تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۱/ شماره ۷۳/پاییز و زمستان ۱۴۰۱/ص ۱۶۹-۱۸۳

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

بررسی جذب و توزیع کادمیم در بخش‌های مختلف سبزی‌های رایج در کشور

بهمن یارقلی[1]*، اکرم حسین نژادمیر[2]

۱*- استادیار بخش تحقیقات مهندسی آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۲- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ ارسال : ۱۴۰۰/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

چکیده

هدف این پژوهش بررسی تاثیر سطوح مختلف غلظت کادمیم محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام‌های مختلف هفت نوع سبزی رایج در کشور است که به صورت یک طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۸۹ به اجرا درآمد. تیمارها شامل غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک است. خاک مورد استفاده بعد الک کردن با مش دو میلی‌متر و افزودن نیترات کادمیم و مخلوط کردن کامل تهیه شد برای کاشت از گلدان پلاستیکی استفاده شد. در پایان فصل زراعی از بخش‌های مختلف گونه‌ها برای سنجش مقدار تجمع کادمیم نمونه‌برداری و آزمایش شد، نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، به جز تیمار شاهد در سایر تیمارها میزان تجمع کادمیم در بخش‌های گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و FAO/WHO (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای مصارف انسانی است. میزان تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف سبزی‌های به ترتیب شامل ساقه: کاهو، نعنا، گشنیز، شاهی، پیاز، جعفری و تره‌فرنگی؛ برگ: کاهو، شاهی، پیاز، گشنیز، جعفری، نعنا و تره‌فرنگی؛ ریشه: شاهی، کاهو، نعنا، گشنیز، جعفری، پیاز و تره‌فرنگی است. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که بیشترین مقدار تجمع کادمیم در بین اندام سبزی‌های مورد مطالعه مربوط به ساقهٔ کاهو (۶/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین میزان آن، مربوط به ریشهٔ تره‌فرنگی (۰/۷۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشتر از حد استاندارد است. به طور کلی در تیمارهای حاوی نیترات کادمیم تمام گونه‌ها دچار سمیت شدند و در تیمار شاهد سمیت و آسیبی در گیاهان مشاهده نشد. بالا بودن میزان تجمع فلز کادمیم در برگ کاهو، شاهی و پیاز دارای اهمیت است و بیانگر استعداد این محصولات در تجمع کادمیم بیشتر در برگ خود است. از این رو این سبزی‌ها شرایط مصرف توسط شهروندان را ندارند و باید نسبت به مدیریت شرایط کشت آنها تدبیرهای لازم اتخاذ شود.

واژه‌های کلیدی: پیاز ، نیترات کادمیم، خاک آلوده، کاهو ، شاهی.

http://doi: 10.22092/FOODER.2023.356738.1320

نگارنده مسئول: Email : yar_bahman@yahoo.com

© 2022, The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مقدمه

امروزه آلودگی رو به افزایش فاضلاب‌های شهری و یون‌های سمی، مسئلهٔ نگران کنندهٔ زیست‌محیطی است. فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست به‌شمار می‌روند که عمدتا از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بشر منشأ می‌گیرند. سبزی‌ها از اجزای مهم رژیم غذایی سالم و مناسب هستند و شواهد به‌دست آمده از مطالعات مختلف طی سال‌های گذشته موید این مطلب است که مصرف سبزی سالم و بهداشتی می‌تواند مانع از بروز بیماری‌های قلبی و برخی از انواع سرطان‌ها و به‌خصوص سرطان‌های دستگاه گوارش شود. ورود فلزات سنگین به زنجیرهٔ غذایی و رسیدن غلطت آنها به غلظت‌های بحرانی، اثرهای زیانبار متابولیکی و فیزیولوژیکی در موجودات زنده به‌جای می‌گذارد (Nazemi *et al*., 2010). تنش ناشی از تجمع فلزات سنگین از تنش‌های محیطی به‌شمار می‌رود که در دنیا به شکلی وسیع گسترده است و اثرهای نامطلوبی در گیاهان تحت تنش دارد این فلزات چون تخریب نمی‌شوند و تمایل زیادی به انباشت شدن در اندام‌های زیستی دارند چه با مصرف دام‌ها و از طریق ورود به زنجیره غذایی و چه با مصرف مستقیم توسط انسان اثرهای مخرب خود را اعمال می‌کنند و از این نظر اثرهای زیانبار زیست‌محیطی به‌جا می‌گذارند. گیاهان حتی اگر بتوانند در شرایط تنشی ناشی از فلزات سنگین زنده هم بمانند از جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی، رشدی و نموی تحت تأثیر قرار می‌گیرند و بازده تولید و کیفیت آنها به‌شدت کاهش می‌یابد این گیاهان سرانجام مواد تجمع یافتهٔ خود را در زنجیرهٔ غذایی ما وارد می‌کنند (Ahmad & Prasad, 2012). در سراسر جهان دربارهٔ آلودگی گیاهان و خاک به فلزات سنگین از طریق آبیاری با فاضلاب شهری و صنعتی مطالعات فراوانی شده است. ناظمی و خسروی (Nazemi & Khosravi, 2011)، میزان جذب فلزات سنگین در خاک، آب و سبزی‌کاری را در منطقهٔ شهنما شاهرود بر اثر فاضلاب بررسی کردند و دریافتند غلظت برخی فلزات سنگین در خاک و گیاهان از حد مجاز بیشتـر است.

