



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱

صفحه‌های ۹۹۳-۹۷۷

DOI: 10.22059/jci.2022.326369.2574

مقاله پژوهشی:

مطالعه غلظت آلاینده‌های نیترات و فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی کاهو و ارزیابی خطر مصرف آن

محسن سیل‌سپور*

استادیار، بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی غلظت نیترات و فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی کاهو در مزارع دشت ورامین، پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. برای انجام پژوهش، تعداد ۳۰ مزرعه کاهو در دشت ورامین انتخاب شد. در فصل برداشت کاهو به مزارع فوق مراجعه و نمونه‌برداری مرکب از خاک و محصول انجام شد و میانگین غلظت نیترات و فلزات سنگین در خاک و محصول با حدود استاندارد از طریق آزمون تی تک‌نمونه‌ای، مقایسه آماری شدند. میانگین غلظت نیترات، سرب و کادمیوم در کاهو به ترتیب ۲۷۵۶، ۱/۴۶ و ۰/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه بود که به ترتیب ۱/۸، ۱/۳ و ۱/۱ برابر استاندارد اعلام شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران بود. میانگین غلظت نیترات و غلظت کل سرب، کادمیوم و نیکل در خاک مزارع کاهو به ترتیب ۲۷، ۴۲، ۰/۶۴ و ۴۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که غلظت نیترات و سرب به ترتیب ۳۵ و ۱۸۰ درصد بیش‌تر از حد مجاز بود. ارزیابی خطر ناشی از ورود عناصر سنگین به بدن و بیماری‌های غیرسرطانی با فرمول‌های ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شد. در این راستا از شاخص خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ) استفاده شد. شاخص خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی برای کلیه آلاینده‌ها، کم‌تر از یک بود که مؤید عدم خطر برای مصرف بود. شاخص تجمع زیستی برای تمام فلزات مورد مطالعه، کم‌تر از یک بود. بیش‌ترین عامل تجمع زیستی متعلق به فلز سنگین کادمیوم بود که نشان‌دهنده تمایل کاهو به جذب و انباشت کادمیوم در مقایسه با سایر فلزات سنگین بود. براساس نتایج این پژوهش، احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از نیترات و فلزات سنگین از مسیر خوردن کاهو به‌طور جدی وجود ندارد، اما پایش غلظت نیترات و فلزات سنگین در خاک و کاهو در فواصل زمانی مختلف ضروری است.

کلیدواژه‌ها: تجمع زیستی، سرب، غلظت مجاز، کادمیوم، نیکل.

Study of Concentrations of Nitrates and Heavy Metals in the Soil and Lettuce and Risk Assessment of its Consumption

Mohsen Seilsepour

Assistant Professor, Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.

Received: September 13, 2021

Accepted: December 8, 2021

Abstract

This study is conducted to evaluate the concentration of nitrate and heavy metals in soil and edible organs of lettuce in Varamin plain farms for one year during 2017-2018. For this purpose, 30 lettuce fields in Varamin plain are selected and in the lettuce harvest season, soil and crop sampling are performed and the average concentrations of nitrate and heavy metals in the soil and lettuce were compared statistically with the standard limits by one paired t-test. The average concentrations of nitrate, lead and cadmium in lettuce are 2756, 1.46, and 0.11 mg/kg in fresh weight, respectively, which are 1.8, 7.3, and 1.1 times greater than the standard limit, declared by the National Standards Organization of Iran, respectively. The mean concentrations of nitrate and total concentrations of lead, cadmium, and nickel in the soil of lettuce fields are 27, 42, 0.64, and 42.5 mg/kg, respectively, while the concentrations of nitrate and lead have been 35% and 180% higher than the allowable limits, respectively. Risk assessments for heavy metals and non-cancerous diseases are performed, using formulas provided by the US Environmental Protection Agency (USEPA, 2006). In this regard, the risk index for non-cancerous diseases (HQ) is used. The risk factor for non-cancerous diseases for all contaminants is less than one, indicating that there is no risk for consumption. Accordingly, consuming 40 grams of lettuce per day does not pose a problem for an adult consumer. The bioaccumulation index for all the studied metals has been less than one. According to this study, the highest bioaccumulation factor belongs to the heavy metal cadmium, which indicates the tendency of lettuce to absorb and accumulate cadmium compared to other heavy metals. In order to reduce the concentration of nitrate and lead in the soil and prevent contamination of lettuce soils, it is recommended to avoid excessive use of fertilizers containing nitrogen and phosphorus and fertilizer application should be based on soil test. According to the results of this study, there is no serious possibility of exposure to non-cancerous diseases caused by nitrate and heavy metals from eating lettuce, but monitoring the concentration of nitrate and heavy metals in soil and lettuce at different intervals is necessary.

