

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در اندام‌های مختلف

محصولات جالیزی رایج ایران

بهمن یارقلی*، فریبرز عباسی، عبدالمجید لیاقت**

* نگارنده مسئول: نشانی: کرج، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، تلفن: ۰۲۶۱) ۲۷۰۵۳۲۰، پیام‌نگار:

yar_bahman@yahoo.com

** به‌ترتیب عضو هیئت علمی و دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ و دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشکده آب و خاک

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۱۹

چکیده

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین یک مشکل جهانی در حال گسترش است. فلزات سنگین عمدتاً در لایه سطحی خاک رسوب می‌کنند و در دراز مدت با افزایش غلظت آنها در خاک جذب گیاهان می‌شوند و در اندام‌های مختلف آنها تجمع پیدا می‌کنند. مقدار جذب و تجمع فلزات سنگین در گونه‌های مختلف گیاهی و در بخش‌های مختلف گونه‌ها متفاوت و متأثر از غلظت فلز و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک است. مطالعات زیادی در زمینه استفاده از آب‌های آلوده و پساب‌های حاوی فلزات سنگین در کشاورزی اجرا شده است، ولی اطلاعات در زمینه مقدار جذب و تجمع فلزات سنگین از محیط ریشه و تجمع آن در بخش‌های مختلف گونه‌های زراعی، به ویژه محصولات جالیزی بسیار محدود است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف غلظت کادمیوم خاک محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام‌های مختلف پنج گونه جالیزی رایج در ایران (خریزه، هندوانه، خیار، گوجه‌فرنگی و کدو خورشتی)، به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار شامل غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و ۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌علاوه ۲۵ میلی‌گرم اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) به هر کیلوگرم خاک از طریق آب آبیاری، در سه تکرار به اجرا در آمده است. خاک مورد استفاده از نوع لومی بود که از مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) انتخاب و بعد از دو بار الک کردن با مش دو میلی‌متر و افزودن نترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2$) و مخلوط کردن کامل تهیه شد. برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۴۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر استفاده شده است. در پایان فصل زراعی از بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه جهت سنجش مقدار تجمع کادمیوم نمونه‌برداری و آزمایش شده نتایج حاصل، پس از تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS، نشان می‌دهد که میزان تجمع کادمیوم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم دارد و افزایش EDTA، به‌طور میانگین باعث افزایشی معادل ۲۷ درصد در جذب کادمیوم در برگ‌ها و ۱۲۲ درصد در میوه می‌شود. به جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها میزان تجمع کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است. نتایج نشان می‌دهد که در ساقه و برگ به ترتیب خیار و کدو خورشتی بیشترین غلظت کادمیوم را دارند و گوجه‌فرنگی و هندوانه کمترین تجمع را دارند؛ میوه خربزه و هندوانه بیشترین و گوجه‌فرنگی کمترین میزان غلظت کادمیوم را دارند.

واژه‌های کلیدی

اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، جذب، خاک آلوده، کادمیوم، محصولات جالیزی

مقدمه

تا آنجا که شدت آلودگی در این خاک‌ها یا بیش از

حد استاندارد است یا به زودی به آن حد خواهد رسید

(Cope et al., 1994; Carlos et al., 2005; Rossini &

دفع فلزات سنگین طی فعالیت‌های انسان، آلودگی

بسیاری از خاک‌ها را در سطح جهان به همراه داشته است؛



ماهانه افزایش یون کادمیوم در خاک معادل ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اعلام شده است و مقدار کل کادمیوم اضافه شده در هر هکتار خاک در سال نباید از ۱/۹ کیلوگرم تجاوز کند (Anon, 1992b). سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز کادمیوم در رژیم غذایی هفتگی انسان را ۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر مقدار مجاز این عنصر را در خوراک انسانی ۰/۱ قسمت در میلیون اعلام کرده است (Anon, 1992a). برای تغذیه دام نیز مقدار مجاز کادمیوم ۱۰ تا ۲۰ قسمت در میلیون گزارش شده است (Kabatta & Pendias, 2001). محل تجمع اصلی کادمیوم در بدن بافت‌های نرم است و مسمومیت با کادمیوم باعث آسیب به کلیه، استخوان، و سیستم عصبی می‌شود (Channey, 1980; Alloway, 1990; Sauerbeck, 1991; Okoronkwo *et al.*, 2005).

کشور پهناور ایران همچون سایر کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، دچار کم آبی است و شهرهای بزرگ کشور، به‌ویژه تهران، جهت جبران بخشی از این کم آبی ناگزیر از مصرف حجم قابل توجهی از پساب‌های شهری و صنعتی (حاوی فلزات سنگین) در کشاورزی هستند. مطالعات نشان می‌دهد که به طور میانگین ۶ متر مکعب در ثانیه فاضلاب و روان‌آب سطحی تهران با دریافت آلاینده‌های مختلف شهری و صنعتی، از طریق مسیل‌ها و کانال‌ها صرف آبیاری اراضی جنوب تهران می‌شود (Yargholi, 2007). کاربرد دراز مدت این پساب‌ها 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 شده است (Shariat & Farshi, 1997).

استفاده از فاضلاب در اراضی زراعی قزوین باعث افزایش غلظت سرب، مس، کادمیوم، و روی به مقدار چندین برابر حد مجاز شده است (Mostashari, 2002).

