیوم (به عنوان شاخص فلزات سنگین) از محیط ریشه و تجمع آن در اندامهای مختلف پنج گونه صیفی رایج در ایران (کدو خورشتی، گوجه فرنگی، خربزه، هندوانه وخیار)، انجام شده است. خاک مورد استفاده بعد از دوبار الک کردن با مش ۲ میلیمتر و افزودن نیترات کادمیوم (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) برای آزمایش آماده شده است. تحقیق بصورت گلخانه‌ای و طرح فاکتوریل در قالب بلوک های کاملاً تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار به اجراء در آمده است. تیمارها شامل چهار غلظت کادمیوم خاک (تیمار شاهد، ۵۰ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک، ۱۰۰ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک، ۵۰ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و ۰/۵ مولار EDTA در آب آبیاری، ۱۰۰ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و ۰/۵ مولار EDTA در آب آبیاری) می باشد.

نتایج نشان می دهد که میزان تجمع کادمیوم در گونه‌های مورد بررسی، نسبت مستقیم با غلظت کادمیوم محیط ریشه داشته و افزایش ۰/۵ مولار EDTA به آب آبیاری باعث افزایش در میزان تجمع کادمیوم در گونه‌های مورد مطالعه می گردد. این افزایش حداقل معادل ۴۷ درصد در ریشه، ۳۱ درصد در ساقه، ۲۷ درصد در برگ، ۱۲۲ درصد در میوه، ۳۱ درصد در پوست میوه و ۵۳ درصد در تخمه می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که به جز تیمار شاهد در سایر تیمارها میزان تجمع کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی می باشد.

**کلمات کلیدی:** کادمیوم، پالایش سبز، EDTA، خاک آلوده، محصولات جالیزی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۱ اسفند ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۶ اردیبهشت ۱۳۸۸

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran.  
Email : yar\_bahman@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, University of Tehran, Email : aaazimi@chamran.ut.ac.ir, Bagvand@chamran.ut.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

۲- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین بعنوان یک مشکل جدی و در حال گسترش مطرح می‌باشد. ورود این فلزات از طریق فعالیتهای انسانی، آلودگی سطح گسترده‌ای از اراضی را در سطح دنیا به همراه داشته است؛ شدت آلودگی در اغلب این خاکها بیش از حد طبیعی بوده و یا به زودی به آن حد خواهد رسید (Carlos et al., 2005; Cope et al., 1994; Kabatta & Pendias, 2001; Rossini & Fernandez, 2007).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداقل ۲۰ میلیون هکتار از اراضی شمال و جنوب آفریقا، آمریکای جنوبی، خاورمیانه، جنوب اروپا و جنوب غرب آمریکا، مکزیک و بخش مهمی از آسیای مرکزی و شرقی با فاضلاب خام (شهری و صنعتی) آبیاری می‌شوند. استفاده از این منابع، بویژه در مصارف آبیاری، آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین را در محصولات زراعی به همراه داشته است (Carr, 2005; Richard & Buechler, 2005).

شهرهای بزرگ کشور، بویژه تهران جهت جبران بخشی از کمبود آب، مجبور به مصرف حجم قابل توجهی از پسابهای شهری و صنعتی دارای فلزات سنگین در کشاورزی می‌باشند. مطالعات یارقلی (۱۳۸۶)، نشان می‌دهد که بطور میانگین بیش از ۶ متر مکعب در ثانیه فاضلاب و رواناب سطحی تهران، از طریق مسیل‌ها و کانال‌های فاضلاب با دریافت آلاینده‌های مختلف شهری و صنعتی، صرف آبیاری اراضی جنوب تهران می‌شوند. کاربرد طولانی مدت این پسابها که عمدتاً برای کشت سبزی و صیفی بکار می‌روند، منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آنها به گونه‌های زراعی با غلظتی بیش از حد مجاز است. این حالت برای بخش مهمی از اراضی کشور، بویژه اراضی حاشیه‌ای شهرهای بزرگ بوجود آمده و در حال گسترش می‌باشد. تحقیقات ترابیان و مهجوری (۱۳۸۱) نشان می‌دهد که دامنه آلودگی اراضی زراعی جنوب تهران به کادمیوم ۰/۱۰۱ تا ۷/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و در گونه‌های زراعی در محدوده ۰/۳۹۸-۱/۴۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک محصول می‌باشد که بیش از حد مجاز می‌باشد.

سرنوشت فلزات سنگین تخلیه شده به خاک و آب، با توجه به شرایط محیطی خاک و آب بسیار متفاوت بوده و عوامل زیادی بر جذب آنها توسط گیاهان موثرند. تعیین میزان قابلیت انحلال و دسترسی فلزات سنگین در خاک یکی از اقدامات مهم و ضروری در زمینه استفاده از این اراضی برای کشاورزی و همچنین مدیریت پالایش خاکهای آلوده با استفاده از گیاهان می‌باشد. تفاوت اساسی میان غلظت کل

یک فلز سنگین و جزء محلول آن در خاک ( قابل دسترسی و جذب توسط میکروارگانیسم ها، گیاهان و سایر موجودات زنده خاک) می باشد. فلزات سنگین خاک عمدتاً قابل تقسیم به ۳ بخش به شرح زیر می باشند:

- جزء قابل دسترسی، که در دسترس و قابل جذب گیاهان و سایر موجودات زنده خاک محسوب می‌شود.
- جزء بالقوه قابل دسترسی، که در صورت فقدان جزء قابل دسترسی، قابلیت تبدیل شدن به آن را دارد.
- جزء غیر قابل دسترسی، که جزء باقی مانده فلز در خاک بوده که با ترکیبات آلی یا سلیکاته پیوند خورده و یا به صورت نمکهای نامحلول متصل به کرنات کلسیم و یا اکسیدهای آهن و منگنز وجود دارد.

