**مقاله پژوهشی**

**پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره سوم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١(٢٠-١)**

# تعیین مقادیر تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در دو نوع کاهوی عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان

**سهیل سبحان اردکانی[1*]**

s_sobhan@iauh.ac.ir

**سیدمیلاد جعفری[2]**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** نظر به اهمیت ایمنی غذایی و تاثیر سوء عناصر بالقوه سمی بر سلامتی انسان، این مطالعه با هدف بررسی غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در بخش‌های ساقه و برگ دو نوع کاهوی ایرانی و کاهوی گرد (پیچ) عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان انجام شد.

**روش بررسی:** تعداد ۱۵ عدد کاهوی ایرانی و ۱۵ عدد کاهوی گرد از بازار مصرف شهر همدان خریداری شد. پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها در آزمایشگاه، غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در آن‌ها به‌روش ولتامتری عاری‌سازی آندی در سه تکرار خوانده شد. پردازش آماری داده‌ها نیز با استفاده از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در بخش‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی به‌ترتیب برابر با ۱۹/۳ و ۴۰/۶؛ ۱۰۳ و ۲۳۳؛ ۸/۰۰ و ۲۳/۰؛ و ۳۰/۲ و ۱۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و در کاهوی گرد نیز به‌ترتیب برابر با ۹/۰۷ و ۲۰/۸؛ ۳۵/۴ و ۱۱۸؛ ۱۲/۹ و ۳۷/۸؛ و ۲۱۵ و ۲۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها با بیشینه رواداری FAO/WHO نشان داد که به‌جز در مورد میانگین غلظت عنصر نیکل در کاهوی ایرانی، میانگین غلظت سایر عناصر از حد مجاز بیش‌تر بوده است. همچنین، به‌جز برای عناصر نیکل و سرب در کاهوی ایرانی، نتایج مقایسه بین بخش‌های برگ و ساقه نمونه‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ٪۹۵ بود.

**بحث و نتیجه‌گیری:** از آن‌جا که کاهوی عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان فاقد ایمنی غذایی برای مصرف‌کنندگان بود، لذا، نسبت به پایش محصولات کشاورزی پرمصرف قبل از عرضه به بازار مصرف توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** ایمنی غذایی، بیشینه رواداری، کاهو، فلز سنگین، همدان.

---

۱- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

*J. Sus. Dev. & Env., Vol 3, No.4, winter 2023, pp.1-20*

# Levels of heavy metals (Pb, Cd, Cr and Ni) in two types of lettuce marketed in city of Hamedan

**Soheil Sobhanardakani** [1*]
*s_sobhan@iauh.ac.ir*
**Seyed Milad Jafari**[2]

Admission Date:December 7, 2022 Date Received: August 9, 2022

**Abstract**

**Background and Objective:** Considering the importance of food security and adverse effects of potentially toxic elements (PTEs) on human health, the present study was conducted to assess the contents of Pb, Cd, Cr and Ni in two types of lettuce (Romaine lettuce and Iceberg lettuce) marketed in city of Hamedan in 2013.

**Material and Methodology:** In this descriptive study, a total of 15 samples of each type of lettuce were purchased. After acid digestion of samples in the laboratory, the Pb, Cd, Cr and Ni contents were determined using anodic stripping voltammetry. All statistical analyses were performed using the SPSS statistical package.

**Findings:** The results showed that the average contents of Pb, Cd, Cr, and Ni in leaves and stems of Romaine lettuce were 19.3 and 40.6; 103 and 233; 8.00 and 22.8; and 30.2 and 171 mg/kg, respectively, while, the average contents of Pb, Cd, Cr, and Ni (mg/kg) in leaves and stems of Iceberg lettuce were found to be 9.07 and 20.8; 35.4 and 118; 12.9 and 37.8; 215 and 279, respectively. Also, based on the results obtained, except for Ni in Romaine lettuce, the mean contents of all the analyzed elements were significantly higher than the maximum permissible concentration (MPC) established by FAO/WHO.

**Discussion and Conclusion:** In conclusion, due to studied lettuces were not suitable for consume by human, therefore, regular monitoring of foodstuffs should be noticed in order to maintenance the consumer's health.

**Keywords:** Food security, Maximum permissible limits, Lettuce, Heavy metals, Hamedan.

1- Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- M.Sc., Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

**مقدمه**

سلامت بشر به استفاده از مواد غذایی و محیط سالم بستگی دارد. گیاهان به‌دلیل دارا بودن مواد مغذی، ویتامین‌ها و عناصر مورد نیاز بدن مورد توجه و استفاده عموم هستند (۱). در سال‌های اخیر به‌دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، غلظت فلزات سنگین در محیط‌زیست و همچنین مواد غذایی افزایش یافته است (۲). یکی از دلایل آلودگی گیاهان به فلزات سنگین ناشی از آلودگی آب و خاک در ریزوسفر گیاه است (۳). همچنین، آلودگی سبزی‌ها به فلزات سنگین می‌تواند به‌علت آبیاری با فاضلاب شهری و صنعتی و باقی‌مانده کودها و آفت‌کش‌ها باشد (۴). ورود فلزات سنگین به زنجیر غذایی و به‌ویژه در غلظت‌های بحرانی، به‌دلیل سمیت، نیم عمر بالا، خاصیت تجمع‌پذیری در بدن و غیرقابل تجزیه زیستی بودن آن‌ها، اثرات زیان‌بار متابولیکی و فیزیولوژیکی در موجودات زنده برجای می‌گذارد (۵-۷). به بیان دیگر، مصرف سبزیجات حاوی فلزات سنگین از قابلیت به مخاطره انداختن سلامتی مصرف‌کنندگان برخوردارند (۸). توجه به این موضوع حائز اهمیت است که چگونگی توزیع و محل انباشتگی عناصر در بین اندام‌های گیاهی حائز اهمیت است، زیرا توزیع عناصر در اندام‌های مختلف یکنواخت نبوده و بیش‌تر تجمع مربوط به بخش‌هایی است که به‌طور مستقیم مصرف می‌شوند (۹). به‌طور کلی، سبزیجات برگی مقادیر بیش‌تری از فلزات را در مقایسه با سبزیجات غیربرگی و ریشه‌ای در خود ذخیره می‌کنند (۱۰). بنابراین، در ارزیابی مخاطره سلامت، محتوای فلزات سنگین در ریشه و ساقه از اهمیت کم‌تری در مقایسه با برگ‌های خوراکی برخوردار است (۱۰).

مرور منابع بیان‌گر آن است که عنصر سرب از کم‌ترین قابلیت تجمع در اندام‌های هوایی سبزیجات و یونجه برخوردار است (۱۱). علاوه بر این، گزارش شده است که عناصر سرب و کادمیم پس از جذب، به‌ترتیب از کمینه و بیشینه قابلیت جابجایی در خاک و بافت‌های گیاهی برخوردارند (۱۲ و ۱۳). از طرفی، مشخص شده است که نرخ تجمع سرب در اندام‌های گیاهی متفاوت بوده و غالباً غلظت آن در برگ بیش‌تر از سایر بخش‌های گیاه است (۱۳).

سرب با تشکیل کمپلکس فعال در متابولیسم بسیاری از آنزیم‌ها اثر می‌گذارد. همچنین، ایجاد اختلال در بیوسنتز خون، آسیب به کلیه، اختلال سیستم عصبی و نظایر آن از مهم‌ترین اثرات ناشی از افزایش غلظت سرب در بدن است (۱۷-۱۴). نتایج برخی پژوهش‌ها موید آن است که کاهو از قابلیت بالایی برای جذب و ذخیره عنصر سرب برخوردار است. بدین صورت که کاهو فلزات سنگین به‌خصوص سرب را از طریق جذب آن از خاک‌های آلوده به این عنصر و همچنین از رسوبات ته‌نشین شده در بخش‌هایی از گیاه که در معرض هوای آلوده به ذرات سرب قرار داشته‌اند، جذب می‌کند (۸ و ۱۸). کروم عنصری است که در ظرفیت‌های ۲+ و ۶+ وجود دارد و موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) کروم ۶ ظرفیتی را در فهرست ترکیبات "سرطان‌زا برای انسان" طبقه‌بندی کرده است (۱۹ و ۲۰). کروم شش ظرفیتی در مقادیر ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن می‌تواند منجر به نکروز کبدی، نفریت و مرگ شود (۲۱ و ۲۲). اثرات زیست-شیمیایی کادمیم شامل شکسته شدن اکسیدهای فسفر، تداخل در فعالیت آنزیم‌ها و همچنین توانایی در واکنش با اسیدهای نوکلئیک و بروز سرطان است که این اثرات در کودکان بیش‌تر و حادتر می‌شود (۲۳ و ۲۴). با توجه به تمایل سبزیجات به تجمع کادمیم در ساقه، برگ و ریشه و اهمیت آن‌ها در زنجیر غذایی انسان، توصیه می‌شود در حد امکان از کاشت این محصولات در خاک‌های آلوده به این عنصر و همچنین استفاده از آب آلوده به فلز کادمیم در آبیاری این محصولات خودداری شود. نیکل در غلظت بالا می‌تواند منجر به سرطان، خارش پوست، خستگی، سردرد، مشکلات قلبی، سرگیجه و مشکلات تنفسی شود (۲۵). نیکل همچنین به جداره ماهیچه قلب، کلیه و سیستم عصب مرکزی آسیب زده و توانایی ایمنی حیوانات زنده را کاهش می‌دهد (۲۶ و ۲۷).

