پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۱، شماره ۲۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، از صفحه ۱۷۳ تا ۱۸۶

تحلیل مولفه‌های اصلی در بررسی آلودگی عناصر سنگین در برخی از سبزیجات

حجت میران‌زاده مهابادی[۱]، محمود رمرودی*[۲]، محمدرضا اصغری‌پور[۳]، حمیدرضا رحمانی[۴]، مجید افیونی[۵]

۱ دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
۲ دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
۳ استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
۴ استادیار گروه آب و خاک، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ایران
۵ استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۸؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

چکیده

با وجود منابع مهم و متعدد آلاینده در استان اصفهان، فرض آلودگی خاک در این منطقه وجود داشته که می‌تواند ورود و تجمع عناصر سنگین را به زنجیره غذایی سبب شود. با توجه به اهمیت سبزیجات در کیفیت غذایی و مصرف روزانه، پژوهشی به صورت نمونه‌برداری از سطح مزارع در سه منطقه متفاوت از نظر آلودگی‌های محیط‌زیستی شامل منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (فریدن- گلپایگان- نطنز) انجام گرفت. نمونه‌های خاک و شش نوع سبزی جمع‌آوری و جهت تعیین آلودگی عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشینه آلودگی عناصر سرب ۱۲۷/۳۷ و ۱۱۲/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم ۶/۹۴ و ۴/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در خاک مزارع منطقه یک (اصفهان) و منطقه دو (فلاورجان) بیش از حدود مجاز توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود. نتایج پژوهش نشان داد که بیشینه آلودگی عناصر سرب به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریحان و گوجه‌فرنگی، مس ۲/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خیار و کادمیم و کروم به‌ترتیب ۰/۵۰ و ۱/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پیاز به‌دست آمد. تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که آلودگی عناصر سنگین در دو منطقه یک و دو همپوشانی دارند و در هر دو منطقه احتمال آلودگی به عناصر سنگین در سبزیجات مشاهده شد. توصیه می‌شود تولید محصولات کشاورزی و استانداردهای کیفی محور اطلاع‌رسانی به جامعه برای امنیت غذایی قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: آلودگی شهری، آلودگی عناصر سنگین، سبزیجات، سلامت محصول، سرب

* نویسنده مسئول: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

سرآغاز

در سال‌های اخیر انواع فعالیت‌های توسعه‌ای انسان منجر به افزایش تحرک عناصر سنگین در محیط‌زیست و تخریب چرخه‌های زیست زمین شیمیایی شده است (Amiri et al., 2021; Miranzadeh Mahabadi et al., 2020b). آلودگی خاک به عناصر سنگین یکی از معضلات جدی محیط‌زیست است. زیرا، برخی از این عناصر غیر ضروری و سمی و برای گیاه، حیوان و انسان بسیار مضر می‌باشند (Sandeep et al., 2019). جذب عناصر سنگین به وسیله گیاه در اراضی کشاورزی یکی از مسیرهای عمده و غیرمستقیم ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی انسان است (McBride et al., 2014). همواره در سال‌های اخیر کشاورزان برای تامین بخشی از نیازهای خود و تامین محصولات مورد تقاضای روزانه جامعه، اقدام به استفاده از انواع منابع آلوده و غیرآلوده برای تولید محصولات کشاورزی خود در مزارع و گلخانه‌ها با کمترین هزینه‌ها در مرکز و حومه شهرها نموده و همواره سلامت غذایی محصول را مورد تهدید قرار می‌دهند (Moradi et al., 2016; Wu et al., 2019).

مطالعه‌ای در هاربین چین در منطقه سرد روی خاک گلخانه‌های سبزیجات خیار، سیب‌زمینی، لوبیا و کلم، افزایش میانگین غلظت عناصر سنگین کادمیم، سرب، مس و کروم را به‌ترتیب ۰/۲، ۲۶/۵، ۲۹/۱ و ۵۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تحت تاثیر سن گلخانه و استفاده از کود شیمیایی را گزارش کردند (Lv et al., 2019). در پژوهشی مقادیر سرب و کادمیم در نمونه‌های برنج کشت شده در استان لرستان کمتر از حد مجاز بود و از این نظر مشکلی برای سلامت انسان وجود نداشت (Hedayatifar et al., 2013). زهره‌وند و همکاران (Zohrevand et al., 2014) گزارش کردند که غلظت بالای سرب در سبزیجات ریحان، تربچه و خرفه در شهر اهواز می‌تواند به دلیل تجمع بالای این عناصر در خاک باشد. بنابراین پایش مستمر عناصر سنگین در خاک و محصولات کشاورزی نقش مهمی در کاهش خطرات محیط‌زیستی تهدیدکننده سلامت انسان خواهد داشت (Ali et al., 2019).

آگاه کردن و آگاهی دادن در سطح جامعه از یک سو سبب می‌شود که کلیه اقشار جامعه به زیان‌های ناشی از مصرف سبزیجات ناسالم آگاه شده و فقط به قیمت و ظاهر محصول توجه نکنند؛ و از سوی دیگر، جامعه به سمتی حرکت کند که خود ارزش محصول سالم و ناسالم را متمایز نمایند و محصولات ناسالم از بازار خریداری نشود؛ همچنین، تولیدکنندگان به نحوه استفاده از منابع آلوده برای تولید و خطرات حاصل از استفاده محصولات ناسالم در جامعه آشنا و برای تولید محصول سالم و امکان درآمد بیشتر تلاش نمایند (Hedayatifar et al., 2013; Miranzadeh Mahabadi et al., 2020a). با این نگرش، بررسی غلظت عناصر سنگین در محصولات کشاورزی و غذایی که تضمین‌کننده آرامش و حیات بشر است مورد توجه است (Sichul et al., 2007). روش تحلیل مولفه‌های اصلی[1] عبارت است از: کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها که در حقیقت همان دسته‌بندی متغیرها است. این روش در کاهش ابعاد داده‌هایی با تعداد زیادی متغیر مرتبط به هم بدون از دست دادن اطلاعات و در عین حال حفظ بیشینه تغییرات موجود در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مهم با تبدیل مجموعه داده‌ها به مجموعه جدیدی از متغیرهای غیر همبسته و دو به دو متعامد (مولفه‌های اصلی[2]) که تعداد اندکی از آنها بیشترین تغییرات موجود در متغیرهای اصلی را حفظ می‌کند، صورت می‌پذیرد (Gergen & Harmanescu, 2012). استفاده از سبزیجات آلوده به عناصر سنگین مخاطرات و بیماری‌های ناخواسته و ناشناخته‌ای برای کل افراد جامعه ایجاد می‌نماید (Salehipour et al., 2015). با وجود منابع مهم و متعدد آلاینده در استان اصفهان، فرض آلودگی خاک در این منطقه وجود داشته که می‌تواند ورود و تجمع عناصر سنگین را به زنجیره غذایی سبب شود. این پژوهش با هدف بررسی میزان آلودگی عناصر سنگین در خاک مزارع و سبزیجات پرمصرف تولید شده در پنج شهرستان مختلف استان اصفهان انجام گرفت.