میزان هر یک از اجزاء مذکور به ویژگیهای فیزیکی خاک (اندازه ذرات، ظرفیت نگهداشت آب) و نیز خصوصیات شیمیائی خاک و ترکیبات آلی مترشحه از ریشه گیاه بستگی دارد (Ernest, 1996; Lasat, 2003).

بعضی از گیاهان از ریشه خود ترکیبات آلی اسیدی ترشح کرده که سبب اسیدی شدن خاک اطراف ریشه یا ریزوسفر و نیز افزایش جذب ترکیبات آلاینده می‌گردد. همچنین بعضی از گیاهان از ریشه خود ترکیبات آلی کلیت کننده ترشح می‌کنند که این ترکیبات با فلزات سنگین خاک پیوند خورده و جذب آنها را تسهیل می‌نمایند. این ترکیبات تحت عنوان فیتوسایدروفورها خود به دو دسته کلیت کننده‌های گیاهی و متالوتیونها تقسیم می‌گردند (Lee et al, 1998).

تعیین مدلی که در آن کلیه عوامل موثر بر قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات سنگین شامل، گیاهان، موجودات زنده، شرایط مختلف و متغیرهای محیطی لحاظ شده باشد، مشکل بوده و مناسبترین روش برآورد قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات سنگین، افزایش انحلال و قابلیت دسترسی بیولوژی آنها به کمک ترکیبات شیمیائی گوناگون می‌باشد (Lasat, 2003). بدین منظور بهتر است از ترکیباتی با کمترین اثر سوء بر محیط زیست و شرایط بیولوژیکی خاک استفاده شود. محققین از مواد شیمیائی مختلفی از جمله اسیدهای آلی نظیر سیتریک و مالیک، اتیلن دی‌آمین تترااستیک اسید (EDTA) و دی‌اتیلن تری‌آمین پنتااستیک اسید (DTPA)، برای این منظور استفاده کرده‌اند. EDTA و DTPA از جمله ترکیبات آلی هستند که عملکردشان مشابه کلیت کننده‌های گیاهی می‌باشد که از ریشه گیاهان ترشح می‌شود (Channey et al., 2001; Li & Shuman, 1999).

در این تحقیق مقدار آب مورد نیاز با استفاده از روش پنمن مانیتث و لحاظ کردن ضریب رشد گیاهی (Kc) مراحل مختلف رشد گونه مورد نظر (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)، بر اساس پارامترهای هواشناسی ایستگاه مشکین آباد کرج محاسبه و با توجه به فصل و مراحل رشد گونه‌ها، بصورت دو تا چهار روز در میان به محصولات داده شد. EDTA مصرفی بر اساس غلظت مورد نظر، در حجم آب مصرفی حل شده و به گیاه داده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد

مطالعه		فاکتور
مقدار	واحد	pH
۷/۴	-	
۳۵		sand
۴۲		silt
۲۳	درصد	clay
۱/۲۵		OC
۲/۷۲		Na <sup>+</sup>
۳/۳۱		Mg <sup>+2</sup>
۴/۱۲		Ca <sup>+2</sup>
۳/۸	meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
۳/۳۲		Cl <sup>-</sup>
۳/۲		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
۱۱	meq/100g	<sup>4</sup> CEC
۰/۰۳	mgkg <sup>-1</sup>	Cd

در پایان فصل زراعی از بخشهای مختلف (ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه و تخمه) گونه‌های مورد بررسی، جهت سنجش مقدار تجمع کادمیوم نمونه‌برداری بعمل آمد. بخش‌های مختلف نمونه‌های برداشت شده بعد از شستشو با استفاده از یک چاقوی پلاستیکی از هم جدا و با آب مقطر شسته و سپس در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت سه روز خشک شدند. با توجه به تماس ریشه با خاک و چسبیدن ذرات خاک بویژه رس به آن پاک کردن و شستشوی ریشه با دقت بیشتر انجام گردید. نمونه‌های خشک شده هر تکرار بعد از اختلاط کامل آسیاب و پودر گردیدند. سپس مقدار ۵ گرم از پودر حاصل با افزایش تدریجی درجه حرارت از ۲۵ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد طی ۱/۵ ساعت و نگهداری در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت، سوزانده و خاکستر گردید. خاکستر حاصل را در ۲۰ میلی‌لیتر محلول (HCL:HNO<sub>3</sub>, 3:1V/V) ریخته و با آب مقطر ۱:۲۰ رقیق کرده و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی

کادمیوم (Cd) با مقدار معمول ۰/۰۶ تا ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یکی از مهمترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین خاک محسوب شده و حد مجاز مصرف آن برای انسان ۷۰ میکروگرم در روز می‌باشد. مسمومیت با این فلز باعث آسیب جدی به کلیه‌ها، استخوان و سیستم عصبی گردیده و مشکوک به سرطان‌زایی می‌باشد. سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز آن در رژیم غذایی هفتگی انسان را معادل ۷ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر میزان مجاز در خوراک انسانی را معادل ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کرده است (Channey et al., 2001; Alloway, 1990; Okoronkwo et al., 2005; Rossini & Fernande, 2007).

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر افزودن EDTA بر آب آبیاری بر میزان جذب کادمیوم از خاک و تجمع آن در اندامهای مختلف (ریشه، ساقه، برگ، میوه، تخمه و پوست میوه) پنج گونه جالیز تعریف گردیده است.