Keywords: Bioaccumulation, cadmium, lead, nickel, permitted concentration.

۱. مقدمه

امروزه فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی محیط زیست محسوب می‌شوند و تأثیر قابل‌توجهی بر محیط زیست دارند (Fazekasova & Fazekaa, 2020). فلزات سنگین به دلیل داشتن وزن اتمی بالا و چگالی اتمی بیش‌تر از چهار گرم بر سانتی‌متر مکعب، به این اسم نام‌گذاری شده‌اند (Song *et al.*, 2009). افزایش فرم قابل جذب این عناصر موجب آلودگی خاک و آب می‌شود و سلامت انسان را به خطر می‌اندازد (Cui *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2018). این فلزات می‌توانند به شدت جذب بافت‌های زنده شوند و به دلیل نیمه‌عمر بیولوژیکی بالا، خروج آن‌ها از بافت‌ها به سختی انجام شده و در بدن تجمع کنند (Nazemi, 2012). این عناصر سبب بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی موجودات زنده می‌شوند (Yang *et al.*, 2010). فلزات سنگین معمولاً در بدن متابولیز نمی‌شوند و پس از ورود به بدن، دیگر دفع نشده بلکه در بافت‌های چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌کنند که این به نوبه خود منجر به بیماری‌های متعددی می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007)، به همین سبب امروزه در دنیا بررسی میزان این فلزات در مواد غذایی بسیار مورد بحث می‌باشد (Yalchin *et al.*, 2007).

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که گیاهان مهم‌ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه‌های زیستی می‌باشند (Radu & Anca-Rovena, 2008). با این وجود، جذب و تجمع فلزات سنگین در محصولات سبزی و صیفی، تحت تأثیر تعدادی از عوامل از جمله غلظت فلزات سنگین در خاک می‌باشد (Nazemi *et al.*, 2010). در بین مواد غذایی مختلف، سبزی‌ها به دلیل ارزش تغذیه‌ای و اثرات مثبت بر سلامتی، در تمامی سنین طرفداران زیادی دارند سبزی‌ها جزء مهمی از

زنجیره غذایی انسان می‌باشند، زیرا دارای مواد معدنی و عناصر غذایی، ویتامین‌ها، مواد پروتئینی و عناصر ریزمغذی می‌باشند. این در حالی است که در سال‌های اخیر مسئله آلودگی آن‌ها به فلزات سنگین در دنیا جنجال‌برانگیز شده و پژوهش‌های مختلفی نیز در این زمینه انجام شده است، به دلیل آن‌که تجمع فلزات سنگین و نیترات در این محصولات می‌تواند خطرات جدی برای مصرف‌کنندگان ایجاد نماید (Sharma *et al.*, 2009; Gu & Liu, 2014). به همین دلیل است که مقدار فلزات سنگین در بعضی از مواد غذایی به وسیله مقررات بهداشتی هر کشور تنظیم می‌شود (Merdivan *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای که در کشور مصر به منظور ارزیابی خطر فلزات سنگین در محصولات کشاورزی انجام شد نشان داده شد که سبزی‌های برگی از قبیل کاهو و اسفناج دارای بیش‌ترین مقدار سرب و کادمیوم در بین محصولات مورد مطالعه بودند (Radwan & Salama, 2006). در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی در این زمینه صورت گرفته است.