تاکنون چندین مطالعه در خصوص تعیین محتوی عناصر بالقوه سمی در بافت‌های مختلف گیاهی انجام شده است که از جمله

می‌توان به پژوهشی که در آن نسبت به تعیین محتوی و برآورد جذب روزانه فلزات سنگین در سبزیجات خوراکی اقدام و گزارش شد که مصرف سبزیجات کشت‌شده در سنندج منجر به بروز مخاطرات بهداشتی برای مصرف‌کننده می‌شود (۳)؛ پژوهشی که در آن نسبت به بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر روی جذب فلزات سنگین توسط سبزی‌های برگی جنوب تهران اقدام و گزارش شد که بیش‌تر گونه‌های مورد مطالعه از تجمع قابل توجه عناصر کادمیم و کروم برخوردار بوده‌اند (۲۸)، مطالعه‌ای که در آن با بررسی نرخ تجمع برخی عناصر در کاهو و اسفناج خریداری شده از بازار مصرف کلان‌شهر کادونا نیجریه گزارش شد که به‌جز در مورد میانگین غلظت کادمیم در یکی از نمونه‌ها، میانگین مقادیر عناصر سرب و کادمیم در کاهو و اسفناج کوچک‌تر از بیشینه رواداری FAO / WHO بوده است (۲۹)، مطالعه‌ای که در آن با بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه بر نرخ تجمع فلزات سنگین در برخی از سبزیجات منطقه رودهن گزارش شد که عناصر کادمیم و کروم از بیش‌ترین مقادیر تجمع به‌ترتیب در تربچه و کاهو برخوردار بوده و میانگین غلظت این دو عنصر هم برای گیاه و هم برای انسان از حد استاندارد بیش‌تر بوده است (۳۰)، پژوهشی که با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در سبزی‌های خوراکی اطراف زنجان انجام و مشخص شد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب از ۳/۸۹ تا ۳۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده است (۳۱)، پژوهش سبحان اردکانی و همکاران (۱۳۹۴) که با بررسی تجمع عناصر سرب و کادمیم در بافت گونه‌های تره و نعناع تیمارشده با لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران نتیجه گرفتند که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم در تیمارهای تره و نعناع بیش‌تر از حد مجاز بوده است (۳۲)، مطالعه سلاح‌ورزی و سبحان اردکانی (۲۰۲۰) که با بررسی محتوی برخی عناصر در سیب‌زمینی کشت‌شده در استان لرستان میانگین مقادیر سرب و کادمیم را به‌ترتیب برابر با ۰/۲۵۰ و ۰/۱۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و کم‌تر از بیشینه رواداری سازمان بهداشت جهانی (WHO) گزارش کردند (۳۳)، پژوهش Sulaiman و همکاران (۲۰۲۰) که نسبت به تعیین محتوی عناصر سرب و کادمیم در برخی از سبزیجات برگی جمع‌آوری شده از مناطق کشاورزی شهر پاهانگ مالزی اقدام کردند (۳۴)، پژوهش Feseha و همکاران (۲۰۲۱) که در آن با بررسی محتوی برخی عناصر در گونه‌های چغندر، کاهو، کلم، گوجه‌فرنگی، فلفل سبز و هویج آبیاری شده با فاضلاب در شهر گامو در اتیوپی گزارش شد که میانگین مقادیر کادمیم در بیش‌تر سبزیجات و میانگین مقادیر عناصر سرب و کروم در برخی از سبزیجات مورد مطالعه بزرگ‌تر از بیشینه رواداری WHO بوده است (۳۵)، پژوهش Loredo-Tovías و همکاران (۲۰۲۲) که با بررسی محتوی عناصر سرب، کادمیم و کروم در کاهوی مصرفی مکزیک گزارش کردند که عنصر کادمیم از ظرفیت بالایی برای انتقال از خاک به گیاه برخوردار بوده و از این‌رو، قابلیت آن در ایجاد مخاطره سلامت برای مصرف‌کنندگان قابل ملاحظه است (۳۶)، و به‌علاوه، پژوهش شاملو و همکاران (۱۴۰۰) که با بررسی تجمع عناصر سرب و کادمیم در بافت گونه‌های اسفناج و نعناع تیمارشده با لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران نتیجه گرفتند که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم در تیمارهای اسفناج و نعناع بیش‌تر از حد مجاز بوده است (۳۷)، اشاره کرد. بنابراین، از آن‌جا که سبزیجاتی مانند کاهو واجد مواد معدنی، پروتئینی، سلولزی، ویتامین‌ها، آهم و کلسیم هستند، در زمره محصولات پر اهمیت و مهم در سلامتی انسان محسوب می‌شوند (۸) و همچنین، با توجه به این‌که کاهو به‌عنوان گونه‌ای مناسب برای شناسایی عوامل مؤثر بر کنترل تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی و توسعه راهبرد پرورش با هدف محدود کردن آن‌ها در بافت‌های خوراکی معرفی شده است (۳۸)، و از طرفی، سرانه بالای مصرف کاهو در کشور و در نظر گرفتن این‌که بررسی غلظت تجمع‌یافته عناصر بالقوه سمی در بافت‌های این گونه می‌تواند برای حفظ سلامتی مصرف‌کننده حایز اهمیت باشد، این مطالعه با هدف ارزیابی غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل و مقایسه میانگین غلظت آن‌ها با رهنمودهای FAO / WHO در دو نوع کاهوی ایرانی (Romaine lettuce) و کاهوی گرد (Iceberg lettuce) عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان در سال ۱۳۹۲ انجام یافت.

**مواد و روش‌ها**

***نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین غلظت عناصر در آن‌ها:***

در این پژوهش توصیفی، به‌طور تصادفی ۱۵ عدد کاهوی ایرانی و ۱۵ عدد کاهوی گرد عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان خریداری شد. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، برای رفع گل و لای، ابتدا نمونه‌ها را با آب شرب و سپس با آب مقطر شسته و پس از آن، از قسمت‌های برگ و ساقه هر نمونه کاهو یک گرم برداشت کرده و به بوته چینی منتقل شد. در مرحله بعد، به هر نمونه ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید افزوده و پس از ۲۰ دقیقه، نمونه‌ها تا مرحله خشک شدن حرارت داده شدند و پس از آن به‌مدت یک ساعت درون کوره با دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها در دمای محیط، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ٪۵۰ حجمی به آن‌ها افزوده شد تا خاکستر باقی‌مانده را در خود حل کند. سپس، محلول‌های باقی‌مانده به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شده و با استفاده از آب مقطر به حجم رسانده شدند. در نهایت، غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در نمونه‌ها با استفاده از روش ولتامتری عاری‌سازی آندی توسط دستگاه پلاروگراف متروهم مدل 746 VA-Trace Analyzer در سه تکرار خوانده شد (۲۵، ۳۸ و ۳۹).

***پردازش آماری داده‌ها***

در این پژوهش، برای پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین‌صورت که به منظور تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها از آزمون لون و برای مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها با رهنمود FAO/WHO از آزمون تی تک‌نمونه‌ای استفاده شد. همچنین، برای بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط خطی تجمع فلزات بین ساقه و برگ از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

**یافته‌ها**

میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های کاهوی ایرانی و گرد در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

**جدول ۱- میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در گونه کاهوی ایرانی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم**

Table 1. Mean concentrations of studied elements in Romaine lettuce (mg/kg)