(Fernandez, 2007). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حداقل ۲۰ میلیون هکتار از اراضی در شمال و جنوب آفریقا، بخش مهمی از اراضی زراعی آمریکای جنوبی، خاورمیانه، جنوب اروپا و جنوب غرب آمریکا، مکزیک و بخش مهمی از آسیای مرکزی و شرقی با فاضلاب خام آبیاری می‌شود. استفاده از فاضلاب در مناطق مختلف برای آبیاری مزارع، آلودگی خاک و از جمله تجمع فلزات سنگین را در خاک و محصولات زراعی به همراه داشته است (Nicholson *et al.*, 2003; Richard-Sally & Buechler, 2005; Carr, 2005). مروری بر تحقیقات انجام شده که عمدتاً در زمینه سبزی‌هاست، نشان می‌دهد که تجمع فلزات سنگین بسته به نوع فلز، شرایط خاک، و گونه گیاهی متفاوت اما در اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندام‌ها و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه است (Giordano & Mays, 1977; Tiller, 1989; Kabatta & Pendias, 2001; Hattori *et al.*, 2002).

منبع اصلی فلزات سنگین خاک مصرف پساب‌های شهری و صنعتی در آبیاری، کودهای شیمیایی فسفاته، لجن حاصل از تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری و معادن استخراج فلزات است. مهمترین فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌ها سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni)، کروم (Cr)، قلع (Sn) و آرسنیک (As) هستند. اکثر فلزات سنگین در لایه سطحی خاک رسوب می‌کنند و تجمع تدریجی آنها در دراز مدت منجر به انتقال به محصولات زراعی در حدی فراتر از استانداردهای مجاز مصارف انسانی می‌شود (Channey *et al.*, 2002; Okoronkwo *et al.*, 2005).

کادمیوم با مقدار معمول ۰/۰۶ تا ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یکی از مهمترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین خاک محسوب می‌شود. بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، میانگین مجاز

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

بر کیلوگرم خاک و در گونه‌های زراعی (انواع سبزی‌ها) در محدوده ۰/۳۹۸۵-۱/۴۳۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک محصول است که بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است.

با توجه به روند رو به رشد جمعیت انسان و توسعه صنعتی کشور، گسترش آلودگی‌های ناشی از این عناصر و ورود آنها به زنجیره غذایی رو به افزایش است. به‌رغم تحقیقات مختلف در زمینه اثر فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر خصوصیات خاک و گیاه، اطلاع دقیقی از مقدار انتقال فلزات سنگین از محیط ریشه به گونه‌های صیفی، به‌ویژه مقدار تجمع فلزات مذکور در بخش‌های مختلف خوراکی و غیر خوراکی آنها در دست نیست و جهت حفظ سلامت جامعه اجرای تحقیقات مختلف درباره این موضوع ضروری به نظر می‌رسد.

این پژوهش در قالب تحقیقاتی جامع، با هدف بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه توسط گونه‌های زراعی رایج در کشور و تعیین غلظت کادمیوم تجمع یافته در اندام‌های مختلف گونه‌های مذکور تحت شرایط کنترل شده اجرا شده است. در این مقاله نتایج بخشی از این تحقیقات ارائه شده است که مربوط گونه‌های جالیزی و اندام‌های مختلف آنهاست.

مواد و روش‌ها

این تحقیق برای بررسی تأثیر سطوح مختلف غلظت کادمیوم محیط ریشه بر جذب این عنصر و تجمع آن در اندام‌های گونه‌های جالیزی، به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به مدت یک سال در چهار تیمار و سه تکرار در محل مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج به اجرا در آمده است. فاکتورها شامل غلظت کادمیوم در چهار سطح به شرح زیر است که با افزودن نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2$) به خاک و تهیه

این حالت برای بخش مهمی از اراضی کشور، به‌ویژه اراضی حاشیه‌ای شهرهای بزرگ به‌وجود آمده و در حال گسترش است. بررسی آلودگی اراضی زراعی کشور نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم و سرب در بخشی از اراضی زراعی آلوده استان‌های گیلان و اصفهان ۱/۹ تا ۱۸۰/۵ و زنجان و چهارمحال بختیاری ۸۹/۴ تا ۲۶۱۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Jafarzadeh, 1997; Shariat & Farshi, 1997).

برای تعیین اثر مواد آلی محلول در قابلیت جذب فلزات سنگین باید از ماده‌ای استفاده کرد که توانایی کمپلکس کردن فلزات را داشته باشد و برای مدت زمانی قابل توجه در خاک پایدار بماند. به این منظور از اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) به عنوان نمونه‌ای از مواد آلی طبیعی استفاده می‌شود (Li & Shuman, 1999). اگر EDTA یا کلات‌های آن وارد خاک شود، می‌توانند کمپلکس‌های پایدار با فلزات سنگین را ایجاد کنند که بیشتر آنها در آب انحلال پذیرند و می‌توانند باعث انتقال کادمیوم به محلول خاک شوند (Fazeli, 1998). عامل کلات‌کننده EDTA نه تنها کمپلکس‌های محلول با فلزات را تشکیل می‌دهد، بلکه می‌تواند توزیع فلزات را نیز تحت تأثیر قرار دهد که این امر از طریق حرکت فلزات از قسمت‌های با قابلیت انحلال پذیری کمتر به بخش‌های انحلال پذیرتر صورت می‌گیرد. کمپلکس شدن کادمیوم با مواد آلی در میزان حفظ آن در خاک با اهمیت است (Mattigod & Page, 1981).

بررسی سوابق موضوع نشان می‌دهد که تحقیقات بسیار محدودی در زمینه جذب و تجمع کادمیوم در محصولات صیفی صورت گرفته و تحقیقات عمدتاً بر سبزی‌ها متمرکز بوده است.

نتایج پژوهش‌های ترابیان و مهجوری (Torabian & Mahjori, 2002) نشان می‌دهد که دامنه آلودگی اراضی زراعی جنوب تهران به کادمیوم ۰/۱۰۱ تا ۷/۵۴ میلی‌گرم

مخلوط یکنواخت حاصل شده است.