Baba akbari *et al.* (2019) طی مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین سبزی‌های برگی منطقه جنوب تهران و شاخص خطرپذیری این فلزات بر سلامت مصرف‌کننده پرداختند. غلظت روی، مس، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل در بخش خوراکی سبزی‌های برگی کم‌تر از حد مجاز و استاندارد ایران بود. شاخص‌های خطرپذیری عناصر و شاخص خطر کل (شاخص سلامت) برای همه عناصر سنگین مورد مطالعه ناشی از مصرف محصولات کم‌تر از یک بود که نشان می‌دهد در صورت مصرف سبزی‌ها مطابق با الگوی استاندارد کشوری، احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی برای عناصر سنگین مورد مطالعه از مصرف سبزی‌های جنوب تهران وجود ندارد. Tabande & Taheri (2016) نیز به مطالعه

سبزی‌های پرورشی حومه شهر همدان پرداخته شد و گزارش شد که مقدار فلز سرب در نمونه‌های برداشت‌شده از حد مجاز بیش‌تر است (Samarghandi et al., 2000).

نیترات نیز یکی دیگر از آلاینده‌های سبزی‌های برگی است. امروزه به دلیل افزایش کاربرد کودهای نیتروژن‌دار، غلظت نیترات در سبزی‌ها به شدت افزایش یافته است (Santamaria, 2006). بعضی از گیاهان از جمله سبزی‌های برگی مانند کاهو، بیش‌ترین پاسخ به کودهای نیتروژنی را داشته و می‌توانند مقادیر زیادی نیترات را در خود تجمع نمایند (Merusi et al., 2010). تحت شرایطی که مقدار زیادی کود نیتروژنی مصرف شود، ظرفیت احیای نیترات کاهش می‌یابد و در نهایت مقادیر مازاد نیترات به برگ‌ها انتقال می‌یابد (Malakouti et al., 2013). نتایج پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان داده است که بین غلظت نیترات در محیط و مقدار تجمع نیترات گیاهی رابطه مستقیمی وجود دارد و مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر تجمع نیترات مقدار یون نیترات قابل دسترس گیاه است (Darnell & Stutte, 2001). تجمع نیترات در سبزی‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی مانند، مدیریت متفاوت زراعی (مقدار، نوع، دفعات کوددهی، سیستم آبیاری)، شرایط اقلیمی (مقدار و شدت تابش نور) و رقم، جنس و نوع گونه گیاه است. در این میان، عدم رعایت اصول صحیح مدیریت زراعی ممکن است منجر به آلودگی خاک‌های زراعی، آب آبیاری و در نهایت محصولات کشاورزی به نیترات گردد (Kladivko et al., 2004).

Tanandeh & Zarei (2018) در پژوهش‌های خود در مورد غلظت نیترات در سبزی‌های برگی تولیدی مزارع زنجان، آلودگی نیترات مشاهده نکردند. Nezami & Fatemi (2021) در پژوهش خود به بررسی غلظت نیترات سبزی‌های سنندج و ارزیابی خطر آن برای مصرف‌کنندگان پرداختند. غلظت نیترات در تمامی