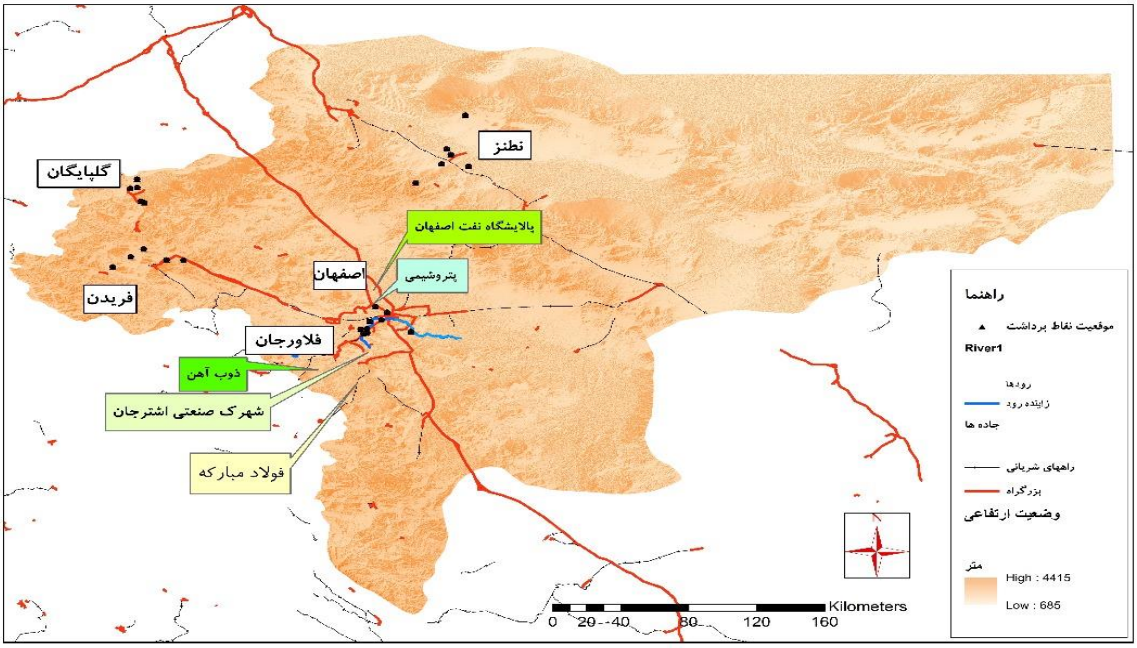
مواد و روش‌ها

مناطق مورد پژوهش

نمونه‌برداری از مزارع سبزی‌کاری در تابستان ۱۳۹۶ در سه منطقه متفاوت از نظر آلودگی‌های محیط‌زیستی، منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (فریدن- گلپایگان- نطنز) انجام گرفت (شکل ۱ و جدول ۱). منظور از آلودگی در این پژوهش، وجود صنایع و منابع تولیدکننده آلاینده‌های صنعتی و استفاده از پساب‌های شهری برای تولید سبزیجات در مناطق می‌باشد (FAO/WHO, 2011).

سبزیجات مورد نمونه‌برداری برای بررسی عبارت است از: ۱. سبزیجات برگی (ریحان و کاهو) ۲. سبزیجات میوه‌ای (خیار و گوجه‌فرنگی)، ۳. سبزیجات غده‌ای (پیاز و سیب‌زمینی).

نمونه‌برداری خاک از مزارع سبزی‌کاری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک و با توجه به مناطق نمونه‌برداری در ۳۷ مزرعه نمونه خاک به‌طور کاملا تصادفی در سه تکرار تهیه شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و در دمای محیط آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط الک یک میلی‌متری الک شدند. به‌منظور عصاره‌گیری برای تعیین مقدار کل غلظت عناصر سنگین موجود در خاک از جمله سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم با روش هضم تر با اسید (نسبت ۱-۳)، یک گرم از هر نمونه خاک توزین و در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری همراه با ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک[۳] ۶۵ درصد ریخته شد و در حرارت ۸۵ درجه قرار گرفت. پس از بخار شدن ۵ میلی‌لیتر دیگر اسید نیتریک اضافه و حرارت داده شد و ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریک[۳] ۳۷ درصد اضافه شد (Burt et al., 2003). غلظت عناصر سنگین از جمله سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم موجود در نمونه‌های هضم شده خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری (Konik Won M300, Barcelona, Spain) شد (Li et al., 2006).



شکل (۱): نقشه جانمایی شهرستان‌های اصفهان، فلاورجان، نطنز، گلپایگان و فریدن و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده از مزارع سبزی‌کاری در نقشه

جدول (۱): مناطق نمونه‌برداری شده در این پژوهش منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (نطنز، گلپایگان و فریدن).

مزرعه	منطقه یک (اصفهان)	منطقه دو (فلاورجان)	منطقه سه (نطنز)	منطقه سه (گلپایگان)	منطقه سه (فریدن)
۱	باغ فردوس	کلیشاد	خالد آباد	گلپایگان	نهرخلج
۲	دهنو	کافشان	عباس آباد	سعدآباد	هشتگرد
۳	فردون	انصار	فمی	لرامش	داران
۴	جی شیر	درچه	قلعه گوشه	حسن آباد	دامنه
۵	زیار	موسیان	سرآسیاب	گلشهر	برف انبار

در هر منطقه، پنج مزرعه انتخاب و تعداد سه نمونه، یک کیلوگرمی از هر سبزی از هر مزرعه در هر منطقه در تابستان به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری (۲۷۰ نمونه) و در کیسه‌های کاغذی قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های محصول از اندام خوراکی برداشت و سه بار با آب شهر و یک بار با آب مقطر شستشو داده شد و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده تا به وزن ثابت برسد. نمونه‌ها پس از خشک شدن آسیاب و تا زمان عصاره‌گیری در پاکت کاغذی نگهداری شد. به‌منظور تعیین غلظت عناصر سنگین از جمله سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم موجود در نمونه‌ها با روش هضم تر با اسید، یک گرم از هر نمونه توزین و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به‌مدت یک شب در محیط آزمایشگاه نگهداری شد. پس از حرارت دادن و خنک شدن ۳ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن[۴] ۳۰ درصد به آن اضافه و تا خارج شدن کلیه بخارات حرارت داده شد. غلظت عناصر سنگین نمونه‌های گیاهی هضم شده توسط دستگاه جذب اتمی (Konik Won M300, Barcelona, Spain) اندازه‌گیری شد (Li et al., 2006). مقادیر عددی (حداقل، حداکثر و میانگین) غلظت عناصر سنگین برای نمونه‌های خاک و تجزیه واریانس مرکب در طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و روش چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی برای غلظت عناصر سنگین در سبزی‌ها توسط نرم‌افزارهای آماری ساس و پست[۵] انجام شد. مقایسات میانگین نیز توسط آزمون ال‌اس‌دی[۶] با سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

یافته‌ها

میزان غلظت عناصر سنگین در خاک مزارع سبزیجات

نتایج آمار توصیفی خاک مزارع در این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت عناصر مس، کبالت و کادمیم در خاک مزارع نمونه‌برداری شده کمتر از حد مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و عناصر سرب و کروم بالاتر از حد مجاز استاندارد بود. میانگین غلظت عناصر سنگین از جمله سرب و کروم به‌ترتیب ۸۱/۵۳ و ۳/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه یک و در منطقه دو غلظت کروم ۲/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش از حد مجاز توصیه شده (به‌ترتیب، ۷۵ و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود (جدول ۲). این در حالی است که بیشینه غلظت عناصر سرب به‌ترتیب ۱۲۷/۳۷ و ۱۱۲/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم ۶/۹۴ و ۴/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مناطق یک و دو بیش از حد مجاز توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران است (Afyuni et al., 2002). طبق استاندارد آلودگی‌های خاک حفاظت محیط‌زیست ایران، مقادیر استاندارد غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در خاک مزارع کشاورزی با اسیدیته بیشتر از ۷ به‌ترتیب ۷۵، ۲۰۰، ۵۰، ۵ و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مقادیر استاندارد غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم از لحاظ اهمیت محیط‌زیستی با اسیدیته بیشتر از ۷ به‌ترتیب ۳۰۰، ۶۳، ۲۰، ۳/۹ و ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Afyuni et al., 2002). کمینه غلظت عناصر سنگین در خاک مزارع منطقه سه با آلودگی صنعتی و شهری کمتر در شهرستان‌های فریدن، گلپایگان و نطنز به‌دست آمد و کمتر از استاندارد حفاظت محیط‌زیست ایران بود (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که در خاک‌های مزارع منطقه یک در مرکز و حومه شهر اصفهان و همچنین در منطقه دو یعنی شهرستان فلاورجان آلودگی برخی از عناصر سنگین بیشینه است (جدول ۲). وجود مراکز صنعتی و بزرگراه‌ها با حجم ترافیک سنگین در این مناطق شهری سبب تشدید آلودگی خاک مزارع شده است (Lv et al., 2019).

