فصلنامه (علمی – پژوهشی)

زیست شناسی تکوینی

سال نهم، شماره ۴، پاییز ۱۳۹۶

اندازه‌گیری کادمیوم، آرسنیک، نیکل و سرب در سبزیجات نعناع (*Mentha piperita*) و خرفه (*Portulace oleracea*) در خاک‌های دزفول و حمیدیه در استان خوزستان

فریده وطنیان[۱]، خوشناز پاینده*[۲]، لاله رومیانی[۳]

[۱] گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۲] گروه خاک شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۳] گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* Email: Payandeh426@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۵

چکیده

افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک در طول دهه‌های اخیر باعث کاهش کمیت و کیفیت تولیدات گیاهی شده و سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته است. این مطالعه با هدف بررسی پایش عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک و نیکل در سبزیجات خرفه (*Portulaca oleracea*) و نعناع (*Mentha piperita*) حمیدیه و دزفول در استان خوزستان انجام شد. نمونه‌برداری با ۹ نمونه سبزی و خاک از ۳ منطقه در هر شهر با ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS18 انجام شد و میانگین تیمارها به کمک آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) با یکدیگر مقایسه شدند. بالاترین میزان آرسنیک در گیاه خرفه دزفول (۰/۰۵±۱/۰۳ میکروگرم در کیلوگرم) و پایین‌ترین میزان این عنصر در گیاه نعناع حمیدیه (۰/۰۱±۰/۰۸ میکروگرم در کیلوگرم) به دست آمد. بالاترین و پایین‌ترین میزان سرب در گیاه خرفه (۰/۰۰۹±۰/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۵±۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بالاترین و پایین ترین میزان کادمیوم در گیاه خرفه دزفول (۰/۰۰۱±۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۷±۰/۰۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. بالاترین میزان نیکل در گیاه نعناع دزفول (۰/۰۳±۲۲/۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم) و پایین‌ترین میزان آن در گیاه خرفه حمیدیه (۰/۰۷±۹/۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم) بود. میزان شن در نمونه خاک دزفول بیشتر از خاک حمیدیه به دست آمد و میزان لای در نمونه خاک حمیدیه بیشتر بود ($P<0.05$). میزان pH، مواد خنثی شونده، ماده آلی، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک منطقه دزفول بالاتر از خاک حمیدیه بود. در این تحقیق میزان مواد آلی در خاک دزفول و حمیدیه بسیار کم است. با توجه به نتایج به دست آمده میزان کادمیوم، سرب، آرسنیک و نیکل در سبزیجات نعناع و خرفه پایین تر از حد مجاز استانداردها به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: استان خوزستان، آلودگی، خاک، سبزیجات، عناصر سمی.

مقدمه

عناصر سنگین ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در خاک وجود دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسان وارد خاک می‌شوند. مهم‌ترین مسیر در معرض قرار گرفتن عناصر سنگین مصرف روزانه مواد غذایی است [۱]. فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده دارند، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. این عناصر به علت تحرک کم به مرور در خاک انباشته شده و در نهایت وارد چرخه غذایی می‌شوند و سلامت انسان و سایر موجودات را تهدید می‌کنند. بنابراین اندازه‌گیری و پایش مستمر غلظت فلزات سنگین ضروری است [۱۳].

فلزات سمی که حاصل فعالیت بشر در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی و تجارت می‌باشد در طول سالیان متمادی بدون توجه به اصول مهندسی و زیست محیطی در زمین یا آب‌های پذیرنده تخلیه شده که باعث آلودگی آب، خاک، مزارع کشاورزی و سلامت انسان و دیگر موجودات گردیده است. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان ساخت وارد محیط زیست می‌شوند [۹]. مقاومت و پایداری عناصر سنگین در خاک نسبت به سایر آلاینده ها بسیار طولانی بوده و آلودگی خاک توسط فلزات سنگین دائمی است.

امروزه آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل دارا بودن پتانسیل تاثیرات مضر اکولوژیکی، تبدیل به یک نگرانی بحرانی زیست‌محیطی شده است [۳۷،۴۳]. آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین ممکن است به طور وسیعی در فضای شهری گسترش یابد که ناشی از فعالیت‌های صنعتی گذشته و با استفاده از سوخت‌های فسیلی بوده است [٦١].

گام اول در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات می‌باشد. از این رو برای حفظ محیط زیست، کنترل آلودگی و بهداشت عمومی باید اطلاع دقیقی از میزان آلودگی‌ها به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آن‌ها در محیط وجود داشته باشد [۱۰]. همچنین پایش آلاینده ها به بهبود ایمنی و کیفیت مواد غذایی کمک می کند و خطرات احتمالی آن را با ارائه اطلاعات مربوط به سطوح آلودگی‌های زیست محیطی در جامعه ارزیابی می‌کند [٤٠].

فلزات سنگین ممکن است به روش‌های مختلفی وارد بدن انسان شوند. گزارش شده است که تقریبا نیمی از میانگین فلزات سنگین از طریق غذاهای ناشی از منشاء گیاهی (میوه، سبزی، غلات و حبوبات) وارد زنجیره غذایی می شوند [٥٤]. سبزیجات از اجزای مهم رژیم غذایی سالم هستند. آلودگی سبزیجات به فلزات سنگین از طریق آب آلوده می‌تواند منجر به تجمع زیستی در بدن مصرف کنندگان گردد [۲۵]. یکی از فاکتورهای مهم و موثر جهت تشخیص میزان سلامت سبزیجات، غلظت عناصر سنگین موجود در آن هاست [۱۸]. آلودگی سبزی‌ها به فلزات سنگین می‌تواند به‌علت آبیاری با فاضلاب‌ها، کودها، آفت‌کش‌ها و پساب کارخانه‌ها باشد [٤٦]. مصرف بیشتر سبزی‌ها به عنوان منبع ویتامین، مواد ریزمغذی و فیبر برای سلامتی مفید می‌باشند، در حالی که این گیاهان محتوی مواد سمی و خطرناک با بیش از غلظت مجاز می‌باشند [۵۰].

در زمینه اندازه‌گیری و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در سبزیجات خوراکی و خاک‌های کشاورزی مناطق مختلف در ایران (زنجان، اصفهان، تهران، همدان، اهواز، کرج، مشهد، هشترود، رودهن) تحقیقات متعددی انجام شده است که در مطالعات مختلف تجمع عناصر مختلف نظیر آرسنیک، کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس گزارش شده و خطرات ناشی از این آلاینده‌ها در زنجیره

غذایی برای انسان نیز تعیین گردیده است [۱، ٤، ٥، ٦، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۸، ۲۲، ۲٤].

آلودگی سبزیجات به فلزات سنگین ناشی از وجود این آلاینده ها در خاک، هوا و آب خطر جدی برای کیفیت و امنیت این محصولات به شمار می رود. بنابراین علی‌رغم اینکه تحقیقات زیادی در زمینه فلزات سنگین و آلاینده ها در اراضی کشاورزی انجام شده است، اما تاکنون مطالعه‌ای در خصوص پایش غلظت عناصر سنگین و سمی در سبزیجات خاک های تحت کشت شهرهای دزفول و حمیدیه در استان خوزستان صورت نگرفته است. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی پایش عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک و نیکل در سبزیجات خرفه (*Portulaca oleracea*) و نعناع (*Mentha piperita*) اراضی کشاورزی حمیدیه و دزفول در استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

نمونه‌برداری سبزیجات و خاک از اراضی تحت کشت کشاورزی در شهرهای دزفول و حمیدیه در استان خوزستان انجام شد. دزفول از شهرهای شمالی استان خوزستان و یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران در ٤۸ درجه و ۲٤ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهر حمیدیه در ۲۵ کیلومتری غرب اهواز و طول جغرافیایی آن ٤۸ درجه و ۱۱ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه قرار دارد (شکل ۱).