غلظت فلزات سنگین در سبزی‌های برگی زنجان پرداختند. غلظت کادمیوم کم‌تر و غلظت سرب بیش‌تر از استاندارد ملی ایران بود. در این مطالعه با رعایت میزان مجاز مصرف روزانه، شاخص خطرپذیری سرب و کادمیوم ۰/۱۷ و ۰/۱۱ به دست آمد که مشکلی را برای مصرف‌کننده به وجود نمی‌آورد. Nazemi et al. (2010) نیز طی مطالعه خود، غلظت فلزات سنگین در اندام خوراکی سبزی‌های برگی منطقه شاهرود را بیش از استاندارد سازمان جهانی بهداشت گزارش کردند. Tahsini & Goilyan (2016) نیز در مطالعه‌ای در خصوص غلظت فلزات سنگین در منطقه سنندج، غلظت سرب و کادمیوم را در سبزی‌های برگی بیش از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت گزارش کردند. Seilsepour (2020)، غلظت فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی سبزی‌های برگی را در دشت ورامین مطالعه کرد. میانگین غلظت سرب در سبزی‌های برگی ۱۰ برابر حد مجاز بود و در مورد فلزات سنگین کادمیوم و نیکل کم‌تر از حد مجاز بود. شاخص خطرپذیری کلیه فلزات سنگین کم‌تر از یک بود. نتایج پژوهش‌های Mohajer et al. (2014) در خصوص آلودگی محصولات کشاورزی اصفهان به فلزات سنگین نشان داد که میانگین غلظت سرب در کاهو ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نسبت به استاندارد ملی ایران، ۲۰ برابر بیش‌تر بود. میانگین غلظت کادمیوم کاهو نیز ۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۲/۷ برابر استاندارد ملی کشور بود. نتایج پژوهش‌های Ranjbar et al. (2020) در خصوص ارزیابی وضعیت آلودگی سبزی‌های برگی مشهد به فلزات سنگین نشان داد که غلظت سرب در تمامی نمونه‌های سبزی‌های برگی بیش‌تر از حدود استاندارد بوده است، درحالی‌که میانگین غلظت کادمیوم در سبزی‌های مورد مطالعه بیش‌تر از حدود استاندارد نبوده است. در یک پژوهش دیگر، به بررسی مقدار فلزات سنگین موجود در

خطر مصرف این محصول، این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در اراضی کشاورزی منطقه ورامین (شهرستان ورامین، پیشوا، پاکدشت) که قطب تولید محصولات سبزی و صیفی استان تهران هستند، اجرا شد. پژوهش‌های میدانی مؤید این مطلب بود که در هیچ‌یک از مزارع مورد مطالعه، کوددهی براساس آزمون خاک صورت نگرفته بود و کلیه کودهای مصرفی شامل منابع حاوی نیتروژن و فسفر به صورت سنتی و بر مبنای تجربیات شخصی زارع انجام شده بود. منبع کود نیتروژن مصرفی به‌طور کلی کود اوره با ۳۸ درصد نیتروژن خالص و منبع کود فسفره، سوپرفسفات تریپل با ۴۸ درصد P_2O_5 بود. دامنه استفاده از کود اوره در مزارع از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم، کود سوپرفسفات ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی صفر تا ۱۰۰ تن در هکتار بود.

به‌منظور نمونه‌برداری از خاک، تعداد ۳۰ مزرعه در سطح منطقه برای نمونه‌برداری انتخاب شد و در فصل برداشت کاهو به مزارع کاهو مراجعه شد. نمونه‌برداری از خاک مزرعه به‌صورت مرکب انجام شد. بدین صورت که از ۱۵ نقطه مختلف مزرعه نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌وسیله مته نمونه‌برداری اخذ شد، سپس نمونه‌های اخذشده با هم مخلوط و یک نمونه خاک به وزن یک کیلوگرم تهیه شد. نمونه‌های خاک پس از ورود به آزمایشگاه هواخشک شدند. سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های شیمیایی خاک، از جمله غلظت نیترات و فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نمونه‌برداری از گیاه در هر مزرعه، به‌صورت مرکب از اندام مصرفی کاهو در زمان صبح انجام شد. بدین صورت که در هر مزرعه، تعداد ۱۵ بوته کاهو برداشت شد. نمونه‌های گیاه بعد از برداشت، به‌منظور جلوگیری از کاهش وزن و از دست دادن آب بافت، داخل یخدان‌های قابل حمل قرار گرفته و بلافاصله