حداکثر غلظت سرب و کروم در نمونه‌های خاک در مرکز و محدوده شهر اصفهان و در برخی مناطق شهرستان فلاورجان مشاهده شد و بیان می‌کند که احتمال دارد تشدید آلودگی خاک مزارع به عناصر سنگین در شهرستان فلاورجان مربوط به قرارگیری در کنار یک بزرگراه پر حجم، وجود برخی صنایع و کارگاه‌ها در اطراف شهر، همچنین نزدیکی و مجاورت شهر اصفهان باشد (Li, 2004). بالا بودن غلظت عناصر سنگین در خاک مزارع مورد بررسی نشانگر ورود آلاینده‌ها به این اراضی است و آلودگی‌ها حتی با غلظت کمتر از حد مجاز می‌تواند در طول زمان سبب ترسیب این عناصر در خاک و گیاه شود (Cherfi et al., 2016; Ali et al., 2019).

همچنین با افزایش آلاینده‌ها در محیط جوی به الطبع مقدار فرونشت جوی آلاینده‌ها در سطح خاک افزوده شده و تجمع تدریجی انواع آلاینده‌های شناخته و ناشناخته شده صنعتی و شهری را متحمل خواهد بود.

جدول (۲): مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در خاک مزارع مورد بررسی در منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (نطنز، گلپایگان و فریدن) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

مناطق	میزان	غلظت عناصر سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
		سرب	مس	کبالت	کادمیم	کروم
منطقه یک	بیشینه	۱۲۷/۳۷	۹۴/۱۸	۷/۲۳	۴/۰۱	۶/۹۴
	کمینه	۳۷/۵۵	۱۲/۵۶	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۶۸
	میانگین	۸۱/۵۳	۴۴/۸۰	۳/۲۱	۲/۲۰	۳/۴۸
	بیشینه	۱۱۲/۶۵	۹۳/۱۷	۶/۴۲	۲/۴۳	۴/۶۱
منطقه دو	کمینه	۲۷/۵۲	۱۲/۳۸	۱/۲۱	۰/۹۷	۱/۶۳
	میانگین	۷۲/۳۰	۳۸/۰۳	۲/۰۸	۱/۷۹	۲/۹۳
منطقه سه	بیشینه	۵۴/۲۳	۳۸/۲۳	۲/۹۲	۰/۷۹	۱/۹۲
	کمینه	۳/۰۸	۴/۴۲	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۷۹
	میانگین	۱۴/۵۷	۱۴/۷۵	۱/۴۸	۰/۶۳	۱/۲۷
استاندارد خاک کشاورزی	میانگین	۷۵	۲۰۰	۵۰	۵	۲

نتایج حاصل از این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام شده در زیر مطابقت داشت و این احتمال وجود دارد که کاربرد انواع مواد و کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی و در کاربری شهری، آلایندگی صنایع صنعتی، حمل و نقل و ترافیک شهری سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در سطح خاک شده است. این نشان‌دهنده تاثیر میزان فعالیت‌های انسانی در ترسیب غلظت عناصر سنگین در سطح خاک مزارع است. نتایج پژوهش دیگری در شهرستان آران و بیدگل کاشان بر روی عامل آلودگی خاک کشاورزی و شهری نشان داد که میانگین غلظت کل عناصر کادمیم، سرب و مس به‌ترتیب ۰/۷۲، ۱۱/۴۱ ۱۴/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که این غلظت‌ها بالاتر از مقادیر زمینه است. الگوی مکانی عامل آلودگی نشان داد که بیشترین انباشتگی عناصر سنگین کادمیم و سرب در محدوده شهرک‌های صنعتی، کوره‌های آجرپزی و مناطق شهری اتفاق افتاده است و انباشت عناصر مس و نیکل بیشتر در مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی رخ داده است. طبق تحلیل مولفه‌های اصلی، دو مولفه شناسایی شد که در مولفه نخست فلزات مس، نیکل و روی و در مولفه دوم کادمیم و سرب قرار گرفتند (Ravankhah et al., 2016). نتایج پژوهشی در بررسی تیمار خاک آبیاری شده با آب‌های آلوده در کشت‌های مختلف نشان داد که غلظت کادمیم و مس بالاتر از سطح مطلوب برای رشد گیاه است در حالی که سرب کم‌تر از حد آستانه حد مطلوب برای تولید محصول است (Dikinya and Areola, 2010). جذب عناصر سنگین توسط سبزیجات کشت شده در این مناطق موجب آلودگی این سبزیجات شده و در نتیجه ورود آنها به بدن انسان از طریق زنجیره غذایی موجب برجا گذاشتن اثرات سو در بدن انسان شده و اینکه در مناطق آلوده، آلودگی‌های محیطزیستی ناشی از همبستگی مجموع عناصر سنگین است و به یک عنصر ختم نمی‌شود. همچنین در مناطقی که احتمال آلودگی خاک به عناصر سنگین وجود دارد باید راه‌کارهای مناسب برای کنترل آلودگی در این مناطق آلوده و ممانعت از پیشرفت آن اتخاذ شود (Sandeep et al., 2019).

میزان غلظت عناصر سنگین در سبزیجات مورد بررسی

برخی از گیاهان، بدون تغییر ظاهریشان، توانایی بالایی در جذب و تجمع عنصر سرب را دارا هستند (McBride et al., 2014). طبق گزارش موسسه استاندارد ملی ایران بیشینه رواداری (بیشترین مقداری از عناصر سنگین موجود در خوراک انسان و دام است، که مصرف آن در کوتاه مدت یا دراز مدت، سبب ایجاد عارضه سو برای سلامت انسان نشود) غلظت سرب در انواع سبزیجات برگی ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سبزیجات میوه‌ای و پیاز ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شده است (Anonymous, 2010). همچنین، حداکثر غلظت مجاز سرب در استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی[۷] ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (FAO/WHO, 2011). در این پژوهش،

میانگین غلظت سرب به‌ترتیب در سبزیجات میوه‌ای، برگی و غده‌ای ۰/۷۳، ۰/۷۶ و ۰/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد و بیشینه غلظت عنصر سرب با اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بالاتر از استاندارد مصرف در سبزی ریحان ۱/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۴). میانگین غلظت عنصر سرب در همه سبزیجات از بیشینه رواداری بالاتر و اختلاف آنها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده با نتایج پژوهش‌های پیشین تطابق دارد (Baghaie & Fereydoni, 2019; Salehipour et al., 2015).