خاک مورد استفاده، بعد از بررسی خاک‌های مختلف، از اراضی مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) و بعد از دوبار الک کردن با مش دو میلی‌متر انتخاب شده است. قبل از شروع عملیات زراعی، نمونه‌ای از خاک تهیه و آنالیز شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست به کادمیوم، این تحقیق در محیط کنترل شده (گلدان مستقر در فضای آزاد) اجرا شد. گلدان‌ها از جنس پلاستیک، استوانه‌ای به قطر ۴۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بودند.

- خاک شاهد (بدون افزودن کادمیوم)

- خاک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم

- خاک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم

- خاک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم

به‌علاوه ۲۵ میلی‌گرم EDTA به هر کیلوگرم خاک از

طریق آب آبیاری

فاکتور گونه گیاهی شامل پنج گونه صیفی رایج در

ایران شامل کدو خورشیدی، خربزه، خیار، هندوانه و

گوجه‌فرنگی است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Cd	CEC	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	کربن آلی	رس	سیلت	شن	pH	فاکتور
میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک			میلی اکی‌والان بر لیتر					درصد				واحد -
۰/۰۳	۱۱	۳/۲	۳/۸	۳/۲۴	۴/۱۲	۳/۳۱	۲/۷۲	۱/۲۵	۲۳	۴۲	۳۵	۷/۴	مقدار

بررسی، جهت سنجش غلظت کادمیوم نمونه‌برداری شد. بخش‌های مختلف نمونه‌های برداشت شده بعد از شستشو، با استفاده از چاقوی پلاستیکی از هم جدا و با آب مقطر شسته و سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز خشک شدند. نمونه‌های خشک شده هر تکرار بعد از اختلاط کامل آسیاب و پودر شدند. سپس، ۵ گرم از پودر حاصل با افزایش تدریجی دما از ۲۵ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد طی ۱/۵ ساعت و نگهداری در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت، سوزانده و خاکستر شد. خاکستر حاصل، در ۲۰ میلی‌لیتر محلول (HCl:HNO₃, 3:1V/V) ریخته و با آب مقطر به نسبت ۱:۲۰ رقیق شد. پس از آن، با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (4100ZL, Cupertino, CA GFAA, Perkin-Elmer model)

در این تحقیق، مقدار آب مورد نیاز گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش پنمن مانیتیت برآورد و با توجه به فصل و مراحل رشد گونه‌ها، به فواصل یک تا دو روزه به محصولات داده می‌شد. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز روزانه از ایستگاه هواشناسی مشگین‌آباد کرج (نزدیکترین ایستگاه به محل تحقیق) جمع‌آوری شد. در تعیین آب مورد نیاز، مطابق روش ارائه شده در کتاب برآورد نیاز آبی محصولات زراعی (Farshi et al., 1999).

از ضریب رشد گیاهی (Kc) برای مراحل مختلف رشد گونه‌های مورد مطالعه استفاده شد. در مراحل مختلف کاشت، داشت، و برداشت از سم، کود و علف‌کش استفاده نشده است.

در پایان فصل زراعی، از بخش‌های مختلف (ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه، و بذر) گونه‌های مورد

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

مورد مطالعه از لحاظ آماری بررسی شد. تجزیه واریانس میانگین غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در هر یک از شش بخش ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه، و بذر اثر گونه، تیمار، و نیز اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار کادمیوم تجمع یافته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). که بدین معنی است که گونه‌های مختلف و تیمارهای مورد نظر در جذب و تجمع کادمیوم رفتار و اثر متفاوتی داشته‌اند و این اثر براساس محاسبات آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است.

غلظت کادمیوم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Markert, 1996). داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد بررسی، نخست آنالیز واریانس شد. میانگین‌های صفات در سطوح فاکتورهای آزمایشی از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد مقایسه آماری شدند. برای محاسبات آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SPSS و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌های

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایش بر غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه
گونه	۴	۰/۲۵۲**	۱/۵۶۴**	۳/۸۲۶**	۰/۸۱۱**	۱۸/۳۵۵**
تیمار	۳	۲/۲۳۵**	۸/۲۴۳**	۱۴/۲۶۷**	۵/۷۲۹**	۱۳/۴۴۲**
تیمار×گونه	۱۲	۰/۰۵۷**	۰/۲۳۶**	۰/۵۳۵**	۰/۲۰۲**	۲/۰۰۳**
خطا	۴۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴۶
ضریب تغییرات		۳/۰۶	۱/۳۰	۹/۰۶	۱/۰۹	۲۶/۳۵

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

درخصوص میانگین تجمع کادمیوم در ساقه (به‌جز خرزبه و هندوانه) بقیه گونه‌ها در رده‌های متمایزی قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج آزمایش، خیار و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب با ۱/۵۴۸ و ۰/۶۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن قرار می‌گیرند و ترتیب سایر گونه‌ها کدو خورشیدی است.

در مورد میانگین تجمع کادمیوم در برگ، تنها گوجه‌فرنگی و هندوانه در یک رده قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد که خیار و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب با ۲/۱۰ و ۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن قرار دارند و سایر گونه‌ها به ترتیب شامل

نتایج تأثیر گونه بر میانگین تجمع کادمیوم در اندام‌های مختلف بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های مورد آزمایش (به‌جز خرزبه و هندوانه) از لحاظ کادمیوم تجمع یافته در ریشه در گروه‌های متمایزی قرار گرفته‌اند. به‌طوری‌که بالاترین تجمع کادمیوم در بخش ریشه معادل ۰/۷۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مربوط به کدو خورشیدی و کمترین آن معادل ۰/۳۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک مربوط به خیار است و سایر گونه‌ها به‌ترتیب گوجه‌فرنگی، هندوانه و خرزبه بین این دو قرار می‌گیرند.