وبیشت گزاهگن و همکاران (Wubishet Gezahegn *et al*., 2017)، روی تجمع فلزات سنگین در سبزی‌های برگ‌دار در اتیوپی تحقیق کردند. و نشان دادند تجمع بیشتر فلزات سنگین در سبزی‌های مورد مطالعه بالاتر از حداکثر سطوح قابل تحمل توصیه شده توسط کارشناس مشترک فائو و بهداشت جهانی است. در کشور ما نیز مشابه دیگر کشورهای خشک، برای جبران کمبود آب ناگزیر از مصرف حجم قابـل تـوجهی از پـساب‌های شهری و صنعتی (حاوی فلزات سنگین) در کشاورزی هستیم. کیفیت آب آبیاری در دسترس تأثیر قابل توجهی روی نوع گیاهان قابل رشد، تولید گیاهان و دیگر شرایط فیزیکی خاک دارد. اولین گام در درک چگونگی تاثیر منبع آب آبیاری روی سیستم خاک-گیاه، تجزیه و تحلیل در آزمایشگاه است. آبیاری با پساب به میزان قابل توجهی سبب افزایش فلزات سنگین در خاک می‌شود (Alghobar & Suresha, 2017). قبادی و جهانگرد (Ghobadi & Jahangard, 2016)، به بررسی غلظت کادمیم، روی و منگنز در ریشه، ساقه و برگ اسفناج و گوجه فرنگی مصرفی شهر همدان پرداختند. مقایسهٔ نتایج حاصل با مقادیر استاندارد نشان دهندهٔ آلوده بودن سبزی‌های مصرفی اسفناج و گوجه فرنگی مورد مطالعه بود، به طوری که غلظت فلز کادمیم در تمامی نمونه‌ها برای سلامتی مصرف‌کنندگان مخاطره‌آمیز ارزیابی شد. 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 سرب، کادمیم، نیکل، آرسینیک، کروم و قلع هستند. تاثیـر فاضلاب خام و تصفیه شده بـر ویژگی‌هـای خـاک و مقدار فلزات سنگین، به خصوص برای سرب و

کادمیم افزایش یافته است. غلظت فلزات سنگین در خاک تحرک و جذب سطحی آنها وابسته به مقدار فلز فاضلاب تصفیه شده، حرکات کربن آلی، درصد بخش رس و زمان آبیاری است. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می‌تواند مقدار فلزات سنگین خاک را افزایش دهد (Klay *et al*., 2010). غلظت کادمیم در غذاهای مختلف متفاوت است، اما غذاهای مشتق شده از گیاه مانند غلات و سبزی‌های معمولا بزرگترین منابع برای دریافت کادمیم هستند (FAO/WHO., 2015: Yang *et al*., 2017). فلزات سنگین به راحتی در اندام‌های حیاتی بدن انباشته می‌شوند و حیات انسان را تهدید می‌کنند. مصرف بیش از حد منابع غذایی آلوده به فلزات سنگین می‌تواند منجر به ابتلا به بیماریهای مختلف از جمله سرطان و آسیب به سیستم عصبی شود (Pan *et al*., 2013). نتایج تحقیقات محمود و مالیک (Mahmood and malik., 2014) نشان داد که آبیاری مداوم و درازمدت با فاضلاب یا پساب شهری باعث تجمع بیش از حد مجاز فلزات سنگین در خاک و در نتیجه در گیاهان و سبزی‌ها می‌گردد در اکثر گیاهان تجمع فلزات سنگین در برگ و ساقه بیشتر است تا در ریشه و غده.

اولیمی ادفیمی و همکاران (Oluyemi Adefemi *et al*., 2019)، اثر تعیین فلزات سنگین را در پنج سبزی مختلف جمع‌آوری شده از دو بازار مختلف در آدو-اکیتی، نیجریه بررسی کردند. و گزارش دادند که کادمیم و سرب در همه نمونه‌ها شناسایی نشد. سطوح فلزات کشف‌شده با استانداردهای بین‌المللی تعیین‌شده توسط FAO/WHO مقایسه و مشاهده شد که نتایج به‌دست‌آمده در محدودهٔ مجاز FAO/WHO است، این موضوع نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های سبزی‌های مورد تجزیه و تحلیل برای مصرف کردن مناسب هستند. شاملو و همکاران (Shamlo *et al*., 2021)، با بررسی تجمع غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیم در نعنا و اسفناج تحت تیمار دفعی لجن فاضلاب نشان دادند که جذب کادمیم در تیمارهای لجن بیشتر از میزان استاندارد است. علت آن می‌تواند شباهت عنصر کادمیم به کلسیم و قابل جذب بودن بیشتر برای گیاه باشد. ورما و همکاران (Verma *et al*., 2022)، انباشت فلز و ارزیابی خطر سلامتی را در فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری در اطراف کانال آگرا در فریدآباد، هند بررسی کردند و نشان دادند تجمع زیستی فلز بین سبزی‌های برگی و غیر برگی و همچنین در بین چهار سایت بسیار متفاوت است. تجزیه و تحلیل مصرف روزانهٔ فلزات و شاخص خطر سلامت نشان داد که کودکانی که سبزی‌های آلوده مصرف می‌کنند، نسبت به بزرگسالان در معرض خطر بیشتری هستند. با توجه به روند رو به رشد جمعیت و صنعت کشور، پیش‌بینی می‌شود که آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و ورود آن به زنجیره غذایی رو به افزایش باشد. به‌رغم تحقیقات مختلف در زمینهٔ اثر فاضلاب‌های شهری و صنعتی، اطلاع دقیقی از تجمع فلزات مذکور در بخش‌های مختلف گونه‌های زراعی در دست نیست و برای حفظ سلامت جامعه، تحقیقات در این باره ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف غلظت کادمیم محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع در اندام سبزی‌ها، به‌صورت یک طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۲۱ تیمار و سه تکرار و در مجموع ۶۳ نمونه در محل موسسه تحقیقاتی فنی و مهندسی کشاورزی کرج در سال ۱۳۸۹ به اجرا درآمد. تیمارها با افزودن نیترات کادمیم به خاک به میزان ۱۱ کیلوگرم (خاک از جاهای مختلف زمین به وسعت یک هکتار برداشت شد) و تهیه مخلوط یکنواخت در سه سطح غلظت

کادمیم شامل: خاک شاهد (بدون افزودن کادمیم)، خاک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیترات کادمیم حاصل شد. سبزی‌های مورد بررسی شامل پیاز، ترەفرنگی، جعفری، شاهی، گشنیز، کاهو و نعنا بودند. تحقیق حاضر بر این فرض استوار است که میزان جذب و تجمع کادمیم در گونه‌های مختلف و در اندام آنها مختلف است و موارد تحقیق شامل تعداد گونه (۷ نوع سبزی)، غلظت کادمیم خاک مورد استفاده (در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیترات کادمیم) تعداد تکرار (سه تکرار) و همچنین محدودیت در امکانات آزمایشگاهی و خطرهای ناشی از کار با فلز سنگین کادمیم است. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از مراحل آماده‌سازی گلدان‌ها و پس از برداشت محصول، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از زمین‌های مزرعهٔ چهارصد هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال واقع در کرج بعد از دو بار الک کردن با مش دو میلی‌متر انتخاب شد. میزان عناصر شیمیایی، فلز سنگین کادمیم، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است.