جدول (۳): میانگین کل غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در سبزیجات خیار، گوجه‌فرنگی، ریحان، کاهو، پیاز و سیب‌زمینی در منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (نطنز، گلپایگان و فریدن)

سبزیجات	مناطق	غلظت عناصر سنگین در سبزیجات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
		سرب	مس	کبالت	کادمیم	کروم
خیار	منطقه یک	۱/۱۶	۳/۸۱	۱/۱۱	۰/۹۵	۰/۶۸
	منطقه دو	۰/۹۲	۳/۱۷	۰/۶۶	۰/۳۵	۰/۴۷
	منطقه سه	۰/۰۶	۱/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۸
گوجه‌فرنگی	منطقه یک	۱/۲۳	۳/۴۱	۱/۱۷	۰/۶۸	۱/۱۳
	منطقه دو	۰/۹۷	۲/۳۵	۰/۸۱	۰/۰۸	۱/۰۶
	منطقه سه	۰/۰۸	۱/۱۷	۰/۲۸	۰/۰۴	۰/۵۷
ریحان	منطقه یک	۱/۴۸	۱/۶۳	۰/۸۶	۰/۴۷	۱/۶۹
	منطقه دو	۰/۸۲	۱/۱۳	۰/۴۱	۰/۴۳	۱/۳۴
	منطقه سه	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۶۳
کاهو	منطقه یک	۱/۳۳	۰/۸۹	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۶۵
	منطقه دو	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۴۱
	منطقه سه	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۲۷
پیاز	منطقه یک	۱/۰۶	۱/۵۵	۰/۶۹	۰/۸۰	۲/۲۰
	منطقه دو	۰/۷۵	۱/۱۶	۰/۵۷	۰/۶۵	۱/۴۱
	منطقه سه	۰/۰۵	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۶۴
سیب‌زمینی	منطقه یک	۰/۹۵	۳/۰۱	۱/۴۲	۰/۶۱	۱/۵۱
	منطقه دو	۰/۵۶	۱/۹۵	۰/۹۴	۰/۳۰	۱/۴۵
	منطقه سه	۰/۰۸	۰/۶۶	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۵۶

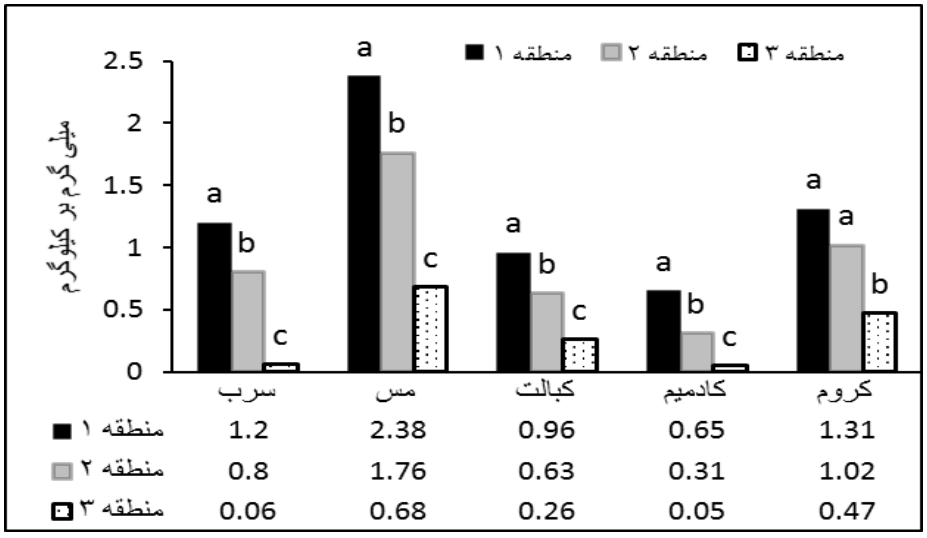
نتایج مقایسه میانگین ال‌اس‌دی در سطح پنج درصد نشان داد سبزیجات ریحان و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب ۷۸/. و ۷۵/. میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشینه غلظت سرب، پیاز به‌ترتیب ۵۰/. و ۱/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشینه غلظت کادمیم و کروم، سیب‌زمینی بیشینه غلظت کبالت ۸۸/. میلی‌گرم بر کیلوگرم و خیار بیشینه غلظت مس و کادمیم به‌ترتیب ۲/۶۹ و ۴۴/. میلی‌گرم بر کیلوگرم را داشتند (جدول ۴). در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران محدوده مجازی برای غلظت عناصر مس، کبالت و کروم در سبزیجات گزارش نشده است و لزوم تدوین آن ضروری است، بنابراین، به منظور مقایسه و بررسی میزان آلودگی عناصر مذکور در سبزیجات تولیدی استان از استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی استفاده شد (FAO/WHO, 2011). کمینه غلظت عنصر مس مربوط به کاهو ۰/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه سه (نطنز) بود (جداول ۱ و ۴). نتایج مقایسات میانگین غلظت عناصر سنگین در سبزیجات در سه منطقه مورد پژوهش تفاوت آماری معنی‌داری با سطح احتمال پنج درصد نشان داد (شکل ۲). در شکل (۲) مشاهده می‌شود که منطقه یک بیشینه غلظت عناصر سنگین را نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد. به جز عنصر مس سایر عناصر سنگین مورد بررسی در محدوده بیشینه رواداری نبودند و مصرف روزانه و بلندمدت این سبزیجات، احتمال دارد به سلامتی انسان و محیط‌زیست آسیب بزند (جدول ۳). در پژوهشی

بیشترین غلظت عناصر سنگین در گندم به‌ترتیب مربوط به عناصر کادمیم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی گزارش شد (Zeng et al., 2015).

جدول (۴): نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسات میانگین در سطح پنج درصد آزمون ال‌اس‌دی و انحراف معیار (Sd) غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در مناطق مختلف پژوهش بین سبزیجات خیار، گوجه‌فرنگی، ریحان، کاهو، پیاز و سیب‌زمینی (میلی‌گرم بر کیلوگرم).

سبزیجات	سرب		مس		کبالت		کادمیم		کروم	
	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD
خیار	۰/۷۱ab	۰/۵۹	۲/۶۹a	۱/۴۴	۰/۶۲c	۰/۴۷	۰/۴۴a	۰/۴۲	۰/۴۴d	۰/۳۱
گوجه‌فرنگی	۰/۷۵a	۰/۵۹	۲/۳۱b	۱/۳۵	۰/۷۵b	۰/۴۸	۰/۲۶bc	۰/۳۳	۰/۹۱c	۰/۶۷
ریحان	۰/۷۸a	۰/۶۸	۱/۱۰d	۰/۶۴	۰/۵۳c	۰/۴۱	۰/۳۲b	۰/۳۱	۱/۲۱ab	۰/۹۴
کاهو	۰/۷۲ab	۰/۶۱	۰/۶۲e	۰/۵۱	۰/۴۰d	۰/۲۵	۰/۱۸c	۰/۱۹	۰/۴۴d	۰/۲۶
پیاز	۰/۶۱cb	۰/۵۲	۱/۰۴d	۰/۷۲	۰/۵۳c	۰/۳۵	۰/۵۰a	۰/۴۱	۱/۴۱a	۰/۸۱
سیب‌زمینی	۰/۵۳c	۰/۴۵	۱/۸۷c	۱/۲۱	۰/۸۸a	۰/۶۲	۰/۳۳b	۰/۳۱	۱/۱۴b	۰/۷۶

* میانگین‌های دارای حروف مشابه برای هر عنصر در سطح احتمال ۵ درصد آزمون ال اس دی تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل (۲): نتایج مقایسه‌های میانگین غلظت عناصر سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در سبزیجات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در منطقه یک (اصفهان)، منطقه دو (فلاورجان) و منطقه سه (نطنز، گلپایگان و فریدن)

