بررسی جذب و تجمع کادمیم در اندامهای مختلف محصولات غده‌ای در خاکهای آلوده

بهمن یارقلی[1] علی‌اکبر عظیمی[2] اکبر باغوند[3]
فریبرز عباسی[4] عبدالمجید لیاقت[5] غلامرضا اسداله فردی[6]

(دریافت ۸۷/۲/۲۳ پذیرش ۸۸/٤/۳۰)

چکیده

آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات زراعی به‌عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش، مطرح می‌باشد. مطالعات زیادی در زمینه استفاده از آبهای آلوده و پسابهای حاوی فلزات سنگین در کشاورزی انجام شده است، ولی اطلاعات در زمینه جذب فلزات سنگین از محیط ریشه و تجمع آن در بخشهای مختلف گونه‌های زراعی، به‌ویژه محصولات غده‌ای بسیار محدود است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر غلظت کادمیم در خاک محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام مختلف چهار محصول غده‌ای رایج در کشور به‌صورت یک طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تیمار و سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارها شامل غلظتهای صفر، ۵۰ و۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در خاک و ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در خاک همراه با ۰/۵ مولار اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) در آب آبیاری می‌باشد. خاک مورد استفاده بعد از دوبار الک کردن با مش۲ میلی‌متر و افزودن نیترات کادمیم ($Cd(NO3)_2$) و مخلوط نمودن کامل، تهیه و برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای به‌قطر ۳۰ و ارتفاع ٦۰ سانتی‌متر استفاده شد. در پایان فصل زراعی از بخشهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه برای سنجش مقدار تجمع کادمیم، نمونه‌برداری و آزمایش به‌عمل آمد و نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. براساس نتایج حاصل، میزان تجمع کادمیم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم داشته و افزایش ۰/۵ مولار EDTA به آب آبیاری، به‌طور متوسط باعث افزایشی معادل ۳۲ درصد در جذب کادمیم برگها، ۵۳/٦ درصد در ریشه، ٦۲ درصد در غده و ٦۵/۲ درصد در پوست می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که به جز تیمار شاهد در سایر تیمارها میزان تجمع کادمیم در بخشهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است. ترتیب تجمع کادمیم در بخشهای مختلف گونه‌های مورد بررسی به شرح زیر است: ریشه: چغندر قند، تربچه، سیب زمینی و هویج؛ برگ: چغندرقند، هویج، تربچه و سیب‌زمینی؛ غده: تربچه، چغندرقند، هویج و سیب زمینی؛ پوست: هویج، تربچه، سیب زمینی و چغندرقند.

واژه‌های کلیدی: کادمیم، خاک آلوده، فاضلاب، چغندر قند، تربچه، سیب‌زمینی، هویج.

Investigation of Cd Adsorption and Accumulation from Contaminated Soil in Different Parts of Root Crops

Bahman Yargholi[1] *Ali Akbar Azimi[2]* *Akbar Baghvand[3]*
Fariborz Abasi[3] *Abdolmajid Lyaghat[4]* *Gholamreza Asadollah Fardi[6]*

(Received May 13,2008 Accepted July 22, 2009)

Abstract

Environmental pollution with heavy metals and their absorption by plants form a universal problem around the world. Numerous investigations have been conducted to put wastewaters containing heavy metals to agricultural reuse. Little is known, however, about the absorption of cadmium in the root zone and its accumulation in the different organs of crops, particularly in root crops. This study was carried out to investigate the influence of different levels of Cd concentration in the root zone on the accumulation rate in various parts of four different types of common root crops in karaj Iran. The experiment was performed in a factorial testing plan in random blocks and in four treatments with three replicates. The treatments included four levels of Cd concentration in soil (50 mg/kg, 100 mg/kg, 50 mg/kg, control without Cd addition and water with 0.5 molar of EDTA). The soil

۱- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و دکترای مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۲۷۱۱۶۸۰۳ (۰۲۶۱)
yar_bahman@yahoo.com
۲- استادیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد، واحد اهر
۳- دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۴- استادیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تهران
۵- دانشیار دانشکده آبیاری، دانشگاه تهران
۶- دانشیار آب و محیط زیست، دانشکده فنی دانشگاه تربیت معلم تهران

1. Faculty Member of Agricultural Engineering and Technology Research Institute and Ph.D Student of Environmental Engineering, University of Tehran (Corresponding Author) (+98 261) 27116803
yar_bahman@yahoo.com
2. Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, Ahar Branch of Azad University
3. Assist. Prof., Dept of Environmental Engineering, University of Tehran
4. Assist. Prof. of Agricultural Engineering and Technology Research Institute, Tehran
5. Assoc. Prof. of Irrigation, University of Tehran
6. Assoc. Prof. of Water and Environmental, Dept. of Engineering, Tehran Teacher Training University

Archive of SID
www.SID.ir

used in this study was prepared by passing through a sieve with a 2mm mesh and adding Nitrate Cadmium (Cd(NO3)2). Cylinder plastic vases 40 Cm in diameter and 60 cm high were employed to cultivate vegetables. Water demandwas estimated via the Penman-Mantith method, in which Kc was calculated by means of recorded data at Meshgin-Abad synoptic station in Karaj. At the end of the growing season, samples were taken from different organs of the plants to measure Cadmium accumulation. The SPSS software was used for the variance analysis of the collected data. The Dunkan test (at 0.01 and 0.05 levels) was then used to evaluate averages of the specifications in the factorial testing levels. The results indicate a direct relationship between Cd concentration in the root zone and Cd accumulation in plant organs. Adding 0.5 molar of EDTA to the irrigation water caused Cd accumulation in plant organs to exceed 60 percent. The results also show that Cd concentration, except for the control, was in excess of the limit for human consumption and that its accumulation levels in the different species tested were ranked as: Root: carrot>potato>radish>sugar beet; Leaf: potato>radish>carrot>sugar beet; Fruit: potato>carrot>sugar beet>radish; and Fruit peel: sugar beet>potato>radish>carrot.

Keywords: Cadmium, Polluted soil, Wastewater, Sugar beet, Radish, Potato, Carrot.

۱- مقدمه

دفع فلزات سنگین طی فعالیتهای انسانی، آلودگی بسیاری از خاکها را در سطح جهان به همراه داشته است؛ به‌طوری که شدت آلودگی در این خاکها یا بیش از حد طبیعی بوده و یا به زودی به آن حد خواهد رسید [۱و۲]. نتایج پژوهشها نشان می‌دهد که حداقل ۲۰ میلیون هکتار از اراضی در شمال و جنوب آفریقا، امریکای جنوبی، خاورمیانه، جنوب اروپا و جنوب غرب آمریکا، مکزیک و بخش مهمی از آسیای مرکزی و شرقی که عمدتاً به کشت سبزی و صیفی اختصاص دارند، با فاضلاب خام شهری و صنعتی آبیاری می‌شوند. استفاده از این منابع در مناطق مختلف، آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین در محصولات زراعی را به‌همراه داشته است [۳، ۴ و۵].