## ۲- مواد و روشها

این تحقیق بصورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار به اجرا در آمده است. تیمارها شامل غلظت کادمیوم خاک و EDTA در آب آبیاری در پنج سطح به شرح زیر می‌باشد که با افزودن نترات کادمیوم (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) به خاک و تهیه مخلوط یکنواخت و EDTA به آب آبیاری حاصل شده است.

- خاک شاهد (بدون افزودن کادمیوم)

- خاک با غلظت ۵۰ mgkg<sup>-1</sup> کادمیوم

- خاک با غلظت ۱۰۰ mgkg<sup>-1</sup> کادمیوم

- خاک با غلظت ۵۰ mgkg<sup>-1</sup> کادمیوم + ۰/۵ مولار EDTA در آب آبیاری

- خاک با غلظت ۱۰۰ mgkg<sup>-1</sup> کادمیوم + ۰/۵ مولار EDTA در آب آبیاری

گونه‌های گیاهی شامل کدو، خربزه، خیار، هندوانه و گوجه فرنگی می‌باشد. خاک مورد استفاده از مزرعه چهارصد هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) انتخاب و بعد از دوبار الک کردن با الک ۲ میلی‌متر و افزودن نترات کادمیوم (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) و اختلاط کامل تهیه شده است. قبل از شروع عملیات زراعی خاک مورد نظر آنالیز گردیده که نتایج مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور جلوگیری از آلودگی محیط به کادمیوم برای کاشت از گلدانهای پلاستیکی به قطر ۳۰ و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر استفاده شده است.

با کوره گرافیت ( 4100ZL, Cupertino, CA GFAA, ) (Perkin-Elmer model) آنالیز گردید (Markert, 1996).

در ساقه نیز به جز خربزه و هندوانه بقیه گونه‌ها در رده های متمایزی قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج به ترتیب خیار و گوجه‌فرنگی با ۱/۵۴۸ و ۰/۶۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن قرار گرفته و ترتیب سایر گونه‌ها شامل کدو خورشتی، هندوانه و خربزه می‌باشد.

روی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت کادمیوم برای گونه‌ها و تیمارهای مورد تحقیق، نخست آنالیز واریانس انجام گردیده و سپس میانگین‌های غلظت کادمیوم در سطوح تیمارها و گونه‌های مورد تحقیق از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد و پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. جهت انجام محاسبات آماری و رسم نمودارها از نرم افزارهای SPSS و EXCEL استفاده شده است.

در برگ نیز تنها گوجه فرنگی و هندوانه در یک رده قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب خیار و گوجه فرنگی با ۲/۱۰ و ۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن قرار گرفته و سایر گونه‌ها به ترتیب شامل کدوخورشتی، خربزه، گوجه‌فرنگی و هندوانه می باشد.

### ۳- نتایج و بحث

بررسی نتایج میانگین‌های تجمع کادمیوم در میوه نشان می‌دهد که خربزه با ۱/۲۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و سایر گونه‌ها به ترتیب هندوانه، خیار، کدو خورشتی و گوجه‌فرنگی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتیجه این بحث نشان می‌دهد که میوه سه محصول خربزه، هندوانه و خیار در گروه جالیز از بیشترین میزان تجمع کادمیوم برخوردار می‌باشند.

نتایج تجزیه آنالیز واریانس جذب و تجمع فلز کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد بررسی، مطابق جدول ۲ نشان می‌دهد که در تمام اندامهای ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه و تخمه، اثر گونه، تیمار و نیز اثر متقابل گونه و تیمار بر میزان تجمع کادمیوم در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. با توجه به عدم رشد گونه‌های مورد بررسی در تیمار پنجم از بحث در مورد نتایج مربوط به این تیمار خودداری می‌گردد.

نتایج میانگین تجمع کادمیوم در پوست محصولات نشان می‌دهد که خیار با ۳/۳۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و سایر گونه‌ها به ترتیب کدوخورشتی، هندوانه، خربزه و گوجه‌فرنگی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

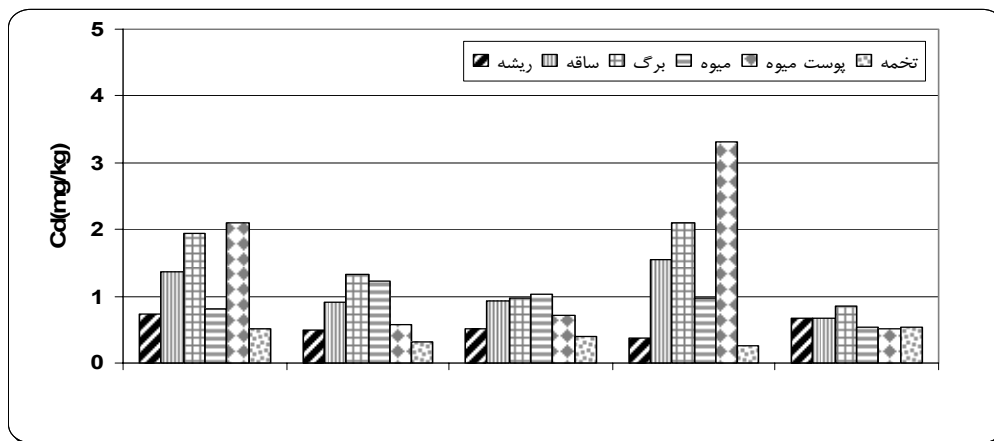
نتایج تاثیر گونه بر میانگین تجمع کادمیوم در اندامهای مختلف بر اساس آزمون دانکن در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در ریشه، به جز خربزه و هندوانه سایر گونه‌ها از لحاظ مقدار تجمع کادمیوم در گروه‌های متمایزی قرار گرفته‌اند. بطوریکه بالاترین مقدار تجمع کادمیوم در بخش ریشه معادل ۰/۷۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به کدوخورشتی و کمترین آن معادل ۰/۳۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به گونه خیار بوده و سایر گونه‌ها به ترتیب گوجه‌فرنگی، هندوانه و خربزه بین این دو قرار می‌گیرند.