| شماره نمونه | بخش گیاه | عنصر | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | سرب | | کادمیم | | کروم | | نیکل | |
| | | برگ | ساقه | برگ | ساقه | برگ | ساقه | برگ | ساقه |
| | ۱ | ۲±۱۵/۰۵ | ۵±۴۳/۴۲ | ۲۱±۱۰۳/۲ | ۴۷±۲۴۳/۵ | ۱±۵/۵۵ | ۲±۲۱/۴۵ | ۵±۳۰/۳۲ | ۲۵±۱۸۴/۶ |
| | ۲ | ۴±۲۲/۲۵ | ۴±۳۷/۹۵ | ۲۵±۱۲۷/۱ | ۴۸±۲۴۸/۱ | ۱±۸/۹۵ | ۴±۳۵/۶۶ | ۷±۴۸/۴۸ | ۱۵±۱۵۰/۷ |
| | ۳ | ۳±۲۰/۸۴ | ۷±۴۰/۲۳ | ۱۶±۸۰/۶ | ۴۰±۲۲۰/۰ | ۲±۱۲/۰۸ | ۰±۸/۹۸ | ۴±۲۳/۶۵ | ۱۸±۱۷۷/۶ |
| | ۴ | ۳±۲۲/۵۴ | ۶±۴۰/۸۲ | ۱۸±۹۹/۲ | ۴۲±۲۳۱/۹ | ۱±۶/۸۵ | ۲±۲۰/۰۰ | ۴±۲۹/۷۸ | ۱۴±۱۷۹/۱ |
| | ۵ | ۳±۲۰/۳۴ | ۵±۳۵/۰۰ | ۱۹±۹۷/۳ | ۴۱±۲۲۸/۰ | ۱±۶/۹۵ | ۳±۲۷/۸۰ | ۳±۲۰/۵۵ | ۱۵±۱۴۰/۹ |
| | ۶ | ۲±۱۷/۵۵ | ۷±۴۴/۴۸ | ۲۰±۱۱۵/۸ | ۴۷±۲۴۵/۳ | ۲±۱۰/۳۳ | ۱±۱۶/۷۹ | ۷±۴۴/۷۹ | ۱۰±۱۶۹/۷ |
| | ۷ | ۲±۲۰/۸۹ | ۷±۴۶/۹۶ | ۲۲±۱۲۰/۸ | ۴۸±۲۴۶/۰ | ۲±۹/۲۰ | ۱±۱۰/۲۲ | ۶±۳۵/۵۵ | ۲۲±۱۸۷/۸ |
| | ۸ | ۱±۱۲/۹۹ | ۶±۴۳/۶۴ | ۲۰±۱۱۷/۷ | ۴۲±۲۳۰/۳ | ۲±۱۰/۴۰ | ۳±۳۰/۸۷ | ۲±۲۹/۱۱ | ۱۷±۱۷۵/۵ |
| | ۹ | ۲±۱۹/۴۵ | ۵±۳۸/۲۹ | ۱۹±۹۱/۵ | ۳۹±۲۲۵/۸ | ۰±٤/۷۵۰ | ۳±۲۱/۰۰ | ۵±٤۰/۱۷ | ۲۶±۱۹۰/۷ |
| | ۱۰ | ۳±۲۲/۰۳ | ۶±۳۷/۱۱ | ۲۱±۱۱۱/۶ | ۴۲±۲۳۲/۸ | ۲±۹/۰۱ | ۴±۲۸/۰۹ | ۴±۲۰/۶۷ | ۱۵±۱۶۳/۱ |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱۱ | ۱±۲۳/۷۷ | ۶±۴۱/۸۴ | ۱۸±۸۲/۱ | ۳۸±۲۱۷/۴ | ۱±۹/۸۵ | ۳±۲۳/۶۶ | ۴±۲۵/۴۴ | ۱۷±۱۸۰/۷ |
| | ۱۲ | ۰±۱۲/۵۴ | ۷±۴۴/۷۱ | ۲۱±۱۰۹/۴ | ۴۵±۲۴۰/۶ | ۲±۱۲/۴۸ | ۵±۳۱/۸۶ | ۳±۲۳/۳۹ | ۱۹±۱۶۰/۲ |
| | ۱۳ | ۲±۲۳/۵۰ | ۵±۳۸/۷۰ | ۱۸±۸۶/۴ | ۴۲±۲۳۰/۳ | ۲±۱۲/۶۰ | ۵±۳۷/۴۹ | ۷±۴۰/۹۴ | ۲۰±۱۷۱/۲ |
| | ۱۴ | ۱±۲۰/۲۰ | ۵±۳۸/۲۹ | ۲۵±۱۲۶/۰ | ۴۷±۲۴۰/۳ | ۰±۴/۹۱۰ | ۳±۲۰/۲۲ | ۳±۲۵/۱۲ | ۲۴±۱۸۶/۶ |
| | ۱۵ | ۲±۲۳/۴۰ | ۶±۴۵/۶۳ | ۱۹±۸۹/۰ | ۳۶±۲۲۰/۱ | ۱±۴/۸۸ | ۲±۱۵/۴۸ | ۴±۲۳/۰۰ | ۲۰±۱۵۰/۲ |

**جدول ۲- میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در گونه کاهوی گرد بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم**

Table 2. Mean concentrations of studied elements in Iceberg lettuce (mg/kg)

| شماره نمونه | بخش گیاه | عنصر | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | سرب | | کادمیم | | کروم | | نیکل | |
| | | برگ | ساقه | برگ | ساقه | برگ | ساقه | برگ | ساقه |
| | ۱ | ۱±۷/۰۵ | ۴±۲۵/۲۲ | ۶±۴۲/۴۷ | ۱۷±۱۰۰/۸ | ۱±۱۰/۳۲ | ۴±۳۲/۹۹ | ۴۴±۳۲۵/۷ | ۲۸±۲۷۰/۳ |
| | ۲ | ۱±۱۰/۶۶ | ۳±۲۱/۴۷ | ۴±۳۶/۸۹ | ۲۲±۱۲۰/۲ | ۲±۱۶/۵۶ | ۵±۴۷/۲۱ | ۲۶±۱۶۵/۲ | ۲۶±۲۴۵/۶ |
| | ۳ | ۱±۸/۵۵ | ۳±۱۷/۲۲ | ۳±۳۸/۳۳ | ۲۴±۱۲۵/۸ | ۲±۱۵/۴۰ | ۵±۴۵/۰۴ | ۴۰±۳۰۰/۴ | ۴۲±۳۲۲/۵ |
| | ۴ | ۱±۱۰/۲۰ | ۲±۱۵/۶۶ | ۴±۳۹/۱۱ | ۲۰±۱۳۰/۶ | ۱±۱۲/۹۸ | ۳±۳۰/۶۶ | ۲۴±۱۵۰/۹ | ۲۴±۲۲۱/۵ |
| | ۵ | ۱±۹/۳۳ | ۲±۱۷/۷۰ | ۴±۳۵/۶۰ | ۱۷±۱۱۵/۳ | ۲±۱۳/۱۱ | ۳±۳۹/۹۹ | ۲۴±۱۸۱/۴ | ۲۹±۲۸۰/۵ |
| | ۶ | ۰±۶/۶۲۰ | ۴±۲۸/۳۲ | ۴±۳۴/۸۹ | ۱۹±۱۲۵/۲ | ۱±۹/۱۱ | ۳±۳۳/۶۰ | ۲۲±۱۷۰/۳ | ۲۹±۲۹۵/۹ |
| | ۷ | ۱±۱۰/۸۲ | ۳±۲۲/۲۱ | ۳±۳۵/۳۳ | ۱۶±۱۱۷/۶ | ۲±۱۷/۳۲ | ۳±۳۵/۱۰ | ۱۹±۱۲۰/۲ | ۲۵±۲۴۰/۳ |
| | ۸ | ۲±۱۷/۴۳ | ۲±۱۹/۶۰ | ۴±۴۰/۱۲ | ۲۰±۱۳۱/۸ | ۲±۱۷/۵۹ | ۳±۴۳/۹۰ | ۳۰±۲۸۰/۸ | ۴۴±۳۳۰/۱ |
| | ۹ | ۱±۸/۱۷ | ۴±۲۵/۴۴ | ۳±۳۱/۸۰ | ۱۸±۱۲۵/۲ | ۱±۱۰/۶۰ | ۳±۳۲/۵۶ | ۳۲±۲۹۰/۷ | ۳۳±۳۰۰/۷ |
| | ۱۰ | ۱±۶/۰۰ | ۴±۲۸/۷۸ | ۴±۳۵/۲۲ | ۱۷±۱۰۵/۷ | ۲±۱۶/۴۰ | ۴±۴۹/۸۰ | ۱۸±۱۳۰/۹ | ۲۷±۲۴۵/۲ |
| | ۱۱ | ۱±۱۲/۴۳ | ۳±۱۹/۷۶ | ۳±۳۰/۶۹ | ۱۶±۱۰۳/۶ | ۲±۱۲/۰۰ | ۴±۴۴/۶۵ | ۲۱±۱۷۰/۶ | ۲۱±۲۲۹/۹ |
| | ۱۲ | ۱±۹/۰۲ | ۳±۲۳/۳۰ | ۳±۳۰/۲۱ | ۲۱±۱۲۹/۳ | ۱±۱۳/۸۹ | ۴±۴۸/۲۱ | ۲۵±۱۵۴/۶ | ۲۸±۲۶۱/۰ |
| | ۱۳ | ۱±۱۰/۲۰ | ۲±۱۵/۰۱ | ۳±۳۸/۸۹ | ۲۱±۱۲۵/۱ | ۱±۱۲/۱۵ | ۳±۳۳/۱۹ | ۳۰±۲۸۴/۲ | ۴۲±۳۴۷/۴ |
| | ۱۴ | ۰±۶/۴۳۰ | ۲±۱۷/۱۲ | ۳±۳۵/۵۶ | ۱۷±۱۰۸/۱ | ۱±۱۰/۶۳ | ۳±۲۹/۰۲ | ۲۷±۲۴۰/۸ | ۳۵±۳۰۲/۸ |
| | ۱۵ | ۰±۸/۹۸۰ | ۳±۲۱/۴۵ | ۳±۳۳/۶۰ | ۱۸±۱۱۰/۲ | ۲±۱۲/۲۳ | ۲±۲۸/۸۹ | ۲۹±۲۶۰/۶ | ۳۵±۳۰۰/۳ |

نتایج نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در بخش‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی به‌ترتیب برابر با ۱۹/۳ و ۴۰/۶؛ ۱۰۳ و ۲۳۳؛ ۸/۰۰ و ۲۳/۰؛ و ۳۰/۲ و ۱۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و در کاهوی گرد نیز به‌ترتیب برابر با ۹/۰۷ و ۲۰/۸؛ ۳۵/۴ و ۱۱۸؛ ۱۲/۹ و ۳۷/۸؛ و ۲۱۵ و ۲۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (جداول ۱ و ۲).

نتایج آزمون بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها در دو نمونه کاهوی مورد آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که همه داده‌ها در سطح اطمینان ٪۹۵ از توزیع نرمال برخوردار بودند.