تحقیقات هوسنر[1] و واکونر[2] در سال ۱۹۷۸ در تگزاس آمریکا نشان داده که با وجود استفاده طولانی مدت از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری محصولات علوفه‌ای، غلظت فلزات سنگین به بیش از حد استاندارد نرسیده است [۶]. تحقیقات بنهم[3] در سال ۱۹۷۹ در امریکا نشان می‌دهد که سالها استفاده از پساب تصفیه شده، افزایش غلظت فلزات سنگین Co ، Cr، Cd و Pb در محصولات علوفه‌ای و گوجه فرنگی را به‌همراه نداشته است [۷]. تحقیقات انجام شده در ملبورن استرالیا نشان می‌دهد که در مناطقی که به‌مدت بیش از ۷۶ سال از پساب تصفیه شده خانگی برای آبیاری استفاده گردیده تفاوت معنی‌داری در میزان افزایش فلزات سنگین خاک مشاهده نشده است [۸]. استفاده از فاضلابهای خانگی در استرالیا بدون ورود فاضلاب صنایع محلی عوارضی را در آبیاری از این منابع به همراه نداشته است [۹]. تحقیقات فیضی در اصفهان نشان می‌دهد که در مدت هشت سال استفاده از فاضلاب در کشاورزی، در لایه ۴۰ سانتی‌متر خاک افزایش معنی‌داری در غلظت فلزات روی، منگنز، مس و آهن مشاهده نگردیده ولی میزان فلزات مذکور در محصولات گندم و گوجه‌فرنگی افزایش یافته که البته این افزایش بیش از حد مجاز نیست [۱۰]. تحقیقات به‌عمل آمده در سال ۲۰۰۰ در منطقه هارون‌آباد ایالت پنجاب پاکستان نشان می‌دهد که با گذشت ۳۰ سال از کاربرد فاضلاب خام، مقدار فلزات سنگین تجمع یافته در خاک به آستانه سمیّت و حد بحرانی نرسیده است [۱۱]. نتایج تحقیقات قدیر و همکاران بر روی خاک نقاط مختلف فیصل‌آباد پاکستان که در مدت بیش از ۳۰ سال فاضلابهای تصفیه نشده مورد استفاده بوده است، نشان داده که طی این دوره تنها غلظت مس، آهن، منگنز و روی از مقدار مجاز تجاور نموده است [۱۱].

تحقیقات سیمونس[4] و پونگاسکول[5] در سال ۲۰۰۲ نشان داده که تجمع فلزات سنگین در محصولات زراعی فقط به غلظت فلزات در آب بستگی نداشته، بلکه به نوع و گونه گیاه نیز مربوط است [۱۲]. تحقیقات سیب[6] و فیسچر[7] در سال ۱۹۹۶ در شهر مکزیکو نشان می‌دهد که آبیاری با استفاده از فاضلاب در مدت بالغ بر ۸۰ سال باعث افزایش غلظت فلزات سنگین خاک به حدود سه تا شش برابر شده است، ولی هنوز به حد فراتر از میزان مجاز نرسیده است [۱۳]. تحقیقات موریشیتا[8] در سال ۱۹۸۸ نشان می‌دهد که برنج کشت شده در خاکی با غلظت ۰/۵ تا ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم باعث تولید محصولی با غلظت کادمیم معادل ۰/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محصول گردیده است و استفاده از آبی با غلظت کادمیم معادل ۵ میلی‌گرم در لیتر برای آبیاری برنج باعث تولید محصولی با غلظت کادمیم معادل ۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محصول گردیده است [۱۴]. اساس تحقیقات لی[9] و همکاران در سال ۲۰۰۴ استفاده از آبی با غلظتی بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم و کروم در آبیاری با pH متفاوت نشان داده است که میزان جذب فلزات توسط گیاهان و همچنین دفع آنها از

[1] Hossner
[2] Waggoner
[3] Benham

[4] Simmons
[5] Pongsakul
[6] Siebe
[7] Fistcher
[8] Morishita
[9] Lee

Archive of SID
www.SID.ir

طریق زهاب، نسبت عکس با pH آب داشته و میزان جذب آن در خاک نسبت مستقیم با pH دارد [۱۵].

منبع اصلی فلزات سنگین خاک، مصرف پسابهای شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و معادن استخراج فلزات است. مهم‌ترین فلزات سنگین موجود در فاضلابها شامل سرب (Pb)، کادمیم (Cd)، نیکل(Ni)، کروم(Cr)، قلع (Sn) و آرسنیک(As) می‌باشند. اکثر فلزات در لایه سطحی خاک رسوب نموده و تجمع تدریجی آنها در دراز مدت منجر به انتقال به محصولات زراعی، در حدی فراتر از استانداردهای مجاز مصارف انسانی می‌شود [۱۶ و ۱۷].

بر اساس تحقیقات چنی[1] در سالهای ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸، سه مکانیسم زیر میزان جذب و انتقال فلزات سنگین از محیط ریشه به گیاه و حیوانات را محدود می سازند:

الف) عناصری مانند Ti، Ag، F، Cr، Hg، Pb، Si و Sn نامحلولند و در گیاهان تجمع نمی‌کنند؛

ب) گروهی از عناصر جذب ریشه می شوند ولی در درون ریشه نامحلول‌اند و به‌عبارت دیگر انتقال آنها به اندامهای دیگر محدود می‌گردد، مانند (Fe و Al)؛

ج) بعضی ازعناصر مانند As، B، Mn، Co، Ni، Cu و Zn بیش از حد سمیّت برای حیوانات، می‌توانند جذب گیاه شوند ولی توسط آنها مصرف نمی‌شوند[۱۶].

کادمیم با مقدار معمول ۰/۰۶ تا ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یکی از مهم‌ترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین خاک محسوب می‌شود. مسمومیت با این فلز باعث آسیب جدی به کلیه‌ها، استخوان و سیستم عصبی می‌گردد[۱۸، ۱۹ و ۲۰]. بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست امریکا میانگین مجاز ماهانه افزایش یون کادمیم در خاک معادل ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اعلام شده و مقدار کل کادمیم اضافه شده در هر هکتار خاک در سال نباید از ۱/۹ کیلوگرم تجاوز نماید [۲۱ و ۲۲]. سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز کادمیم در رژیم غذایی هفتگی انسان را معادل ۷ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر مقدار مجاز در خوراک انسانی را معادل ۰/۱ قسمت در میلیون اعلام کرده است[۲۳]. برای تغذیه دام نیز مقدار مجاز کادمیم معادل ۱۰ تا ۲۰ قسمت در میلیون گزارش شده است [۱].

مطالعات یارقلی در سال ۱۳۸۶ نشان می‌دهد که به‌طور متوسط بیش از ۶ مترمکعب در ثانیه فاضلاب و رواناب سطحی تهران با دریافت آلاینده‌های مختلف شهری و صنعتی از طریق مسیلها و کانال‌ها، صرف آبیاری اراضی جنوب تهران می‌شود [۲۴].