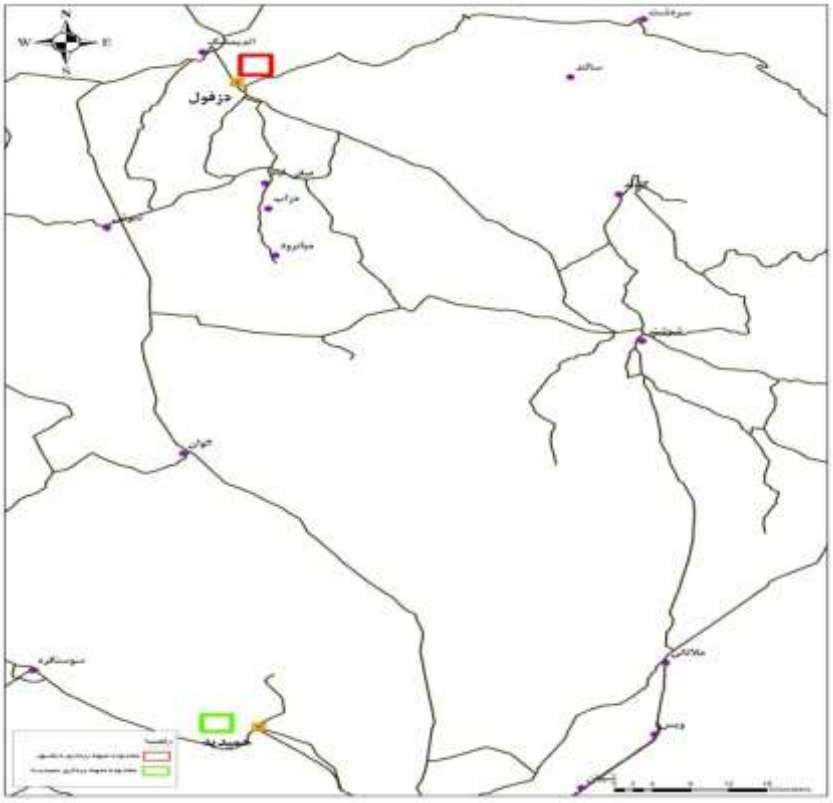
نمونه‌گیری

جامعه آماری در این تحقیق سبزیجات نعناع و خرفه تحت کشت مناطق دزفول و حمیدیه بود. نمونه برداری با ۹ نمونه سبزی از ۳ منطقه در هر شهر با ۳ تکرار صورت گرفت. نمونه‌های سبزیجات بعد از جمع‌آوری درون کیسه‌های پلی اتیلنی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه برداری خاک نیز از عمق ۰تا ۳۰ سانتی‌متری مناطق کشت شده سبزیجات انجام شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین، ابتدا نمونه‌های گیاه ۳ مرتبه با آب مقطر به منظور حذف خاک و آلودگی و گرد و غبار شستشو داده شد سپس در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت نمونه‌ها در آون خشک گردید سپس با استفاده از هاون (سرامیکی) کوبیده گردید به صورت ذرات ریز پودر درآمد. نمونه‌های پودر شده در پاکت کاغذی ریخته و تا زمان اندازه‌گیری در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس برای تعیین غلظت عناصر سنگین نمونه‌های گیاه به روش هضم تر (۷۰ درصد اسید نیتریک، اسید پر کلریک و اسید سولفوریک) هضم گردید. پس از عصاره‌گیری و به حجم رساندن نمونه‌های آماده شده به وسیله دستگاه کوره گرافیکی اندازه‌گیری شدند.

به منظور اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمونه های خاک، ۰/۵ گرم از نمونه های خاک خشک و الک شده با نسبت ۳:۱:۱ اسیدکلریدریک، اسید نیتریک و اسید پرکلریک (۷/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک، ۲/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۲/۵ میلی لیتر اسید پرکلریک) مخلوط شد و در دمای ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦ ساعت در دستگاه هضم کننده قرار داده شدند. در پایان نمونه ها پس از صاف شدن با کاغذ واتمن ٤۲ میکرون به حجم ۲۵ میلی لیتر رسیدند [٤۱].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل نمونه برداری سبزیجات و خاک شهرهای دزفول و حمیدیه در استان خوزستان

سنجش عناصر

جهت سنجش عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک و نیکل از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۴۱۰۰ (Perkin Elmer 4100) ساخت کشور آمریکا مجهز به سیستم های کوره گرافیتی، شعله و سیستم هیدرید به عنوان منبع اتمیزه کننده عناصر در محلول می‌باشد، استفاده گردید. حد تشخیص فلزات توسط این دستگاه جذب اتمی به روش کوره در حد ppb بود که دارای دقت حدود ۱۰۰۰ برابر سیستم شعله می‌باشد. جهت اندازه‌گیری عناصر ابتدا به ۱۰ میلی لیتر محلول هضم شده نمونه‌ها، ۵ میلی لیتر محلول آمونیوم پیرولیدین کاربامات ۵ درصد اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها بهم زده شدند تا عناصر به صورت فرم آلی فلزی در محلول کمپلکس شوند و سپس به نمونه‌ها ۲

میلی‌لیتر متیل ایزوبوتیل کتون اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه نمونه‌ها بهم‌زده شدند و پس از ۱۰ دقیقه نمونه‌ها در دور ۲۵۰۰ در دقیقه سانتریفوژ شدند و عناصر مورد نظر به فاز آلی منتقل شدند. پس از تنظیم کوره و سیستم EDL دستگاه و اپتیمم کردن دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای این عناصر و مادیریکس مودیفایر پلادیم توسط نرم‌افزار 32 Win Lab رسم گردید و مقدار این عناصر در محلول های آماده شده اندازه گیری گردید [۲۸].

اندازه‌گیری فاکتورهای خاک

جهت اندازه‌گیری ذرات بافت خاک از روش هیدرومتری بر اساس قانون استوک (تاثیر جرم در زمان در سقوط ذرات) استفاده شد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در نمونه‌های خاک توسط دستگاه EC متر انجام شد. میزان pH به روش عصاره اشباع، میزان آهک به روش تیتراسیون اسید و باز و درصد مواد آلی خاک به روش واکلی ـ بلک تعیین گردید [۳۵]. همچنین برای استخراج غلظت عناصر قابل جذب نظیر ازت، فسفر و پتاسیم از روش عصاره گیری استفاده شد [٤٩].

روش آماری داده‌ها

نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS18 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین داده‌ها به منظور مقایسه اختلاف معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۵ درصد (P=0.05) با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام شد. جهت رسم جداول از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

نتایج

میزان آرسنیک در دو گیاه خرفه و نعناع مناطق دزفول و حمیدیه اختلاف معنی‌داری داشت (P<0.05). بالاترین میزان آرسنیک در گیاه خرفه دزفول (۰/۰۵±۱/۰۳ میکروگرم در کیلوگرم) و پایین‌ترین میزان این عنصر در گیاه نعناع حمیدیه (۰/۰۱±۰/۰۸ میکروگرم در کیلوگرم) به دست آمد. میزان سرب در دو گیاه خرفه و نعناع مناطق دزفول و حمیدیه اختلاف معنی‌داری داشت (P<0.05)، اما در ۳ منطقه مورد مطالعه میزان این عنصر در گیاه نعناع دزفول با حمیدیه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>0.05). بالاترین و پایین‌ترین میزان سرب در گیاه خرفه (۰/۰۰۹±۰/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۵±۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. میزان کادمیوم در دو گیاه خرفه و نعناع مناطق دزفول و حمیدیه اختلاف معنی‌داری داشت (P<0.05)، اما میزان این عنصر در گیاه خرفه حمیدیه با دزفول مناطق ۱ و ۲ اختلاف معنی‌داری نداشت (P>0.05). بالاترین و پایین‌ترین میزان کادمیوم در گیاه خرفه دزفول (۰/۰۰۱±۰/۰۹۵ میلی‌گرم درکیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۷±۰/۰۲٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. میزان نیکل در دو گیاه خرفه و نعناع مناطق دزفول و حمیدیه اختلاف معنی‌داری داشت (P<0.05)، اما میزان این عنصر در گیاه خرفه دزفول با نعناع حمیدیه اختلاف معنی‌داری نشد (P<0.05). بالاترین میزان نیکل در گیاه نعناع دزفول (۰/۰۳±۲۲/۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم) و پایین‌ترین میزان آن در گیاه خرفه حمیدیه (۰/۰۷±۹/۰٤ میکروگرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۱).