در تخمه نیز به ترتیب گوجه‌فرنگی و خیار با ۰/۵۳۰ و ۰/۲۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و آخر گروه بندی دانکن قرار گرفته و گونه‌های بعدی به ترتیب کدوخورشتی؛ هندوانه و خربزه در رده‌های مابین آنها قرار دارند.

جدول ۲- آنالیز واریانس غلظت کادمیوم در گونه های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه
گونه	۴	۰/۲۶۷*	۱/۷۱۴*	۳/۹۲۸*	۰/۸۳۵*	۳۲۱۱۲*
تیمار	۴	۲/۳۱۴*	۷/۲۶۱*	۱۱/۱۴۷*	۶/۱۲۴*	۱۲/۱۸۴*
تیمار×گونه	۱۶	۰/۰۴۳*	۰/۲۱۸*	۰/۶۱۲*	۰/۱۴۲*	۱/۹۱۳*
خطا	۳۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۱۲۱
C.V		۳/۰۶	۱/۳۰	۹/۰۶	۱/۰۹	۲۲/۲۶

\* معنی دار در سطح یک درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم (mg kg<sup>-1</sup>) در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه

تیمار	ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه	تخمه
شاهد	0.33 <sup>d</sup>	0.47 <sup>d</sup>	0.48 <sup>d</sup>	0.44 <sup>d</sup>	0.51 <sup>d</sup>	0.24 <sup>d</sup>
50 mg kg <sup>-1</sup> EDTA	0.53 <sup>c</sup>	1.10 <sup>c</sup>	0.52 <sup>c</sup>	0.53 <sup>c</sup>	1.41 <sup>c</sup>	0.35 <sup>c</sup>
100 mg kg <sup>-1</sup> EDTA	0.70 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	2.29 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>
EDTA + 50 mg kg <sup>-1</sup>	0.78 <sup>b</sup>	1.44 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	1.19 <sup>b</sup>	1.95 <sup>b</sup>	0.54 <sup>b</sup>
EDTA + 100 mg kg <sup>-1</sup> *	-	-	-	-	-	-

اعداد دارای حروف یکسان، در سطح احتمال یک درصد در هر ستون فاقد تفاوت معنی داری می باشند.  
\* در این تیمار گونه‌های مورد نظر رشد نکردند و یا در مراحل اولیه رشد خشک شدند.

تیمارها از میزان بالائی برخوردار بوده و در رده‌های بعدی گروه‌بندی به ترتیب تیمارهای چهارم، دوم و اول قرار گرفته‌اند. در این مورد استثناً میزان تجمع کادمیوم در ریشه خیار در تیمار چهارم بیشتر از تیمارهای دیگر می باشد، که این موضوع می‌تواند بیانگر تمایل گونه خیار به تجمع بیشتر کادمیوم در ریشه در شرایط محیطی خاصی باشد که حلالیت کادمیوم و قابلیت دسترسی بیولوژیکی آن افزایش یافته باشد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن EDTA به آب آبیاری باعث افزایش میزان جذب و تجمع کادمیوم در گونه‌های مورد مطالعه گردیده است. بطوریکه در تمام گونه‌ها میزان تجمع کادمیوم در تیمار چهارم بیشتر از تیمار دوم بوده و تقریباً معادل تیمار سوم می‌باشد. مقایسه برهمکنش گونه و تیمار بر میزان تجمع کادمیوم در محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که بجز در تیمار شاهد که به دلیل غلظت کم کادمیوم در محیط ریشه، میزان تجمع کادمیوم در اکثر اندام‌های گونه‌های مورد مطالعه در حد ناچیزی می‌باشد، در سایر تیمارها روند افزایش میزان کادمیوم تجمع یافته در گونه‌های مختلف متناسب با روند افزایش غلظت آن در تیمارها نمی‌باشد. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۴ و اشکال ۱ مشاهده می‌شود که این روند در کدوخورشتی و خیار تا حدی متناسب با روند افزایش غلظت

بررسی نتایج تاثیر تیمارها (سطوح مختلف غلظت کادمیوم خاک و EDTA در آب آبیاری) بر میزان تجمع کادمیوم در اندام مختلف گونه‌های مورد بررسی، مطابق جدول ۳ نشان می‌دهد که در همه اندام‌ها، میزان تجمع کادمیوم در تیمار سوم نسبت به سایر تیمارها در سطح یک درصد دارای افزایش معنی‌دار بوده و پس از آن به ترتیب تیمار چهارم، دوم و اول قرار دارد. در تیمار پنجم با توجه به عدم رشد و نمو گونه‌های مورد مطالعه، پیش‌بینی می‌گردد افزودن EDTA باعث افزایش میزان جذب کادمیوم و سمیت آن برای گونه‌های مورد مطالعه (در حدی بیش از تحمل گیاه) شده است.

دقت در نتایج نشان می‌دهد که افزودن EDTA به آب آبیاری (تیمار چهارم)، افزایش قابل توجهی در میزان تجمع کادمیوم در اندام مختلف گونه‌های مورد مطالعه را در مقایسه با تیمار دوم که دارای غلظت کادمیوم مساوی می‌باشند، سبب شده است.