سبزی‌های نمونه‌برداری شده در فصل زمستان کم‌تر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی ایران بود، اما در فصل تابستان غلظت نیترات در کرفس، شاهی و برگ چغندر بیش‌تر از حد استاندارد بیان شده بود. در تمام سبزی‌ها و در هر دو فصل، مقادیر شاخص احتمال خطرپذیری به‌دست‌آمده کم‌تر از ۱ بود. Seilsepour (2020) غلظت نیترات را در ۱۲ گونه سبزی برگ‌ی مطالعه کرد. میانگین غلظت نیترات در سبزی‌های مورد مطالعه ۱۴۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت نیترات کاهو، اسفناج، کرفس، کلم، شاهی، جعفری بیش‌تر از استاندارد ملی کشور بود. طی پژوهش دیگری، غلظت نیترات در سبزی‌های دو شهرستان خرم‌آباد و پلدختر مطالعه شد. بیش‌ترین غلظت نیترات در سبزی‌های مورد مطالعه در شهرستان خرم‌آباد مربوط به تره با میانگین ۸۴۰۸ و در شهرستان پلدختر، مربوط به ریحان با میانگین ۹۰۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از حدود مجاز، فراتر بود (Hasani Moghdam et al., 2019).

در خصوص وضعیت غلظت آلاینده‌ها از جمله نیترات و فلزات سنگین و ارزیابی خطر مصرف کاهوی تولیدی مزارع جنوب‌شرق استان تهران اطلاعات جامعی در دست نیست. با توجه به نبودن اطلاعات در خصوص غلظت نیترات و فلزات سنگین در سبزی‌های برگ‌ی، به‌ویژه کاهوی تولیدشده در مناطق عمده تولید محصولات سبزی و صیفی دشت ورامین، این پژوهش با هدف مطالعه غلظت آلاینده‌ها از جمله نیترات و فلزات سنگین در کاهوی تولیدی دشت ورامین و ارزیابی میزان خطر برای مصرف‌کننده اجرا شد.

۲. مواد و روش‌ها

برای بررسی وضعیت غلظت نیترات و فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم و نیکل در کاهو و ارزیابی ریسک

جداگانه با هاون چینی کوبیده و اضافه کرده و مدت ۳۰ ثانیه به شدت بهم زده شد و محلول رنگی ایجاد شده بلافاصله صاف شد. برای اندازه‌گیری غلظت نیترات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Hach-DR5000، ساخت آمریکا)، دستگاه بر روی طول موج ۵۴۰ نانومتر تنظیم شد و نمونه‌ها یک‌بار بدون معرف نیترات و بار دوم پس از اضافه‌کردن معرف نیترات اندازه‌گیری شدند. اختلاف این دو عدد به دست آورده شد و آن را در معادله- ای که از منحنی استاندارد عبور نور از محلول نیترات- پتاسیم در غلظت‌های مختلف به دست آمده بود، قرار داده و به این ترتیب، میزان نیترات هر یک از نمونه‌ها تعیین شد. در مرحله بعد، با استفاده از اعداد درصد ماده خشک هر نمونه، اعداد قرائت‌شده به میزان نیترات در ماده تر تبدیل شد.

به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در کاهو، یک گرم از نمونه خشک‌شده در بوتله چینی حرارت داده شد تا دود حاصل از سوختن آن خارج شود. سپس نمونه به مدت سه ساعت در کوره ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خاکستر سفیدرنگ که بیانگر از بین رفتن مواد آلی است، حاصل شود. بعد از سردکردن در دسیکاتور، به هر بوتله ۳۰ میلی‌لیتر نیتریک‌اسید غلیظ اضافه شد و بعد از حل شدن کامل، توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد و فلزات سنگین در عصاره حاصله با استفاده از دستگاه جذب اتمی متصل به کوره گرافیتی (مدل GBC-932، ساخت کشور استرالیا) تعیین شد.