کدو خورشتی، خربزه، گوجه‌فرنگی، و هندوانه هستند. بررسی نتایج میانگین تجمع کادمیوم در میوه نشان می‌دهد که خربزه با ۱/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در رده اول و سایر گونه‌ها به ترتیب هندوانه، خیار، کدو خورشتی، و گوجه‌فرنگی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتیجه این بخش نشان می‌دهد که میوه خربزه، هندوانه و خیار در گروه جالیز بیشترین تجمع کادمیوم را دارد. نتایج میانگین تجمع کادمیوم در پوست محصولات نشان می‌دهد که خیار با ۳/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و سایر گونه‌ها به ترتیب کدو خورشتی، هندوانه، خربزه، و گوجه‌فرنگی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در بذر نیز گوجه‌فرنگی و خیار به ترتیب با ۰/۵۳ و ۰/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در رده اول و آخر گروه‌بندی دانکن هستند و گونه‌های دیگر یعنی کدو خورشتی، هندوانه، و خربزه به ترتیب در رده‌های مابین آنها قرار دارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین تجمع کادمیوم در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد بررسی

گونه	تجمع کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)					
	ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه	بذر
کدو خورشتی	۰/۷۴۴a	۱/۳۶۹b	۱/۹۴۷b	۰/۸۱۲d	۲/۱۱۲b	۰/۵۰۸b
خربزه	۰/۵۰۲c	۰/۹۲۱c	۱/۳۲۲c	۱/۲۳۲a	۰/۵۷۳d	۰/۳۱۳d
هندوانه	۰/۵۱۵c	۰/۹۲۷c	۰/۹۶۵d	۱/۰۲۷b	۰/۷۱۱c	۰/۴۰۳c
خیار	۰/۳۸۵d	۱/۵۴۸a	۲/۱۰۲a	۰/۹۸۲c	۳/۳۱۷a	۰/۲۵۸e
گوجه‌فرنگی	۰/۶۷۸b	۰/۶۶۸d	۰/۸۵۷d	۰/۵۳۸e	۰/۵۲۲e	۰/۵۳۰a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

بررسی نتایج تأثیر تیمارهای غلظت کادمیوم در خاک بر میزان تجمع آن در اندام‌های مختلف، مطابق جدول ۴ نشان می‌دهد که در هر شش بخش گونه‌های مورد مطالعه، تجمع کادمیوم در تیمار سوم نسبت به سایر تیمارها در سطح یک درصد دارای افزایش معنی‌داری است، در این تیمار، کادمیوم تجمع یافته در ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه و بذر به ترتیب معادل ۰/۹۰۲، ۱/۷۴۹، ۲/۲۶۰، ۱/۴۷۱، ۲/۲۹۷ و ۰/۶۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد؛ پس از آن به ترتیب تیمارهای چهارم، دوم و اول قرار گرفته‌اند.

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف گیاه در تیمارهای مورد بررسی

تیمار (غلظت کادمیوم در خاک)	تجمع کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)					
	ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه	تخمه
شاهد	۰/۰۳۴d	۰/۰۴۷d	۰/۰۴۸d	۰/۰۴۴d	۰/۰۵۱d	۰/۰۲۴d
۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۵۳۵c	۱/۱۰۵c	۱/۵۲۰c	۰/۵۳۵c	۱/۴۸۷c	۰/۳۵۷c
۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۹۰۲a	۱/۷۴۹a	۲/۲۶۰a	۱/۴۷۱a	۲/۲۹۷a	۰/۶۸۱a
۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۷۸۹b	۱/۴۴۵b	۱/۹۲۷b	۱/۱۹۰b	۱/۹۵۳b	۰/۵۴۷b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

تیمار چهارم زیاده‌تر از تیمارهای دیگر است که نشان از تأثیر زیاده‌تر EDTA بر میزان تجمع کادمیوم در این بخش از گیاه دارد.

بررسی نتایج همچنین نشان می‌دهد که رابطه بین تیمارها و تجمع کادمیوم در گونه‌های مختلف متفاوت است به این مفهوم که روند تغییرات کادمیوم تجمع یافته بین سطوح مختلف تیمارهای آزمایشی در گونه‌های مورد بررسی یکسان نیست و تغییرات در بعضی گونه‌ها قابل توجه و در بعضی دیگر کم است.

بررسی اثر متقابل تیمارهای آزمایشی و گونه‌های مورد بررسی مطابق جدول ۵ و شکل ۱ نشان می‌دهد که به‌جز ریشه خیار، تجمع کادمیوم در تمام بخش‌های گونه‌های مورد مطالعه در تیمار سوم (کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک) نسبت به سایر تیمارها دارای افزایش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است و در رده‌های بعدی گروه‌بندی به ترتیب تیمارهای چهارم، دوم و اول قرار گرفته‌اند. در ریشه خیار، میزان تجمع کادمیوم در