بررسی برهمکنش تیمارها و گونه‌ها، مطابق جدول ۴ و شکل ۱ نشان می‌دهد که در سطح یک درصد، در تمام بخش‌های گونه‌های مورد مطالعه میزان تجمع کادمیوم در تیمار سوم نسبت به سایر

ریشه دارد (Giordano & Mays, 1977; Ramos et al., 2002). بطوریکه در گونه‌های مورد بررسی میزان تجمع کادمیوم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه افزایش می‌یابد. این حالت به ترتیب از شاهد تا تیمار چهارم با افزایش غلظت کادمیوم تجمع یافته در اندام تیمار چهارم باعث افزایش میزان تجمع کادمیوم نسبت به تیمار با غلظت مشابه کادمیوم شده است؛ که این افزایش تجمع در تمام گونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌گردد. لازم به ذکر است بررسی نتایج نشان می‌دهد که در تیمار چهارم، بر خلاف تیمارهای دیگر میزان تجمع کادمیوم در ریشه خیار بیش از تیمار سوم شده است؛ که این امر بیانگر تاثیر زیادتر EDTA بر اندام زمینی خیار نسبت به گونه‌های دیگر می‌باشد.

کادمیوم در تیمارها بوده ولی در مورد هندوانه و گوجه فرنگی علی‌رغم افزایش میزان تجمع کادمیوم روند افزایش، متناسب با افزایش غلظت در تیمار نمی‌باشد؛ گونه خربزه حالت بینابینی داشته و از این نظر مابین دو گروه قابل طبقه‌بندی می‌باشد. همچنین بررسی روند تغییر میزان کادمیوم تجمع یافته در بخشهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده، بطوریکه در گونه‌های خیار، کدو خورشتی و خربزه میزان کادمیوم تجمع یافته در بخشهای مختلف از دامنه تغییر وسیع‌تری نسبت به گونه‌های هندوانه و گوجه‌فرنگی برخوردار می‌باشند.

بررسی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که میزان جذب کادمیوم مطابق نتایج حاصل از تحقیقات قبلی، نسبت مستقیم با غلظت آن در محیط

جدول ۴- تاثیر تیمارهای کادمیوم بر غلظت کادمیوم (mgkg<sup>-1</sup>) در اندامهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه

گونه	تیمار	تخمه	پوست میوه	میوه	برگ	ساقه	ریشه
کدو	شاهد	۰/۰۱۵ <sup>k</sup>	۰/۰۴۰ <sup>l</sup>	۰/۰۲۱ <sup>n</sup>	۰/۰۵۰ <sup>l</sup>	۰/۰۳۹ <sup>l</sup>	۰/۰۱۷ <sup>n</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۳۸۰ <sup>h</sup>	۲/۱۳۳ <sup>c</sup>	۱/۱۰۳ <sup>h</sup>	۱/۸۷۳ <sup>c</sup>	۱/۱۷۰ <sup>h</sup>	۰/۶۴ <sup>ih</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۹۵۳ <sup>a</sup>	۳/۳۰۳ <sup>d</sup>	۱/۱۷۰ <sup>g</sup>	۳/۲۲۳ <sup>a</sup>	۲/۳۹۰ <sup>a</sup>	۱/۲۹۰ <sup>a</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup> EDTA	۰/۶۸۳ <sup>d</sup>	۲/۹۷۰ <sup>e</sup>	۰/۹۵۲ <sup>l</sup>	۲/۶۴۳ <sup>bc</sup>	۱/۸۷۷ <sup>d</sup>	۱/۰۳۰ <sup>c</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup> *EDTA	-	-	-	-	-	-
خربزه	شاهد	۰/۰۳۱ <sup>k</sup>	۰/۰۳۲ <sup>l</sup>	۰/۰۷۰ <sup>m</sup>	۰/۰۷۱ <sup>l</sup>	۰/۰۵۷ <sup>mn</sup>	۰/۰۳۹ <sup>mn</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۲۶۰ <sup>j</sup>	۰/۶۷۷ <sup>l</sup>	۰/۹۰۳ <sup>j</sup>	۱/۳۱۳ <sup>hi</sup>	۰/۹۲۷ <sup>l</sup>	۰/۵۳۰ <sup>j</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۵۳۰ <sup>f</sup>	۰/۸۲۰ <sup>hi</sup>	۲/۱۸۳ <sup>a</sup>	۲/۱۳۰ <sup>d</sup>	۱/۴۵۰ <sup>f</sup>	۰/۷۸۰ <sup>f</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup> EDTA	۰/۴۳۰ <sup>g</sup>	۰/۷۶۳ <sup>i</sup>	۱/۷۷۳ <sup>b</sup>	۱/۷۷۳ <sup>ef</sup>	۱/۲۵۰ <sup>g</sup>	۰/۶۵۷ <sup>h</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup> *EDTA	-	-	-	-	-	-
هندوانه	شاهد	۰/۰۳۰ <sup>k</sup>	۰/۰۳۱ <sup>l</sup>	۰/۰۷۰ <sup>m</sup>	۰/۰۴۰ <sup>l</sup>	۰/۰۳۴ <sup>n</sup>	۰/۰۴۸ <sup>m</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۴۳۰ <sup>g</sup>	۰/۶۶۰ <sup>j</sup>	۱/۱۱۰ <sup>h</sup>	۰/۸۲۰ <sup>k</sup>	۰/۹۳۱ <sup>j</sup>	۰/۴۹۰ <sup>k</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۶۲۰ <sup>e</sup>	۱/۳۱۰ <sup>g</sup>	۱/۶۰۳ <sup>c</sup>	۱/۵۶۷ <sup>fg</sup>	۱/۴۹۰ <sup>e</sup>	۰/۸۲۷ <sup>e</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup> EDTA	۰/۵۳۳ <sup>f</sup>	۰/۸۴۳ <sup>h</sup>	۱/۳۲۷ <sup>c</sup>	۱/۴۳۳ <sup>gh</sup>	۱/۲۵۳ <sup>g</sup>	۰/۶۹۳ <sup>g</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup> *EDTA	-	-	-	-	-	-
خیار	شاهد	۰/۰۲۰ <sup>k</sup>	۰/۱۰۰ <sup>l</sup>	۰/۰۳۰ <sup>n</sup>	۰/۰۴۰ <sup>l</sup>	۰/۰۴۴ <sup>mn</sup>	۰/۰۳۳ <sup>mn</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۲۶۷ <sup>j</sup>	۳/۴۱۰ <sup>c</sup>	۱/۱۸۰ <sup>g</sup>	۲/۴۸۰ <sup>c</sup>	۱/۸۶۳ <sup>d</sup>	۰/۳۹۳ <sup>l</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۴۳۳ <sup>g</sup>	۵/۱۸۳ <sup>a</sup>	۱/۴۹۷ <sup>d</sup>	۳/۱۵۰ <sup>a</sup>	۲/۲۹۲ <sup>b</sup>	۰/۴۹۳ <sup>k</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup> EDTA	۰/۳۱۰ <sup>i</sup>	۴/۵۷۳ <sup>b</sup>	۱/۲۲۳ <sup>f</sup>	۲/۷۴۰ <sup>b</sup>	۱/۹۹۳ <sup>c</sup>	۰/۶۲۰ <sup>i</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup> *EDTA	-	-	-	-	-	-
گوجه فرنگی	شاهد	۰/۰۲۲ <sup>k</sup>	۰/۰۵۴ <sup>l</sup>	۰/۰۳۰ <sup>n</sup>	۰/۰۴۰ <sup>l</sup>	۰/۰۶۱ <sup>m</sup>	۰/۰۳۰ <sup>mn</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۴۵۰ <sup>g</sup>	۰/۵۵۳ <sup>k</sup>	۰/۵۵۰ <sup>l</sup>	۱/۱۱۳ <sup>ij</sup>	۰/۶۳۳ <sup>l</sup>	۰/۶۲۰ <sup>i</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup>	۰/۸۷۰ <sup>b</sup>	۰/۸۶۷ <sup>h</sup>	۰/۹۰۰ <sup>j</sup>	۱/۲۳۰ <sup>hij</sup>	۱/۱۲۰ <sup>i</sup>	۰/۱۱۲۰ <sup>b</sup>
	۵۰ mgkg <sup>-1</sup> EDTA	۰/۷۸۰ <sup>c</sup>	۰/۶۷۳ <sup>ik</sup>	۰/۶۷۳ <sup>k</sup>	۱/۰۴۷ <sup>j</sup>	۰/۸۵۷ <sup>k</sup>	۰/۹۴۳ <sup>d</sup>
	۱۰۰ mgkg <sup>-1</sup> *EDTA	-	-	-	-	-	-