جدول ۱- میزان عناصر شیمیایی و فلز سنگین کادمیم در خاک نمونه‌های آزمایشی

Table 1- The amount of chemical elements and heavy metal cadmium in the studied soil

کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cadmium(mg.kg-1)	سدیم (میلی اکی والان در لیتر) Sodium (meq.lit-1)	کلر (میلی‌اکی والان در لیتر) Chlorine (meq.lit-1)	بی‌کربنات (میلی اکی والان در لیتر) Bicarbonate (meq.lit-1)	سولفات (میلی اکی والان در لیتر) Sulfate (meq.lit-1)	کلسیم (میلی اکی والان در لیتر) Calcium (meq.lit-1)
0.03	2.7	3.3	3.2	3.8	4.1

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌های آزمایشی

Table 2 - Physical and chemical characteristics of the studied soil

ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی والان در ۱۰ گرم) Cation exchange capacity (meq.10g-1)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	رس (درصد) Clay (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	اسیدیته pH -
11	1.25	23	42	35	7.4

به منظور جلوگیری از آلودگی محیط به کادمیم، برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۴۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. در این تحقیق مقدار آب مورد نیاز سبزی‌های مورد مطالعه با استفاده از روش پنمن مانتیث[۲] برآورد شد. میزان آب محاسبه شده با توجه به فصل و مراحل رشد سبزی‌ها، به فواصل یک تا دو روز به محصولات داده شد. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز معادله پنمن مانتیث به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی مشگین شهر کرج (نزدیک‌ترین ایستگاه به محل تحقیق) جمع‌آوری گردید. در تعیین آب مورد نیاز، مطابق کتاب برآورد نیاز آبی محصولات زراعی و از ضریب گیاهی (Kc) برای مراحل مختلف رشد سبزی‌های مورد مطالعه استفاده گردید

[1]-Penman-Mantith Method

(Farshi *et al.*, 2006). در هیچ یک از مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت از سم، کود و علف‌کش استفاده نشد. در پایان فصل زراعی از بخش‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) سبزی‌های مورد مطالعه، برای سنجش مقدار تجمع کادمیم، نمونه‌برداری شد. 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 به مدت سه روز خشک شدند. نمونه‌های خشک شدهٔ هر تکرار بعد از اختلاط کامل، آسیاب و پودر شدند. پنج گرم از پودر حاصل با افزایش تدریجی دما از ۲۵ تا ۴۵۰ درجه سلسیوس طی ۱/۵ ساعت و نگهداری در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت، سوزانده و خاکستر شد. خاکستر حاصل 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 اسپکتوفتومتر جذب اتمی با کوره گرافیت مدل کوپرتینو ساخت شرکت پرکین المر[۲] اندازه‌گیری شد (Markert, 1996).

آنالیز آماری

ابتدا تجزیهٔ واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری برای صفات مورد بررسی، صورت گرفت و پس از آن میانگین‌های صفات در سطوح فاکتورهای آزمایشی از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد و پنج درصد مقایسه شدند. برای محاسبات آماری و رسم نمودارها از نرم افراهای SPSS 20 و EXCEL 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول آنالیز تجزیهٔ واریانس تجمع فلز کادمیم در بخش‌های مختلف مورد مطالعه، نشان داد که در هر یک از سه اندام ساقه، برگ و ریشه اثر گونه، تیمار و اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار تجمع کادمیم در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

جدول۳- آنالیز تجزیهٔ واریانس صفات مورد بررسی در گونه‌های مورد مطالعه

Table 3- Analysis of variance studied traits in the studied species

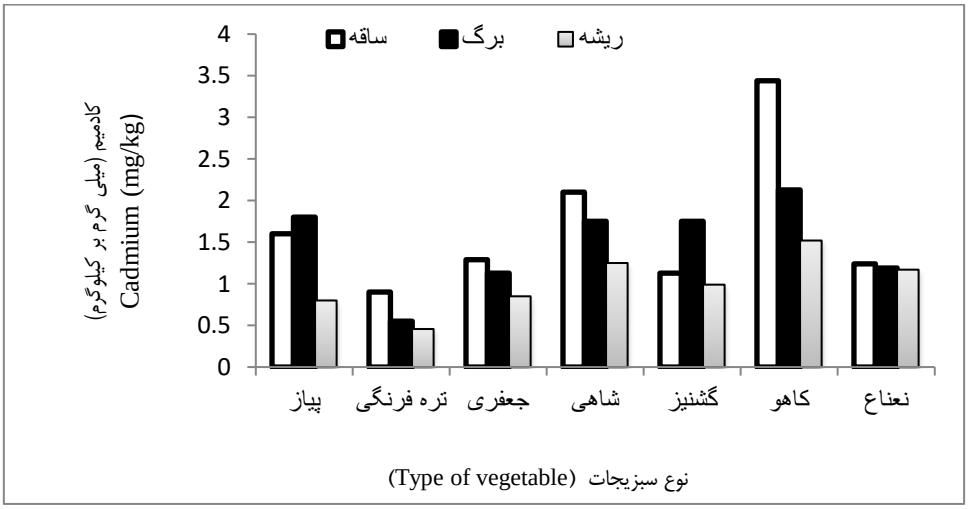
اعمال تغییرات Apply changes	df	میانگین مربعات (MS) ساقه Stem	 برگ Leaf	 ریشه Root
گونه Species	6	12.581*	3213*	1.631*
تیمار Treatment	2	32.312*	21.241*	15.131*
تیمار*گونه Treatment*Species	12	2.12*	0.436*	0.375*
خطا Error	24	0.082	0.032	0.011
ضریب تغییرات CV		11.26	9.26	6.44

*: معنی‌داری در سطح یک درصد

* Significant at P=0.01

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

نتایج تاثیر گونه بر میانگین تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف بر اساس آزمون دانکن در شکل (۱) نشان می‌دهد که در ریشه به جز جعفری و پیاز، سایر گونه‌ها از لحاظ مقدار تجمع کادمیم در گروه‌های آماری مختلف قرار گرفته‌اند. بالاترین مقدار تجمع کادمیم در بخش ریشه معادل ۱/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به کاهو و کمترین آن معادل ۰/۴۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تره‌فرنگی است. در برگ نیز کاهو و تره‌فرنگی به ترتیب با ۲/۱۳ و ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و کمترین میزان کادمیم را دارا بودند. نتایج بررسی‌ها روی ساقه نشان داد که ساقهٔ کاهو با ۳/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده اول و سایر گونه‌ها به ترتیب شاهی، گشنیز و پیاز در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که بیشترین مقدار تجمع کادمیم در بین اندام‌های گونه‌های مورد مطالعه مربوط به ساقه کاهو و کمترین میزان آن، مربوط به ریشهٔ تره‌فرنگی است.