**جدول ۳- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن توزیع غلظت عناصر در گونه‌های کاهو**

Table 3. The results of Kolmogorov-Smirnov test

| عنصر | تعداد | گونه | بخش | میانگین غلظت | انحراف از معیار | sig | آماره Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سرب | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۱۹/۳ | ۳/۷۳ | ۰/۳۶۶ | ۰/۹۲۰ |
| | | | ساقه | ۴۰/۶ | ۳/۴۰ | ۰/۷۲۹ | ۰/۶۸۹ |
| | | گرد | برگ | ۹/۰۷ | ۲/۸۱ | ۰/۳۷۰ | ۰/۹۱۷ |
| | | | ساقه | ۲۰/۸ | ۴/۳۳ | ۰/۹۱۸ | ۰/۵۵۵ |
| کادمیم | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۱۰۳ | ۱۵/۸ | ۰/۹۸۴ | ۰/۴۶۰ |
| | | | ساقه | ۲۳۳ | ۱۰/۱ | ۰/۸۶۵ | ۰/۶۰۰ |
| | | گرد | برگ | ۳۵/۴ | ۳/۵۶ | ۰/۹۱۲ | ۰/۵۶۰ |
| | | | ساقه | ۱۱۸ | ۱۰/۴ | ۰/۴۶۵ | ۰/۸۵۰ |
| کروم | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۸/۰۰ | ۲/۹۸ | ۰/۸۰۹ | ۰/۶۳۹ |
| | | | ساقه | ۲۲/۸ | ۸/۵۶ | ۰/۹۸۷ | ۰/۴۵۲ |
| | | گرد | برگ | ۱۲/۹ | ۲/۶۹ | ۰/۷۸۳ | ۰/۶۵۶ |
| | | | ساقه | ۳۷/۸ | ۷/۵۰ | ۰/۵۵۱ | ۰/۷۹۶ |
| نیکل | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۳۰/۳ | ۹/۰۳ | ۰/۶۷۳ | ۰/۷۲۳ |
| | | | ساقه | ۱۷۱ | ۱۵/۲ | ۰/۹۱۶ | ۰/۵۵۷ |
| | | گرد | برگ | ۲۱۵ | ۶۹/۹ | ۰/۴۷۵ | ۰/۸۴۴ |
| | | | ساقه | ۲۷۹ | ۳۸/۶ | ۰/۹۱۰ | ۰/۵۶۲ |

نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در بخش‌های مختلف گونه‌های کاهوی مورد مطالعه با رهنمود کمیسیون کدکس FAO/WHO (۴۰ و ۴۱) در جدول ۴ آورده شده است.

**جدول ۴- نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در گونه‌های کاهو با بیشینه رواداری**

Table 4. The results of One-sample T test

| عنصر | تعداد | گونه | بخش | میانگین غلظت | درجه آزادی | آماره t | p-value | کران بالا | کران پایین | ارزش آزمون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سرب | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۱۹/۳ | ۴۴ | ۱۹/۷ | ۰/۰۰۰ | ۲۲/۹ | ۱۸/۱ | ۰/۳۰۰ |
| | | | ساقه | ۴۰/۶ | | ۴۵/۹ | | ۴۲/۲ | ۳۸/۴ | |
| | | گرد | برگ | ۹/۰۷ | | ۱۲/۱ | | ۱۰/۳ | ۷/۲۱ | |
| | | | ساقه | ۲۰/۸ | | ۱۸/۳ | | ۲۲/۹ | ۱۸/۱ | |
| کادمیم | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۱۰۳ | ۴۴ | ۲۵/۴ | ۰/۰۰۰ | ۱۱۲ | ۹۴/۵ | ۰/۲۰۰ |
| | | | ساقه | ۲۳۳ | | ۸۸/۸ | | ۲۳۸ | ۲۲۷ | |
| | | گرد | برگ | ۳۵/۴ | | ۳۸/۳ | | ۳۷/۲ | ۳۳/۲ | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ساقه | ۱۱۸ | | ۴۳/۷ | | ۱۲۳ | ۱۱۲ |
| کروم | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۸/۰۰ | ۴۴ | ۷/۴۱ | ۰/۰۰۰ | ۷/۳۵ | ۴/۰۵ |
| | | | ساقه | ۲۲/۸ | | ۹/۲۷ | | ۲۵/۲ | ۱۵/۸ |
| | | گرد | برگ | ۱۲/۹ | | ۱۵/۳ | | ۱۲/۱ | ۹/۱۵ |
| | | | ساقه | ۳۷/۸ | | ۱۸/۳ | | ۳۹/۷ | ۳۱/۳ |
| نیکل | ۴۵ | ایرانی | برگ | ۳۰/۳ | ۴۴ | -۱۵/۷ | ۰/۰۰۰ | -۳۱/۷ | -۴۱/۸ |
| | | | ساقه | ۱۷۱ | | ۲۶/۴ | | ۱۱۲ | ۹۵/۳ |
| | | گرد | برگ | ۲۱۵ | | ۸/۱۷ | | ۱۸۶ | ۱۰۹ |
| | | | ساقه | ۲۷۹ | | ۲۱/۳ | | ۲۳۴ | ۱۹۱ |

با توجه به نتایج ارایه شده در جدول ۴ می‌توان اذعان داشت که میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در هر دو قسمت برگ و ساقه هر دو نمونه کاهوی ایرانی و گرد با حد استاندارد اختلاف معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵$) داشته و به‌جز برای عنصر نیکل در برگ کاهوی ایرانی، بیش‌تر از حد مجاز بوده است.

نتایج آزمون لون به منظور انجام مقایسه میانگین غلظت عناصر بین انواع گونه‌های کاهو در جداول ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

**جدول ۵- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت عناصر مابین بخش‌های برگ با ساقه به تفکیک نوع کاهو**

Table 5. Grouping of PTEs content between leaf and stem parts of lettuces

| عنصر | گونه | بخش | آزمون لون | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین غلظت | انحراف معیار | sig | آماره F | گروه‌بندی |
| سرب | ایرانی | برگ | ۱۹/۳ | ۳/۷۳ | ۰/۹۸۰ | ۰/۰۰۱ | a |
| | | ساقه | ۴۰/۶ | ۳/۴۰ | | | a |
| | گرد | برگ | ۹/۰۷ | ۲/۸۱ | ۰/۰۴۷ | ۴/۲۱ | a |
| | | ساقه | ۲۰/۸ | ۴/۳۳ | | | b |
| کادمیم | ایرانی | برگ | ۱۰۳ | ۱۵/۸ | ۰/۰۴۳ | ۴/۴۸ | a |
| | | ساقه | ۲۳۳ | ۱۰/۱ | | | b |
| | گرد | برگ | ۳۵/۴ | ۳/۵۶ | ۰/۰۰۰ | ۲۰/۶ | a |
| | | ساقه | ۱۱۸ | ۱۰/۴ | | | b |
| کروم | ایرانی | برگ | ۸/۰۰ | ۲/۹۸ | ۰/۰۰۲ | ۱۱/۲ | a |
| | | ساقه | ۲۲/۸ | ۸/۵۶ | | | b |
| | گرد | برگ | ۱۲/۹ | ۲/۶۹ | ۰/۰۰۰ | ۳۰/۸ | a |
| | | ساقه | ۳۷/۸ | ۷/۵۰ | | | b |
| نیکل | ایرانی | برگ | ۳۰/۳ | ۹/۰۳ | ۰/۰۵۷ | ۳/۹۴ | a |
| | | ساقه | ۱۷۱ | ۱۵/۲ | | | a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | گرد | برگ | ۲۱۵ | ۶۹/۹ | ۰/۰۰۰ | ۱۵/۷ | a |
| | | ساقه | ۲۷۹ | ۳۸/۶ | | | b |

نتایج مندرج در جدول ۵ بیان‌گر آن است که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کادمیم و کروم برگ با ساقه نمونه‌های کاهوی ایرانی و برگ با ساقه کاهوی گرد از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($p < ۰/۰۵$) و در نمونه ساقه بیش‌تر از برگ بوده است. همچنین، میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر نیکل و سرب برگ با ساقه کاهوی گرد با هم اختلاف معنی‌دار آماری داشته ($p < ۰/۰۵$) و در نمونه ساقه بیش‌تر از برگ بوده است، اما، مقایسه میانگین غلظت همین عناصر در نمونه‌های برگ با ساقه کاهوی ایرانی بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماری ($p > ۰/۰۵$) در بین نمونه‌ها بوده است.

**جدول ۶- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت عناصر مابین گونه‌های کاهوی ایرانی و گرد به‌تفکیک بخش مورد مطالعه**

Table 6. Grouping of PTEs content between Romaine and iceberg lettuces

| عنصر | بخش | گونه | آزمون لون | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین غلظت | انحراف معیار | sig | آماره F | گروه‌بندی |
| سرب | برگ | ایرانی | ۱۹/۳ | ۳/۷۳ | ۰/۲۳۱ | ۱/۵۰ | b |
| | | گرد | ۴۰/۶ | ۳/۴۰ | | | a |
| | ساقه | ایرانی | ۹/۰۷ | ۲/۸۱ | ۰/۳۸۱ | ۰/۷۹۲ | b |
| | | گرد | ۲۰/۸ | ۴/۳۳ | | | a |
| کادمیم | برگ | ایرانی | ۱۰۳ | ۱۵/۸ | ۰/۰۰۰ | ۲۸/۵ | b |
| | | گرد | ۲۳۳ | ۱۰/۱ | | | a |
| | ساقه | ایرانی | ۳۵/۴ | ۳/۵۶ | ۰/۸۲۱ | ۰/۰۵۲ | b |
| | | گرد | ۱۱۸ | ۱۰/۴ | | | a |
| کروم | برگ | ایرانی | ۸/۰۰ | ۲/۹۸ | ۰/۵۲۰ | ۰/۴۲۵ | b |
| | | گرد | ۲۲/۸ | ۸/۵۶ | | | a |
| | ساقه | ایرانی | ۱۲/۹ | ۲/۶۹ | ۰/۹۲۷ | ۰/۰۰۹ | b |
| | | گرد | ۳۷/۸ | ۷/۵۰ | | | a |
| نیکل | برگ | ایرانی | ۳۰/۳ | ۹/۰۳ | ۰/۰۰۰ | ۸۰/۹ | b |
| | | گرد | ۱۷۱ | ۱۵/۲ | | | a |
| | ساقه | ایرانی | ۲۱۵ | ۶۹/۹ | ۰/۰۰۱ | ۱۳/۹ | b |
| | | گرد | ۲۷۹ | ۳۸/۶ | | | a |

نتایج مندرج در جدول ۶ بیان‌گر آن است که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم در نمونه‌های برگ کاهوی ایرانی با برگ کاهوی گرد بر خلاف بخش ساقه، از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($p < ۰/۰۵$) و در نمونه کاهوی ایرانی بیش‌تر از گرد بوده است. میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب و کروم نمونه‌های برگ کاهوی ایرانی با برگ کاهوی گرد و ساقه کاهوی ایرانی با ساقه کاهوی گرد از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشته ($p > ۰/۰۵$) و هر دو در یک

گروه قرار داشتند. از طرفی، میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر نیکل نمونه‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی با برگ و ساقه کاهوی گرد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵$) داشتند.