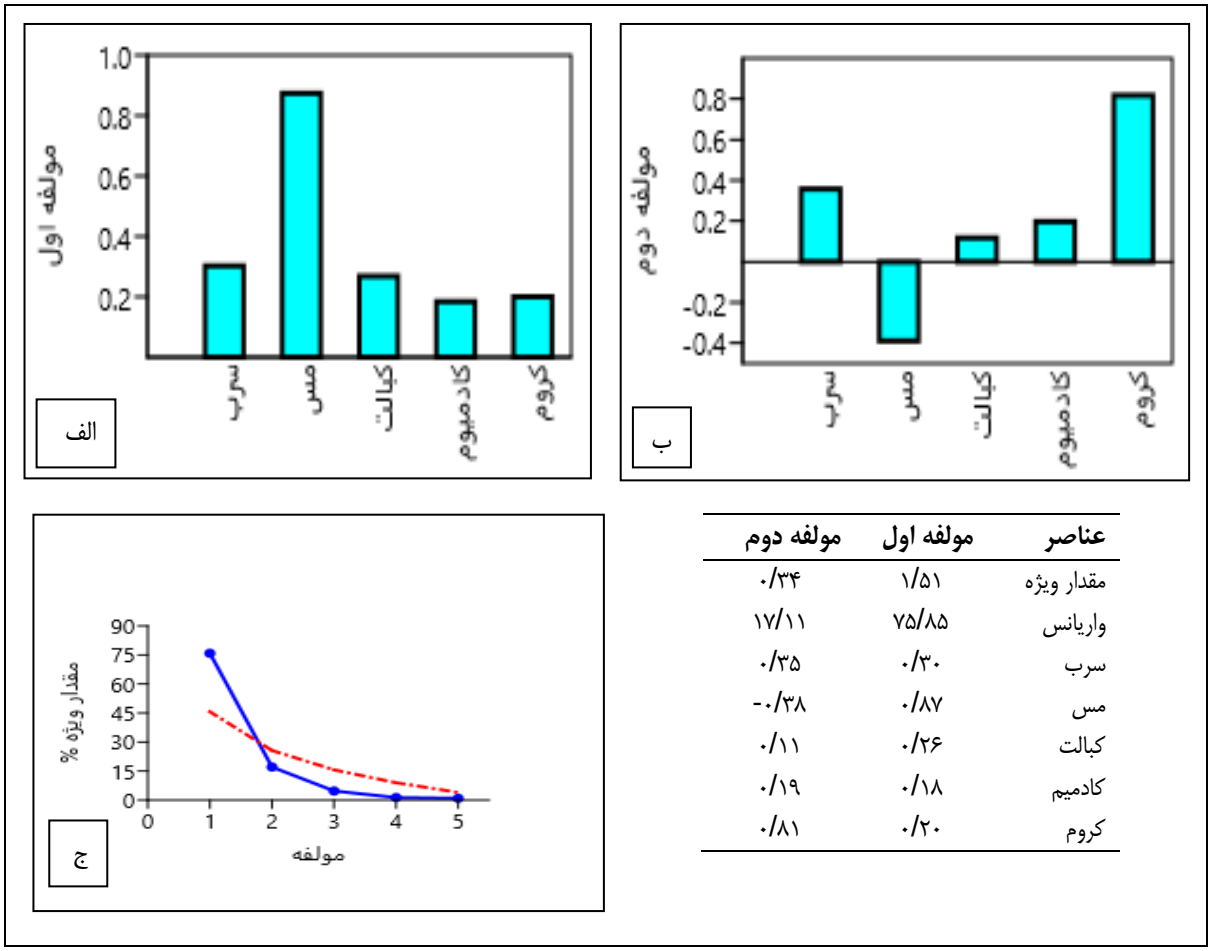
طبق موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، بیشینه رواداری غلظت کادمیم برای سبزیجات برگی و سیب‌زمینی ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای سبزیجات میوه‌ای و پیاز ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۹). میانگین غلظت عنصر کادمیم در سبزیجات میوه‌ای، برگی و غده‌ای به‌ترتیب ۰/۳۶، ۰/۲۵ و ۰/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد و بیشینه غلظت عنصر کادمیم مربوط به پیاز و خیار به‌ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۹۵ میلی‌گرم برکیلوگرم در منطقه یک (جی‌شیر) بود (جدول ۳). غلظت کادمیم در کلیه سبزیجات مورد بررسی، بالاتر از بیشینه رواداری موسسه استاندارد ملی ایران و استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش به‌دست آمد. بین انواع سبزیجات مورد بررسی، در غلظت عنصر کادمیم اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴).

پیاز و خیار بیشینه (به‌ترتیب ۰/۵۰ و ۰/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کاهو کمینه غلظت (۰/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بین سبزیجات ریحان، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در بین مناطق مورد پژوهش، بیشینه غلظت عنصر کادمیم در سبزیجات ۰/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه یک (شهر اصفهان) گزارش شد و بیش از حد موسسه استاندارد است (شکل ۲). با توجه به کشت عمده سبزیجات در پهنه شهر احتمال آلودگی به عناصر سنگین در سبزیجات می‌تواند ناشی از آلودگی‌های محیط‌زیستی صنعتی و انسانی باشد (Wu et al., 2019). نتایج پژوهش نشان می‌دهد با توجه به ریسک بالای عنصر کادمیم و آلودگی بیش از بیشینه رواداری (میانگین غلظت در سبزیجات ۰/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مصرف روزانه و بلندمدت این سبزیجات، احتمال دارد به سلامتی انسان و محیط‌زیست آسیب بزند. همچنین می‌توان بیان کرد که احتمال دارد که مصرف بیش از حد انواع سموم شیمیایی از جمله علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در مزارع پیاز و خیار و باقیمانده آن از طریق تجمع زیستی یکی از دلایل آلودگی عناصر سنگین باشد. عناصر سنگین در گیاهانی که در خاک‌های آلود رشد و تجمع می‌کنند و از طریق جذب وارد زنجیره غذای حیوان و انسان می‌شوند. عناصر سنگین کادمیم و سرب یکی از تهدیدکنندگان زنجیره غذایی انسان به شمار می‌روند. این عناصر دارای اثر بیولوژیکی مفید نیستند و اگر غلظت آنها در حد سمیت هم نباشند، در بافت‌های گیاهی تجمع زیستی می‌یابند که در نهایت برای مصرف‌کنندگان مضر خواهد بود. همچنین یکی دیگر از مسیرهای آلودگی عنصر کادمیم در پهنه شهری و صنعتی، آلاینده‌های موجود در هوا و فرونشت آن بر سطح خاک و سبزیجات کشت شده است (Moradi et al., 2016) و احتمال جذب از طریق ریشه و برگ را افزایش می‌دهد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها غلظت کبالت ۰/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سیب‌زمینی با سایر سبزیجات اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۴). در این پژوهش، بیشینه غلظت کبالت (۱/۴۲ میلی‌گرم برکیلوگرم)، در مزارع سیب‌زمینی زیار در منطقه یک با آلودگی شهری و در انتهای مسیر رودخانه به‌دست آمد و کمینه غلظت کبالت (۰/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خیار در منطقه سه (گلشهر گلپایگان) نشان داده شد (جداول ۱ و ۳). در همه سبزیجات غلظت بالای عنصر کبالت و بیش از حد مجاز استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی (بیش از ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شد. میانگین غلظت کروم ۱/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پیاز با سایر سبزیجات اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۴). بیشینه غلظت کروم (۲/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های مورد بررسی پیاز در منطقه یک (زیار) و کمینه غلظت آن (۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خیار در منطقه سه (گلپایگان) به‌دست آمد (جدول‌های ۱و ۳). حد مجاز استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی برای غلظت کروم در سبزیجات ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (FAO/WHO, 2011). مس، کبالت و کروم عناصر ضروری برای بدن انسان هستند. زیرا، آن‌ها نقش مهمی را در سیستم‌های بیولوژیکی بدن دارند. با این حال، عناصر سنگین ضروری هم می‌توانند زمانی که بیش از حد مصرف شوند، اثرات سو داشته باشند. نتایج پژوهش بیان می‌دارد که با مصرف انواع سبزیجات آلوده به عنصر کروم سلامت غذایی مصرف‌کنندگان تضمین نشده و نمی‌تواند در محدوده امن و دور از تاثیر سو بر سلامت انسان باشد (Salehipour et al., 2015). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل (۲) اختلاف آماری معنی‌داری در غلظت عناصر سنگین در بین مناطق مختلف مورد پژوهش به‌دست آمد. کمینه غلظت عناصر سنگین در مناطق با آلودگی‌های صنعتی و شهری کمتر و بیشینه با اختلاف آماری معنی‌دار مربوط به مناطق یک و دو نشان داده شد که با فاصله گرفتن از مناطق شهری میانگین غلظت عناصر سنگین روند کاهشی داشت (Moradi et al., 2016). بنابراین، با توجه به عدم وجود استانداردهای لازم برای برخی از عناصر سنگین در کشور ایران، تدوین آیین نامه‌ها و تعیین استانداردهای بیشینه رواداری برای عناصر سنگین از جمله کبالت، مس و کروم در سبزیجات و میوه‌ها می‌باید صورت گیرد و به‌طور مستمر در امر تولید و عرضه آنها کنترل‌های نظارتی بیشتری به عمل آید. جذب و تجمع زیستی عناصر سنگین در گیاهان تحت تاثیر عواملی مانند آب و هوا، فرونشت‌های اتمسفر، غلظت عناصر سنگین در خاک، ماهیت خاک و مقدار رشد گیاه می‌باشد. فرونشت ذرات معلق اتمسفری به‌عنوان یک راه ورود عناصر سنگین برای سبزیجات برگ‌دار شناخته شده است. همچنین احتمال می‌رود که جذب و انتقال عناصر سنگین توسط ریشه گیاهان تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ویژه اسیدیته خاک قرار گیرد (Ali et al., 2019).