شکل۱- مقایسهٔ میانگین تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف سبزی‌ها

Figure 1- Comparison of the average accumulation of cadmium in different organs of vegetables

بررسی تاثیر تیمارها (سطوح مختلف غلظت کادمیم) بر میزان تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف در جدول (۴) نشان می‌دهد که در هر سه بخش گونه‌های مورد مطالعه، میزان تجمع فلز کادمیم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به سایر تیمارها در سطح یک درصد دارای افزایش معنی‌داری است. در این تیمار میزان تجمع کادمیم در ساقه، برگ و ریشه به ترتیب معادل ۳/۳۶۰، ۲/۶۰ و ۱/۷۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک محصول است و پس از آن تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شاهد قرار دارند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در تمام گونه‌ها میزان تجمع در ریشه حداقل و در ساقه حداکثر است. نتایج آماری حاصل از جدول (۴) نشان می‌دهد که میانگین غلظت کادمیم در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم در ساقه، برگ و ریشه تمام گونه‌ها بیشتر از حد استاندارد کداکس و FAO/WHO است (۲۰۰۷) غلظت کادمیم در تیمار شاهد در تمام اندام‌های گونه‌های مورد آزمایش کمتر از حد استاندارد تشخیص داده شد. میانگین غلظت کادمیم سبزی‌های برگی مانند تره‌فرنگی، جعفری، شاهی، گشنیز، کاهو و نعنا در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم بیشتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران است (۲۰۱۱) در حالی که در سبزی‌های غده‌ای، مثل پیاز، علاوه بر تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم حتی در تیمار

شاهد میزان کادمیوم در ساقه بیشتر از حد مجاز بود. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در ساقه، برگ و ریشه تمام گونه‌ها بیشتر از حد استاندارد اتحادیه اروپا است (EC Standard., 2017). اردکانی و جعفری (Ardakani and Jafari., 2014) با بررسی غلظت فلزات سرب، کادمیم، کروم و نیکل در انواع کلم عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان گزارش دادند که مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات با رهنمود FAO/WHO نیز بیانگر آن است که میانگین غلظت کادمیم در تمام نمونه‌های کلم بیش از حد استاندارد است.

جدول٤- مقایسهٔ میانگین تجمع کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندام‌های مختلف در تیمارهای مورد بررسی

Table 4 - Comparison of mean cadmium accumulation (mg/kg) of different organs in the studied treatments

ریشه Root	برگ Leaf	ساقه Steam	تیمار Treatment
0.043d	0.050d	0.058d	شاهد (Control)
1.183c	1.440c	1.907c	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیم (50mg/kg Cadmium Soil)
1.783a	2.604a	3.360a	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیم (100mg/kg Cadmium Soil)
0.2	0.2	0.2	WHO/FAO (mg/kg)
0.1	0.1	0.1	استاندارد ملی ایران (میلی گرم بر کیلوگرم) (INSTITUTE OF STANDARD&INDUSTRIAL REASERCH (OF IRAN (mg/kg)) سبزیهای برگی (Leaf Vegetables)
0.05	0.05	0.05	استاندارد ملی ایران (میلی گرم بر کیلوگرم) (INSTITUTE OF Standard &INDUSTRIAL REASERCH OF IRAN (mg/kg)) سبزیهای غده ای (Tuber Vegetables)
0.05	0.05	0.05	استاندارد اتحادیه اروپا (Standard European Commission)

اعداد دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال یک درصد فاقد تفاوت معنی‌داری هستند.

.Means followed by the same letters are not significantly different at the 1% level of probability using

بررسی اثر متقابل تیمارهای آزمایشی و گونه‌های مورد بررسی جدول (۵) و شکل (۲) نشان داد که در سطح یک درصد در تمام گونه‌ها مقدار تجمع کادمیم برگ و ساقه در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم نسبت به سایر تیمارها دارای افـزایش معنـی‌دار است و در رده‌هـای بعدی گروه‌بندی به ترتیب تیمارهای ۵۰ میلی‌گرم برکیلوگرم کادمیم و شاهد قرار گرفته‌اند. در ساقهٔ کاهو میزان تجمع کادمیم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم بیشتر از تیمارهای دیگر است، که نشان دهنده اثرهای زیادتر نیترات کادمیم بر میزان تجمع کادمیم در این بخش از گیاه می‌باشد. بررسی نتایج اثرات متقابل گونه و تیمار، مطابق جدول (۵) نشان می‌دهد که رابطهٔ بین تیمارها (غلظت کادمیم خاک) و میزان تجمع آن در گونه‌های مختلف متفاوت است و روند تغییرات میزان تجمع کادمیم در گونه‌های مورد بررسی متناسب با افزایش غلظت کادمیم است. بعضی گونه‌ها تغییرات زیاد و گروه دیگر از تغییر کمی دارند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد میزان تجمع کادمیم در ساقهٔ کاهو (۶/۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از دیگر گونه‌ها است و در مراتب بعدی نعنا، گشنیز، شاهی، پیاز، جعفری و تره‌فرنگی (۱/۵۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار دارند. بررسی نتایج مربوط به برگ نشان می‌دهد که میزان

تجمع کادمیم به ترتیب کاهو (۳/۸۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، شاهی، پیاز، گشنیز، جعفری، نعنا و تره‌فرنگی (۱/۱۸۰میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. بررسی نتایج مربوط به ریشه نشان می‌دهد که میزان تجمع در ریشهٔ شاهی (۲/۶۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کاهو و نعنا بیشتر از گونه‌های دیگر است و در مراتب بعدی گشنیز، جعفری، پیاز و تره‌فرنگی (۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار دارند. به طور کلی میزان تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه به ترتیب زیر است:

ساقه: کاهو، نعنا، گشنیز، شاهی، پیاز، جعفری و تره‌فرنگی؛
برگ: کاهو، شاهی، پیاز، گشنیز، جعفری، نعنا و تره‌فرنگی؛
ریشه: شاهی، کاهو، نعنا، گشنیز، جعفری، پیاز و تره‌فرنگی؛
بالا بودن میزان تجمع فلز کادمیم در برگ کاهو، شاهی و پیاز دارای اهمیت است و بیانگر استعداد این محصولات در تجمع کادمیم بیشتر در برگ است. این موضوع با توجه به مصرف برگ کاهو، شاهی و پیاز به صورت تازه‌خوری توسط بخشی از جامعه حائز اهمیت است، تغییر عادت غذایی، می‌تواند در میزان انتقال کادمیوم به افراد موثر باشد.