میزان آرسنیک در خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (P<0.05). بالاترین میزان آرسنیک در خاک دزفول (۰/۱۲±۲/۵۳ میکروگرم در کیلوگرم) به دست آمد. میزان سرب در

خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (P>0.05). بالاترین میزان سرب در خاک دزفول (۱/۸۰±۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. میزان کادمیوم در خاک دو منطقه ۱ و ۳ دزفول و حمیدیه نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (P<0.05)، اما در منطقه ۲ اختلاف معنی‌داری نداشت (P>0.05). بالاترین میزان کادمیوم در خاک حمیدیه (۰/۰۷٤±۰/۰۰٦ میلی-گرم در کیلوگرم) به دست آمد. میزان نیکل در خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه نیز اختلاف معنی داری مشاهده نشد (P<0.05). بالاترین میزان نیکل در خاک دزفول (۳۵/۵۰±۲/۳۸ میکروگرم بر کیلوگرم) به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین (mean±SD) میزان عناصر در دو گیاه خرفه و نعناع در دو منطقه دزفول و حمیدیه (ppb)

عناصر	منطقه مورد مطالعه	گیاه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
آرسنیک	دزفول	خرفه	۰/۹٤±۰/۰٦^{a}	۰/۹۸±۰/۰٦^{a}	۱/۰۳±۰/۰۵^{a}
		نعناع	۰/۲۷±۰/۰٤^{b}	۰/۲۹±۰/۰۷^{b}	۰/۲٤±۰/۰۵^{b}
	حمیدیه	خرفه	۰/٤۵±۰/۰٤^{c}	۰/۵۱±۰/۰٤^{c}	۰/٤۹±۰/۱٤^{c}
		نعناع	۰/۰۸±۰/۰۱^{d}	۰/۱۱±۰/۰۳^{d}	۰/۱۲±۰/۰۱^{d}
سرب	دزفول	خرفه	۰/۵۲±۰/۰۱^{a}	۰/٤۹±۰/۰۲^{a}	۰/۵۱±۰/۰۲^{a}
		نعناع	۰/۳۹±۰/۰۲^{b}	۰/٤۱±۰/۰٤^{b}	۰/۳۹±۰/۰٤^{b}
	حمیدیه	خرفه	۰/۹۸±۰/۰۱^{c}	۰/۹۸±۰/۰۰۹^{c}	۰/۹٦±۰/۰۱^{c}
		نعناع	۰/۳۵±۰/۰۰۵^{bd}	۰/۳۸±۰/۰۳^{bd}	۰/۳۵±۰/۰۱^{bd}
کادمیوم	دزفول	خرفه	۰/۰۸۵±۰/۰۰٦^{a}	۰/۰۹۱±۰/۰۰٦^{a}	۰/۰۹۵±۰/۰۰۱^{a}
		نعناع	۰/۰٤۵±۰/۰۰٦^{b}	۰/۰۵۰±۰/۰۰۳^{b}	۰/۰٦۰±۰/۰۰۵^{b}
	حمیدیه	خرفه	۰/۰۸۸±۰/۰۰۷^{ac}	۰/۰۹۳±۰/۰۰٦^{ac}	۰/۰۸۵±۰/۰۰٦^{c}
		نعناع	۰/۰۲٤±۰/۰۰۷^{d}	۰/۰۲۵±۰/۰۰۲^{d}	۰/۰۳۸±۰/۰۰۳^{d}
نیکل	دزفول	خرفه	۱٤/۹٦±۰/۱٤^{a}	۱٤/۹۲±۰/۵٦^{a}	۱۵/۲٦±۰/۰۳^{a}
		نعناع	۲۲/۱٤±۰/۲۲^{b}	۲۱/٤٤±۰/۱۱^{b}	۲۲/۲۰±۰/۰۳^{b}
	حمیدیه	خرفه	۹/٦۲±۰/۱۸^{c}	۹/٤٤±۰/۲۱^{c}	۹/۰٤±۰/۰۷^{c}
		نعناع	۱۵/۵۵±۰/۰۸^{ad}	۱۵/۷۲±۰/۵۰^{ad}	۱۵/۲۱±۰/۳٦^{ad}

حروف غیرهمنام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان می دهد (P<0.05)

جدول ۲- میانگین (mean±SD) میزان عناصر در خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه (ppb)

عناصر	منطقه مورد مطالعه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
آرسنیک	دزفول	۲/۵۳±۰/۱۲^{a}	۲/۲۷±۰/۳۹^{a}	۲/٤۱±۰/۰۵^{a}
	حمیدیه	۲/۰۳±۰/۰٤^{b}	۱/۸۵±۰/۰٤^{b}	۱/۸۲±۰/۰۹^{b}
سرب	دزفول	۱/۷۳±۰/۰۸^{a}	۱/۷۸±۰/۰۸^{b}	۱/۸۰±۰/۰۱^{c}
	حمیدیه	۱/٦۵±۰/۱۰^{a}	۱/۷٦±۰/۰۸^{b}	۱/٦۷±۰/۰٤^{c}
کادمیوم	دزفول	۰/۰۵۸±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰٦۰±۰/۰۱۲^{a}	۰/۰۵۷±۰/۰۰۱^{a}
	حمیدیه	۰/۰٦۳±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰٦٦±۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۷٤±۰/۰۰٦^{b}
نیکل	دزفول	۳۱/۳۸±۲/۷۳^{a}	۲۷/۰۲±٤/٤٦^{a}	۳۵/۵۰±۲/۳۸^{a}
	حمیدیه	۲۱/۰۷±۵/۳۳^{a}	۲۸/٤۱±٦/۸٦^{a}	۲۷/۲٦±٤/٦۹^{a}

حروف غیرهمنام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان می دهد (P<0.05)

خصوصیات فیزیکی خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه در جدول ۳ ارائه شده است. نوع بافت خاک در دزفول از نوع SIL و در حمیدیه SI بود. نمونه برداری در هر دو منطقه دزفول و حمیدیه در عمق ۳۰-۰ سانت‌متر انجام شد. میزان شن در نمونه خاک دزفول بیشتر از خاک حمیدیه به دست آمد و میزان لای در نمونه خاک حمیدیه بیشتر بود. خصوصیات شیمیایی خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه در جدول ٤ ارائه شده است. میزان pH، مواد خنثی شونده، ماده آلی، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک منطقه دزفول بالاتر از خاک حمیدیه بود. در این تحقیق میزان مواد آلی در خاک دزفول و حمیدیه بسیار کم است.