تحلیل مولفه‌های اصلی آلودگی عناصر سنگین در سبزیجات

با توجه به تحلیل مولفه‌های اصلی، تعداد مولفه‌های استخراج شده برابر با تعداد متغیرها یا پنج عنصر سنگین با واحد برابر مورد بررسی و برحسب واریانس محاسبه شد. اولین مولفه اصلی استخراج شده بیشینه درصد واریانس تبیین شده (۷۵/۸ درصد) در کل مجموع داده‌ها را پوشش می‌دهد. این امر بدان معنی است که اولین مولفه حداقل با تعدادی از متغیرها همبسته است. در دومین مولفه استخراج شده بیشینه درصد واریانس (۱۷/۱) مجموعه داده‌ها که توسط مولفه اول محاسبه نشده را پوشش داد. مولفه دوم با تعدادی از متغیرها همبستگی نشان داد، و همبستگی بین مولفه اول و دوم صفر است. در روش ارزیابی مولفه‌های اصلی در مورد اینکه کدام متغیرها کنترل‌کننده اصلی و دارای اهمیت بیشینه یا کدام متغیر دارای اثر کمینه در بین یک سری داده‌ها است، می‌توان اظهارنظر نموده و با حذف برخی از این متغیرهای کم اهمیت و بیشینه تغییرات مشاهده شده، تحلیل را آسان‌تر نمود. فرض اساسی در روش تحلیل مولفه اصلی وجود ارتباط بین متغیرها است. این ارتباط در قالب یک عامل، در یک مدل فرضی ظاهر می‌شود. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی در شکل (۳) در نمودار الف و ب نشان می‌دهد که در مولفه اول عنصر مس در سبزی خیار بیشینه درصد تبیین (۸۷ درصد) را دارد و نسبت به پراکندگی عناصر سرب و کروم به‌ترتیب ۳۵ و ۸۱ درصد در سبزیجات ریحان و پیاز در مولفه دوم همبستگی بسیار کمی وجود داشت (شکل ۳ الف و ب).



عناصر	مولفه اول	مولفه دوم
مقدار ویژه	۱/۵۱	۰/۳۴
واریانس	۷۵/۸۵	۱۷/۱۱
سرب	۰/۳۰	۰/۳۵
مس	۰/۸۷	-۰/۳۸
کبالت	۰/۲۶	۰/۱۱
کادمیم	۰/۱۸	۰/۱۹
کروم	۰/۲۰	۰/۸۱

شکل (۳): درصد تبیین مولفه اول (الف)، درصد تبیین مولفه دوم (ب) و شکل اسکری مقدار ویژه (ج) و جدول مربوط به واریانس مولفه‌های اصلی برای میانگین غلظت عناصر سنگین از جمله سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در سبزیجات خیار، گوجه‌فرنگی، ریحان، کاهو، پیاز و سیب‌زمینی در مناطق یک، دو و سه

ارزش ویژه[۸]، درصد واریانس تبیین شده به وسیله هر مولفه را نشان می‌دهد، که به طور معمول این عدد برای اولین جز اصلی بیشینه مقدار را دارا بوده و به‌ترتیب برای سایر مولفه‌ها کاهش می‌یابد. مولفه‌هایی که ارزش ویژه آن‌ها بزرگتر از یک یا درصد بیشتری از پراکندگی را دارند برای ادامه کار کفایت می‌کند و از سایر مولفه‌ها صرف نظر می‌شود. شکل (۳) نشان می‌دهد مولفه اول بهترین انتخاب بوده و مقدار ویژه اولین مولفه بزرگ‌تر از یک است (۱/۵۱) و حدود ۷۵/۸ درصد پراکندگی مجموعه داده‌ها توسط این مولفه بازگو می‌شود. به‌عبارت دیگر همه معیارها نشان‌دهنده این است که انتخاب مولفه اول معتبر است. سهم هر یک از متغیرها در واریانس تبیین شده به‌وسیله هر مولفه در شکل (۳ الف و ب) مشخص شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود سهم متغیرها در تبیین واریانس مولفه اول و دوم نسبت به سایر مولفه‌ها مناسب‌تر است.

نمودار آزمون اسکری در شکل (۳) نمودار (ج) تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط مولفه‌های اصلی مرتبط، نشان می‌دهد. در این شکل تغییر در میزان اهمیت مقادیر ویژه برای تعیین بهینه مولفه‌های مشخص به‌کار می‌رود. چنان که مشاهده می‌شود درصد واریانس توضیح داده شده به وسیله بردار ویژه اول حدود ۷۵/۸ درصد و واریانس مقدار ویژه بردار دوم حدود ۱۷/۱ درصد است. یعنی در ابتدا میزان اهمیت کاهش سریع و سپس سرعت روند کاهش کند شده است. نقطه شکستگی، حداکثر تعداد مولفه‌های اصلی را که باید در نظر گرفته شود، را نشان می‌دهد. مولفه‌های اصلی کمتر از عددی که شکستگی را نشان می‌دهد نیز می‌تواند مفید باشد؛ بر این اساس در شکل (۳ ج) می‌توان مولفه‌های اول و دوم را انتخاب نمود (شکل ۳).

در روش تحلیل مولفه‌های اصلی، عامل‌ها همه واریانس هر متغیر از جمله واریانس مشترک با سایر متغیرهای مجموعه و نیز واریانس خاص متغیر را توجیه می‌کنند. نتایج استخراج عامل‌ها و خلاصه کردن متغیرها در تعدادی مولفه با توجه به تحلیل مولفه‌های اصلی در بای پلات شکل (۴ الف) ترسیم شده است. در این شکل مولفه‌های اول و دوم هر کدام بخشی از نتایج پراکندگی (واریانس) آلودگی عناصر سنگین در سبزیجات را بازگو می‌کنند. مولفه اول با بیشینه درصد واریانس‌ها در قطر طولی نشان می‌دهد که بیشینه پراکندگی آلودگی عناصر سنگین در چارک‌های مثبت و در بین عناصر سنگین کبالت، کادمیم و سرب بیشینه همبستگی وجود دارد. مولفه دوم پراکندگی در قطر عرضی را نشان می‌دهد که عناصر مس و کروم کمینه همبستگی را دارند و تاثیر زیادی در آلودگی سبزیجات خیار و پیاز داشتند. بای پلات شکل (۴ ب) به‌طور واضح‌تر نشان می‌دهد که بیشینه مقدار آلودگی عناصر سنگین در سبزیجات در مناطق یک و دو می‌باشد. تحلیل مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد که بین دو منطقه یک و دو همپوشانی وجود دارد و در هر دو منطقه احتمال پراکندگی آلودگی عناصر سنگین وجود دارد. بیشینه غلظت عناصر مس و کادمیم در محصول خیار در منطقه یک (اصفهان) وجود دارد و بیشینه آلودگی عناصر سرب و کروم به‌ترتیب در سبزیجات ریحان و پیاز قرار گرفته است. نزدیکی شهرستان فلاورجان به شهر اصفهان، بزرگراه پرحجم و شهرک‌های صنعتی ممکن است علت آلودگی عناصر باشد و اینکه آلودگی در یکجا پایدار نخواهد ماند و ممکن است مناطق دیگر را آلوده و تحت تاثیر قرار دهد (Moradi et al., 2016; Gergen & Harmanescu, 2012).