تحقیقات ترابیان و بغوری در سال ۱۳۷۳ و ترابیان و مهجوری در سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد که کاربرد دراز مدت این پسابهای شهری که عمدتاً برای کشت سبزی و صیفی به‌کار می‌روند، منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آنها به گونه‌های زراعی با غلظتی بیش از حد مجاز گردیده است [۲۵ و ۲۶]. تحقیقات مستشاری نشان می‌دهد که استفاده از فاضلابهای صنعتی در اراضی زراعی قزوین باعث افزایش غلظت سرب، مس، کادمیم و روی به مقدار چندین برابر حد مجاز در خاک و محصولات زراعی شده است [۲۷]. این حالت برای بخش مهمی از اراضی کشور، به‌ویژه اراضی حاشیه‌ای شهرهای بزرگ به‌وجود آمده و در حال گسترش می‌باشد. بررسی آلودگی اراضی زراعی کشور نشان می‌دهد که مقدار کادمیم و سرب در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال بختیاری به‌ترتیب معادل ۱/۹ تا ۱۸۰/۵ و ۸۹/۴ تا ۲۶۱۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است [۲۵، ۲۸ و ۲۹]. نتایج پژوهشهای ترابیان و مهجوری در سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد که دامنه آلودگی اراضی زراعی جنوب تهران به کادمیم ۰/۱۰۱ تا ۷/۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در گونه‌های زراعی در محدوده ۰/۳۹۸ تا ۱/۴۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محصول می‌باشد که بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است [۲۶].

جمع‌بندی سوابق موضوع نشان می‌دهد که طی استفاده از فاضلابهای خانگی تصفیه شده بدون نفوذ فاضلابهای صنعتی، خطری از نظر تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن به محصولات زراعی مشاهده شده است؛ ولی نفوذ فاضلابهای صنعتی و افزایش غلظت فلزات سنگین در پساب، آلودگی خاک و محصولات زراعی را در طولانی مدت به‌دنبال دارد.

همچنین جمع‌بندی تحقیقات در زمینه انتقال فلزات سنگین از آب و خاک آلوده به محصولات زراعی نشان می‌دهد که تحقیقات انجام شده عمدتاً در زمینه سبزیجات و صیفی‌جات بوده و در زمینه محصولات غده‌ای و بررسی وضعیت انتقال کادمیم از خاک آلوده و تجمع آن به تفکیک در اندامهای مختلف و نیز بررسی تأثیر اتیلن دی آمین ترا استیک اسید[2] در میزان تجمع کادمیم تحقیقاتی بسیار کمی صورت گرفته است. بر اساس نتایج حاصله، مقدار تجمع فلزات سنگین بسته به نوع فلز، شرایط خاک و گونه گیاهی متفاوت است ولی عمدتاً میزان تجمع در اندامهای هوایی به‌ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندامهاست و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه می‌باشد. با توجه به روند رو به رشد جمعیت و توسعه صنعتی کشور، گسترش آلودگی‌های ناشی از این عناصر و ورود آن به زنجیره غذایی رو به افزایش می‌باشد. علی‌رغم انجام تحقیقات مختلف در

[1] Channey

[2] Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA)

Archive of SID

www.SID.ir

زمینه اثرات فاضلابهای شهری و صنعتی بر خصوصیات خاک و گیاه، اطلاع دقیقی از مقدار انتقال فلزات سنگین از محیط ریشه به محصولات غذه‌ای، به‌ویژه مقدار تجمع فلزات مذکور در بخشهای مختلف خوراکی و غیر خوراکی آنها در دست نیست و بنابراین انجام تحقیقات مختلف پیرامون موضوع، برای حفظ سلامت جامعه ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی مقدار جذب کادمیم از خاک و تجمع آن در اندامهای مختلف پنج محصول غذه‌ای رایج در کشور تحت شرایط یکسان و تحت کنترل انجام شد.

۲- مواد و روشها

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف غلظت کادمیم محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع در اندامهای گونه‌های غذه‌ای، به‌صورت یک طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تیمار و سه تکرار در محل مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج به اجرا در آمد. تیمارها با افزودن نیترات کادمیم ($Cd(NO_3)_2$) به خاک و تهیه مخلوط یکنواخت در چهار سطح غلظت کادمیم به شرح زیر حاصل شدند:

۱- خاک شاهد (بدون افزودن کادمیم)؛

۲- خاک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم؛

۳- خاک با غلظت ۱۰۰میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم؛

۴- خاک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم+ ۰/۵مولار EDTA در آب آبیاری.

فاکتور گونه شامل چغندرقند، تربچه، سیب زمینی و هویج می‌باشد.

تحقیق حاضر بر این فرض استوار است که میزان جذب و تجمع کادمیم در گونه‌های مختلف و همچنین اندام آنها متفاوت بوده و محدودیتهای تحقیق شامل تعداد گونه (چهار گونه از محصولات غذه‌ای)، غلظت کادمیم خاک مورد استفاده (سه غلظت)، تعداد تکرار (سه تکرار) و همچنین محدودیت در امکانات آزمایشگاهی و خطرات ناشی از کار با فلز سنگین کادمیم می‌باشد.

خاک مورد استفاده بعد از بررسی خاکهای مختلف، از اراضی مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج بعد از دوبار الک کردن با مش دو میلی‌متر انتخاب شد. قبل از شروع عملیات زراعی، از خاک مورد نظر نمونه‌برداری شد. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ ارائه شده است. به‌منظور جلوگیری از آلودگی محیط به کادمیم، برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۴۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد.

بررسی منابع مشابه نشان می‌دهد که مقدار آب مصرفی علی‌رغم اهمیت و تأثیر زیاد در مقدار جذب فلزات توسط گیاه، مورد توجه بسیاری از محققان قرار نگرفته است. در این تحقیق مقدار آب مورد نیاز گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش پنمن مانتیث[1] برآورد شد. میزان آب محاسبه شده با توجه به فصل و مراحل رشد گونه‌ها، به‌فواصل یک تا دو روزه به محصولات داده شد. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز معادله پنمن مانیث به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی مشگین آباد کرج (نزدیک‌ترین ایستگاه به محل تحقیق) جمع‌آوری گردید. در تعیین آب مورد نیاز، مطابق کتاب برآورد نیاز آبی محصولات زراعی (فرشی و همکاران سال ۱۳۷۶) از ضریب رشد گیاهی (Kc) برای مراحل مختلف رشد گونه‌های مورد مطالعه استفاده گردید[۳۰]. در هیچ یک از مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت از سم، کود و علف کش استفاده نگردید.