**جدول ۷- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت عناصر مابین گونه‌های کاهوی ایرانی و گرد از نظر مجموع غلظت تجمع‌یافته عناصر در برگ و ساقه**

Table 7. Grouping of PTEs content between Romaine and iceberg lettuces in terms of elemental concentrations in leaves and stems

| عنصر | گونه | تعداد | آزمون لون | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین غلظت | انحراف معیار | sig | آماره F | گروه‌بندی |
| سرب | ایرانی | ۹۰ | ۲۹/۹ | ۱۱/۴ | ۰/۰۰۰ | ۲۷/۴ | a |
| | گرد | | ۱۴/۹ | ۶/۹۶ | | | b |
| کادمیم | ایرانی | ۹۰ | ۱۶۸ | ۶۷/۲ | ۰/۰۰۰ | ۷۲/۷ | a |
| | گرد | | ۷۶/۶ | ۴۲/۶ | | | b |
| کروم | ایرانی | ۹۰ | ۱۵/۴ | ۹/۸۱ | ۰/۰۰۴ | ۹/۲۳ | b |
| | گرد | | ۲۵/۴ | ۱۳/۸ | | | a |
| نیکل | ایرانی | ۹۰ | ۱۰۱ | ۷۲/۵ | ۰/۰۱۵ | ۶/۳۳ | b |
| | گرد | | ۲۴۷ | ۶۴/۵ | | | a |

نتایج مندرج در جدول ۷ بیان‌گر آن است که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب و کادمیم در مجموع نمونه‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی با هر دو بخش کاهوی گرد از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($p < ۰/۰۵$) و در نمونه‌های کاهوی ایرانی بیش‌تر از کاهوی گرد بوده است. همچنین، میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کروم و نیکل در مجموع نمونه‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی با کاهوی گرد نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری داشته ($p < ۰/۰۵$) و در نمونه‌های کاهوی گرد بیش‌تر از ایرانی بوده است.

نتایج آزمون پیرسون به منظور بررسی همبستگی بین میانگین غلظت عناصر بخش‌های ساقه و برگ در گونه‌های کاهوی مورد مطالعه در جدول ۸ آورده شده است.

**جدول ۸- نتایج ماتریس همبستگی پیرسون بین میانگین غلظت عناصر در ساقه و برگ گونه‌های کاهو**

Table 8. The correlation matrix between PTEs content in leaves and stems of Romaine and iceberg lettuces

| گونه | عنصر | ضریب همبستگی پیرسون | Anova | Coefficients | | فرمول |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | sig | sig | B | |
| گرد | سرب | ۰/۴۱۵ | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۰۱ | ۱۴/۶۷۹ | ندارد |
| | | | | ۰/۱۲۴ | -۰/۲۷۰ | |
| | کادمیم | ۰/۰۶۳ | ۰/۸۲۳ | ۰/۱۷۲ | ۴/۲۱۷ | ندارد |
| | | | | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۳۱ | |
| | کروم | ۰/۶۴۴ | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۷۲ | ۴/۲۱۷ | $y = 0.231x$ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۳۱ | |
| | نیکل | ۰/۷۵۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۹۸ | -۱۶۶/۰۸۴ | $y = 1.364x$ |
| | | | | ۰/۰۰۱ | ۱/۳۶۴ | |
| ایرانی | سرب | ۰/۴۲۲ | ۰/۱۱۷ | ۰/۰۰۵ | ۳۸/۱۷ | ندارد |
| | | | | ۰/۱۱۷ | -۰/۴۶۴ | |
| | کادمیم | ۰/۸۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۳ | -۲۰۰/۳۰۶ | $y = 1.30x - 200$ |
| | | | | ۰/۰۰۰ | ۱/۳۰۴ | |
| | کروم | ۰/۲۱۳ | ۰/۴۴۶ | ۰/۰۱۶ | ۶/۳۱۲ | ندارد |
| | | | | ۰/۴۴۶ | ۰/۷۴ | |
| | نیکل | ۰/۱۵۹ | ۰/۵۷۲ | ۰/۶۱۹ | ۱۴/۱۸ | ندارد |
| | | | | ۰/۵۷۲ | ۰/۰۹۴ | |

y و x به‌ترتیب بیان‌گر میانگین غلظت عناصر در برگ و میانگین غلظت عناصر در ساقه کاهو است.

ماتریس پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب برگ با ساقه در کاهوهای ایرانی و گرد همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشته است، بنابراین، ارتباط خطی بین تجمع این عنصر در ساقه با برگ کاهوی ایرانی و گرد وجود ندارد (جدول ۸). از طرفی، مقادیر ضریب پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم برگ با ساقه در کاهوی گرد ارتباط معنی‌دار آماری وجود نداشته است و از این‌رو، ارتباط خطی بین تجمع این عنصر در ساقه با برگ کاهوی گرد وجود ندارد. اما، از آن‌جا که ماتریس پیرسون نشان داد بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم برگ با ساقه کاهوی ایرانی همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشته است ($p < ۰/۰۵$)، معادله رگرسیون غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم در برگ به‌صورت زیر قابل ارایه است (جدول ۸):

$$\text{برگ } Cd = 1.30 \ (\text{مغز } Cd) - 200$$

با توجه به ضریب تعیین شده می‌توان اذعان داشت که ٪۸۳/۹ از غلظت عنصر کادمیم موجود در برگ کاهوی ایرانی با محتوی این عنصر در ساقه کاهو ارتباط مستقیم دارد.

ماتریس پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم برگ با ساقه در کاهوی ایرانی همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشته است، بنابراین، ارتباط خطی بین تجمع این عنصر در ساقه با برگ کاهوی ایرانی وجود ندارد. اما، با توجه به این‌که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم برگ با ساقه در کاهوی گرد همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشته است ($p < ۰/۰۵$)، معادله رگرسیون غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم در برگ به‌صورت زیر قابل ارایه است (جدول ۸):

$$\text{برگ } Cr = 0.231 \ (\text{مغز Cr})$$

با توجه به ضریب تعیین شده می‌توان اذعان داشت که ٪۶۴/۴ از غلظت کروم موجود در برگ کاهوی گرد با محتوی این عنصر در ساقه کاهو ارتباط مستقیم دارد.

ماتریس پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر نیکل برگ با ساقه در کاهوی ایرانی همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشته است، بنابراین، ارتباط خطی بین تجمع این عنصر در ساقه با برگ کاهوی ایرانی وجود ندارد. اما، با توجه به این‌که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر نیکل برگ با ساقه در کاهوی گرد همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشته است ($p < ۰/۰۵$)، معادله رگرسیون غلظت تجمع‌یافته عنصر نیکل در برگ به‌صورت زیر قابل ارایه است (جدول ۸):

$$\text{برگ } Ni = 1.364(\text{مغز } Ni)$$

با توجه به ضریب تعیین شده می‌توان اذعان داشت که ٪۷۵/۲ از غلظت نیکل موجود در برگ کاهوی گرد با محتوی این عنصر در ساقه کاهو ارتباط مستقیم دارد.