جدول ۵- مقایسه اثر متقابل گونه و تیمار بر کادمیوم تجمع یافته

میانگین تجمع کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)						
گونه	تیمار	ریشه	ساقه	برگ	میوه	پوست میوه
شاهد		۰/۰۱۷n	۰/۰۳۹j	۰/۰۵۰l	۰/۰۲۱n	۰/۰۴۰l
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۶۴۰ih	۱/۱۷۰h	۱/۸۷۳e	۱/۱۰۳h	۲/۱۳۳e
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۱/۲۹۰a	۲/۳۹۰a	۳/۲۲۳a	۱/۲۷۰f	۳/۳۰۳d
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۱/۰۳۰c	۱/۸۷۷d	۲/۶۴۳bc	۱/۱۵۱	۲/۹۷۰e
	شاهد	۰/۰۳۹mn	۰/۰۵۷mn	۰/۰۷۱l	۰/۰۷۰m	۰/۰۳۲l
کدو خورشتی	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۵۳۰j	۰/۹۲۷j	۱/۳۱۳hi	۰/۹۰۳j	۰/۶۷۷j
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۷۸۰f	۱/۴۵۰f	۲/۱۳۰d	۲/۱۸۳a	۰/۸۲۰hi
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۶۵۷h	۱/۲۵۰g	۱/۷۷۳ef	۱/۷۷۳b	۰/۷۶۳i
	شاهد	۰/۰۴۸m	۰/۰۳۴n	۰/۰۴۰l	۰/۰۷۰m	۰/۰۳۱k
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۴۹۰k	۰/۹۳۱j	۰/۸۲۰k	۱/۱۱۰h	۰/۶۶۰j
خربزه	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۸۲۷e	۱/۴۹۰e	۱/۵۶۷fg	۱/۶۰۳c	۱/۳۱۰g
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۶۹۳g	۱/۲۵۳g	۱/۴۳۳gh	۱/۳۲۷e	۰/۸۴۳h
	شاهد	۰/۰۳۲mn	۰/۰۴۴mn	۰/۰۴۰l	۰/۰۳۰n	۰/۱۰۰l
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۳۹۳l	۱/۸۶۳d	۲/۴۸۰c	۱/۱۸۰g	۳/۴۱۰c
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۴۹۳k	۲/۲۹۳b	۳/۱۵۰a	۱/۴۹۷d	۵/۱۸۳a
هندوانه	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۶۲۰i	۱/۹۹۳c	۲/۷۴۰b	۱/۲۲۳f	۴/۵۷۳b
	شاهد	۰/۰۳۰mn	۰/۰۶۱m	۰/۰۴۰l	۰/۰۳۰n	۰/۰۵۴l
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۶۲۰i	۰/۶۳۳l	۱/۱۱۳ij	۰/۵۵۰l	۰/۵۵۳k
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۱/۱۲۰b	۱/۱۲۰i	۱/۲۳۰hij	۰/۹۰۰j	۰/۸۶۷h
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۹۴۳d	۰/۸۵۷k	۱/۱۵۱j	۰/۶۷۳k	۰/۶۱۳ik
خیار	شاهد	۰/۰۳۰mn	۰/۰۶۱m	۰/۰۴۰l	۰/۰۳۰n	۰/۰۵۴l
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۶۲۰i	۰/۶۳۳l	۱/۱۱۳ij	۰/۵۵۰l	۰/۵۵۳k
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۱/۱۲۰b	۱/۱۲۰i	۱/۲۳۰hij	۰/۹۰۰j	۰/۸۶۷h
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۶۲۰i	۱/۹۹۳c	۲/۷۴۰b	۱/۲۲۳f	۴/۵۷۳b
	شاهد	۰/۰۳۰mn	۰/۰۶۱m	۰/۰۴۰l	۰/۰۳۰n	۰/۰۵۴l
گوجه فرنگی	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۶۲۰i	۰/۶۳۳l	۱/۱۱۳ij	۰/۵۵۰l	۰/۵۵۳k
	۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۱/۱۲۰b	۱/۱۲۰i	۱/۲۳۰hij	۰/۹۰۰j	۰/۸۶۷h
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA	۰/۹۴۳d	۰/۸۵۷k	۱/۱۵۱j	۰/۶۷۳k	۰/۶۱۳ik
	شاهد	۰/۰۳۰mn	۰/۰۶۱m	۰/۰۴۰l	۰/۰۳۰n	۰/۰۵۴l
	۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	۰/۶۲۰i	۰/۶۳۳l	۱/۱۱۳ij	۰/۵۵۰l	۰/۵۵۳k

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جذب و تجمع کادمیوم بیشتر در بخش میوه خربزه، هندوانه، و خیار که مورد مصرف بخش مهمی از افراد جامعه به ویژه در تابستان است با اهمیت خواهد بود و نیاز به برنامه ریزی اصولی در تأمین آب با کیفیت مناسب یا کاشت این محصولات در خاکهایی دارد که غلظت فلزات سنگین در آنها پایین است.

در این زمینه، نتایج تحقیق (Giordano & Mays, 1977) نشان می دهد که غلظت کادمیوم در ساقه عامل محدودکننده مهمی در رشد گونه هاست و بعضی از گیاهان مانند گوجه فرنگی به دلیل تجمع کم آن در ساقه خود، از توان رشد بالایی در خاک و آب آلوده به کادمیوم دارد، به طوری که حتی در خاکهای با غلظت ۱۷۰ میلی گرم کادمیوم به ازای هر کیلوگرم خاک نیز قادر به رشد و محصول دهی است. بر اساس تحقیقات گیوردانو و مایز (Giordano & Mays, 1977)، ترتیب جذب و تجمع کادمیوم در گونه های مختلف به این ترتیب است:

کاهو < تربچه < اسفناج < فلفل < شلغم < کلم پیچ < گوجه فرنگی < لوبیا

همچنین بر اساس تحقیقات ترابیان و مهجوری (Torabian, & Mahjori, 2002)، میزان تجمع کادمیوم در محصولات زراعی جنوب تهران که با آب آلوده آبیاری می شوند به این ترتیب است:

اسفناج > شاهی > تربچه > گشنیز > کاهو > جعفری > نعنا

نتایج حاصل از تحقیق، مطابق جدول ۴، نشان می دهد که در گونه های مورد بررسی کادمیوم تجمع یافته در اندام هوایی (ساقه و برگ) بیشتر از اندام زمینی (ریشه) است. همچنین غلظت کادمیوم در بذر و میوه محصولات مورد مطالعه در مقایسه با سایر اندام های هوایی به شدت کاهش پیدا کرده است. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقاتی است که کادمیوم را فلزی با قابلیت تحرک بالا و جذب راحت در

نتایج این تحقیق نشان می دهد که در بین گونه های مورد مطالعه، غلظت کادمیوم تجمع یافته در بخش میوه گونه های خربزه، هندوانه و خیار به ترتیب بیشتر از کدو خورشتی و گوجه فرنگی (سایر گونه هاست). در خصوص پوست میوه، ساقه، و برگ ها، غلظت کادمیوم در گونه های خیار و کدو خورشتی به ترتیب بیشتر از گونه های دیگر است. کادمیوم تجمع یافته در ریشه و تخمه کدو خورشتی و گوجه فرنگی بیشتر از گونه های دیگر است. این نتیجه با تحقیقات (Giordano & Mays, 1977; Tiller, 1989; Fazeli, 1998) که نشان می دهد میزان تجمع کادمیوم در دانه کمتر از سایر اندام هاست همخوانی دارد. در این تحقیق، کادمیوم فلزی با تحرک و قابلیت جذب زیاد در گیاه معرفی و گزارش شده که به راحتی از طریق پوست ریشه جذب و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی با وارد شدن در بافت چوب به اندام های فوقانی گیاهان منتقل می شود.

به طور کلی غلظت کادمیوم در بخش های مختلف گونه های مورد مطالعه به ترتیب زیر است:

ریشه	کدو خورشتی < گوجه فرنگی < هندوانه < خربزه < خیار
ساقه	خیار < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < گوجه فرنگی
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
بذر	گوجه فرنگی < کدو خورشتی < هندوانه < خربزه < خیار

بالا بودن کادمیوم تجمع یافته در پوست خیار و کدو خورشتی با اهمیت است و بیانگر استعداد این محصولات در تجمع کادمیوم بیشتر در پوست خود است. این موضوع با توجه به نحوه مصرف این محصولات حائز اهمیت است زیرا با مصرف بدون پوست آنها می توان تا حد قابل توجهی میزان انتقال کادمیوم به افراد را کاهش داد.

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

گیاه معرفی می‌کنند که به راحتی از طریق ریشه جذب و به اندام فوقانی گیاه منتقل می‌شود (Giordano & Mays, 1977; Doyle, 1998; Fazeli, 1998; Sanita & Gabbrielli, 1999). تحقیقات گیوردانو و مایز (Giordano & Mays, 1977) نشان می‌دهد که با کشت گوجه‌فرنگی در خاک‌های با غلظت کادمیوم برابر ۳۵ و ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم، غلظت کادمیوم تجمع یافته در برگ به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۲/۱ و در میوه معادل ۰/۲ و ۰/۳۹ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم بوده است.

بررسی نتایج مربوط به تیمارهای مختلف غلظت کادمیوم و مقایسه آن با یافته‌های تحقیقات دیگران نشان می‌دهد که میزان جذب و تجمع کادمیوم در تمام گونه‌های مورد مطالعه، نسبت مستقیم با غلظت کادمیوم در محیط ریشه دارد و با افزایش غلظت، میزان جذب و تجمع در گونه‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد (Gardiner, 1995; Ramos *et al.*, 2002).

بررسی نتایج حاصل از افزودن EDTA به آب آبیاری (۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک + EDTA)، بیانگر تأثیر قابل توجه این ماده در افزایش میزان تجمع کادمیوم در گونه‌های مورد بررسی است، به طوری که در تمام گونه‌ها 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 (با غلظت کادمیوم برابر)، مطابق جدول ۴ به ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، میوه، پوست میوه، و بذر معادل ۴۷، ۳۱، ۲۷، ۱۲۲، ۳۱ و ۵۳ درصد است. پیش‌بینی می‌شود که این تأثیر به دلیل افزایش انحلال‌پذیری کادمیوم و به تبع آن افزایش قابلیت دسترسی گونه‌های مورد بررسی به کادمیوم باشد. در بررسی منابع تحقیقی، تأثیر EDTA بر میزان جذب و تجمع کادمیوم در محصولات جالیزی مشاهده نشد، ولی تحقیقات روی سایر گونه‌ها به‌ویژه سبزی‌ها نتایج متفاوتی نشان می‌دهد. نتایج پژوهش‌های (Robinson, 1997; Lee

توان بالای خیار و کدوخورشتی در جذب و تجمع کادمیوم در پوست با اهمیت است و نشان از تأثیر نحوه مصرف این محصولات بر میزان انتقال کادمیوم به بدن انسان دارد به طوری که مصرف بدون پوست آنها میزان انتقال کادمیوم را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد.

علی‌رغم ارتباط مستقیم بین مقدار کادمیوم موجود در محیط ریشه و تجمع آن در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه، روند افزایشی مقدار تجمع کادمیوم در گونه‌های گیاهی و همچنین بخش‌های مختلف آنها یکسان و متناسب با میزان افزایش کادمیوم در محیط ریشه نیست. این امر با دقت در نتایج حاصل از تجمع کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌ها و تیمارهای مطالعاتی قابل مشاهده است. بررسی نتایج مربوط به میوه نشان می‌دهد که در خربزه، روند افزایش مقدار تجمع کادمیوم بیشتر از روند افزایش غلظت در محیط ریشه است، در صورتی که در سایر گونه‌ها، روند افزایشی مقدار تجمع کادمیوم در میوه، نسبت به افزایش مقدار کادمیوم در محیط ریشه، کمتر است.