۲.۲. تحلیل آماری

میانگین غلظت نیترات و فلزات سنگین خاک مزارع مورد مطالعه با استفاده از آزمون آماری T-test تک‌نمونه‌ای با مقدار حداکثر مجاز نیترات خاک (Seilsepour & Momayez, 2005) و حداکثر مجاز غلظت فلزات سنگین

به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز شیمیایی، ابتدا قسمت غیرخوراکی (برگ‌های سطحی خارجی سبز تیره غیرقابل مصرف) بوته‌های کاهو حذف شدند، پس از آن نمونه‌های کاهوی اخذشده برگ‌برگ شد، نمونه‌ها با آب مقطر شسته شدند و در نهایت مقدار یک کیلوگرم برگ کاهو شامل برگ‌های سطحی و میانی از نمونه‌های اخذشده از مزرعه نمونه‌گیری و داخل آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. به منظور تعیین درصد ماده خشک کاهو، ۱۰۰ گرم از نمونه تازه کاهو (W_f) داخل آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه را دوباره وزن کرده (W_d) و با استفاده از رابطه (۱)، درصد ماده خشک نمونه محاسبه شد (Bakhsh Khaniki et al., 2011).

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{W_f - W_d}{W_f} * 100 \quad (1)$$

۱.۲. تعیین غلظت نیترات و فلزات سنگین

برای اندازه‌گیری نیترات و فلزات سنگین از روش‌های رایج مؤسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد (Emami, 1996). به منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات کاهو، از هر نمونه خشک، ۰/۲ گرم توزین و ۵۰ میلی‌لیتر استیک‌اسید دو درصد به آن‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در شیکر دورانی تکان داده شد و محلول حاصله از کاغذ صافی عبور داده شد و میزان ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره و ۱۰ میلی‌لیتر از سری محلول‌های استاندارد را پیت کرده و به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شد. سپس، میزان ۰/۵ گرم از پودر مخلوط (۳۷ گرم اسید سیتریک $H_2OC_6H_8O_7$ و ۵ گرم سولفات منگنز مونوهیدرات و دو گرم سولفانیل‌آمید $C_6H_8N_2O_2$ و یک گرم ان-۱- نفتیل‌اتیلن‌دی‌آمین- دی‌هیدروکلراید $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$ و یک گرم پودر روی را

سنگین برای سلامتی انسان است (USEPA, 2000). دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف سبزیجات از رابطه (۲) محاسبه شد (USEPA, 2000).

$$\text{Intake} = \frac{Cf \cdot Ir}{Bw} \quad (2)$$

که در این رابطه Intake، مقدار جذب روزانه آلاینده (μg kg⁻¹ day⁻¹)، Cf، غلظت آلاینده در وزن تر سبزی، Ir، میزان مصرف سبزی تر در هر روز (g day⁻¹) که در این پژوهش ۴۰ گرم در روز در نظر گرفته شد (Aghili et al., 2010) و Bw، وزن بدن فرد بالغ می‌باشد که در این پژوهش ۷۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد (Seilsepour, 2021). ارزیابی خطر سلامت برای مصرف‌کنندگان از طریق محاسبه شاخص احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ) مشخص شد. چنانچه این شاخص کم‌تر از یک باشد، خطر آشکاری برای مصرف‌کنندگان وجود ندارد. شاخص خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی از رابطه (۳) برآورد شد (USEPA, 2006).

$$\text{HQ} = \frac{\text{Intake}}{\text{ORD}} \quad (3)$$

که در این رابطه HQ بدون واحد، (ORD) میزان مجاز دریافت کادمیوم، سرب و نیکل است. براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، غلظت مجاز دریافت کادمیوم، سرب و نیکل به ترتیب ۱، ۴ و ۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می‌باشد که در پژوهش حاضر از این اعداد رفرنس استفاده شد (USEPA, 2006). دریافت روزانه (Intake) فلزات سنگین از طریق مصرف سبزیجات از رابطه (۴) محاسبه شد (USEPA, 2000).