اعداد دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال یک درصد فاقد تفاوت معنی دار می‌باشند. \* در این تیمار گونه‌های مورد نظر رشد نکردند و یا در مراحل اولیه رشد خشک شدند.

در بین گونه‌های مورد بررسی، میزان تجمع کادمیوم در کدو و خیار بیشتر از سایر گونه‌ها می‌باشد. این حالت تقریباً در اغلب اندام‌های گونه‌های مذکور صادق بوده و نشانگر توان بالای گونه‌های مذکور در جذب و تجمع کادمیوم، در مقایسه با سایر گونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات (Ernest, 1996; Giordano & Mays, 1977) همخوانی دارد.

در این زمینه نتایج تحقیقات (Giordano & Mays, 1977) نشان می‌دهد که میزان تجمع کادمیوم در بین گونه‌های مورد بررسی به ترتیب شامل کاهو، اسفناج و تربچه می‌باشد. همچنین بر اساس تحقیقات شریعت و همکاران (۱۳۸۱)، ترتیب تجمع کادمیوم شامل کاهو، تربچه، چغندر قند و اسفناج می‌باشد.

بررسی نتایج حاصل مطابق جدول ۳، نشان می‌دهد که در گونه‌های مورد بررسی میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی (ساقه و برگ) بیشتر از اندام زمینی (ریشه) می‌باشد؛ که این نتیجه همسو با نتایج اغلب محققین قبلی است. در این تحقیقات کادمیوم فلزی با تحرک بالا و قابلیت جذب راحت در گیاه معرفی گردیده و اعلام شده که به راحتی از طریق پوست ریشه جذب و سپس از راه سیمپلاستی و یا آپوپلاستی وارد بافت چوبی شده و به اندام‌های فوقانی گیاهان منتقل می‌شود (Fazeli, 1998; Sanita & Gabbrielli, 1999).