بحث

بالاترین میزان آرسنیک در گیاه خرفه دزفول (۱/۰۳±۰/۰۵ میکروگرم در کیلوگرم) و پایین‌ترین میزان این عنصر در گیاه نعناع حمیدیه (۰/۰۸±۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم) به دست آمد. میزان آرسنیک در خرفه حمیدیه و دزفول بالاتر از نعناع حمیدیه و دزفول بود ($P<0.05$). میزان آرسنیک در گیاه نعناع حمیدیه پایین‌ترین میزان را داشت ($P<0.05$). احتمالا دلیل بالا بودن تجمع آرسنیک در گیاه خرفه نسبت به گیاه نعناع این است که گیاه خرفه از نظر فیزیولوژیکی دارای قابلیت تحمل بسیار بالا در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین بوده و گیاه مناسبی برای کاشت و پالایش محیط و خاک از فلزات سنگین به شمار می‌رود [۳۸،٦۰].

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه

پارامترهای فیزیکی	دزفول	حمیدیه
نوع بافت خاک	لومی سیلتی	سیلتی
عمق نمونه برداری	۰ -۳۰	۰ -۳۰
میزان شن (٪)	۲۲	۴
میزان رس (٪)	۶	۸
میزان لای (٪)	۷۱	۸۸

جدول ٤- میانگین میزان خصوصیات شیمیایی خاک دو منطقه دزفول و حمیدیه

پارامترهای شیمیایی	دزفول	حمیدیه
pH	۸±۰/۹۶^{a}	۷/۷۶±۰/۶۸^{a}
هدایت الکتریکی	۲/۸۷±۰/۱۱^{a}	۷/۵۵±۰/۵۵^{b}
مواد خنثی شونده (٪)	۳۹/۲۴±۱/۷۵^{a}	۳۸/۳۱±۲/۴۲^{a}
ماده آلی (٪)	۱/۴۴±۰/۰۲^{a}	۱/۲۶±۰/۰۱^{a}
کربن آلی (٪)	۰/۸۲±۰/۰۰۵^{a}	۰/۷۷±۰/۰۰۳^{b}
ازت کل (٪)	۰/۰۶±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۷±۰/۰۰۲^{a}
فسفر قابل جذب (ppm)	۲۰/۸۴±۱/۲۲^{a}	۷/۵±۰/۸۶^{b}
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۲۹۳/۱۷±۴/۴۴^{a}	۹۸/۴۷±۳/۴۱^{b}

حروف غیرهمنام در هر ردیف اختلاف معنی دار را نشان می دهد ($P<0.05$)

بافت خاک از جمله مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر روی میزان جذب آرسنیک در گیاه می‌باشد [۲۱]. یکی از علل تجمع آرسنیک در سیزیجات استفاده از سموم دفع آفات نباتی می‌باشد که منبعی از عنصر آرسنیک هستند. استفاده از این سموم به خصوص در اراضی تحت کشت سبزیجات در جنوب ایران بسیار رایج است که سبب تجمع آرسنیک در سبزیجات خوراکی می‌گردد [۲۳]. همچنین فعالیت‌های انسانی نظیر عملیات کشاورزی غلظت آرسنیک را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهد و احتمالا استفاده از کودها و مواد شیمیایی دلیل افزایش این عنصر در سبزیجات می‌باشد [۳].

حداکثر مقدار آرسنیک در گیاهان ۰/۱ تا ۵ میکروگرم به ازای هر گرم تعیین شده است [۵۶،۵۸]. در گیاهان غلظت مجاز توصیه شده آرسنیک توسط سازمان بهداشت جهانی، ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است [۲۵]. میانگین میزان آرسنیک در سبزیجات تره، ریحان، تربچه، شاهی، جعفری، شنبلیله و گشنیز شهرستان شاهرود ۵/۲۶ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۲۶]. عمدتا آرسنیک توسط صنایع تولید کننده مس منتشر می‌شود، اما در حین تولید سرب و روی و فعالیت‌های کشاورزی هم پراکنده می‌شود. گیاهان آرسنیک را به آسانی جذب می‌کنند، بنابراین ممکن است غلظت آرسنیک در غذا بالا باشد [۲۱،۲۷].

میانگین میزان آرسنیک در بخش‌های خوراکی سیب زمینی و هویج ۱۲/۰۳ و ۲/۹ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد [۲۷]. همچنین غلظت این عنصر در تربچه، اسفناج، کاهو و شاهی کشت شده در بیجار استان کردستان به ترتیب ۲۳/۷، ۱۶/۹، ۳۴/۷، ۱۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد [۲۱]. جذب و تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان با تعدادی از فاکتورها مانند آب و هوا، رسوبات اتمسفری، غلظت‌های فلزات سنگین در خاک، ماهیت خاک، مقدار رشد گیاهان در زمان برداشت تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۱۷]. همچنین آلودگی هوا ممکن است دارای تهدید برای سبزیجات باشد که باعث ترازهای بالای فلزات سنگین در سبزیجات می شود. آلودگی سبزیجات با فلزات سنگین به علت آلودگی اتمسفری و خاک دارای تهدید برای کیفیت و سلامتی است [۵،۱۴].

بالاترین و پایین‌ترین میزان سرب در گیاه خرفه (۰/۰۰۹±۰/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۵±۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. منابع اصلی سرب در سبزیجات، محیط رشد آن‌ها خاک، هوا، مواد مغذی است که توسط ریشه یا برگ جذب می‌شود. جذب و تجمع زیستی سرب در گیاهان تحت تاثیر فاکتورهایی مانند آب و هوا، رسوبات اتمسفری، غلظت‌های فلزات سنگین در خاک، ماهیت خاک و مقدار رشد آن‌ها می‌باشد [۳۴،۵۷]. سرب فلزی است که معمولا گیاهان بدون تغییر در عملکرد ظاهریشان، توانایی بالا در جذب و تجمع این عنصر را دارند، به طوری که در بسیاری از گیاهان تجمع سرب صدها برابر بیشتر از حد مجاز و قابل قبول خواهد بود [۵۱].

میزان سرب در خرفه حمیدیه بالاتر از خرفه دزفول بود ($P<0.05$)، اما در نعناع حمیدیه پایین تر از نعناع دزفول به دست آمد. میزان سرب در خرفه حمیدیه بالاترین میزان را داشت ($P<0.05$). نزدیک بودن اراضی کشاورزی دزفول و حمیدیه به جاده‌ها و تردد وسایل نقیله، فرونشست فلز سرب از هوا بر روی سبزیجات از دلایل عمده تجمع فلز سرب در

سبزیجات می‌باشد [۲٤]. دلیل دیگر این است که خاک دزفول قلیایی بوده و تحرک فلز سرب جهت جذب در سبزیجات در خاک‌های قلیایی کمتر از خاک‌های اسیدی است [۳۳،٤٥]. همچنین استفاده از کودهای شیمیایی نیز از آنجایی که در هر کیلوگرم کود شیمیایی به صورت ناخالصی ۰/۰۰۰۸ تا ۰/۹۳ میلی‌گرم سرب به خاک اضافه می‌شود نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل وجود سرب در محصولات کشاورزی باشد. فضولات حیوانی و فاضلاب شهری نیز از منابع آلاینده سرب هستند [۱٦].

میزان سرب در گیاه نعناع و تره ۰/۲ و ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شد [۵]. همچنین میزان این عنصر در سبزیجات تره، جعفری، تربچه و چغندر زنجان به ترتیب ۰/۲۹، ۰/٤۲، ۰/۱ و ۰/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد. بر اساس گزارشات سازمان ملی استاندارد ایران حد مجاز سرب در سبزیجات برگی ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است [۹]. با توجه به اینکه دامنه آلودگی فلز سرب در گیاهان ۳۰ تا ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد [٤۷]، میزان این فلز در گیاه نعناع و خرفه در دامنه آلودگی قرار ندارند. در تحقیقی Prasad و همکاران (۲۰۱۰) بر روی سه گونه نعناع *Mentha Piperita*، *Mentha arvensis* و *Mentha Citrata* نشان دادند که این سه گونه قابلیت انباشت فلز سرب را ندارند [۵۳].