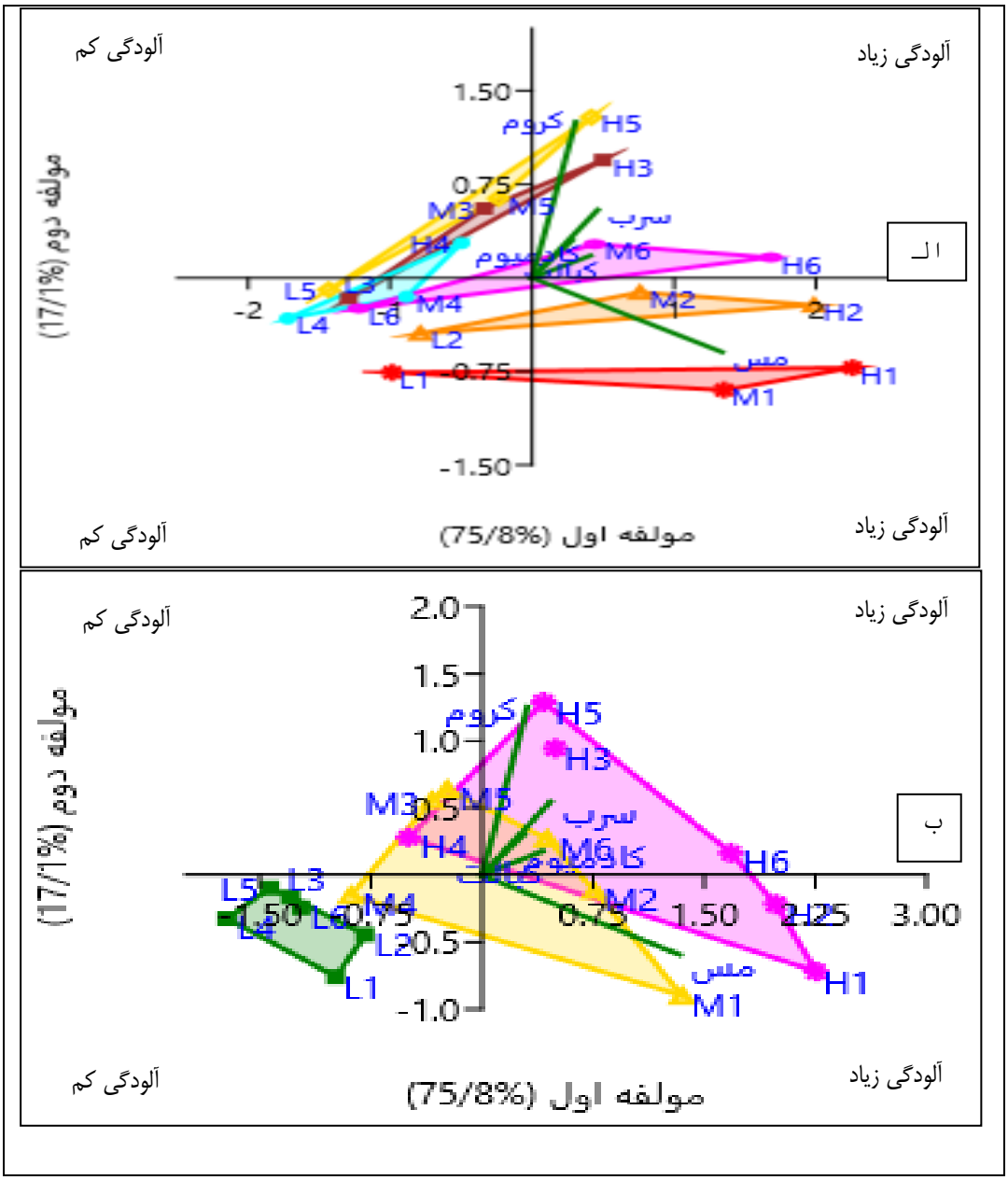
دلایل توجیه‌کننده برای نوسانات در آلودگی مناطق، سلیقه و تصمیم کشاورزان در استفاده از کودها و سموم شیمیایی و همچنین آلودگی پساب‌ها و رواناب‌های منطقه است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با آموزش و افزایش سطح آگاهی کشاورزان از میزان مصرف کودهای فسفاته و انواع مواد شیمیایی، تشویق آنها به استفاده از کودهای حیوانی (به هر مقدار کم) و زیستی و اقدامات پیشگیرانه از ورود مقادیر بیشتر عناصر سنگین به منطقه جلوگیری شود (Sohrabi et al., 2015). زیاده‌روی در مصرف کودهای مصنوعی و آلودگی‌های شهری و صنعتی می‌تواند سبب ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی شود که انسان در راس آن قرار دارد و دریافت‌کننده نهایی این آلاینده‌ها است. بنابراین، پایش و ارزیابی در بدو ورود به زنجیره غذایی، به‌خصوص در اکوسیستم‌های زراعی- باغی برای تضمین سلامت انسان، امری پر واضح است (Afshari et al., 2017).

نتیجه‌گیری

مقادیر حداکثر غلظت عناصر سنگین سرب و کروم در خاک بیش از حداکثر غلظت مجاز توصیه شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران بود. یکی از فاکتورهای مهم و موثر جهت تشخیص میزان سلامت سبزیجات، غلظت عناصر سنگین موجود در آن‌هاست.

منابع اصلی عناصر سنگین در سبزیجات، محیط رشد آن‌ها (خاک، هوا و مواد مغذی) است که توسط ریشه یا برگ جذب می‌شود. در این پژوهش آلودگی به عناصر سرب در سبزیجات ریحان و گوجه‌فرنگی مشاهده شد. به جز عنصر مس تجمع سایر عناصر سنگین در سبزیجات در شهرستان اصفهان و فلاورجان بیش از حد رواداری مصرف برای انسان بود.

بیشترین سطح زیر کشت مزارع سبزی‌کاری در مجاورت شهر و در حاشیه و امتداد رودخانه و در حداقل فاصله مکانی از منابع آلاینده‌های صنعتی و شهری واقع شده و سبزیجات رشد یافته مستعد جذب عناصر سنگین و ذرات معلق هوا در ساقه و برگ می‌باشند (Zohrevand et al., 2014). کشاورزی با هوای آلوده و با حداکثر استفاده از نهاده‌های شیمیایی و فاضلاب شهری



شکل (۴): بای پلات تحلیل مولفه اول (۷۵/۸ درصد) و مولفه دوم (۱۷/۱ درصد) برای میانگین کل غلظت عناصر سنگین از جمله: سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در سبزیجات (الف) خیار (۱)، گوجه‌فرنگی (۲)، ریحان (۳)، کاهو (۴)، پیاز (۵) و سیب‌زمینی (۶) و میانگین کل غلظت عناصر سنگین از جمله: سرب، مس، کبالت، کادمیم و کروم در منطقه یک (H)، منطقه دو (M) و منطقه سه (L) (ب)

منجر به محصولات ناسالم خواهد شد که با مرور زمان مصرف این قبیل سبزیجات آلوده می‌تواند سلامتی انسان را تهدید و عواقب جبران‌ناپذیری به‌خصوص در آینده داشته باشد (Sandeep et al., 2019).