جدول ۵. مقایسهٔ اثرهای متقابل گونه و تیمار بر مقدار تجمع کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table. 5. Comparison of species reciprocating effects and treatment on cadmium accumulation (mg/kg)

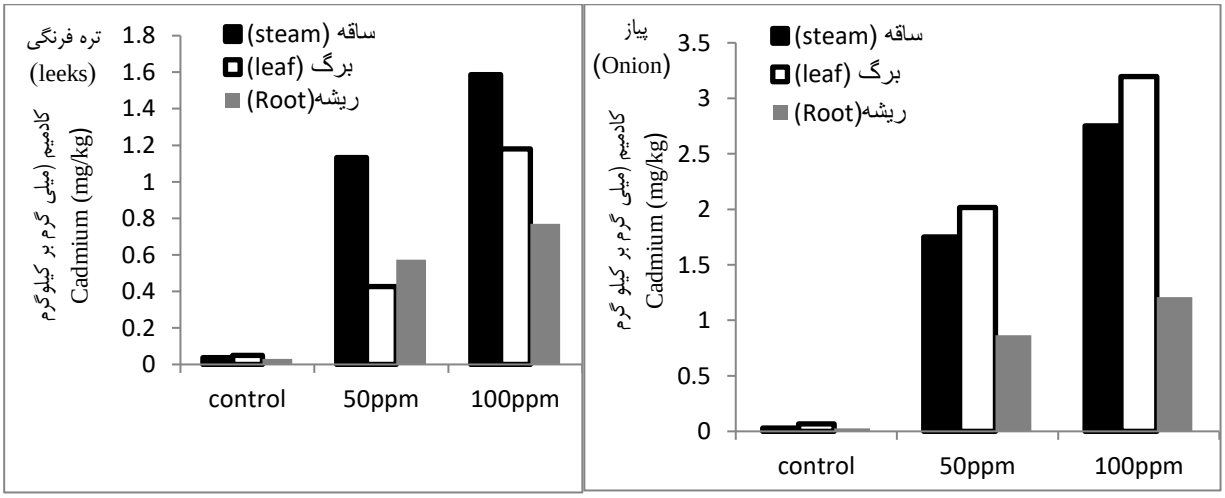
گونه Species	تیمار Treatment	ساقه Steam	برگ Leaf	ریشه Root
	شاهد (Control)	0.030u	0.066tu	0.026y
پیاز(onion)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium)	1.750m	2.017th	0.886o
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	2.753h	3.197d	1.210k
	شاهد (Control)	0.037u	0.050tuw	0.030y
تره‌فرنگی(leeks)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium)	1.133r	0.427s	0.573q
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (100mg/kg Cadmium)	1.587n	1.180p	0.770p
	شاهد(Control)	0.080s	0.041uw	0.028y
جعفری(parsley)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50 mg/kg Cadmium)	1.273q	1.120q	1.113m
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	2.274h	2.113h	1.333g
	شاهد(Control)	0.06stu	0.051tuv	0.041y
شاهی(cress)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium	2.160j	1.500m	1.370i
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	2.807g	3.400b	2.640a
	شاهد(Control)	0.060stu	0.041uw	0.03y
گشنیز(coriander)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium)	2.160j	1.213o	1.203k
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	2.807g	2.130h	1.703g
	شاهد(Control)	0.080st	0.070t	0.049y
کاهو (Lettuce)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium	3.440c	2.455e	1.893e
	۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	6.800a	3.870a	2.630a
	شاهد(Control)	0.050tu	0.031w	0.034y
نعنا(spearmint)	۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (50mg/kg Cadmium)	1.405p	1.350n	1.240j
	۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم 100mg/kg (Cadmium)	2.973f	2.337g	2.193d