میانگین غلظت فلز سرب در سبزیجات شوید، یونجه، ریحان و شاهی زمین‌های کشاورزی شهر زنجان ٤۱/۲۵، ۳۳/۹۹، ۳۳/۲۵ و ۳۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۱]. دامنه میزان سرب در گیاه تره و نعناع پنج منطقه جنوب تهران ۰/۱٤-۰/۰۸ و ۰/۱۱-۰/۰٦ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شد [۲۲]. میانگین میزان سرب در سبزیجات تره، ریحان، تربچه، شاهی، جعفری، شنبلیله و گشنیز شهرستان شاهرود ۲۳/۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۲٦]. همچنین میزان فلز سرب در سبزی جعفری برداشت شده در شهر همدان ۱٦/٦۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۱۰]. میانگین این فلز در گیاهان ترب، ریحان و خرفه شهر اهواز ۹/۷، ۱۰/٦۱ و ۱۱/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید [۱۳]. همچنین میانگین فلز سرب در گیاهان تره و نعناع شهر تهران ۰/۲٦ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید [۱٤]. علت تفاوت های غلظت فلزات سنگین را در سبزیجات را تفاوت های فیزیکی و شیمیایی خاک، ظرفیت جذب فلزات توسط سبزیجات، اثرات جوی نظیر دما، رطوبت، سرعت باد و خصویات خود گیاه نظیر نوع برگ، ریشه و میوه و همچنین فاصله از مناطق صنعتی بیان کرده‌اند [۳۲،٤٤].

بالاترین و پایین‌ترین میزان کادمیوم در گیاه خرفه دزفول (۰/۰۰۱±۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نعناع حمیدیه (۰/۰۰۷±۰/۰۲٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. کادمیوم در گیاه معمولاً جذب ریشه گردیده و به کندی وارد ساقه و برگ‌ها می‌گردد و انتقال آن از برگ‌ها به میوه بسیار ناچیز می‌باشد [۷،۱۰]. در مطالعه‌ای Tiwari و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند دو گونه خرفه *Portulaca tuberosa rox* و *Portulaca oleracea* انباشت کننده فلز کادمیوم هستند که هر دوگونه برای پایش کادمیوم پیشنهاد شدند [٦۰].

بالاترین میزان کادمیوم در خرفه حمیدیه به دست آمد ($P<0.05$). میزان این عنصر در نعناع دزفول بالاتر از نعناع حمیدیه بود ($P<0.05$). میزان کادمیوم خرفه دزفول بالاتر از نعناع دزفول به دست آمد ($P<0.05$). مقدار کادمیوم تجمع یافته در سبزیجات بستگی به عوامل متعددی از جمله رقم، زیر گونه، نوع خاک، غلظت اولیه کادمیوم در خاک و وجود کارخانه‌های

ذوب فلزات دارد. در حوالی این کارخانجات، ذرات معلق حاوی کادمیوم در هوا روی خاک زراعی نشست نموده، به طوری که گاهی اوقات در اطراف این کارخانجات غلظت کادمیوم در محصولات کشاورزی مخصوصاً میوه و سبزی در حد خطرناک می‌باشد. اگرچه کادمیوم عنصر ضروری برای گیاهان نیست، اما به علت جذب و تجمع آسان پتانسیل زیادی برای آلودگی دارد، لذا در بین فلزات سنگین اولین فلزی است که از نظر زیست محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲۲،۲٤].

میانگین غلظت فلز کادمیوم در سبزیجات گشنیز، نعناع، ریحان، مرزه، ترخون، جعفری، شیوید، اسفناج و تره زمین‌های جنوب پالایشگاه تهران ۰/۳۳، ۰/۲۵، ۰/۲۷، ۰/۲۵، ۰/٦۵، ۰/۰۹، ۰/٤۱، ۰/۲۳ و ۰/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۱۹]. دامنه میزان کادمیوم در گیاه تره و نعناع پنج منطقه جنوب تهران ۰/۱۵-۰/۱۰ و ۰/۱۱-۰/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد [۲۲]. میانگین میزان کادمیوم در سبزیجات تره، ریحان، تربچه، شاهی، جعفری، شنبلیله و گشنیز شهرستان شاهرود ۲/۰۹ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۲٦]. همچنین میزان فلز کادمیوم در سبزی جعفری برداشت شده در شهر همدان ۱/۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۱۰]. میانگین این فلز در گیاهان تره و نعناع شهر تهران ۰/۰۸۳ و ۰/۰۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید [۱٤]. در کشور کویت استفاده از فاضلاب شری سبب افزایش جذب کادمیوم در سبزیجات شده است [۲۹]. کادمیوم فلزی متحرک است که به آسانی از سطح ریشه گیاهان جذب شده و به بافت چوبی آن‌ها حرکت کرده و در قسمت‌های بالایی گیاه تجمع می‌یابند [۹]. میزان کادمیوم در گیاه نعناع و تره غیرقابل سنجش و صفر گزارش شد [۵]. همچنین میزان این عنصر در سبزیجات تره، جعفری، تربچه و چغندر زنجان به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۵ و ۰/۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد. بر اساس گزارشات ارائه شده استاندارد ملی ایران، سازمان بهداشت جهانی حد مجاز غلظت کادمیوم برای سبزیجات برگی و دانه‌ای ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است [۹].

بالاترین میزان سرب در خاک دزفول (۰/۰۱±۱/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به دست آمد. میزان این عنصر در خاک دزفول بالاتر از خاک حمیدیه به دست آمد. تأثیر فعالیت‌های شهری و کاربری‌های صنعتی در شهرستان دزفول از علل بالا بودن میزان سرب در خاک این منطقه می‌باشد. همچنین سوخت‌های فسیلی، سوخت زغال‌سنگ، ترافیک وسایل نقلیه، مواد پوششی لنت قرمز نیز از عوامل افزایش سرب در خاک می‌باشند [٤۸]. کوچک زاده و همکاران (۱۳۹۲) بیان نمودند که دلیل افزایش سرب در خاک های کشاورزی شهرستان دزفول و توابع آن، استفاده بی‌رویه کشاورزان از کودهای شیمیایی و قارچ کش‌های حاوی این عنصر می‌باشد [۲۰].

میانگین سرب خاک اطراف شهر زنجان ۱۰۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۱]. میانگین میزان سرب در خاک شهرستان شاهرود و همدان به ترتیب ۸۱/۱۲ [۲٦] و ۲۰/۸۵ [۱۰] میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. میانگین این فلز در خاک شهر اهواز ۱۰/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید [۱۳]. دامنه میزان سرب در خاک‌های کشاورزی شهرستان کرج نیز ٦/۵۳-٤/۸٦ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام شده است [۸]. همچنین میزان این عنصر در خاک هشترود استان آذربایجان شرقی ۳٤/۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد [٦]. روان خواه و همکاران

(۱۳۹۵) نیز میزان فلز سرب را در خاک‌های سطحی آران و بیدگل ۱۱/٤۱ میلی گرم در کیلوگرم اعلام نمودند [۱۱]. دامنه میزان سرب در خاک‌های کشاورزی شهرستان دزفول ۳/٦۳-۲/٦۱ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است [۲۰] که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. استاندارد میزان سرب در خاک ۰/۲ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد [۳۰]. سرب جذب شده در گیاه از خاک، بیشتر به ترکیبات محلول سرب بستگی دارد [۱٦]. میزان مجاز سرب در خاک بر اساس استاندارد سازمان محیط زیست ایران ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد [۳،٤].