همچنین، به‌رغم انحلال‌پذیری و تحرک زیاد کادمیوم، در مقایسه با اغلب فلزات سنگین، و میل به تجمع این عنصر در اندام‌های فوقانی گیاهان، مشاهده شد که افزودن EDTA به آب تأثیر قابل توجهی در قابلیت دسترسی و افزایش جذب کادمیوم در گونه‌های مورد مطالعه دارد.

با توجه به رده‌بندی گونه‌های مذکور نسبت به جذب و تجمع کادمیوم در بخش میوه، پیشنهاد می‌شود اولویت‌بندی کاشت گونه‌های مورد مطالعه در اراضی آلوده یا استفاده از منابع آب آلوده به کادمیوم برای آبیاری محصولات مذکور، متناسب با تمایل جذب کادمیوم در گونه‌ها باشد و حتی‌الامکان از کاشت خربزه، هندوانه و خیار در این شرایط خودداری شود. با توجه به توان بالای خیار و کدوخورشتی در جذب و تجمع کادمیوم در پوست میوه، پیشنهاد می‌شود این محصولات بی‌پوست مصرف شوند تا از

تیمارهای اعمال شده نیست. خربزه حالت بینابینی دارد و از این نظر بین دو گروه مذکور قابل طبقه‌بندی است. همچنین، بررسی روند تغییر غلظت کادمیوم تجمع‌یافته در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه متفاوت است تا آنجا که در گونه‌های خیار، کدو خورشتی، و خربزه دامنه غلظت کادمیوم تجمع‌یافته در بخش‌های مختلف نسبت به گونه‌های هندوانه و گوجه‌فرنگی وسیع‌تر است.

بر اساس استاندارد ارائه شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (Anon, 1992b)، میزان کادمیوم موجود در محصولات زراعی نباید بیش از ۰/۰۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک محصولات باشد. بر پایه نتایج حاصل از تحقیق (جدول ۵)، جز تیمار شاهد در کلیه تیمارها غلظت کادمیوم تجمع یافته در اندام‌های مختلف محصولات مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است.

نتیجه‌گیری

با عنایت به اینکه بین اندام‌های مختلف گیاهان جالیزی میوه این محصولات بیشترین مصرف را بین افراد جامعه دارد، تجمع کادمیوم در این بخش از گونه‌های مورد مطالعه نیز اهمیت بیشتری دارد. با توجه به نتایج این پژوهش، غلظت تجمع کادمیوم در میوه سه محصول جالیزی خربزه، هندوانه، و خیار که در زمره مصارف اصلی مردم، به‌ویژه در تابستان محسوب می‌شوند، بیش از محصولات دیگر است. با در نظر گرفتن رده‌بندی محصولات جالیزی براساس تمرکز کادمیوم در میوه، نتایج حاصل می‌تواند در ارائه الگوی کشت محصولات مذکور در اراضی آلوده یا استفاده از منابع آب آلوده به کادمیوم مفید باشد و در مصارف خوراکی مورد توجه واقع شود. بر اساس نتایج این پژوهش، ترتیب تجمع کادمیوم در میوه گونه‌های مورد مطالعه به‌ترتیب نزولی شامل خربزه، هندوانه، خیار، کدوخورشتی، و گوجه‌فرنگی است.

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

این طریق میزان انتقال کادمیوم به افراد کاهش یابد. تا ۱۵۰ میلی گرم به ازای کیلوگرم جهت تعیین مرز مجاز به علاوه در تکمیل نتایج این پژوهش، تحقیقی با آلودگی خاک برای کاشت محصولات مذکور و همچنین تیمارهایی بیشتر، با افزایش پلکانی غلظت کادمیوم از صفر مرز محدودکننده رشد گونه‌های مورد مطالعه اجرا شود.

قدردانی

از مساعدت همکاران آزمایشگاه آب، خاک و فاضلاب و همچنین آزمایشگاه بخش صنایع غذایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج به‌ویژه سرکار خانم مهندس شفیع، مهندس عباسی، مهندس معدنی و مهندس بهمدی برای مساعدت در اجرای آزمایش‌ها و به ثمر رساندن این تحقیق تشکر کرده؛ توفیق ایشان را از خداوند منان خواستار هستیم.

مراجع

- Alloway, B. J. 1990. *Heavy Metal in Soils*. John Wiley and Sons Inc. New York Pub.
- Anon. 1992a. *Cadmium-Environmental Aspects*. Geneva. World Health Organization.
- Anon. 1992b. *Guidelines for water reuse*. Technical Report No. 81. Washington. DC. United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development.
- Carlos, A., Constantino, L., Garcia, F. P., Razo, L. M. D., Vazquez, R. R. and Varaldo, H. M. P. 2005. Chemical fractionation of heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *J. Agric. Ecosys. Environ.* 108, 57-71.
- Carr, R. 2005. WHO guidelines for safe wastewater use: More than just numbers. *J. Irrig. Drain.* 54, 103-111.
- Channey, R. L. 1980. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. In: Damron, G.T. (Eds.) *Ann Arbor*. Science Pub.
- Channey, R., Baker, A., Malik, Y. and Brown, J. 2002. Phytoremediation of soil metals. *J. Current Opinion Biotech.* 36, 115-21.
- Cope, W. G., Wiener, G. J. and Atchison, G. J. 1994. Hepatic Cadmium, metal-binding proteins and Bioaccumulation in bluegills exposed to aqueous cadmium. *J. Environ. Toxicol. Chemist.* 13(4): 553-562.
- Doyle, P. J. 1998. Survey of literature and experience on the disposal of sewage on land. <http://www.ecobody.com/reports/sludge/dole>.
- Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarollahi, R., Shahabifar, M. and Tavallaee, M. M. 1999. An Estimate of Water Requirement of Main Field Crops and Orchards in Iran. Vol. 1: Field Crops. Soil and Water Research Institute. (in Farsi)
- Fazeli, M. S. 1998. Enrichment of heavy metal in paddy crops irrigated by paper mill effluents near Nanjangud, Mysore District, Karnataka, Indian Environ. *J. Geol.* 34(4): 297302.
- Jafarzadeh, N. 1997. Assessment the wastewater use effects in Shiraz on heavy metals concentration on soil and plants. Proceeding of 6th Water and Soil Conference. (in Farsi)