بررسی نتایج حاصل از افزودن EDTA به آب آبیاری بیانگر تاثیر قابل توجه این ماده در افزایش میزان جذب و تجمع کادمیوم در گونه های مورد بررسی می‌باشد. بطوریکه در تمام گونه‌های مورد مطالعه در تیمار چهارم نسبت به تیمار دوم، افزایش قابل توجهی در میزان تجمع کادمیوم مشاهده می‌شود. این افزایش در تیمار چهارم نسبت به تیمار دوم که از میزان کادمیوم برابری برخوردار می‌باشند، مطابق شکل شماره ۳ به ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه و تخمه معادل ۴۷، ۳۱، ۲۷، ۱۲۲، ۳۱ و ۵۳ درصد می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود که این تاثیر بعلا افزایش حلالیت کادمیوم و به تبع آن افزایش قابلیت دسترسی گونه‌های مورد بررسی به کادمیوم و تجمع بیشتر آن بویژه در میوه محصولات باشد. مروری بر تحقیقات گذشته نشانگر نتایج متفاوتی در این زمینه می‌باشد. بطوریکه برخی از تحقیقات بیانگر این موضوع می‌باشد که فلز روی و کادمیوم بطور طبیعی از انحلال بالائی برخوردار بوده و افزایش عوامل کلیت کننده‌ای نظیر اسیدهای آلی و EDTA تاثیر زیادی در افزایش انحلال آنها در خاک ندارد (Li & Shuman, 1999; Lee et al., 1998; Robinson, 1997). در صورتیکه تحقیقات (Channey et al., 2001; Lasat, 2003; Kabatta & Pendias, 2001) بیانگر تاثیر سترات آمونیوم و EDTA بر حلالیت و افزایش قابلیت جذب کادمیوم در گیاهان می‌باشد.

جدول ۵- تاثیر افزودن EDTA به آب آبیاری در رده‌بندی گونه‌های مورد مطالعه بر اساس غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف

اندام	تیمار	ترتیب تجمع کادمیوم
ریشه	بدون EDTA	کدو خورشتی < گوجه فرنگی < خربزه < هندوانه < خیار
	با EDTA	کدو خورشتی < گوجه فرنگی < هندوانه < خربزه < خیار
ساقه	بدون EDTA	خیار < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < گوجه فرنگی
	با EDTA	خیار < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < گوجه فرنگی
برگ	بدون EDTA	خیار < کدو خورشتی < خربزه < گوجه فرنگی < هندوانه
	با EDTA	خیار < کدو خورشتی < خربزه < هندوانه < گوجه فرنگی
میوه	بدون EDTA	خیار < هندوانه < کدو خورشتی < خربزه < گوجه فرنگی
	با EDTA	خربزه < هندوانه < خیار < کدو خورشتی < گوجه فرنگی
پوست میوه	بدون EDTA	خیار < کدو خورشتی < خربزه < هندوانه < گوجه فرنگی
	با EDTA	خیار < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < گوجه فرنگی
تخمه	بدون EDTA	گوجه فرنگی < هندوانه < کدو خورشتی < خیار < خربزه
	با EDTA	گوجه فرنگی < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < خیار

در این تحقیق، تاثیر افزودن EDTA به آب آبیاری در تغییر رده بندی گونه‌ها بر حسب توان جذب و تجمع کادمیوم در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه به اختصار در جدول ۵ ارائه شده است. به طوری که مشاهده می‌شود افزودن EDTA به آب آبیاری باعث تغییر رده بندی گونه‌ها در میزان جذب در اندام‌های مختلف شده است. شدیدترین این تغییر در بخش میوه حاصل شده است که شامل جابجائی خربزه از رده چهارم به رده اول بوده و تغییری در رده بندی ساقه مشاهده نمی‌شود. پیش‌بینی می‌شود که این تاثیر بعلا افزایش حلالیت و به تبع آن افزایش قابلیت دسترسی گونه‌های مورد بررسی به کادمیوم و تحرک پذیری بالای آن باشد. نتایج حاصل از این تحقیق، همسو با نتایج تحقیقات (Channey et al., 2001; Lasat, 2003; Kabatta & Pendias, 2001) تحقیقات بیانگر تاثیر قابل توجه EDTA در افزایش میزان جذب کادمیوم از محیط ریشه بوده و همچنین تاثیر بیشتر آن را به میزان تجمع کادمیوم در اندام‌های هوایی بیان می‌کند.

#### ۴- نتیجه گیری

اهم نتایج بدست آمده در این تحقیق عبارتند از:

- روند صعودی نرخ جذب کادمیوم در مقابل افزایش غلظت کادمیوم تیمارها در تمامی گیاهان مورد بررسی، بیانگر این واقعیت است که نرخ جذب کادمیوم توسط این گیاهان مستقیماً به غلظت آن در محیط ریشه وابسته بوده و با افزایش غلظت کادمیوم قابل جذب در محیط ریشه، مقدار جذب آن توسط این گیاهان نیز افزایش می‌یابد.

- در شرایط استفاده آب و خاک آلوده به کادمیوم برای کاشت صیفی‌جات ترتیب تجمع کادمیوم در اندام اصلی آنها به صورت زیر می‌باشد.

**برگ:** خیار < کدو خورشتی < خربزه < گوجه فرنگی < هندوانه

**میوه:** خربزه < هندوانه < خیار < کدو خورشتی < گوجه فرنگی

**پوست میوه:** خیار < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < گوجه فرنگی

جذب و تجمع کادمیوم بیشتر، در بخش میوه سه محصول خربزه، هندوانه و خیار که بعنوان میوه اصلی بخش مهمی از جامعه بویژه در تابستان محسوب می‌شوند، دارای اهمیت بوده و نیاز به برنامه ریزی اصولی در تامین آب با کیفیت مناسب و یا کاشت این محصولات در اراضی با غلظت فلزات سنگین کم دارد. همچنین بالا بودن میزان غلظت کادمیوم تجمع در پوست خیار و کدو خورشتی دارای اهمیت بوده و بیانگر استعداد این محصولات در تجمع کادمیوم بیشتر در پوست خود می‌باشد. این موضوع با توجه به نحوه مصرف این

محصولات حائز اهمیت بوده و با مصرف بدون پوست آنها می‌توان تا حد قابل توجهی میزان انتقال کادمیوم به افراد را کاهش داد.