میزان کادمیوم در خاک حمیدیه بالاتر از خاک دزفول به دست آمد. بالاترین میزان کادمیوم در خاک حمیدیه (۰/۰۰٦±۰/۰۷٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) به دست آمد. در خاک‌های کشاورزی مقدار کادمیوم کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و مقادیر بیشتر از این در خاک‌های کشاورزی که استفاده طولانی مدت از کودهای فسفری و لجن فاضلاب داشته‌اند مشاهده می‌شوند. کودهای فسفری یکی از منابع مهم آلودگی خاک‌های زراعی با کادمیوم محسوب می‌شوند [۹]. از مهمترین منابع کادمیوم می‌توان به کودهای فسفری، لجن فاضلاب‌ها، استخراج معادن و ذوب سنگ معدن‌های سولفیدی دارای کادمیوم اشاره نمود [۱].

میانگین کادمیوم خاک اراضی کشاورزی اطراف شهر زنجان ۰/۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۱]. میانگین غلظت این عنصر در خاک برخی مزارع همدان ۰/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است [۱۰]. روان خواه و همکاران (۱۳۹۵) نیز میزان فلز کادمیوم را در خاک‌های سطحی آران و بیدگل ۰/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نمودند. یکی از موثرترین راه‌ها برای کاهش میزان کادمیوم در محصولات کشاورزی، جلوگیری از ورود کادمیوم داخل سیستم خاک و اتخاذ اقدامات مدیریتی جهت کاهش غلظت کادمیوم در محلول خاک است تا جذب و انتقال کادمیوم توسط گیاهان کاهش داده شود. بدیهی است اصلاح ژنتیکی گیاهان به منظور جذب و انتقال کادمیوم کمتر، از جمله اقدامات مدیریتی مهم قلمداد می‌شود [۱۱،۱۷].

بالاترین میزان نیکل در گیاه نعناع دزفول (۰/۰۳±۲۲/۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم) و پایین ترین میزان آن در گیاه خرفه حمیدیه (۰/۰۷±۹/۰٤ میکروگرم بر کیلوگرم) بود. میزان نیکل در گیاه نعناع دزفول بالاتر به دست آمد ($P<0.05$). پایین ترین میزان این عنصر در گیاه خرفه حمیدیه بود ($P<0.05$). میزان نیکل در گیاه نعناع دزفول و حمیدیه بالاتر از گیاه خرفه این دو منطقه به دست آمد. یکی از دلایلی که میزان نیکل در خرفه پایین تر از نعناع بود این است که گیاه خرفه زود رشد نیست و نمی‌تواند سیستم ریشه ای توسعه یافته داشته باشد [۳۱]. در کودهای فسفاته نیز میزان نیکل مقادیر بالایی دارد که سبب تجمع این فلز در سبزیجات می‌شود [٤۷]. همچنین توزیع فلزات در سبزیجات با فراهمی زیستی مواد خوراکی تعیین می‌شود که این خود بستگی به خصوصیات خاک و مواد معدنی و خصوصیات سم شناسی آن‌ها دارد [۵۵].

میزان نیکل در گیاهان آلوده بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است [٤۷] که هیچ یک از گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق در این دامنه قرار نمی‌گیرند و غلظت‌های خیلی پایین‌تری را نشان می‌دهند. حد مجاز میزان نیکل در سبزیجات بر اساس سازمان محیط زیست چین و سازمان بهداشت جهانی

به ترتیب ۰/۳ و ۷/٦٦ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد [٤٢،٥٢]. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده میزان نیکل در گیاه نعناع و خرفه پایین‌تر از استاندارد سازمان محیط زیست چین و سازمان بهداشت جهانی بود. همچنین میزان جذب روزانه مجاز نیکل توسط انسان ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن گزارش شده است [۳۹]. بنابراین برای افراد بالغ با ۷۰ کیلوگرم وزن بدن، مقدار جذب مجاز روزانه آن درمورد فلز نیکل ۳۵۰ میلی‌گرم خواهد بود [۱۵].

میانگین میزان نیکل در گیاهان ریحان، شوید، تره و شاهی مناطق اطراف شهر زنجان به ترتیب ٦/٤٦، ۲/۸۵، ٤/۸٦ و ۳/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۱]. دامنه میزان نیکل در سبزیجات حومه شهر همدان ۰/٤٦-۰/٤٤ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید [۱۵]. میانگین غلظت این عنصر در سبزی جعفری برداشت شده از برخی مزارع همدان ۲/٥٦ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است [۱۰]. چراغی و همکاران بیان داشتند که جذب فلزات توسط سبزیجات عمدتاً وابسته به فراهمی زیستی فلزات، به جای فراوانی فلزات است [۳٦].

در این پژوهش میزان pH، مواد خنثی شونده، ماده آلی، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک منطقه دزفول بالاتر از خاک حمیدیه بود. نوع بافت خاک در دزفول از نوع SIL و در حمیدیه SI بود. دامنه میزان pH در خاک دزفول و حمیدیه به ترتیب ۸/۰٦-۸ و ۷/۸۷-۷/۷٦ بود. همچنین میزان هدایت الکتریکی در خاک دزفول و حمیدیه به ترتیب ۳/۲۵-۲/۸۷ دسی زیمنس بر متر و ۷/٥٥-۷/٤۳ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. میزان شن در نمونه خاک دزفول بیشتر از خاک حمیدیه به دست آمد و میزان لای در نمونه خاک حمیدیه بیشتر بود. در این تحقیق میزان مواد آلی در خاک دزفول و حمیدیه بسیار کم است. در بیشتر خاک‌های ایران درصد مواد آلی در حدود ۰/۵ درصد می‌باشد. مواد آلی خاک می‌توانند با فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیوم ترکیب تشکیل دهند که در صورت محلول بودن می توانند توسط گیاهان جذب شوند و در صورت تشکیل ترکیبات غیرمحلول در خاک باقی مانده و غیرقابل دسترس خواهند شد [۵]. غلظت‌های فلزات سنگین خاک بسیار متفاوت و پیچیده و مبهم هستند. فاکتورهای زیاد و برجسته‌ای از قبیل غلظت فلزات سنگین در سنگ‌ها و مواد مادری، فرآیندهای مختلف تشکیل خاک و فاکتورهای انسانی تعیین کننده فراوانی نسبی غلظت آن ها در خاک ها هستند [۱،٥۹].

میانگین میزان pH، ۷/۳۰ و هدایت الکتریکی خاک اراضی کشاورزی اطراف شهر زنجان در دامنه ٤/۲٤-۰/۱٦ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است [۱]. همچنین دامنه میزان pH در خاک‌های اراضی سبزیجات برگی گشت شده استان زنجان ۷/۸۰-۷/٥۳ و میزان هدایت الکتریکی ۲/۸٦-۱/۷۲ دسی زیمنس بر متر تعیین گردید [۹]. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک، می‌تواند نشان دهنده وجود تغییرات ناشی از دخالت های انسان در آن منطقه باشد [٤۸]. میزان pH، هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی خاک‌های تحت کشت سبزیجات در شهر کرج به ترتیب ۷/۷۲، ۱/٦٥ دسی زیمنس بر متر و ۱/٤۲ درصد گزارش شده است [۱۲]. در مطالعه دیگری دامنه میزان pH، هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی خاک شهرستان کرج به ترتیب ۷/۹-۷/٥، ۲/٥۳-۱/۲٥ دسی زیمنس بر متر و ۰/۳۲-۰/۲۲ درصد تعیین گردید [۸]. بانژاد و همکاران (۱۳۹۳) میانگین میزان pH و درصد ماده آلی خاک را ۷/۷۷ و ۱/۳٦ اعلام نمودند [۲]. میزان

همچنین میانگین میزان pH، هدایت الکتریکی در خاک‌های سطحی همدان ۷/۷ و ۱/۷ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است و ترکیب خاک شامل ۲۹/۵ درصد شن، ٤۳/۷ درصد سیلت و ۲٦/۷ درصد Clay بود [۳]. مدیریت متفاوت اراضی در منطقه از قبیل استفاده از فاضلاب شهری، لجن فاضلاب و انواع کودها و کشت محصولات کشاورزی متفاوت، می‌تواند از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات شدید در مقدار هدایت الکتریکی باشد [۱].