- 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. Agric. Ecosys. Environ.* 55, 1-6.
- 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.
- Hattori, H. E., Asari, and C. Mitsuo. 2002. Estimate of cadmium concentration in brown rice. 17th World Conference of Soil Science. Aug. 14-21. Thailand.
- Kabatta, A and Pendias, H. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd Ed. CRC Press. Boca Raton FL.
- Lasat, M. M. 2003. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. *J. Environ Pollutio.* 113, 121-7.
- Lee, J., Reeves, R. D. and Brooks, R. 1998. The relation between nickel and citric acid in some nickel accumulation plants. *Phytochemistry.* 17, 1033-1035.
- Li, Z. and Shuman, L. M. 1999. Extractability of zinc, cadmium and nickel in soils amended with EDTA. *Soil Sci.* 161, 226-241.
- Markert, B. 1996. *Instrumental Element and Multi-element Analysis of Plant Samples*, John Wiley and Sons. Sussex. England.
- Mattigod, S. V., Sposito, G. and Page, A. L. 1981. Factors affecting the solubility's of trace metal in soils. In: Dowdy, R. H. (Ed) *Chemistry in the Soil Environment* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
- Mostashari, M. 2002. Investigation of Quazvin soils and plants pollution with heavy metals during irrigation with wastewater. *Proceeding of 7th Water and Soil Conference.* (in Farsi)
- 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 Environ.* 311, 205-219.
- Okoronkwo, N. E. Igwe, J. C. and Onwuchekwa, E. C. 2005. Risk and health implications of polluted soils for crop production. *African J. Biotech.* 4(13): 1521-1524.
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J. J. and Garate, A. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of lactuca sp. Ca-Mn intraction. *Plant Sci.* 162, 761-767.
- Richard-Sally, L. Buechler, S. 2005. Managing wastewater agriculture to improve livelihoods and environmental quality in poor countries. *J. Irrig. Drain.* 54, 11-22.
- Robinson, B. H. 1997. *The phytoextraction of metals from metalliferous soils.* Ph.D Thesis. Massey University. NZ.
- Rossini, S., Oliva, A. and Fernandez, E. 2007. Monitoring of heavy metals in topsoil, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources. *Microchemical J.* 86, 131-139.

بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در...

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants-review. *J. Environ. Experimen. Botany.* 41, 105-130.

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

Shariat, M. Farshi, S. 1997. Heavy metal accumulation in South Tehran vegetable crops. *J. Soil and Water.* 5, 3-14. (in Farsi)

Tiller, K. G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in Soil Sci.* 9, 113-142.

Torabian, A. and Mahjori, M. 2002. Heavy Metals Uptake by Vegetable Crops Irrigated With Wastewater in South Tehran. *J. Environ. Study.*16(2). (in Farsi)

Yargholi, B. 2007. Investigation of the Firozabad wastewater quality-quantity variation for agricultural use. AERI Final Technical Report. Research Report No. 107-20-79-002. Tehran. Iran. **In Press.** (in Farsi)



Investigation of Cadmium Uptake in Root Region and Accumulation in Different Parts of Common Summer Crops in Iran

B. Yargholi*, F. Abbasi and A. Liaghat

* Corresponding Author: Assistant Professor. Agricultural Engineering Research Institute, P. O. Box: 31585-845, Tehran, Iran.
E-mail: yar_bahman@yahoo.com

The main source of heavy metals in soil is the use of urban and industrial waste water, synthetic phosphate fertilizers, sludge from sewage treatment plants. Most heavy metals accumulate in the top soil and in the long term, their increased concentration in the soil and accumulation in the plants. The quantity or level of absorption in plants, depends not only on the concentration levels of the metals in the physical and chemical composition of the soil, but also varies in different parts of the plant type. Several studies have been conducted on the use of waste water and sewage, carrying heavy metals, for agriculture; however information regarding amount of absorption and accumulation of heavy metals in various parts of different crops and plant types, is limited. This study has been conducted with the objective of analyzing the impact of various levels of cadmium concentration in soil on the quantity of its absorption and accumulation in various parts of five different types of cucurbits, commonly used in Iran. The experiments were carried out in a factorial experiment in completely randomized design, with three repetitions. The factors includes Cd concentration in 4 levels (control treatment, without adding Cd, soil with 50 mg kg⁻¹ Cd, soil with 50 mg kg⁻¹ Cd, soil with 50 mg kg⁻¹ Cd and irrigation water with 0.5 molar EDTA). And plants species (five summer crops) at the end of agriculture season, samples from different organs of species have been collected to measure the magnitude of Cadmium accumulated in them. With SPSS software, variance analysis of the collected data was performed, and comparison of means was performed by Duncan multiple range test ($P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$). The obtained results indicate a direct relation between Cd accumulation and Cd concentration in root region. Adding 0.5 molar EDTA to irrigation water causes more than 50 percent increase in Cd accumulation in treatment of 50 ppm Cd. Also the results show (except in control treatment) that Cd concentration is in excess of limit for human consumption.

Key Words: Absorption, Cadmium, EDTA, Polluted Soil, Summer Crops