- نتایج بیانگر تاثیر قابل توجه EDTA در افزایش میزان جذب و تجمع کادمیوم در گونه‌های مورد بررسی می‌باشد. بطوریکه این افزایش در تیمارهای با غلظت کادمیوم یکسان، به ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه و تخمه معادل ۴۷، ۳۱، ۲۷، ۱۲۲، ۳۱ و ۵۳ درصد می‌باشد.

- نتایج نشان می‌دهد که بجز در تیمار شاهد کلیه گونه‌ها، در سایر تیمارها کادمیوم تجمع یافته در تمام بخش‌های گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی می‌باشد.

#### ۵- تشکر

بدین وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی برای فراهم آوردن امکان انجام این تحقیق، سرکارخانم مهندس معدنی، خانم شفیعی و خانم مهندس عباسی برای کمک در انجام آزمایش‌ها تقدیر و تشکر می‌شود.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- EDTA: Ethylen diamine tetra acetic acid
- 2- Kc: Crop coefficient
- 3-DTPA: Diethylen tryamine panta acetic acid
- 4- CEC: Cation exchange capacity

#### ۶- مراجع

ترابیان، ع. و مهجوری، م. (۱۳۸۱)، "بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزیهای برگی جنوب تهران"، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۶، شماره ۲، صص ۵۶-۴۳.

شریعت، م. و فرشی، ص. (۱۳۸۱)، "مقدار عناصر سنگین محصولات در جنوب تهران"، مجموعه مقالات آب و خاک. جلد ۵ (۳-۴).

فرشی، ع. و همکاران (۱۳۷۶)، "برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد اول: گیاهان زراعی"، موسسه تحقیقات خاک و آب، سال ۱۳۷۶.

یارقلی، ب. (۱۳۸۶)، "بررسی تغییرات کمی-کیفی فاضلاب فیروزآباد جهت استفاده در کشاورزی"، گزارش نهائی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سال ۱۳۸۶.

Alloway, B. J. (1990), Heavy Metal in Soils, John Wiley and Sons Inc, Nework.



- Li, Z., and Shuman, L. M. (1999), "Extractability of zinc, Cadmium and nickel in soils amended with EDTA", *J. Soil Sci*, Vol. 161, pp. 226-241.
- Lee, J., et al. (1998), "The relation between nickel and citric acid in some nickel accumulation plants", *Phytochemistry J*, Vol. 17, pp. 10-18.
- Markert, B.,(1996), *Instrumental Element and Multi-element Analysis of Plant Samples*, John Wiley and Sons, Sussex, England, pp. 296.
- Okoronkwo, N. E., et al. (2005), "Risk and health implications of polluted soils for crop production", *African Journal of Biotech*, Vol. 4, No.13, 2005, pp. 1521-1524.
- Robinson, B.H. (1997), *The Phytoextraction of metals from metalliferous soils*. Ph.D Thesis, Massey University, pp.19-30.
- Ramos, I., et al. (2002),"Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of lactuca sp. Ca-Mn interaction", *J. Plant Sci*. Vol, 162, pp. 761-767.
- Richard-Sally, L., Buechler, S. (2005), "Managing wastewater agriculture to improve livelihoods and environmental quality in poor countries", *J. Irrig & Drain*, Vol. 54, pp, 11-22.
- Rossini, O. S., et al. (2007), "Monitoring of heavy metals in topsoil, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources", *Microchem. J*, Vol. 86, pp, 131-139.
- Sanita, d., et al. (1999), " Response to Cadmium in higher plants-review", *J. Environ & Exper. Bot*, Vol. 41, PP. 105-130.
- USEPA, (1995) "Technical support document for land application of sewage sludge". Prepared for Office of Water, United States Environmental Protection Agency, by Eastern Research Group, Lexington, MA.
- Carr, R. (2005),"WHO guidelines for safe wastewater use: More than just numbers", *J. Irrig, Drain*, Vol. 54, pp. 103-111.
- Channey, R., et al. (2001), "Phytoremediation of soil metals", *J. Current Opinion in Biotech*, Vol. 36, pp.15-21.
- Carlos, A., et al. (2005),"Chemical fractionation of heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico", *J. Agri, Ecosyse & Environ*, No. 108, pp. 57-71.
- Cope, W.G., et al. (1994), "Hepatic Cadmium, metal-binding proteins and Bioaccumulation in bluegills exposed to aqueous Cadmium" , *J. Env Toxicole & Chem*, Vo. 4, No. 13, pp. 553-562.
- Ernest, W. H. O. (1996), "Bioavailability of heavy metals and decontamination of soil by plants", *Applied Geochem*, Vol. 11, No. 1, pp. 163-167.
- Fazeli, M. S. (1998), "Enrichment of heavy metal in paddy crops irrigated by paper mill effluents near Nanjangud" , *India Environmental J. Geol*, Vol. 4, No. 34, pp. 42-54.
- Giordano, P. M. and Mays, D. A. (1977), " Yield and heavy metal content of several vegetable species grown in soil amended with sewage sludge", In *Biological Implications of Heavy Metals in the Environment*, ERDA Rep. Conf. 750929, Oak Ridge, Tennessee.
- Kabatta, A., and Pendias, H. (2001), *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed, CRC Press, Boca Raton FL, pp. 413.
- Lasat, M. M. (2003), "The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil", *J. Environ. Pollut*, Vol. 113, pp.12-27.