پایش آلاینده‌ها در خاک و محصولات کشاورزی به بهبود ایمنی و کیفیت محصول غذایی کمک می‌کند و خطرات احتمالی آن بر سلامت انسان و محیط‌زیست با ارایه اطلاعات مربوط به سطوح آلودگی‌های محیط‌زیستی در جامعه کاهش می‌یابد (Ali et al., 2019; McBride et al., 2014). بنابراین، تلاش‌های متعددی از طرق گوناگون در جهت حذف عناصر سنگین از زنجیره غذایی انسان باید صورت گیرد. در ارتباط با تغییر الگوی کشت در مناطق آلوده و کاشت محصولات با قابلیت جذب کمتر عناصر سنگین و یا عدم کاشت سبزیجات با مصرف تازه خوری در مناطق مذکور اقدامات و تمهیدات لازم صورت گیرد و توصیه می‌شود تولید محصولات کشاورزی و استانداردهای کیفی محور اطلاع‌رسانی به جامعه برای امنیت غذایی قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل که از محل اعتبارات به شماره ۱۷-۹۶۱۸ تامین شده، سپاسگزاری می‌گردد.

یادداشت‌ها

1. Principal Component Analysis
2. Principal Component
3. HNO_3 and HCL
4. H_2O_2
5. SAS and PAST
6. LSD test
7. FAO/WHO
8. Eigenvalue

فهرست منابع

Afshari, H. & Khademi, H. 2017. Evaluation of lead, zinc, copper, nickel and chromium concentrations in vegetables grown around Zanjan. Journal of Food Hygiene, 7 (1): 31-42. (in Persian)

Afyuni, M.; Khademi, H.; Shariatmadari, H.; Amini, M. & Khosravi, A. 2002. Final report on the status of surface soil contamination in the central region of Isfahan (soil quality standards and guidelines). Iran Environmental Protection Organization, Isfahan University of Technology. (in Persian)

Amiri, Z.; Asgharipour, M.R.; Campbell, D.E.; Azizi, K.; Kakolvand, E. & Moghadam, E.H. 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. Journal of Cleaner Production, 292: 126000.

Anonymous. 2010. Iranian Institute of Standards and Industrial Research, National Standard of Iran No. 12968 1389. Human feed, livestock and maximum tolerance of heavy metals. First Edition. (in Persian)

Baghaie, A. H. & Fereydoni, M. 2019. The potential risk of heavy metals on human health due to the daily consumption of vegetables. Environmental Health Engineering and Management Journal. 6(1): 11–16.

Burt, R.; Wilson M. A. & Mays, M. D. S. 2003. Major and trace elements of selected Pedon's in the USA. Journal of Environment Quality. 32: 2109-2121.

Cherfi, A., Cherfi, M., Maache-Rezzoug, Z. & Rezzoug, S. A. 2016. Risk assessment of heavy metals via consumption of vegetables collected from different supermarkets in La Rochelle, France. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 1: 136-188.

Dikinya, O. & Areola, O. 2010. Comparative analysis of heavy metal concentration in secondary treated wastewater irrigated soils cultivated by different crops. International Journal of Environmental Sciences and Technology. 7(2): 337-346.

FAO/WHO. 2011. Food additives and Contaminants. Joint Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO Food Standards Programme. FAO/WHO, Rome, Italy.

Gergen, I. & Harmanescu, M. 2012. Application of principal component analysis in the pollution assessment with heavy metals of vegetable food chain in the old mining areas. Chemistry Central Journal. 6: 1-13.

Hedayatifar, R.; Fallahi, A. & Birjandi, M. 2013. Measuring the amount of lead and cadmium metals in high consumption rice samples of Lorestan province and comparing it with national standards. Quarterly Journal of Lorestan University of Medical Sciences. 12 (4): 15-22. (in Persian)

Honour, S. L.; Bell, J.; Nigel, B.; Ashenden; T. A.; Cape J. N. & Power, S. A. 2009. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: Effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. Environment Pollution. 157(4): 1279-1286.

Li, M. S.; Luo. Y. P. & Su, Z. Y. 2006. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China. Environment Pollution. 147: 75-168.

Lv, P.; Wei, Z.; Yu, Z.; Zhang, J. & Wang, L. 2019. Heavy metal contamination in soils of greenhouse vegetable production systems in a cold region of China. Int J Agric & Biol Eng. 12(2): 98-103.

Maleki, A. & Zarasvand, A. M. 2008. Heavy metals in selected edible vegetables and estimation of their daily intake in Sanandaj, Iran. Southern Asian J. of Tropical Medicine and Public Health. 39(2): 335- 340.

Miranzadeh Mahabadi, H.; Ramroudi, M.; Asgharipour, M.R.; Rahmani, H.R. & Afyuni, M. 2020a. Assessment of heavy metals contamination and the risk of target hazard quotient in some vegetables in Isfahan. Pollution, 6(1): 69-78.

Miranzadeh Mahabadi, H.M.; Ramroudi, M.; Asgharipour, M.R.; Rahmani, H.R. & Afyuni, M. 2020b. Evaluation of the ecological risk index (Er) of heavy metals (HMs) pollution in urban field soils. SN Applied Sciences, 2(8): 1-8.

McBride, M. B.; Shayler, H. A.; Spliethoff, H. M.; Mitchell, R. G.; Marquez-Bravo, L. G.; Ferenz, G. S.; Russell-Anelli, J. M.; Casey, L. & Bachman, S. 2014. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: the impact of soil variables. Environment Pollution. 194: 254-271.

Moradi, A.; Honarjoo, N.; Najafi, P. & Fallahzade, J. 2016. A human health risk assessment of soil and crops contaminated by heavy metals in industrial regions, central Iran. Human and Ecological Risk Assessment, 22: 153-167.

Ravankhah, N.; Mirzaei, R. & Masoum, S. 2016. Spatial eco-risk assessment of heavy metals in the surface soils of industrial city of Aran-o-Bidgol, Iran. Bull Environmental Contamination Toxicology. 96: 516–523.

Salehipour, M.; Ghorbani, H.; Kheirabadi, H. & Afyuni, M. 2015. Health Risks from Heavy Metals via Consumption of Cereals and Vegetables in Isfahan Province, Iran. Human and Ecological Risk Assessment, 10: 1–16.

Sandeep, G.; Vijayalatha, K. R. & Anitha, T. 2019. Heavy metals and its impact in vegetable crops. International Journal of Chemical Studies. 7(1): 1612-1621.

Sichul, L.; Yu-Young, K.; Young-sook, L. & Gynheung, A. 2007. Rice P1B-type heavy-metal ATPase, OsHMA9, Is a Metal Efflux Protein. Plant Physiology. 145(3): 831– 842.

Sohrabi, M.; Beigmohammadi, Z.; Cheraghi, M.; Majidifar, S. & Jahangard, A. 2015. Health risks of heavy metals for population via consumption of greenhouse vegetables in Hamadan, Iran. Arch Hyg Science. 4(4):165-171.

Wu, H.; Yang, F.; Li, H.; Li, Q.; Zhang, F.; Ba, Y.; Cui, L.; Sun, L.; Ly, T.; Wang, N. & Zhu, J. 2019. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soil near a smelter in an industrial city in China. Int J Environ Health Res. 27: 1-13.

Zeng, X.; Wang, Z.; Wang, J.; Guo, J.; Chen, X. & Zhuang, J. 2015. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of wheat grown in Tianjin sewage irrigation area. Ecotoxicology. 24: 2115–2124.

Zohrevand, F.; Takdastan, A.; Jafarzadeh Haghighi, N.; Ramezani, Z.; Ahmadi, K.; Gharibi, H. & Nazarzadeh, A. 2004. Evaluation of lead contamination in vegetables, water and soil of agricultural lands irrigated with surface water in Ahvaz. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 24 (118): 226-231. (in Persian)