**بحث و نتیجه‌گیری**

در این پژوهش غلظت عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در بخش‌های خوراکی دو گونه کاهوی ایرانی و گرد (پیچ) خریداری شده از بازار مصرف شهر همدان بررسی شد. نتایج نشان داد که کمینه و بیشینه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در کاهوی ایرانی به‌ترتیب با ۹/۸۱±۱۵/۴ و ۶۷/۲±۱۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به عناصر کروم و کادمیم و در کاهوی گرد نیز به‌ترتیب با ۶/۹۶±۱۵/۰ و ۶۴/۵±۲۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به عناصر سرب و نیکل بود. همچنین، نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته هر یک از عناصر مورد ارزیابی در کاهو نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب در نمونه‌های کاهوی ایرانی برابر با ۱۱/۴±۳۰/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بین ساقه با برگ کاهو از حیث میانگین غلظت این عنصر وجود نداشت ($p > ۰/۰۵$) و هر دو در یک گروه آماری قرار گرفتند. از طرفی، کمینه میانگین غلظت سرب در نمونه‌های کاهوی گرد برابر با ۹/۹۶±۱۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و بین ساقه با برگ کاهو از حیث میانگین غلظت این عنصر اختلاف معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵$) وجود داشت، به‌طوری‌که، برگ کاهوی ایرانی با تجمع ۲/۸۱±۹/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر سرب از کم‌ترین نرخ تجمع این عنصر برخوردار بود. بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های کاهوی ایرانی برابر با ۶۷±۱۶۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و بین ساقه با برگ کاهو از حیث میانگین غلظت این عنصر اختلاف معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵$) وجود داشت، به‌طوری‌که برگ کاهوی ایرانی با ۱۵±۱۰۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم از بیشینه نرخ تجمع کادمیم برخوردار بود. به‌علاوه، کمینه میانگین غلظت تجمع‌یافته کادمیم در نمونه‌های کاهوی گرد برابر با ۴۲/۶±۷۷/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بین ساقه با برگ کاهوی گرد از حیث میانگین غلظت این عنصر وجود داشت ($p < ۰/۰۵$)، به طوری‌که، برگ کاهوی گرد با ۴/۵۶±۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم از کمینه نرخ تجمع کادمیم برخوردار بود. بیشینه میانگین غلظت عنصر کروم در نمونه‌های کاهوی گرد برابر با ۱۳/۸±۲۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و بین ساقه با برگ این کاهو از حیث میانگین غلظت کروم اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت ($p < ۰/۰۵$)، به‌طوری‌که، ساقه کاهوی گرد با تجمع ۷/۵۰±۳۷/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر کروم بیشینه نرخ تجمع این عنصر را به‌خود اختصاص داد. این در حالی است که، کمینه میانگین غلظت کروم در نمونه‌های کاهوی ایرانی برابر با ۹/۸۱±۱۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و از نظر آماری از حیث میانگین غلظت کروم اختلاف معنی‌دار بین ساقه با برگ کاهوی ایرانی وجود داشت ($p < ۰/۰۵$)، به‌طوری‌که، برگ این کاهو با ۲/۹۷±۸/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از کمینه نرخ تجمع کروم برخوردار بود. بیشینه میانگین غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های کاهوی گرد برابر با ۶۴/۵±۲۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و از نظر آماری نیز بین ساقه با برگ کاهوی گرد از حیث میانگین غلظت این عنصر اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($p < ۰/۰۵$)، به‌طوری‌که، ساقه کاهوی گرد با ۳۸/۶±۲۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم از بیشینه نرخ تجمع نیکل برخوردار بود. در نهایت، کمینه میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های کاهوی ایرانی برابر با ۷۲/۵±۱۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و بین ساقه با برگ این کاهو از حیث میانگین غلظت نیکل اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت ($p > ۰/۰۵$) و هر دو قسمت ساقه و برگ در یک گروه آماری قرار گرفتند (جداول ۱، ۲ و ۵).

سرب از طریق فعالیت‌های مختلف به هوا، خاک و آب شرب وارد می‌شود و یکی از عوامل سرطان‌زای انسانی است که منبع عمده آن برای افراد فاقد مواجهه شغلی، مواد غذایی و به‌ویژه سبزیجات است (۴۲ و ۴۳). قابلیت ذخیره این عنصر در برگ گیاهان نیز متفاوت و حداکثر غلظت مجاز سرب در گیاه برای مصرف انسان پنج میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (۲۸ و ۴۴). بر اساس نتایج، در همه نمونه‌های کاهوی مورد ارزیابی، میانگین غلظت تجمع‌یافته سرب بیش‌تر از بیشینه رواداری بود. ثابت شده است که اگر غلظت سرب در گیاه ۳۰۰-۳۰ میلی‌گرم

در کیلوگرم باشد، می‌توان آن گیاه را آلوده به عنصر سرب محسوب کرد (۵ و ۱۲) که با توجه به نتایج حاصل، به‌غیر از ساقه کاهوی ایرانی، سایر نمونه‌ها را نمی‌توان آلوده به سرب محسوب کرد، هرچند که می‌بایست به اثرات مخرب مصرف طولانی‌مدت مواجهه با این عنصر و به‌ویژه خاصیت تجمعی آن در بدن که می‌تواند بسیار مخاطره‌آمیز باشد، توجه ویژه‌ای کرد.

برخی گیاهان به آسانی کادمیم را از طریق ریشه جذب و آن را در غلظت‌های بیش‌تری نسبت به سایر گیاهان ذخیره می‌کنند. در بین عناصر، نگرانی‌های بیش‌تری در مورد کادمیم وجود دارد، زیرا غلظت‌های به‌نسبت زیاد این عنصر می‌تواند در بخش‌های خوراکی گیاه تجمع یابد، بدون آن‌که علامت بیماری و تاثیر مشخصی در گیاه نمایان شود (۵ و ۳۳). غلظت تجمع‌یافته کادمیم در گیاه برای مصرف توسط انسان نباید از ۰/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تجاوز کند (۵) که با توجه به نتایج، در همه نمونه‌های کاهو میانگین غلظت این عنصر بیش‌تر از حد مجاز بود. مطابق استاندارد کمیسیون کدکس، غلظت کادمیم قابل تحمل هفتگی برابر با ۰/۰۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن است. همچنین، مشخص شده است که اگر دریافت روزانه کادمیم از طریق غذا برابر با ۲۶۰-۱۴۰ میکروگرم در روز و یا معادل ۵۰ میکروگرم کادمیم در یک مترمکعب هوا باشد، در طی ۱۰ سال، کلیه‌ها از کار خواهند افتاد (۴۵). مقدار معمول کادمیم که از طریق تغذیه به بدن انسان وارد می‌شود ۵۰-۱۰ میکروگرم در روز است (۲۸). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، در همه نمونه‌های کاهوی مورد ارزیابی میانگین غلظت تجمع‌یافته کادمیم بیش‌تر از ۳۵۰۰۰ میکروگرم در کیلوگرم بود. از طرفی، ثابت شده است که اگر غلظت کادمیم در گیاه ۵-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، می‌توان آن گیاه را آلوده به عنصر کادمیم در نظر گرفت (۵ و ۱۲) که با توجه به نتایج حاصل، نمونه‌های کاهو آلوده به کادمیم هستند.

مرور منابع نشان‌دهنده آن است که سبزیجات برگی از قابلیت قابل توجه تجمع عنصر کروم برخوردار هستند (۴۶). با توجه به این‌که تجمع بیش‌تر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم کروم در گیاه برای مصرف توسط انسان زیان‌آور است (۲۸)، طبق نتایج حاصل، در همه نمونه‌های کاهو میانگین غلظت تجمع‌یافته کروم بیش‌تر از این حد بود. همچنین، در حالت معمول، روزانه حدود ۶۰۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کروم از طریق غذا وارد بدن انسان می‌شود و یا به‌عبارت دیگر، روزانه ۵۰۰-۵ میکروگرم کروم از طریق رژیم غذایی جذب می‌شود (۴۷). از طرفی، ثابت شده است که اگر غلظت کروم در گیاه ۳۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، می‌توان آن گیاه را آلوده به عنصر کروم در نظر گرفت (۵ و ۱۲) که با توجه به نتایج حاصل، نمونه‌های کاهو آلوده به کروم هستند.

میانگین مقادیر نیکل که روزانه از طریق تغذیه جذب بدن انسان می‌شود برابر با ۵۰۰-۴۰۰ میکروگرم در کیلوگرم است (۴۷). با توجه به این‌که همه نمونه‌های کاهوی مورد مطالعه بیش‌تر از سه میکروگرم در کیلوگرم نیکل جذب کرده بودند، بنابراین، مصرف کاهو مخاطره‌آمیز محسوب می‌شود. همچنین، ثابت شده است که اگر غلظت نیکل در گیاه ۱۰۰-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، می‌توان آن گیاه را آلوده به نیکل در نظر گرفت (۵ و ۱۲) که با توجه به نتایج حاصل، نمونه‌های کاهو آلوده به نیکل هستند.

نتایج حاصل از پژوهش با دستاورد مطالعه‌ای که در آن با بررسی فلزات سنگین موجود در سبزیجات پرورشی با آب آلوده در حومه شهر همدان گزارش شد که غلظت عنصر کادمیم در سبزیجات مورد بررسی بسیار ناچیز و حداکثر غلظت عناصر سرب و کروم به‌ترتیب برابر با ۳/۸۸ و ۰/۵۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (۴۸)، با دستاورد مطالعه ناظمی و همکاران (۱۳۷۹) که با بررسی محتوی برخی عناصر در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم و کروم را به‌ترتیب برابر با ۱۸/۵، ۲/۴۳ و ۵/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند (۴۹)، با دستاورد مطالعه ترابیان و مهجوری که با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران گزارش کردند که غلظت عناصر سرب و کروم به‌ترتیب برابر با ۷/۲۰ و ۸۶/۰ میلی‌گرم به ازای هر گرم سبزی بود (۲۸)، مطابقت دارد. این در حالی است که، Sulaiman و همکاران

(۲۰۲۰) با تعیین محتوی عناصر در برخی از سبزیجات برگی جمع‌آوری شده از مناطق کشاورزی شهر پاهانگ مالزی مقادیر عنصر سرب را ۰/۰۳۰ تا ۰/۰۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و عنصر کادمیم را ۰/۵۴۰-۰/۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند (۳۴) که بسیار کم‌تر از میانگین مقادیر گزارش شده عناصر سرب و کادمیم در پژوهش حاضر است. Seilsepour (۲۰۲۲) نیز میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) را در کاهوی کشت‌شده در دشت ورامین به‌ترتیب برابر با ۱/۴۶ و ۰/۱۱۰ گزارش کرد (۵۰).

مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب با رهنمود کمیسیون کدکس نشان داد که میانگین غلظت این عنصر در همه نمونه‌های کاهو بیش‌تر از بیشینه رواداری بوده است. این موضوع می‌تواند مبین قابلیت این گونه گیاهی برای رشد در نواحی آلوده به فلز سرب، کشت این محصول در حوالی جاده‌های پر تردد و یا آبیاری مزارع با فاضلاب باشد. این نتایج با دستاورد مطالعه Sharma و همکاران (۲۰۰۶) که با بررسی محتوی فلزات سنگین مس، روی، کادمیم و سرب در سبزیجات کشت‌شده در شهر واراناسی هندوستان گزارش کردند که میانگین غلظت تجمع‌یافته سرب و کادمیم در گونه‌های مورد مطالعه برای سلامتی مخاطره‌آمیز بوده و میانگین غلظت عنصر کادمیم از رهنمود WHO/FAO بیش‌تر بوده است (۱۹)، با دستاورد مطالعه Muchuweti و همکاران (۲۰۰۶) که با ارزیابی محتوی فلزات سنگین در سبزیجات آبیاری شده با مخلوط پساب و لجن فاضلاب در زیمباوه نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیم با ۶/۷۷ و ۳/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب ۲۲ و ۱۸ برابر استاندارد اتحادیه اروپا بوده است (۵۱)، با دستاورد مطالعه Gebrekidan و همکاران (۲۰۱۳) که با بررسی سمیت فلزات سنگین تجمع‌یافته در سبزیجات و میوه‌های رشد یافته در حاشیه رودخانه گینفل اتیوپی گزارش کردند میانگین غلظت سرب در نمونه‌ها برابر با ۱/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (۵۲)، با یافته‌های مطالعه Patel و همکاران (۲۰۰۸) که با بررسی تجمع سرب در سبزی‌های کشت‌شده در نواحی مختلف هندوستان عنوان کردند که بیشینه غلظت تجمع‌یافته سرب در گیاه ریحان و برابر با ۱۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (۵۳)، مطابقت دارند. همچنین، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در سبزی‌های خوراکی کشت‌شده در اطراف رودخانه زنجان‌رود نشان داد که محتوی سرب از ۳/۸۹ تا ۳۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده است (۳۱) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت.

مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کادمیم و کروم در نمونه‌های کاهوی مورد مطالعه با حد استاندارد بیان‌گر آن بود که در همه نمونه‌ها، میانگین غلظت تجمع‌یافته این عناصر بیش‌تر از حد مجاز بوده است. این یافته با دستاورد مطالعه‌ای که در آن با تعیین غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، منگنز، روی، کادمیم و وانادیوم در ۱۴ گونه سبزی خوراکی جنوب پالایشگاه تهران مشخص شد که مقادیر اندازه‌گیری شده عناصر در همه گونه‌های گیاهی بیش‌تر از بیشینه رواداری بوده است (۵۴)، با دستاورد پژوهش Yang و همکاران (۲۰۱۱) که با بررسی تجمع و قابلیت مخاطره‌آفرینی فلزات سنگین در سبزیجات عرضه‌شده در چانگ کینگ چین گزارش کردند که میانگین مقادیر سرب و کادمیم به‌ترتیب با ۱۱/۴ و ۲/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بیش‌تر از بیشینه رواداری WHO/FAO بوده است (۵۵)، با دستاورد مطالعه ای که در آن با ارزیابی برخی فلزات سنگین در گونه‌های کاهو، نعناع و تره کشت شده در اراضی مختلف جنوب تهران مشخص شد که میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیم در گونه تره به‌ترتیب با ۰/۱۴۰ و ۰/۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیش‌تر از بیشینه رواداری اتحادیه اروپا بوده است (۵۶)، با دستاورد مطالعه Rajabisorkhani و Ghaemi (۲۰۱۲) که با بررسی اثر کاربرد پساب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب سبب افزایش غلظت کادمیم، نیکل و سرب در اندام‌های هوایی (برگ و ساقه) گیاه شده است (۵۷)، با دستاورد مطالعه Ali و Al-Qahtani (۲۰۱۲) که با بررسی غلظت سرب و کادمیم در سبزیجات، غلات، حبوبات و میوه عرضه‌شده در عربستان سعودی گزارش کردند که مقادیر این فلزات از بیشینه رواداری WHO/FAO بیش‌تر بوده و واجد مخاطره سلامت برای مصرف‌کنندگان است (۵۸)، با یافته‌های مطالعه بهبهانی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹) که با بررسی اثر آبیاری با پساب

تصفیه‌خانه‌ها بر میزان تجمع فلزات سنگین در برخی از سبزیجات منطقه رودهن گزارش کردند که مقادیر کروم و کادمیم در سبزیجات هم برای گیاه و هم برای انسان بیش‌تر از حد استاندارد بوده است (۳۰)، با دستاورد مطالعه‌ای که در آن با بررسی مقادیر فلزات سنگین در سبزیجات خوراکی کشت‌شده در سنندج مشخص شد که سبزیجات مورد ارزیابی واجد مخاطره سلامت برای مصرف‌کننده هستند (۳) و از طرفی، با دستاورد مطالعه Eslami و همکاران (۲۰۰۷) که با بررسی محتوی فلزات سنگین در سبزیجات خوراکی رشد یافته در امتداد رودخانه زنجان‌رود گزارش کردند که میانگین مقادیر عناصر از بیشینه رواداری WHO/FAO برای مصرف انسان بیش‌تر بوده است (۳۱)، مطابقت دارد. این در حالی است که، شاملو و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی تجمع برخی عناصر در بافت گونه‌های اسفناج و نعناع تیمارشده با لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران، میانگین مقادیر سرب و کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار اسفناج را به‌ترتیب برابر با ۰/۸۲۰ و ۲/۳۳ و در تیمار نعناع نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۹۷۶ و ۰/۵۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و بسیار کم‌تر از یافته‌های پژوهش حاضر گزارش کردند (۳۷). به‌علاوه، Rahmdel و همکاران (۲۰۱۸) نیز میانگین مقادیر عناصر سرب، کادمیم و نیکل در گونه‌های اسفناج، شوید، گشنیز و شاهی نواحی کشاورزی شیراز را به‌ترتیب برابر با ۳/۲۱، ۰/۲۸۰ و ۳/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند (۵۹). از طرفی، طهماسبی و امیری (۱۴۰۰) **با** بررسی اثر پساب شهری بر نرخ انباشت برخی عناصر در گیاه ذرت کشت‌شده در شهرستان دشتستان بوشهر گزارش کردند که میانگین مقادیر عناصر سرب و کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌ها به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸۰ و ۲/۰۸ بوده است (۶۰).

تجاوز میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد مطالعه و به‌ویژه سرب، کادمیم و کروم از رهنمود کمیسیون کدکس FAO/WHO را می‌توان با کشت گیاه در خاک‌های آلوده، آبیاری با آب آلوده و استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی مرتبط دانست. بنابراین، کاهوی عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان از ایمنی کافی برای مصرف برخوردار نبوده و از این‌رو، برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان نسبت به پایش محصولات کشاورزی پرمصرف قبل از عرضه به بازار مصرف توصیه می‌شود.

## References


1. Noori, A.S., Kazemkhui, J., Poorang, M., Alizadeh, M., Ghoreishi, H., Padash, A. (2013). Survey and determination of heavy metal Ni, Pb, Cu, Mn, Zn, Cd, Vi in edible vegetable in south Tehran refinery. Journal of Environmental Research, 3(6), 65-75.
2. Ghafari, H.R., Sobhanardakani, S. (2017). Contamination and health risks from heavy metals (Cd and Pb) and trace elements (Cu and Zn) in dairy products. Iranian Journal of Health Sciences, 5(3), 49-57.
3. Maleki, A., Alasvand Zarasvand, M. (2008). Heavy metals in selected edible vegetables and estimation of their daily intake in Sanandaj, Iran. Southern Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health, 39(2), 335-340.
4. Aghelan, N., Sobhanardakani, S. (2016). Health risk assessment of consumption of tea marketed in Hamadan City, potential risk of As, Pb, Cd and Cr. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences, 23(1), 65-74. (In Persian)
5. Alloway, B.J. (1990). Heavy Metal in Soils. John Wiley and Sons Inc, New York, pp. 20-27.
6. Rezaei Raja, O., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. (2016). Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. Environmental Health Engineering and Management Journal, 3(3), 131-135.