در پایان فصل زراعی از بخشهای مختلف (ریشه، برگ، غده و پوست) گونه‌های مورد بررسی، برای سنجش مقدار تجمع کادمیم، نمونه‌برداری به‌عمل 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 سلسیوس به‌مدت سه روز خشک شدند. 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 سلسیوس طی ۱/۵ ساعت و نگهداری در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲ ساعت، سوزانده و خاکستر شد. خاکستر حاصل را در ۲۰ میلی‌لیتر محلول HCL:HNO با نسبت غلظت ۳/۳:۳ حجمی ریخته و با آب مقطر ۱:۲۰ رقیق شد و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی با کوره گرافیت مدل کوپرتینو ساخت شرکت پرکین المر[2] آنالیز گردید [۳۱].

[1] Penman-Mantith Method

[2] 4100ZL, Cupertino, CA GFAA, Perkin Elmer model

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

فاکتور	pH	sand	silt	clay	OC	Na	Mg	Ca	Cl	HCO_3	CEC	Cd
واحد	–	درصد	درصد	درصد	درصد	$meql^{-1}$	$meql^{-1}$	$meql^{-1}$	$meql^{-1}$	$meql^{-1}$	meq/100gr	$mgkg^{-1}$
مقدار	۷/۴	۳۵	۴۲	۲۳	۱/۲۵	۲/۷۲	۳/۳۱	۴/۱۲	۳/۸	۳/۲	۱۱	۰/۰۳

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲-آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در گونه‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات(MS)			
		پوست	غده	برگ	ریشه
گونه	۴	۶/۳۷۳*	۳/۳۹۰*	۲/۳۳۷*	۳/۰۶۰*
تیمار	۳	۱۹/۴۳۲*	۱۱/۵۱۹*	۱۳/۵۸۸*	۷/۴۲۰*
تیمار×گونه	۹	۱/۰۲۴*	۰/۴۳۶*	۰/۵۵۹*	۰/۴۹۶*
خطا	۳۲	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات	-	۸/۵۶	۱۵/۰۶	۴/۰۳	۸/۰۸

* معنی دار در سطح یک درصد

جدول۳- مقایسه میانگین تجمع کادمیم در اندامهای مختلف گونه‌های مورد بررسی

گونه	کادمیم (mg/kg)			
	پوست	غده	برگ	ریشه
سیب زمینی	۱/۳۳۲c	۰/۸۹۰d	۱/۰۰۲d	۰/۷۴۲c
هویج	۲/۸۵۱a	۰/۹۷۸d	۱/۷۷۲b	۰/۶۳۰d
تربچه	۱/۶۴۰b	۲/۰۱۴a	۱/۴۷۱c	۱/۴۱۳b
چغندر قند	۱/۳۰۲c	۱/۶۳۹b	۲/۰۳۱a	۱/۶۷۰a

اعداد دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال یک درصد فاقد تفاوت معنی داری می باشند.

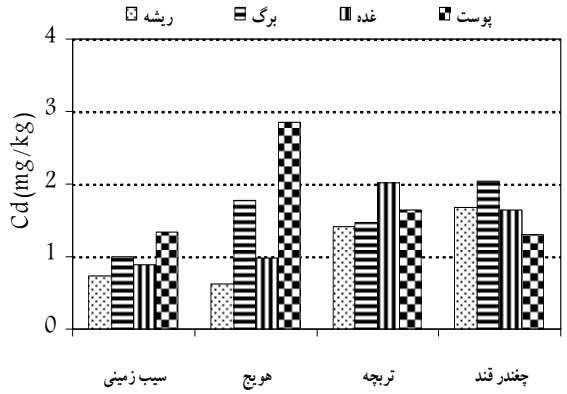
بر روی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری برای صفات مورد بررسی، نخست آنالیز واریانس انجام گردید و سپس میانگین‌های صفات در سطوح فاکتورهای آزمایشی از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن[1] در سطح یک درصد و پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. برای انجام محاسبات آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SPSSو EXCEL استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

جدول آنالیز واریانس تجمع فلز کادمیم در بخشهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که در هر یک از چهار اندام ریشه، برگ، غده و پوست اثر گونه، تیمار و نیز اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار تجمع کادمیم در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول۲). نتایج تأثیر گونه بر میانگین تجمع کادمیم در اندامهای مختلف بر اساس آزمون دانکن در جدول۳ و شکل۱ ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در ریشه، همه گونه‌ها از لحاظ مقدار تجمع کادمیم در گروههای متمایزی قرار گرفتند، به‌طوری که بالاترین مقدار تجمع کادمیم در بخش ریشه معادل ۱/۶۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به چغندرقند و کم‌ترین آن معادل ۰/۶۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به هویج بوده و سایر گونه‌ها به‌ترتیب تربچه و سیب زمینی بین این دو قرار می‌گیرند.

در برگ نیز همه گونه‌ها در رده‌های متمایزی قرار گرفتند. براساس نتایج به‌ترتیب چغندرقند و سیب‌زمینی با ۲/۰۳۱ و ۱/۰۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در رده اول و آخر گروه بندی دانکن قرار گرفته و ترتیب سایر گونه‌ها شامل هویج و تربچه می‌باشد.

بررسی غده نشان می‌دهد که هویج و سیب‌زمینی از نظر میزان تجمع کادمیم در یک گروه قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که به‌ترتیب تربچه و سیب زمینی با ۲/۰۱۴ و ۰/۸۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن قرار گرفته و سایر گونه‌ها به‌ترتیب شامل چغندرقند و هویج می‌باشد.

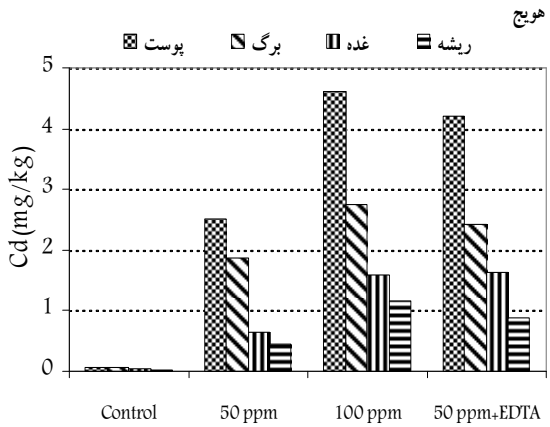


شکل۱- مقایسه میانگین تجمع کادمیم در اندامهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه

بررسی نتایج میانگین‌های تجمع کادمیم در پوست محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که هویج با ۲/۸۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در رده اول و سایر گونه‌ها به‌ترتیب تربچه، سیب زمینی و چغندرقند

[1] Dunkan

www.SID.ir



شکل۲- مقایسه میانگین تجمع کادمیم در اندامهای مختلف در تیمارهای مورد مطالعه

در رده‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که بیشترین مقدار تجمع کادمیم در بین اندامهای گونه‌های مورد مطالعه مربوط به پوست هویج و کمترین میزان آن، مربوط به ریشه هویج می‌باشد.بررسی نتایج تأثیر تیمارها (سطوح مختلف غلظت کادمیم) بر میزان تجمع کادمیم در اندامهای مختلف در جدول۴ و شکل ۲ نشان می‌دهد که در هر چهار بخش گونه‌های مورد مطالعه، میزان تجمع کادمیم در تیمار سوم نسبت به سایر تیمارها در سطح یک درصد دارای افزایش معنی‌دار بوده است. در این تیمار میزان تجمع کادمیم در ریشه، برگ، غده و پوست به‌ترتیب معادل ۲/۹۷۶، ۲/۳۲۶، ۲/۵۷۲ و ۱/۸۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محصول می‌باشد و پس از آن به‌ترتیب تیمارهای چهارم، دوم و شاهد قرار دارند. نتیجه قابل توجه در این بخش، افزایش شدید میزان تجمع کادمیم در تیمار چهارم نسبت به تیمار دوم است که هر دو از غلظت یکسانی از کادمیم برخوردارند.