با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود میزان فلزات سنگین در سایر سبزیجات مناطق حمیدیه و دزفول اندازه‌گیری گردد. همچنین سنجش فلزات سنگین در اندام‌هایی نظیر ریشه، ساقه و میوه سبزیجات و صیفی جات انجام شود. به ساکنان محلی در خصوص مضرات استفاده از فاضلاب اطلاع رسانی گردد. ایجاد واحدهای توزیع ضد عفونی کننده‌های سبزیجات در مناطقی که سبزی کاری با فاضلاب وجود دارد. اداره آب و فاضلاب بر روند استفاده از پساب در کشاورزی نظارت نماید. در مواقع خشکسالی منطقه به کشاورزان در عوض عدم استفاده از فاضلاب در کشاورزی مشوق های اقتصادی لازم داده شود.

منابع

[۱]. افشاری، ع.، خادمی، ح.، امیر دلاور، م. ۱۳۹٤. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی در خاک اراضی با کاربری‌های مختلف در بخش مرکزی استان زنجان. نشریه دانش آب و خاک، ۲۵ (٤): ۵۲-٤۱.

[۲]. بانژاد، ح.، زارعی، ع.، صفریسنجانی، ع.ا. و دشتی، ف. ۱۳۹۳. پیامد آبیاری با آب آلوده به آرسنیک و روی بر تجمع روی در گیاه تربچه. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۷ (۲): ۲۰٤-۱۹۵.

[۳]. براتی، س.، میرغفاری، ن.، سفیانیان، ع. و خدا کرمی، ل. ۱۳۹۱. توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان. نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، ٦۵ (۳): ۲۹۵-۲۸۳.

[٤]. برزین، م.، خیر آبادی، ح. و افیونی، م. ۱۳۹٤. بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص های آلودگی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۹ (۷۲): ۸۰-٦۹.

[۵]. بهبهانی نیا، ا.، آزادی، ا. و صادقیان، س. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با پساب تصفیه خانه‌ها بر میزان تجمع فلزات سنگین در برخی از سبزیجات منطقه رودهن. مجله پژوهش‌های به زارعی، ۲ (۲): ۱۷۳-۱٦۵.

[٦]. بهبهانی نیا، ا. و سلماسی، ر. ۱۳۹۵. بررسی تراکم فلزات سنگین و تعیین همبستگی بین آن‌ها با ویژگی-های خاک در توابع شهرستان هشترود، استان آذربایجان شرقی. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۸ (۲): ٦۹-۵۹.

[۷]. پناهپور، ا.، افیونی، م.، همایی، م. و هودجی، م. ۱۳۸۷. حرکت کادمیوم، کروم و کبالت در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب و نمک این فلزات و جذب آن توسط سبزیجات در منطقه شرق اصفهان. مجله آب و فاضلاب، ۱۹ (۳): ۱۷-۹.

[۸]. پناهی قره‌سو، ن.، حمیدیان، ا.ح. و طویلی، ع. ۱۳۹۵. بررسی غلظت سرب و نیکل در خاک و گیاه مرتعی *Halimocnemis pilifera* در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ٦۹ (۱): ۲٦-۱۳.

[۹]. تابنده، ل. و طاهری، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مواجهه با فلزات سنگین مس، روی، کادمیوم، سرب در سبزیجات کشت شده در مزارع استان زنجان. مجله سلامت و محیط زیست، ۹ (۱): ٥٦-٤١.

[۱۰].چراغی، م. و قبادی، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم، نیکل، سرب و روی) در سبزی جعفری برداشت شده از برخی مزارع شهر همدان. فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، ۱۳ (٤): ١٤٣-١٢٩.

[۱۱].روان خواه، ن.، میرزایی، ر. و معصوم، س. ۱۳۹۵. ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در خاک سطحی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ٢٦ (١٣٦): ١٢٠-١٠٩.

[۱۲].رونیاسی، ن. و پرویزی مساعد، ح. ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف برخی از سبزیجات مصرفی شهر کرج. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۹ (۲): ١٨٤-١٧١.

[۱۳].زهره وند، ف.، تکدستان، ا.، جعفرزاده حقیقی فرد، ن.، رمضانی، ز.، احمدی انگالی، ک.، غریبی، ح.، نظرزاده، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی میزان آلودگی سرب در سبزیجات، آب و خاک اراضی کشاورزی آبیاری شده با آب های سطحی در شهر اهواز. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ٢٤ (١١٨): ٢٣٦-٢٣١.

[١٤].سبحان اردکانی، س.، حبیبی، م. و بهبهانی نیا، ا. ١٣٩٤. بررسی تجمع عناصر سرب و کادمیوم در بافت گونه های تیره (*Allium amperloprasum persicum*) و نعناع (*Mentha piperita*) تیمار شده با لجن فاضلاب تصفیه خانه شهرک قدس تهران. مجله بهداشت مواد غذایی، ۵ (۳): ۳۰-۲۱.

[۱۵].سمرقندی، م.، کریمپور، م. و صدری، غ. ۱۳۷۹. بررسی مقدار فلزات سنگین موجود در سبزیجات پرورشی با آب‌های آلوده به این فلزات در حومه شهر همدان در سال ۱۳۷۵. مجله دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی سبزوار، ۷ (۱): ۵۳-٤٥.

[١٦].شعبانخانی، ب.، آزاد بخت، م.، شکرزاده الموکی، م. و بهرامی قانع، ش. ۱۳۸۰. اندازه گیری میزان سرب و کادمیوم در دوسبزی اسفناج و تربچه شهرستان ساری و پاییز ۱۳۷۸. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۱۱ (۳۰): ۳۰-۲۷.

[۱۷].عسگری لجایر، ح.، نجفی، ن. و مقیسه، ا. ١٣٩٤. کشت برخی گیاهان دارویی در خاک های آلوده به فلزات سنگین راهکاری برای مدیریت اراضی آلوده. نشریه مدیریت اراضی، ۳ (۲): ۱۱۹-۱۰۷.

[۱۸].علیدادی، ح.، مقیسه، ز. و دهقان، ع ا. ۱۳۹۳. غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در سبزیجات مصرفی شهر مشهد. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ٦ (١): ٩٧-٨٩

[۱۹].کاظم زاده خویی، ج.، سادات نوری، ا.، پورنگ، ن.، علیزاده، م.، قریشی، ح. و پاداش، ا. ۱۳۹۱. بررسی و اندازه‌گیری فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، منگنز، روی، کادمیوم و وانادیوم در سبزی‌های خوراکی جنوب پالایشگاه تهران. پژوهش های محیط زیست. ٦: ٧٤-٦٥.

[۲۰].کوچک زاده، ا.، ذلوحی جوکار، ن. و غنیان ، م. ۱۳۹۲. بررسی وضعیت فلزات سنگین کادمیوم در اراضی کشاورزی دزفول. اولین همایش ملی آلاینده-های کشاورزی و سلامت غذایی، چالش‌ها و راهکارها. دانشگاه رامین خوزستان، اهواز. ٤ صفحه.

[۲۱].کوهیان افضل، م. و احمدزاده چالشتری، ا. ۱۳۹۱. جذب آرسنیک توسط ۵ نوع سبزیجات در دو خاک آلود طبیعی و یک خاک تیمار شده با این عنصر. گاهنامه پژوهشی دانشگاه پیام نور استان چهار محال بختیاری، ۵.