7. Sobhanardakani, S. (2019). Heavy metals health risk assessment through consumption of some foodstuffs marketed in city of Hamedan, Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 17(2), 175-183.
8. Malakootian, M., Aboli, M., Ehrampoosh, M. (2009). Determination of lead level in lettuce in Kerman. Tolooe-Behdasht, 26, 62-68. (In Persian)
9. Davodpour, R., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N., Lorestani, B. (2020). Bioconcentration and stabilization potential studies of arsenic and some heavy metals in *Astragalus gossypinus*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33(2), 477-488. (In Persian)
10. Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E. (2007). Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 32(15-18), 1399-1405.
11. Chaney, R.L. (1982). Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. Acta Agrophysica, 10(1), 89-102.
12. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace Element in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton Ann, Arbor, London, pp 57.
13. Aghelan, N., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Lorestani, B., Merrikhpour, H. (2021). Evaluation of some chelating agents on phytoremediation efficiency of *Amaranthus caudatus* L. and *Tagetes patula* L. in soils contaminated with lead. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 19(1), 503-514.
14. Pruvot, C., Douay, F. (2006). Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. Journal of Soils and Sediments, 6, 215-220.
15. Sobhanardakani, S. (2016). Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand Plain, Hamedan Province, western Iran. Iranian Journal of Toxicology, 10(3), 35-40.
16. Mohebian, M., Sobhanardakani, S., Taghavi, L., Ghoddousi J. (2021). Analysis and potential ecological risk assessment of heavy metals in the surface soils collected from various land uses around Shazand Oil Refinery Complex, Arak, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 14(19), 2019.
17. Habibi, H., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Lorestani, B., Kiani Sadr, M. (2022). Analysis, sources and health risk assessment of trace elements in street dust collected from the city of Hamedan, west of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 15, 168.
18. Bramwell, L., Pless-Mulloli, T., Hartley, P. (2008). Health risk assessment of urban agriculture sites using vegetable uptake and bioaccessibility data–an overview of 28 sites with a combined area of 48 hectares. Epidemiology, 19(6), S150.
19. Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F.M. (2006). Heavy metals contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 77, 311-318.
20. Davodpour, R., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N., Lorestani, B. (2019). Honeybees (Apis mellifera L.)

as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 77(3), 344-358.

21. Sobhanardakani, S., Kianpour, M. (2016). Heavy metal levels and potential health risk assessment in honey consumed in west of Iran. Avicenna Journal of Environmental Health Engineering, 3(2), e7795.
22. Sobhanardakani, S. (2017). Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. Marine Pollution Bulletin, 123(1-2), 34-38.
23. Sobhanardakani, S., Tayebi, L., Hosseini, S.V. (2018). Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. Environmental Science and Pollution Research, 25(3), 2664-2671.
24. Tayebi, L., Sobhanardakani, S. (2020). Analysis of heavy metal contents and non-carcinogenic health risk assessment through consumption of Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). Pollution, 6(1), 59-67.
25. Khan, S., Rehman, S., Khan, A.Z., Khan, M.A., Shah, M.T. (2010). Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73, 1820-1827.
26. Sabzevari, E., Sobhanardakani, S. (2018). Analysis of selected heavy metals in indoor dust collected from city of Khorramabad, Iran: A case study. Jundishapur Journal of Health Sciences, 10(3), e67382.
27. Sobhanardakani, S. (2019). Ecological and human health risk assessment of heavy metals content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. Biological Trace Element Research, 187(2), 602-610.
28. Torabian, A., Mahjori, M. (2002). Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. Iranian Journal of Soil Research, 16(2), 189-196. (In Persian)
29. Ali, Z.N., Abdulkadir, F.M. Imam, M.M. (2012). Determination of some heavy metals in spinach and lettuce from selected markets in Kaduna metropolis. Nigerian Journal of Chemical Research, 17, 23-29.
30. Behbahaninia, A., Azadi, A., Sadeghian, S. (2010). The effect of irrigation with wastewater on the amount of heavy metal accumulation in some vegetables in Rodhan region. Crops Improvement Research, 2(2), 165-173. (In Persian)
31. Eslami, A., Jahed Khaniki, G.R., Nurani, M., Mehrasbi, M., Peyda, M., Azimi, R. (2007). Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Zanjanrood River in Zanjan, Iran, Journal of Biological Sciences, 7, 943-948.
32. Sobhanardakani, S., Habibi, M., Behbahaninia, A. (2015). Accumulation of Pb and Cd in tissue of leek (*Allium ampeloprasum persicum*) and peppermint (*Mentha piperita*) treated with sewage sludge of Qods Town treatment plant, Tehran. Journal of Food Hygiene, 5(3), 21-30. (In Persian)

33. Selahvarzi, S., Sobhanardakani S. (2020). Analysis and health risk assessment of toxic (Cd and Pb) and essential (Cu and Zn) elements through consumption of potato (*Solanum tuberosum*) cultivated in Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, doi: 10.1080/03067319.2020.1807974.
34. Sulaiman, F.R., Ibrahim, N.H., Syed Ismail, S.N. (2020). Heavy metal (As, Cd, and Pb) concentration in selected leafy vegetables from Jengka, Malaysia, and potential health risks. SN Applied Sciences, 2, 1430.
35. Feseha, A., Chaubey, A.K., Abraha, A. (2021).Heavy metal concentration in vegetables and their potential risk for human health. Health Risk Analysis, 1, 68-81.
36. Loredo-Tovías, M., Alcalá-Jáuregui, J.A., García-Arreola, M.E., Carballo-Méndez, F.J., Rodríguez-Fuentes., Buendía-García, A., Rodríguez-Ortiz, J.C. (2022). Concentration and transfer of heavy metals in lettuce (*Lactuca sativa* L.) irrigated with treated water. Terra Latinoamericana, 40, 1-12. (In Espanol)
37. Shamlo, Z., Behbahaninia, A., Sobhanardakani, S. (2021). Investigation of accumulation of lead and cadmium in mint (*Mentha piperital*) and spinach (*Spinacia oleracea*) under treated sewage sludge. Journal of Sustainability, Development and Environment, 2(1), 13-23. (In Persian)
38. Zorrig, W., Rouached, A., Shahzad, Z., Abdelly, C., Davidian, C., Berthomieu, P. (2010). Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. Journal of Plant Physiology, 167, 1239-1247.
39. Sharma, R., Agrawal, M., Marshall, F. (2008). Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi. Environmental Pollution, 154, 254-263.
40. Codex Alimentarius Commission. (1984). Contaminants, Joint FAO/WHO Food Standards Program. Vol. XVII, first ed, Codex Alimentarius.
41. Codex Alimentarius Commission (FAO/ WHO). (2001). Food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, ALINORM 01/12A:1-289.
42. Sobhanardakani, S., Maanijou, M., Asadi, H. (2015). Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences, 21(4), 319-329. (In Persian)
43. Sobhanardakani, S. (2018). Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals through exposure to the household dust (Case study: City of Khorramabad, Iran). Annals of Military and Health Sciences Research, 16(4), e86594.
44. Erfani, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A. (2002). Yield and chemical composition of lettuce and some soil characteristics as affected by irrigation with wastewater. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 6(1), 71-90. (In Persian)
45. Bahemuka, T.E., Mubofu, E.B. (1998). Heavy metals in edible green vegetables grown along the site of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es

Salam, Tanzania. Food Chemistry, 6, 63-65.

46. Aghelan, N., Sobhanardakani, S. (2016). Health risk assessment of consumption of tea marketed in Hamadan City, potential risk of As, Pb, Cd and Cr. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences, 23(1), 65-74. (In Persian)
47. Zeinali, T., Salmani, F., Naseri, K. (2019). Dietary intake of cadmium, chromium, copper, nickel, and lead through the consumption of meat, liver, and kidney and assessment of human health risk in Birjand, southeast of Iran. Biological Trace Element Research, 191(2), 338-347.
48. Samarghandi, M.R., Karimpour, M., Sadri, G.H. (1996). Investigating the content of heavy metals in vegetables grown with water contaminated with these metals in the suburbs of Hamadan in 1996. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 7(1), 45-53. (In Persian)
49. Nazemi, S, Asgari, A.R., Raei, M. (2010). Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud. Iranian Journal of Health and Environment, 3(2), 195-202. (In Persian)
50. Seilsepour, M. (2022). Study of concentrations of nitrates and heavy metals in soil and lettuce and risk assessment of its consumption. Journal of Crops Improvement, doi: 10.22059/JCI.2022.326369.2574. (In Persian)
51. Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, E., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. (2006). Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agriculture, Ecosystems & Environment, 112, 41-48.
52. Gebrekidan, A., Weldegebriel, Y., Hadera, A., Bruggen, B. (2013). Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel River near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. Ecotoxicology and Environmental Safety, 95, 171-178.
53. Patel, K., Ambade, B., Sharma, S., Sahu, D. (2008). Lead environmental pollution in central India. New Trends in Technologies, 4, 65-76.
54. Kazemzadeh Khoyi, J., Noori, A. S., Pourang, N. , Alizadeh, M., Ghoreishi, H., Padash, A. (2012). **T**he survey and measurement of Ni, Pb, Cu, Mn, Zn, Cd and V content in green vegetables of south area of Tehran Refinery. Environmental Researches, 3(6), 65-74. (In Persian)
55. Yang, Q., Xu, Y., Liu, S., He, J., Long, F. (2011). Concentration and potential health risk of heavy metals in market vegetables in Chongqing, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74, 1664-1669.
56. Givianrad, M.H., Sadeghi, T., Larijani, K., Hosseini, S.E. (2011). Determination of cadmium and lead in lettuce, mint and leek cultivated in different sites of Southern Tehran. Food Technology & Nutrition, 8(2), 38-57. (In Persian)
57. Rajabisorkhani, M., Ghaemi, A.A. (2012). Consequences of using treated wastewater and chemical fertilizers on Broccoli (Brassica oleracea) growth. Water and Irrigation Management, 2(2), 13-24.

58. Ali, M.H.H., Al-Qahtani, K.M. (2012). Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. Egyptian Journal of Aquatic Research, 38, 31-37.
59. Rahmdel, S., Rezaei, M., Ekhlasi, J., Zarei, S.H., Akhlaghi, M., Abdollahzadeh, S.M., Sefidkar, R., Mazloomi, S.M. (2018). Heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co) in leafy vegetables collected from production sites: their potential health risk to the general population in Shiraz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 190(11), 650.
60. Tahmasbi, A., Amiri, F. (2022). Effect of municipal wastewater on the accumulation of heavy metals cadmium and lead in soil and corn. Journal of Environmental Health Engineering, 9(2), 157-172. (In Persian)