بررسی اثر متقابل تیمارهای آزمایشی و گونه‌های مورد بررسی مطابق جدول ۵ و شکل ۳ نشان می‌دهد که به‌جز غده هویج در سطح یک درصد، میزان تجمع کادمیم در تمام بخشهای کلیه گونه‌های مورد مطالعه، در تیمار سوم نسبت به سایر تیمارها دارای افزایش

جدول۴- مقایسه میانگین تجمع کادمیم اندامهای مختلف در تیمارهای مورد بررسی

تیمار	غلظت کادمیم (mg/kg)			
	پوست	غده	برگ	ریشه
شاهد	۰/۰۶۴d	۰/۰۴۹d	۰/۰۶۷d	۰/۰۴۳d
۵۰ ppm	۱/۵۴۰c	۱/۲۲۵c	۱/۵۶۹c	۰/۹۹۴c
۱۰۰ ppm	۲/۹۷۶a	۲/۳۲۶a	۲/۵۷۲a	۱/۸۶۴a
EDTA + ۵۰ ppm	۲/۵۴۵b	۱/۹۸۵b	۲/۰۶۸b	۱/۵۵۴b

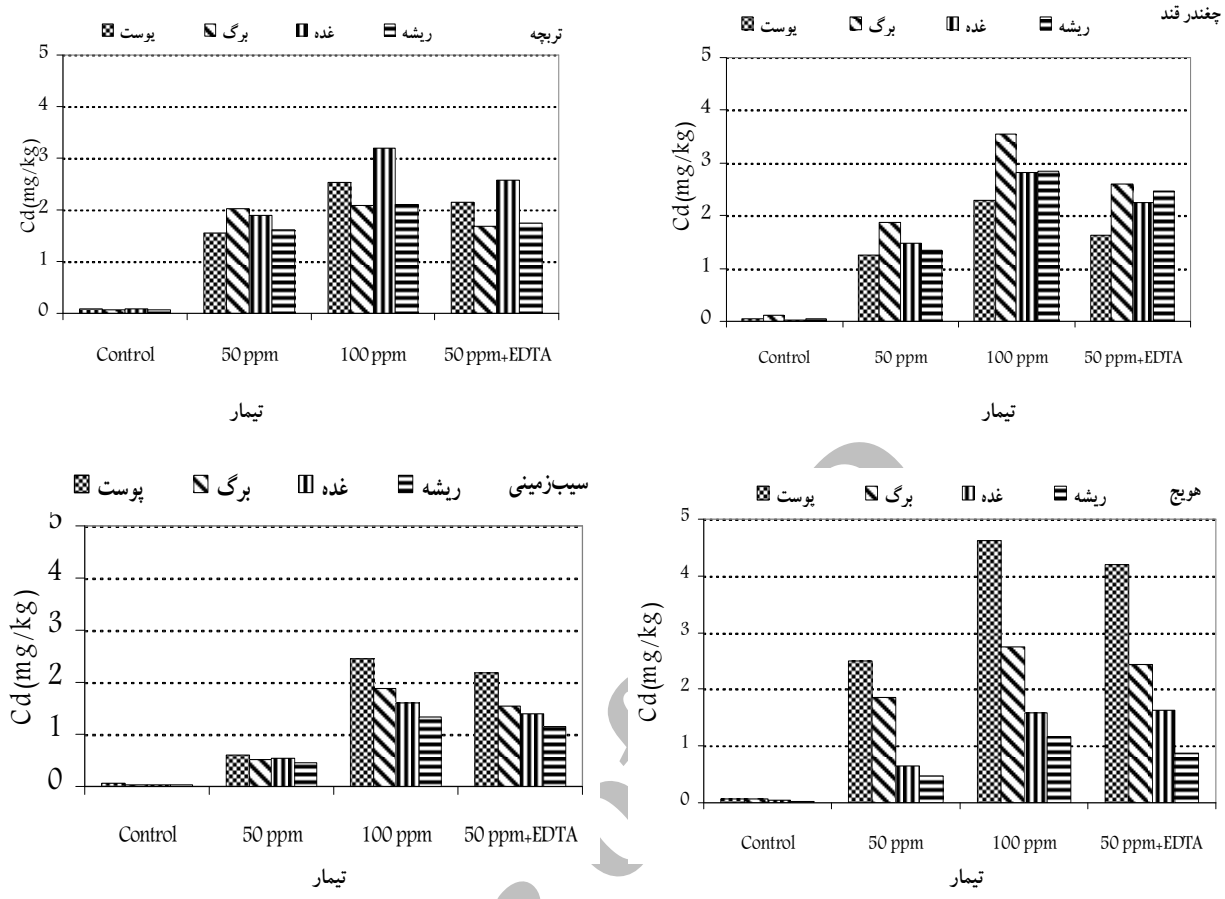
اعدادی که دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال یک درصد فاقد تفاوت معنی داری می باشند

جدول۵- مقایسه اثرات متقابل گونه و تیمار بر میزان تجمع کادمیم

گونه	تیمار	کادمیم (mg/kg)			
		پوست	غده	برگ	ریشه
سیب زمینی	شاهد	۰/۰۶۹i	۰/۰۴۰kl	۰/۰۴۰j	۰/۰۳۳j
	۵۰ ppm	۰/۶۱۷h	۰/۵۳۷j	۰/۵۲۳i	۰/۴۵۰i
	۱۰۰ ppm	۲/۴۵۷c	۱/۶۰۳f	۱/۸۹۰fg	۱/۳۳۷f
	EDTA + ۵۰ ppm	۲/۱۸۷e	۱/۳۸۰h	۱/۵۵۷h	۱/۱۵۰g
هویج	شاهد	۰/۰۶۹i	۰/۰۳۷ kl	۰/۰۶۰j	۰/۰۳۱j
	۵۰ ppm	۲/۵۰۷c	۰/۶۴۰j	۱/۸۵۷f	۰/۴۶۰i
	۱۰۰ ppm	۴/۶۲۳a	۱/۵۹۳f	۲/۷۴۷b	۱/۱۶۰g
	EDTA + ۵۰ ppm	۴/۲۰۳b	۱/۶۴۰f	۲/۴۲۳d	۰/۸۷۰f
تربچه	شاهد	۰/۰۷۸i	۰/۰۸۰k	۰/۰۶۸j	۰/۰۵۹j
	۵۰ ppm	۱/۷۹۰f	۲/۲۱۵e	۲/۰۳۳e	۱/۷۳۳e
	۱۰۰ ppm	۲/۵۴۰c	۳/۱۷۵a	۲/۵۹۵e	۲/۱۲۰c
	EDTA + ۵۰ ppm	۲/۱۵۰e	۲/۵۸۳c	۲/۲۹۰g	۱/۹۸d
چغندر قند	شاهد	۰/۰۳۹I	۰/۰۳۰i	۰/۱۰۰j	۰/۰۴۸j
	۵۰ ppm	۱/۲۴۷g	۱/۴۷۷g	۱/۸۶۳f	۱/۳۳۳f
	۱۰۰ ppm	۲/۲۸۳d	۲/۸۱۰b	۳/۵۵۷a	۲/۸۴۰a
	EDTA + ۵۰ ppm	۱/۶۴۰f	۲/۲۳۷d	۲/۶۰۳c	۲/۴۵۷b