[۲۲].گیویان راد، م.ه.، صادقی، ط.، لاریجانی ک. و حسینی، س.ا. ۱۳۹۰. تعیین فلزات سنگین کادمیوم و سرب در سبزی‌های خوراکی کاهو، نعناع و تره کشت شده در اراضی مختلف جنوب تهران. فصلنامه علوم غذایی و تغذیه، ۸ (۲): ٤٤-۳۸.

[۲۳].مظفریان، ک.، مدائنی، س.س. و خشنودی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد فرآیند اسمز معکوس در حذف آرسنیک آب. مجله آب و فاضلاب، ٦: ۲۸-۲۲.

[۲٤].مهاجر، ر.، صالحی، م.ح. و محمدی، ج. ۱۳۹۳. بررسی غلظت سرب و کادمیوم در محصولات کشاورزی (کاهو، کلم، پیاز و چغندر) استان اصفهان. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. ۷ (۱): ۱۰-۱.

[۲۵].ناظمی، س.، عسگری، ع. و رابحی، م. ۱۳۸۹. بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، مجله سلامت و محیط، ۳ (۲): ۲۰۲-۱۹۵.

[۲٦].ناظمی، س. و خسروی. ۱۳۸۹. بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزی کاری. فصلنامه دانش و تندرستی، ۵ (٤): ۳۱-۲۷.

[۲۷].نوفرستی، ع.، شریعتی، س. و نیک پور، ط. ۱۳۹۲. اندازه گیری آرسنیک موجود در گیاهان سیب‌زمینی و هویج در دشت قروه به روش جذب اتمی. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱٦ (۱): ٧٤-٦۱.

[28]. Ahmad, A.K. and Shuhaimi-Othman, M. (2010). Heavy metal concentration in sediments and fishes from Lake Chini, Pahang, Malaysia. Journal of Biological Sciences, 10 (2): 93-100.

[29]. AL Enezi, G., Hamoda, M.F and Fawzi, N. 2004. heavy metals content of municipal wastewater and sludge in Kuwait. Journal of Environmental Science and health, 39 (2): 397-407.

[30]. Alloway B.J. 2001. Heavy Metal in Soil. New York: John Wiley and Sons Inc.

[31]. Amer, N., Chami, Z. A., Bitar, L. A., Mondelli, D., and Dumontet, S. 2013. Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb, and Zn. International Journal of Phytoremediation, 15(5), 498-512.

[32]. Angelova,V.R., Grekov, D.F., Kisyov, V.K. Lvanov, K.I. 2015. Potential of lavender (Lavandula vera L .) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. International Journal of Biological, Bio molecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 9(5): 479-486.

[33]. Baker, A.J.M and Walker, P. 1990. Ecophysiology of metal up take by tolerant plants. in: shaw, A.J. (Ed), heavy metal tolerance in plants :Evolutionary A Spects. CRC Press Boca Raton,155-147.

[34]. Banerjee, D., Bairagi, H., Mukhopadhyay, S., Pal A., Bera D. and Ray L. 2010. Heavy metal contamination in fruites and vegetables in two distancts of west bengal, india, Electronic Journal of environmental, Agricultural and food chemistry, 9(9): 1423-1432.

[35]. Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual, soil survey investigations, report No. 42, Version 4.0, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA.

[36]. Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H, Rouniasi N. Heavy metal risk assessment for potatoes grown in overused phosphate-fertilized soils. Environ monit Assess 2012;1-7

[37]. Cobb, G.P., Sands, k., waters, m., wixson, B.G., and Dorward-King, E. 2000. Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. Environmental Toxicology and chemistry.19:600-7.

[38]. Deepa, R., Senthilkumar, P., Sivakumar, S., Duraisamy, P., and Subbhuraam, C. 2006. Copper availability and accumulation by *Portulaca oleracea* Linn. Stem cutting. Environmental Monitoring and Assessment, 116 (1-3), 185-195.

[39]. Dezuane , John . Drinking water quality second edition . International Thamson publishing Company . 1997.

[40]. Dogheim SM, Ashraf EMM,GadAlla SA, Khorshid MA, Fahmy SM. Pesticides and heavy metals levels in Egyptian leafy vegetables and some aromatic medicinal plants. Food Additives and Contaminants 2004;1(4):323–30.

[41]. Fang, S-o., Hu, H., Sun, W-Ch. and Pan, J-J. 2011. Spatial Variations of Heavy Metals in the Solid of Vegetable- Growing Land along Urban-Rural Gradient of Nanjing, China, Int. J. Environ. Res. Public Health, 8: 1805-1816.
[42]. FAO/WHO export committee on food additives. Summary and conclusions, 53rd meeting. Rome: Joint FAO/WHO, 1999. Technical Report.
[43]. Golchin, A., Esmailee, M., and Tookasi, M. 2005. Sources of soil contaminants and heavy metals in crops and garden Zanjan Province. Publication Management and Planning Organization of Zanjzn, 1-120.
[44]. Gupta, A.K., Verma, S.K., Khan, K. and Verma, R.K. 2013. phytoremediation using Aromatic plants : A Sustainable Apperoach for Remediation of heavy metals polluted sites. Environmental science and Technology, 47 (18): 10115-6.
[45]. Huang, J.W., Cunningham, S.D. and Chen, W.R. 1997. Phytoremodiation of lead contaminated soils. E S T, 31: 800-805.
[46]. Jahehed Khaniki, Gh. & Eslami, A. (2007). Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Zanjanrood River Zanjan , Iran. Journal of Biological Sciences, 7, 943-948.
[47]. Kabata-Pendias A., and Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Ed. CRC Press. Boca Raton, London.
[48]. Li, X. and Feng, L. 2012. Multivariate and geo statistical analyzes of Atmospheric Environment, 47: 58-65.
[49]. Lindsay, W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428.
[50]. 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.
[51]. Marais AD, Blackhurst D. Do heavy metals coun ter the potential health benefits of wine? Journal of Endocrinology, metabolism and Diabetes of south Africa. 2009; 14(2):77-79.
[52]. National environmental protection agency of China. 2001. Safety quality standard for non-environmental pollution vegetable (GB/T 18407.1-2001).
[53]. Prasad, A., singh , A. K., Chand, s., chantiya, C., and patra, D. 2010. Effect of chromium and lead on yield , chemical composition of essential oil, and accumulation of heavy metals of mint species. communications in soil science and plant Analysis, 41 (18), 2170-2186.
[54]. Rattan RK, Datta Sp,Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK. Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case stady agriculture. Ecosystems and Environment 2005; 109: 310-22.
[55]. Ruby MV, Schoff R, Barttin W, Goldade M, Post G,Harnois M, et al. Advances in evaluating the oral bioavailability of in organics in soil for us in human health rish assessment. Environ Sci Technol 1999;33: 3697-705
[56]. Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Heavy metals contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. Bull Environ Contam Toxicol. 2006;77:311-18.
[57]. Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F., 2008. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India Ecotoxicology and Environmental Safety, 66, 258-266.
[58]. Singh S, Kumar M. Heavy metal load of soil, water and vegetable in peri-urban Delhi. Environ Monitor Assess. 2006;120:71-79.
[59]. Sun Y,Zhou Q ,Xie X and Liu R, 2010. spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of shenyang , china J Hazard Mater 174:455-462.
[60]. Tiwari, K., Dwivedi, S., Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R., Singh, N., and Chakraborty, S. 2008. Phytoremediation efficiency of *Portulaca tuberosa* rox and *Portulaca oleracea* L. naturally growing in an industrial effluent irrigated area in Vadodra, Gujrat, India. Environmental Monitoring and Assessment, 147(1-3), 15- 22
[61]. Wilson B, Pyatt F. Heavy metal dispersion, persistance, and bioccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey, UK. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007; 66 (2): 224-231.