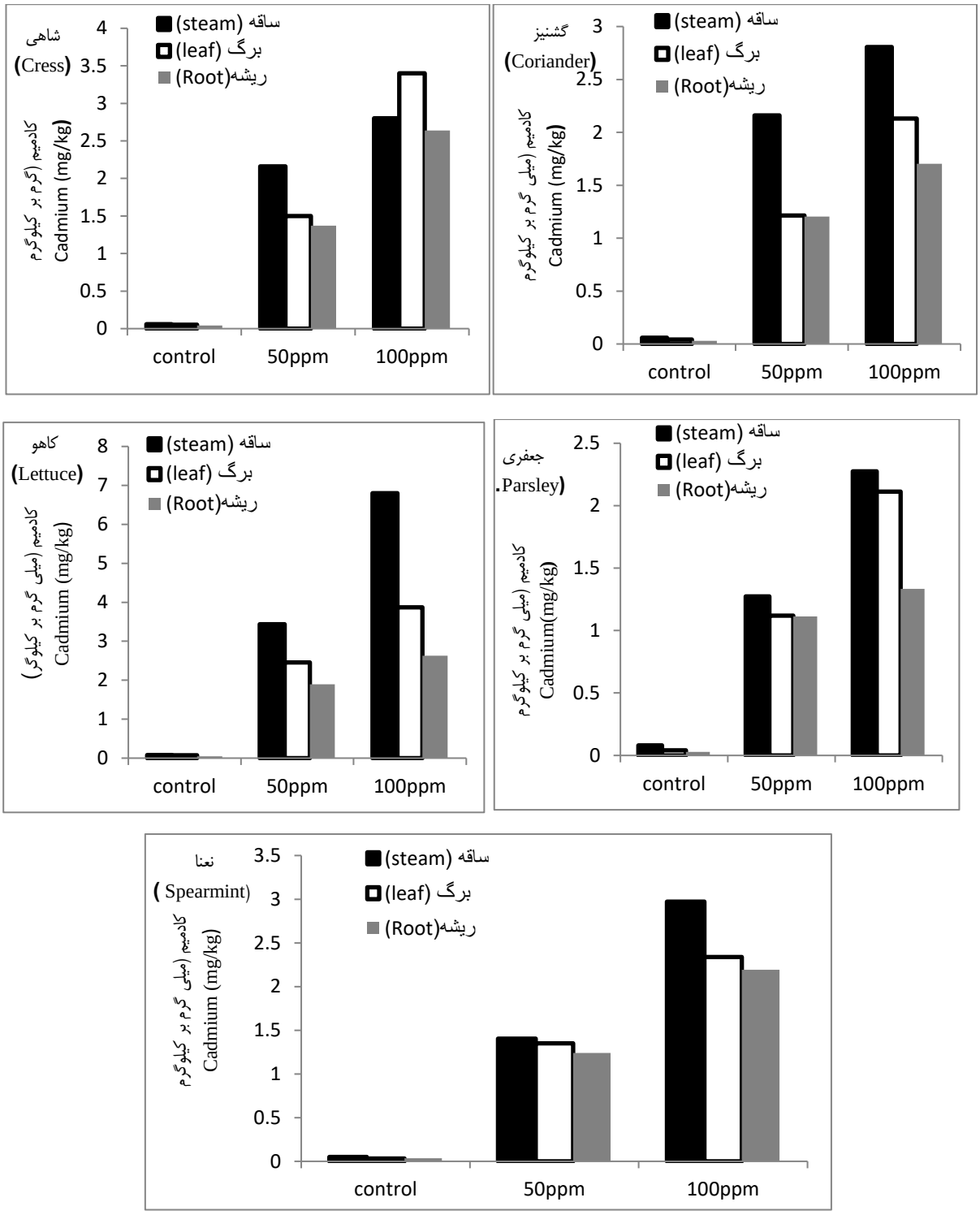
در داده‌های مندرج در جدول (۵)، میانگین غلظت فلز کادمیم در انواع سبزی‌ها نشان داده شده است. جذب و تجمع فلز کادمیم در بخش خوراکی کاهو، شاهی و پیاز (برگ) بیشتر از دیگر گونه‌های مورد مطالعه و بیشتر از دیگر اندام‌های کاهو، شاهی و پیاز است. این موضوع از دید سلامتی دارای اهمیت است و نیاز به برنامه‌ریزی اصولی در تامین آب با کیفیت مناسب یا کاشت این محصولات در زمین‌های با غلظت کم فلزات سنگین دارد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در بخش خوراکی تره فرنگی میزان تجمع فلز کادمیم کمتر است تا دیگر گونه‌ها. در این زمینه نتایج تحقیق قبادی و جهانگرد (Ghobadi & Jahangard, 2016)، نشان می‌دهند که بعضی گیاهان مانند اسفناج به دلیل تجمع کم کادمیم در ساقه و ریشه توان رشد بالایی در خاک و آب آلوده به کادمیم دارند. بر اساس این تحقیق جذب و تجمع کادمیم در گونه‌های مختلف به ترتیب اسفناج و گوجه فرنگی است. تحقیقات تنابنده و طاهری (Tanabandeh & Taheri, 2016)، نشان می‌دهد میزان تجمع کادمیم در سبزی‌های کشت شده در مزارع استان زنجان که با فاضلاب آبیاری شدند، به ترتیب تره‌فرنگی، برگ چغندر، جعفری، هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی، خیار، سیب زمینی، پیاز، سیر، تربچه، نخودفرنگی و باقلا است.

بررسی نتایج به‌دست آمده مطابق جدول (۵) نشان می‌دهد که در گونه‌های مورد بررسی میزان تجمع کادمیم در ساقه بیشتر است تا در برگ و ریشه. این نتیجه همسو با نتایج اغلب تحقیقاتی است که کادمیم را فلزی با تحرک بالا و با قابلیت جذب راحت در گیاه معرفی کرده‌اند. خرمدر و مهدوی (Khorramdar & Mahdavi, 2016)، با بررسی جذب و تجمع کادمیم در نهال‌های سه ماهه آکاسیا ویکتوریا نشان دادند که در ریشه، ساقه و برگ‌های این گونه به ترتیب بیش از ۷۲ درصد، کمتر از ۱۷ درصد و کمتر از ۱۱ درصد کادمیم، در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تجمع یافته است. نیک قدم و همکاران (Nick Gadam *et al.*, 2020)، به اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت روی، مس، کادمیم و سرب در گیاه تربچه و ریحان و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک پرداختند و نشان دادند که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب تأثیر زیادی بر غلظت این چهار عنصر در دو گیاه تربچه و ریحان دارد. با افزایش لجن فاضلاب غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی دو گیاه نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش غلظت عناصر در دو گیاه روند مشابهی داشت. این افزایش به‌ترتیب روی> مس> سرب> کادمیم در ریشه و اندام هوایی بود. غلظت فلزات در گیاه تربچه نسبت به گیاه ریحان، بیشتر بود. که در این تحقیق اعلام شده که کادمیم به راحتی از طریق پوست ریشه جذب و از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌شود و به اندام‌های فوقانی گیاه انتقال می‌یابد. در این مطالعات میزان انتقال به دانه و تخمه محصولات در مقایسه با بخش‌های دیگر محصولات ضعیف عنوان شده است. در واقع چگونگی توزیع و مقدار انباشتگی فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه متفاوت است. دلیل این موضوع آن است که توزیع آن‌ها در قسمت‌های یک گیاه یکسان نیست، معمولا تجمع این عناصر در دانه و میوه کمتر است تا در برگ و ریشه گیاه (Lutfy *et al.*, 2006). بالا بودن غلظت فلزات در قسمت‌های مختلف نمونه‌های گیاه مورد بررسی می‌تواند نشانگر ورود آلاینده‌ها از طریق مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و آلی، فضولات و پسماندهای کشاورزی و مصرف آب‌های آلوده به منطور آبیاری به خاک زراعی باشد. آب‌های آلوده به فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کمتر از حد مجاز می‌تواند در طولانی مدت باعث انباشت فلزات در خاک شوند، در نتیجه توسط گیاهان جذب و وارد زنجیره غذایی شوند. دمیرزن و اکسوی (Demirezen & Aksoy, 2006)، در مطالعه‌ای روی مقادیر فلزات سنگین در سبزی‌ها در منطقه کایسری ترکیه انجام دادند به این نتیجه دست