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- میانگین تجمع کادمیم در بخشهای مختلف گونه‌های مورد مطالعه

معنی‌داری بود و در رده‌های بعدی گروه‌بندی، به ترتیب تیمارهای چهارم، دوم و اول قرار گرفتند. در غده هویج میزان تجمع کادمیم در تیمار چهارم بیشتر از تیمارهای دیگر بود که نشان دهنده تأثیر زیادتر EDTA بر میزان تجمع کادمیم در این بخش از گیاه می‌باشد. بررسی نتایج اثرات متقابل گونه و تیمار، مطابق جدول ۵ نشان می‌دهد که رابطه بین تیمارها (غلظت کادمیم خاک) و میزان تجمع آن در گونه‌های مختلف متفاوت بوده و روند تغییرات میزان تجمع کادمیم در گونه‌های مورد بررسی متناسب با افزایش غلظت کادمیم نیست؛ بعضی گونه‌ها تغییرات زیاد دارند و گروه دیگر از تغییر کمی برخوردار می‌باشند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در بین گونه‌های مورد مطالعه، میزان تجمع کادمیم به‌ترتیب در غده تربچه و چغندرقند بیشتر از سایر گونه‌ها بوده و در مراتب بعدی هویج و سیب‌زمینی قرار می‌گیرند. بررسی نتایج مربوط به برگ نشان می‌دهد که میزان تجمع کادمیم به‌ترتیب در گونه‌های چغندرقند، هویج، تربچه و سیب‌زمینی بیشتر از گونه‌های دیگر می‌باشد. همچنین بررسی نتایج مربوط به پوست نشان می‌دهد که میزان تجمع در پوست محصولات هویج و تربچه بیشتر از گونه‌های دیگر است و در مراتب بعدی گونه‌های سیب زمینی و چغندرقند قرار دارند. به‌طور کلی میزان تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه به ترتیب زیر می‌باشد:

ریشه: چغندرقند، تربچه، سیب‌زمینی و هویج؛

برگ: چغندرقند، هویج، تربچه و سیب‌زمینی؛

غده: تربچه، چغندرقند، هویج و سیب‌زمینی؛

پوست: هویج، تربچه، سیب‌زمینی و چغندرقند.

بالا بودن میزان تجمع کادمیم در پوست هویج، تربچه و سیب‌زمینی دارای اهمیت بوده و بیانگر استعداد این محصولات در تجمع کادمیم بیشتر در پوست خود است. این موضوع با توجه به مصرف هویج و تربچه با پوست توسط بخشی از جامعه حائز اهمیت است؛ به طوری که تغییر عادات غذایی، می‌تواند در میزان انتقال کادمیم به افراد مؤثر باشد.

جذب و تجمع کادمیم در بخش خوراکی تربچه (غده) بیشتر از سایر گونه‌های مورد مطالعه و همچنین بیشتر از سایر اندام گونه تربچه می‌باشد. این موضوع از دید سلامتی دارای اهمیت بوده و

Archive of SID
www.SID.ir

نیاز به برنامه‌ریزی اصولی در تأمین آب با کیفیت مناسب و یا کاشت این محصولات در اراضی با غلظت کم فلزات سنگین دارد. نتایج نشان می‌دهد که در بخش خوراکی سیب‌زمینی میزان تجمع کادمیم کمتر از سایر گونه‌ها است.

در این زمینه نتایج تحقیق قوردانو[1] و مایز[2] در سال ۱۹۷۷ نشان می‌دهد که بعضی گیاهان مانند گوجه فرنگی به‌دلیل تجمع کم کادمیم در ساقه از توان رشد بالایی در خاک و آب آلوده به کادمیم برخوردار می‌باشند، به‌طوری که حتی در خاکهای با غلظت ۱۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم در خاک نیز قادر به رشد و محصول‌دهی هستند. براساس این تحقیق ترتیب جذب و تجمع کادمیم در گونه‌های مختلف به‌ترتیب زیر شامل کاهو، تربچه، اسفناج، فلفل، شلغم، کلم پیچ، گوجه فرنگی و لوبیا می‌باشد [۳۲]. همچنین تحقیقات ترابیان و مهجوری در سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد که میزان تجمع کادمیم در محصولات زراعی جنوب تهران که با فاضلاب آبیاری می‌شوند، به‌ترتیب در محصولات نعنا، جعفری، کاهو، گشنیز، تربچه، شاهی و اسفناج می‌باشد[۲۶].

بررسی نتایج حاصل مطابق جدولهای ۴ و ۵، نشان می‌دهد که در گونه‌های مورد بررسی میزان تجمع کادمیم در اندام هوایی یعنی برگ بیشتر از اندام زمینی یعنی ریشه و غده بوده ولی کمتر از میزان تجمع کادمیم در پوست محصولات است. این نتیجه همسو با نتایج اغلب تحقیقاتی است که کادمیم را فلزی با تحرک بالا و قابلیت جذب راحت در گیاه معرفی کرده‌اند. در این تحقیقات اعلام شده که کادمیم به راحتی از طریق پوست ریشه جذب و سپس از راه سیمپلاستی[3] و یا آپوپلاستی[4] وارد بافت چوب شده و به اندامهای فوقانی گیاهان منتقل می‌شود. در این مطالعات میزان انتقال به دانه و تخمه محصولات در مقایسه با بخشهای دیگر محصولات ضعیف عنوان شده است. تحقیقات قوردانو و مایز نشان می‌دهد که با کشت گوجه فرنگی در خاکهای با غلظت کادمیم برابر ۳۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدار تجمع کادمیم در برگ به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۲/۱ و در میوه معادل ۰/۲ و ۰/۳۹میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است [۳۲، ۳۳ و ۳۴]. بررسی نتایج مربوط به تیمارهای مختلف غلظت کادمیم و مقایسه آن با نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که مطابق نتایج اکثر محققان، میزان جذب و تجمع کادمیم در تمام گونه‌های مورد مطالعه، نسبت مستقیم با غلظت کادمیم در محیط ریشه داشته و با افزایش غلظت میزان جذب و تجمع در گونه‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد [۳۵، ۳۶ و ۳۷].