یافتند که متوسط غلظت کادمیم از حدود مجاز بالاتر است. بالا بودن غلظت فلزات سنگین در برخی از گونه‌های سبزی‌ها در این مطالعه می‌تواند به بالا بودن غظت عناصر در خاک مربوط به آن‌ها ارتباط داشته باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که به جز تیمار شاهد در سایر تیمارها میزان تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف سبزی‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است. یکی از مهمترین معضل‌های زیست محیطی که بیش از همه نمایانگر است وجود فلزات سنگین در زنجیرهٔ غذایی انسان‌هاست. وجود این فلزات نه تنها کیفیت محصول را کاهش می‌دهد، بلکه امنیت و بهداشت مواد غذایی انسان‌هایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که در رژیم غذایی خود از آن مصرف می‌کنند. آنچه مسلم است برخی گیاهان به آسانی کادمیم را از طریق ریشه جذب و آن را در غلظت‌های بالاتری نسبت به سایر گیاهان ذخیره می‌کنند. غلظت‌های نسبتاً زیاد کادمیم می‌تواند در بخش‌های خوراکی گیاه تجمع یابد، بی‌آنکه نشانه بیماری و تاثیر مشخصی در گیاه نمایان شود (Huang *et al*., 2014).

مقایسهٔ اثر متقابل گونه و تیمار بر میزان تجمع کادمیم در محصولات مورد مطالعه نشان داد که به‌جز در تیمار شاهد، به دلیل غلظت کم کادمیم در محیط ریشه، میزان تجمع کادمیم در اکثر اندام‌های گونه‌های مورد مطالعه در حد کم و ناچیز است. در سایر تیمارها روند افزایش میزان کادمیم تجمع یافته در گونه‌های مختلف متناسب با روند افزایش غلظت آن در تیمارها افزایش یافت. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول (۵) و شکل (۲) مشاهده شد که روند افزایش کادمیم تجمع یافته در گونه‌های مختلف تقریبا از الگوی مشابهی تبعیت می‌کند. میزان کادمیم تجمع یافته در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه متفاوت است، به‌طوری که در گونه‌های پیاز، تره‌فرنگی، جعفری، گشنیز، نعنا و شاهی دامنهٔ نوسان کمی دارد و به هم نزدیک است در صورتی که در ساقهٔ کاهو دامنهٔ گسترده‌تری دارد.





شکل۲- میانگین تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف سبزی‌ها

Figure 2. Average accumulation of cadmium in different parts of vegetables

نتیجه‌گیری

روند صعودی جذب کادمیم در مقابل افزایش غلظت کادمیم تیمارها در تمامی گیاهان مورد بررسی بیانگر این واقعیت است که میزان جذب کادمیم توسط این گیاهان مستقیما به غلظت آن در محیط ریشه وابسته است و با افزایش غلظت کادمیم قابل جذب در محیط ریشه، مقدار جذب آن توسط این گیاهان افزایش می‌یابد. در شرایط آب و خاک آلوده به کادمیم برای کشت سبزی‌ها، تجمع کادمیم در اندام اصلی آنها به ترتیب بدین صورت است: ساقه: کاهو، نعنا، گشنیز، شاهی، پیاز، جعفری و تره‌فرنگی؛ برگ: کاهو، شاهی، پیاز، گشنیز، جعفری، نعنا و تره‌فرنگی؛ ریشه: شاهی، کاهو، نعنا، گشنیز، جعفری، پیاز و تره‌فرنگی؛ نتایج بررسی‌ها نشان داد که به جزء تیمار شاهد در سایر تیمارها غلظت کادمیم تجمع یافته در همه گونه‌ها فراتر از حد استاندارد مصارف انسانی است و نسبت مستقیم با غلظت آن در محیط ریشه دارد. با توجه به اینکه در بین اندام‌های مختلف سبزی‌ها مورد مطالعه برگ آنها بیشترین مصارف انسانی را دارد، تجمع کادمیم در این اندام اهمیت بیشتری دارد و نتایج حاصل می‌تواند به عنوان الگو و راهنما در اولویت‌بندی کاشت گونه‌های مذکور در زمین‌های آلوده یا استفاده از منابع آب آلوده به کادمیم و همچنین مصارف خوراکی آنها به‌کار گرفته شود. با توجه به تمایل سبزی‌ها به تجمع کادمیم در ساقه و برگ و نقش آن در زنجیرهٔ غذایی انسان، توصیه می‌شود در حد امکان از کاشت این محصولات در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و استفاده از آب‌های آلوده به فلزات سنگین در آبیاری این محصولات خودداری شود. این محدودیت به‌ویژه در مورد کاهو با توجه به تمایل شدید آن در جذب و تجمع کادمیم اهمیت بیشتری دارد.

تشکر و قدردانی

از دفتر تحقیقات کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران به عنوان حامی مالی به‌منظور فراهم آوردن امکانات و تسهیلات لازم برای اجرای این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Ahmad, P. and Prasad, M.N.V. 2012 Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. Jammu and Kashmir. India. pp. 1-20.

Alghobar, M.A. and Suresha, S. 2017. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore city, Karnataka, India. Journal of the Saudi Society of Agricultural. 16(1): 49-59.

Ardakani, S and Jafari, S.M. 2015. Analysis of Pb, Cd, Cr and Ni concentrations in types of cabbage marketed in Hamedan City. Journal of Food Hygiene. 4(4):45-89. (in Persian)

Codex Alimentarius Commission (2007). Joint FAO/WHO food standards program. Codex committee on methods of analysis and sampling, twenty-eight session, Budapest, Hungary, pp. 5-9.

Demirezen, D. and Aksoy, A. 2006. Heavy metal levels in vegetables in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb. Journal of Food Quality. 29(3): 252- 265.

European Commission, 2017. Available online at: www.ec.europa.eu.

FAO/WHO Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Fifty-fifth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives 2015. World Health Organization, p. 891

Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jarallahi, R., Ghaemi, M.R. and Shahabifar, M. 2006. Estimation of water requirements of major crops and horticultural plants in the country. Volume One: Crops. First Edition Soil and Water Research Institute. Agricultural Education Publishing. Tehran. Iran. (in Persian).

Ghobadi, A. and Jahangard, A. 2016. Investigation of cadmium, zinc and manganese concentrations in roots, stems and leaves of spinach and tomatoes consumed in Hamadan. Health Food. 6(3): 67-75. (in Persian)

Huang, Z., Pan, X.D., Wu, P.G., Han, J.L. and Chen, Q. 2014. Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. Food Control. 36(1): 248-252.