بررسی نتایج حاصل از افزودن EDTA به آب آبیاری (EDTA + ۵۰ mg/kg cd)، بیانگر تاثیر قابل توجه این ماده در افزایش میزان جذب و تجمع کادمیم در گونه‌های مورد بررسی است، به‌طوری‌که در تمام گونه‌ها در تیمار چهارم نسبت به تیمار دوم (با میزان کادمیم برابر)، افزایش قابل توجهی در میزان تجمع کادمیم مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۵ افزایش EDTA به‌ترتیب باعث افزایشی معادل ۳۲ درصد در جذب کادمیم برگها، ۵۳/۶ درصد در ریشه، ۶۲ درصد در غده و ۶۵/۲ درصد در پوست می‌گردد. پیش‌بینی می‌شود که این تأثیر به‌علت افزایش حلالیت کادمیم و به تبع آن افزایش قابلیت دسترسی گونه‌های مورد بررسی به آن و افزایش تجمع کادمیم به‌ویژه در میوه محصولات باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد که در زمینه تأثیر EDTA بر میزان جذب و تجمع کادمیم در محصولات غده‌ای تحقیقی صورت نگرفته است ولی نتایج تحقیقات انجام شده بر روی سبزیجات نشانگر نتایج متفاوتی در این زمینه می‌باشد. نتایج تحقیقات لی و شومن[5] در سال ۱۹۹۶، روبینسون[6] در سال ۱۹۹۷ و لی و همکاران در سال ۱۹۹۸، نشان می‌دهد که فلز کادمیم به‌طور طبیعی از انحلال بالایی برخوردار است و افزایش عوامل کلیت کننده‌ای نظیر اسیدهای آلی و EDTA تأثیر زیادی در افزایش انحلال آنها در خاک ندارد [۳۸، ۳۹ و ۴۰]. با این وجود سایر پژوهشها، از جمله نتایج تحقیقات چنی[7] و همکاران در سال ۲۰۰۱، کاباتا[8] و پندیاز[9] در سال ۲۰۰۱ و لست[10] در سال ۲۰۰۳ بیانگر تأثیر سیترات آمونیوم و EDTA بر افزایش حلالیت و قابلیت جذب کادمیم در گیاهان می‌باشد [۱، ۱۶ و ۴۱].

مقایسه اثرات متقابل گونه و تیمار بر میزان تجمع کادمیم در محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهدکه به‌جز در تیمار شاهد که به دلیل غلظت کم کادمیم در محیط ریشه، میزان تجمع کادمیم در اکثر اندامهای گونه‌های مورد مطالعه در حد کم و ناچیزی می‌باشد، در سایر تیمارها روند افزایش میزان کادمیم تجمع یافته در گونه‌های مختلف متناسب با روند افزایش غلظت آن در تیمارها نمی‌باشد. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۵ و شکل ۳ مشاهده می‌شود که روند افزایش کادمیم تجمع یافته در گونه‌های سیب‌زمینی، هویج و چغندرقند تقریباً از الگوی مشابهی تبعیت می‌کند، درصورتی‌که در تربچه از الگوی متفاوتی برخوردار بوده و تفاوت میزان کادمیم تجمع یافته متناسب با افزایش غلظت تیمارها نمی‌باشد. همچنین بررسی میزان کادمیم تجمع یافته در بخشهای مختلف گونه‌های مورد

[1] Giordano
[2] Mays
[3] Symplistic
[4] Apoplactic

[5] Shuman
[6] Robinson
[7] Channey
[8] Kabatta
[9] Pendius
[10] Lasat

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعه متفاوت است، به‌طوری‌که در گونه‌های چغندرقند، سیب‌زمینی و تربچه از دامنه نوسان کمی برخوردار بوده و به هم نزدیک می باشد در صورتی که در هویج دامنه گسترده‌تری دارد.

بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که به‌جز در تیمار شاهد، در سایر تیمارها کادمیم تجمع یافته در تمام بخشهای گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

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

در شرایط استفاده آب و خاک آلوده به کادمیم برای کاشت محصولات غده‌ای، ترتیب تجمع کادمیم در اندام اصلی آنها به صورت زیر است:

ریشه: چغندر قند، تربچه، سیب‌زمینی، هویج؛

برگ: چغندر قند، هویج، تربچه، سیب‌زمینی ؛

غده: تربچه، چغندرقند، هویج، سیب‌زمینی؛

پوست: هویج، تربچه، سیب‌زمینی، چغندرقند.

نتایج نشان می‌دهد که در بین گونه‌های مورد مطالعه، میزان تجمع کادمیم به‌ترتیب در غده تربچه و چغندرقند بیشتر از سایر گونه‌هاست و مراتب بعدی مربوط به هویج و سیب‌زمینی است. همچنین بررسی نتایج مربوط به پوست نشان می‌دهد که میزان تجمع در پوست محصولات هویج و تربچه بیشتر از گونه‌های دیگر است و مراتب بعدی مربوط به گونه‌های سیب‌زمینی و چغندرقند است. این موضوع با توجه به مصرف هویج و تربچه با پوست توسط بخشی از جامعه حائز اهمیت بوده و تغییر نحوه مصرف این محصولات در میزان انتقال کادمیم به افراد مؤثر است.

همچنین براساس نتایج پژوهش، مشاهده می‌شود که افزودن EDTA به آب آبیاری تأثیر قابل توجهی در قابلیت دسترسی و افزایش جذب کادمیم در گونه‌های مورد مطالعه دارد. براساس نتایج حاصل، تأثیر افزودن EDTA به آب آبیاری بر میزان افزایش تجمع کادمیم در گونه سیب زمینی حداکثر و در گونه تربچه حداقل می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که به‌جز در تیمار شاهد کلیه گونه‌ها، در سایر تیمارها کادمیم تجمع یافته در تمام بخشهای گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است.

پیشنهاد می‌گردد در تکمیل نتایج این پژوهش، تحقیقی با تیمارهایی بیشتر با افزایش پلکانی غلظت کادمیم از صفر تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای تعیین مرز مجاز آلودگی خاک برای کاشت محصولات مذکور و همچنین مرز محدود کننده رشد گونه‌های مورد مطالعه انجام شود.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از حمایت دفتر پژوهش و پشتیبانی علمی شرکت مدیریت منابع آب وزارت نیرو در انجام این تحقیق اعلام می‌نمایند.

۶- مراجع

1-Kabatta, A., and Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*, 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton FL.

2- Rossini Oliva, S. A., and Fernandez, E. (2007). "Monitoring of heavy metals in topsoil, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources." *Microchemical Journal*, 86 (3), 131-139.

3- Carr, R. (2005). "WHO guidelines for safe wastewater use: More than just numbers." *J. Irrigation and Drainage*, 54 (7), 103-111.

4- Richard-Sally, L., and Buechiler, S. (2005). "Managing wastewater agriculture to improve livelihoods and environmental quality in poor countries." *J. Irrigation and Drainage*, 54 (1), 11-22.

5- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J, Carlton-Smith, C., and Chambers, B.J. (2003). "An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales." *J. Sci*, *Total Env*, 311 (9), 205-219.

6- Hossner, L.R., Kao, C.W., and Waggoner, J. A. (1978). *Sewage disposal on agricultural soils; chemical and microbiological implications*, 5th Ed., United States Environmental Protection Agency (EPA-600/s-78-131a), Washington, DC.

Archive of SID

www.SID.ir

7- Benham, B., and Affiliates, S. (1979). *Long-term effects of land application of domestic wastewater*, Dickinson, North Dankata, slaw rate irrigation site, Washington DC, United States Environmental Protection Agency(EPA-600/2-79-144).

8- Tchobanoglous, G., and Burton, F. (1991). *Wastewater treatment, reuse and disposal*, 3rd Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy International Edition Engineering Series, New York.

9-Johan Radcliffe, V. (2004). *Water recycling in Australia*, 1st Ed., Elsevier Inc., Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Melborn.

10 - Feizi, M. (2001). "Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plant and soil." ICLD International Workshap on Wastewater Reuse Manegment, Seoul, Korea, 137-146.

11- FAO. (2003). "Unlocking water potential in agriculture." Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations.<http://www.fao.org/documents/> (Aug. 11, 2007).

12-Simmons, R.W., and Pongsakul, P. (2002). "Toward the development of an effective sampling protocol to "rapidly" evaluate the distribution of Cd in contaminated, irrigated rice-based agricultural systems." *In: Kheoruenromne I, ed. Transactions of the 17th word congress of soil science*, International Union of Soil Science, Bangkok, Vienna.

13- Doyle, P. J. (1998). "Survey of literature and experience on the disposal of sewage on land.); Available <http://www.ecobody.com/ reports/ sludge/dole_ report_ VpToc.htm/> (Apr. 17, 2007).

14- Morishita, T. (1991). "Environmental hazard of sewage and industrial effluents on irrigated farmlands in Japan." *In: Pescod MB, Arar A, eds. Treatment and use of sewage effluent for Irrigation*, Kent, Butterworths.

15- Lee, S., Lee, J. U., Choi, H., and Kim, K.W. (2004). "Sorption behaviors of heavy metals in SAT (soil aquifer treatment) system." *Water Science and Technology*, 50(2), 263-268.

16- Channey, R., Baker, A., Malik, Y., and Brown, J. (2001). "Phytoremediation of soil metals." *J. Current Opinion in Biotech*., 36, 115-121.

17- Okoronkwo, N.E., Igwe, J.C., and Onwuchekwa, E.C. (2005). "Risk and health implications of polluted soils for crop production." *African Journal of Biotech.*, 4(13), 1521-1524.

18- Channey, R.L. (1980). "Health risks associated with toxic metals in municipal sludge." *In: sludge-14ealth risks of land application*, G. L. Damron, G .T. Edds. and J. M. Davidson, editors, Ann Arbor, Science Publication Inc.

19- Alloway, B.J. (1990). *Heavy Metal in Soils*, 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York.

20- Sauerbeck, D.R. (1991). "Uptake and availability of heavy metals." *J. Water*, *Air and Soil Pollution*, 57(58), 227-237.

21- USEPA. (1992). *Guidelines for water reuse*, United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development (Technical Report No. 81), Washington, DC.

22- USEPA. (1981). *Land treatment of municipal wastewater*, United States Environmental Protection Agency (EPA 625/1-81/013), Washington, DC.

23-WHO. (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*, World Health Organization (Technical Report Series No.776), Geneva.

۲۴- یارقلی، ب. (۱۳۸۶). *بررسی تغییرات کمی- کیفی فاضلاب فیروزآباد جهت استفاده در کشاورزی*، گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۲۵- ترابیان، ع.، و بغوری، ا. (۱۳۷۳)."بررسی آلودگیهای ناشی از کاربرد پسابهای شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران." *م. محیط شناسی*، ۱۸، ۳۳-۴۵.

Archive of SID
www.SID.ir

۲۶- ترابیان، ع. و مهجوری، م. (۱۳۸۱). "بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزیهای برگی جنوب تهران." م. *علوم، خاک و آب*، ۱۶ (۲)، ۳۹-۵۲.

۲۷- مستشاری، م. (۱۳۸۰). "بررسی شدت و گسترش آلودگی خاکها به عناصر سنگین و تعیین مقدار آنها در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در قزوین." *مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک*، شهر کرد، ۱۵۲-۱۶۵.

۲۸- شریعت، م.، و فرشی، ص. (۱۳۸۱). "مقدار عناصر سنگین محصولات در جنوب تهران." مجموعه مقالات آب وخاک، جلد ۵ (۴-۳)، ۱۳-۲۵.

۲۹- جعفرزاده حقیقی، ن. (۱۳۷۵). "تأثیر فاضلاب شیراز در آبیاری محصولات کشاورزی بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و برخی محصولات کشاورزی." *دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور*، تهران، ۳۰۳-۳۱۰.

۳۰- فرشی، ع. ا.، شریعتی، م. ر.، جارالهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی فر، م. (۱۳۷۶). *برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور*، جلد اول: گیاهان زراعی، چاپ اول مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، تهران.

31-Markert, B. (1996). *Insturmental element and multi-element analysis of plant samples*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Sussex, England.

32- 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, 108-119.

33- Hattori, H. Asari, E, and Mitsuo, C. (2002). "Estimate of cadmium concentration in brown rice." *17th World Conference of Soil Science*, Thailand, 23-24.

34- Fazeli, M.S. (1998). "Enrichment of heavy metal in paddy crops irrigated by paper mill effluents near Nanjangud, Mysore District, Karnatake, India Environmental." *J. Geology*, 34, (4) 42-53.

35- Tiller, K.G. (1989). "Heavy metals in soils and their environmental significance advances in soil science." *European Journal of Soil Science*, 9 (8), 113-142.

36- Gardiner, D.T., Miller, R.W., Badamchian, B., Azzari, A.S., and Sisson, D.R. (1995). "Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metals." *J. Agri. Ecosystems and Env*., 55 (2), 1-6.

37- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., and Garate, A. (2002). "Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of lactuca sp. Ca-Mn intraction." *J. Plant Science*, 162 (7), 761-767.

38- Li, Z., and Shuman, L.M. (1999). "Extractability of zinc, cadmium and nickel in soils amended with EDTA." *Soil Sci*., 161 (2), 226-241.

39-Lee, J., Reeves, RD., and Brooks, R. (1998). "The relation between nickel and citric acid in some nickel accumulation plants." *Phytochemistry*, 17 (12), 1033-8.

40-Robinson, B.H. (1997). "The Phytoextraction of metals from metalliferous soils." Ph.D Thesis, Massey University, Wellington, NZ.

41-Lasat, M.M. (2003). "The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil." *J. Env., Pollution*, 113 (2), 121-127.

Archive of SID

www.SID.ir