Klay, S., Charef, A., Ayed, L., Houman, B. and Rezgui, F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination. 253(1): 180-87.

Khorramdar, KH. and Mahdavi, A. 2016. Investigation of cadmium uptake and accumulation in Acacia Victoria quarterly seedlings (Acasia vertica). Protection of water and soil resources. 3(2): 121-135. (in Persian)

Mahmood, A. Malik, R.N. 2014. Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. Arabian Journal of Chemistry. 7 (1):91-99.

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

Nazemi, S., Asgari, A. and Rasemi, M. 2010. Investigation of heavy metals in breeding vegetables in the suburbs of Shahrood. Journal of Health and Environment. 3(2): 195-202 (in Persian)

Nazemi, S. and Khosravi, A. 2011. Investigation of heavy metals in soil, water and vegetable lands. Knowledge and Health Quarterly. 5 (4): 27-31. (in Persian).

Institute Of Standards and Industrial Research Of Iran. 2011. Food & Feed-Maximum limit of heavy metals. ISIRI, 12968, 1st. Edition, 5. Tehran. Iran.

Loutfy, N., Fuerhache, M., Tundo, P., Raccanelli, S., El-Dien, A.G. and Ahmed, M.T. 2006. Dietary intake of dioxins and dioxins-like PCBs, due to the consumption of dairy products, Fish/sea food and met from Ismailia Eity, Egypt, Science of the Total Environment. 370, 1-8.

Oluyemi Adefemi, S., Ayodele, O., Ibigbami, O.A., Azeez, M.A. and Akinsola, A.F. 2019. Determination of Minerals in Five Different Vegetables Collected from Two Different Markets in Ado-Ekiti, Nigeria. American Journal of Food Science and Health. 10(14): 2381-7224.

Nik Gadam, M., Fotovat, A. and Khorasani, R. 2020. Effect of different levels of sewage sludge on concentrations of zinc, copper, cadmium and lead in radish and basil plants and some soil chemical properties. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 10(3): 115-134. (in Persian)

Pan, X.D., Tang, J., Chen, Q., Wu, P.G. and Han, J.L. 2013. Evaluation of direct sampling method for trace elements analysis in Chinese rice wine by ICP-OES. European Food Research and Technology. 236(3): 531-535.

Shamlo, Z., Behbahaninia, A. and Sobhan, S. 2021. Investigation of accumulation of heavy metals of lead and cadmium in mint (Mentha piperital) and spinach (Spinacia oleracea) under the treatment of sewage sludge. Sustainability of development and environment. 2(1): 13-23. (in Persian)

Sobhan Ardakani, S. and Jafari, S.M. 2014. Investigation of concentrations of lead, cadmium, chromium and nickel in cabbage supplied in the consumer market of Hamadan. Health Food. 4(4): 45-56. (in Persian).

Tanabandeh, L. and Taheri, M. 2016. Evaluation of exposure to heavy metals of copper, zinc, cadmium and lead in vegetables grown in farms of Zanjan province. Journal of Health and Environment. 9 (1): 41-56. (in Persian)

Verma, A., Gaharvar, U.S., Priyadarshini, E. and Rajamani, P. 2022 Metal accumulation and health risk assessment in wastewater used for irrigation around the Agra Canal in Faridabad, India. Environmental Science and Pollution Research. 29: 8623-8637.

Wubishet Gezahegn, W., Srinivasulu, A., Aruna, B., Banerjee, S., Sudarshan, M., Lakshmi Narayana, P.V. and Rao, A.D.P. 2017. Study of Heavy Metals Accumulation in Leafy Vegetables of Ethiopia. Environ Scince Toxicology food Technology. 11(5): 57-68.

Yang, Y., Chen, W., Wang, M., Li, Y. and Peng, C. 2017. Evaluating the potential health risk of toxic trace elements in vegetables: accounting for variations in soil factors. Science of The Total Environment. 584-585: 942-949.

Food Engineering Research/Vol.21/No.73/Autumn & Winter 2022/P: 169-183

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Investigation of Cadmium Uptake and Distribution in Different Sectors of Common Vegetables in the Country

B. Yargholi* and A. Hosseinniejad mir

*Assistant Professor, Irrigation and drainage Technology Division, Agricultural Engineering Technical Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. Email: yar_bahman@yahoo.com .
Received:16 November 2021 Accepted: 26 June 2023
http://doi: 10.22092/FOODER.2023.356738.1320

Abstract

The purpose of this study was to determine the influence of different levels of cadmium concentration of the soil on accumulation of cadmium in various parts of seven different types of common vegetable crops: lettuce, spearmint, coriander, cress, onion, parsley and leeks. A factorial experiment in a completely randomized design with three replicates and three treatments was conducted. The treatments included three levels of cadmium concentration in soil 50 $mg.kg^{-1}$, 100 $mg.kg^{-1}$ and control with no cadmium. The soil used in this study was prepared by using a sieve with a 2mm mesh and adding nitrate cadmium plastic pots were employed to cultivate vegetables. At the end of the growing season, samples were prepared from different parts of the plants to measure cadmium concentration. The SPSS software was employed to analyze the data. The results showed that cadmium concentrations were higher than 0.05 to 0.1 mg/kg and 0.2 mg/kg, the rates that Institute of Standards and Industrial Research of Iran and FAO/WHO, respectively, announced as safe for human consumption. Cadmium was found in stems: of lettuce, spearmint, coriander, cress, onion, parsley and leeks from highest to lowest; in leaves: of lettuce, cress, onion, coriander, parsley, spearmint and leeks; from highest to lowest; and in; roots: of cress, lettuce, spearmint, coriander, parsley, onion and leeks from highest to lowest. The results indicated that the highest amount of cadmium concentration among the different parts of the vegetables was founded in lettuce stem (6.8 mg/kg) and the lowest amount in leek root (0.77 mg/kg), both higher than what has determined as safe for human consumption. All treatments were considered as unsafe treatment while no sign of toxicity was found in control sample. The high accumulation of cadmium in lettuce, cress and onion, the vegetables that are consumed more, is critical due to their potential to accumulate this element in their leaves. These vegetables cannot be safe for consumption by human if is grown in soils with high concentration of cadmium.

Keywords: Cadmium nitrate, Cress, Lettuce, Onions, Polluted soil.