$$\text{Intake} = \frac{Cf \cdot Ir}{Bw} \quad (4)$$

که در آن، Intake، مقدار جذب روزانه آلاینده (μg kg⁻¹ day⁻¹)، Cf، غلظت آلاینده در وزن تر سبزی، Ir، میزان مصرف کاهو در هر روز (g day⁻¹) و Bw، وزن بدن می‌باشد.

خاک (Solhi et al., 2005) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۱) مورد مقایسه آماری قرار گرفت. میانگین غلظت نیترات و فلزات سنگین در کاهو (در سطح ۳۰ مزرعه) نیز، با مقدار حداکثر مجاز نیترات (Iranian National Standard Organization, 2013) پیشینه رواداری فلزات سنگین در خوراک (Iranian National Standard Organization, 2010) با استفاده از آزمون آماری T-test تک‌نمونه‌ای مورد مقایسه آماری قرار گرفت. همبستگی بین محتوای نیترات، کادمیوم، سرب و نیکل خاک و نیترات، سرب، کادمیوم و نیکل کاهو نیز بررسی و معادله رگرسیون آن با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد. در مدل رگرسیونی مربوطه، غلظت نیترات و فلزات سنگین در کاهو به‌عنوان متغیر وابسته (Y) و غلظت نیترات و فلزات سنگین خاک به‌عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد.

۳.۲. ارزیابی خطر مصرف

ارزیابی خطر ناشی از ورود عناصر سنگین به بدن و بیماری‌های غیرسرطانی با فرمول‌های ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شد (USEPA, 2006). در این راستا از شاخص خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ)^۱ استفاده شد. مقدار جذب روزانه فلزات سنگین به غلظت عناصر در ماده غذایی و مقدار مصرف غذا بستگی دارد (USEPA, 2006). چنانچه شاخص خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ) بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده وجود خطر ناشی از مصرف مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین برای مصرف‌کنندگان است (Cui et al., 2004). هرچه ضریب خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده خطر فزاینده آن فلز

جدول ۱. میانگین غلظت نیترات و فلزات سنگین (میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه) و سایر داده‌های آماری کاهو

آماره	نیترات	سرب	نیکل	کادمیوم
حداکثر	۷۲۴۸/۷۷	۴/۸۸	۶	۰/۵۲
حداقل	۶۲۳/۴۸	۰/۰۸	۰/۳	۰
میانگین	۲۷۵۶/۶۴	۱/۴۶	۰/۴۱	۰/۱۱
انحراف معیار	۱۷۲۱/۱۴	۱/۲۱	۱/۵۷	۰/۱۲
حداکثر مجاز	۱۵۰۰*	۰/۶**	۱۰**	۰/۱**
درصد انحراف از حداکثر مجاز	۸۳/۷	۶۳۰	۰	۱۰

* Iranian National Standard Organization, 2013

** Iranian National Standard Organization, 2010

جدول ۲. میانگین غلظت کل فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) و سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

آماره	کلسیم (٪)	پتاسیم (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	سولفور (٪)
حداکثر	۸۱	۲۰۸	۱۲۳۹	۷۱/۵	۳/۱۳
حداقل	۸	۴/۲۸	۲۳۹/۴	۲۴/۵	۰/۰۲
میانگین	۲۷	۷۵/۹۳	۵۹۹/۹	۴۲/۰۵	۰/۶۴
انحراف معیار	۵/۲	۵۱/۵۱	۲۳۶/۷۸	۱۲/۵۱	۰/۷۲
حداکثر مجاز	۲۰*	-	-	۱۵**	۳**
درصد انحراف از حداکثر مجاز	۳۵	-	-	۱۸۰	۰

* Seilsepour & Momayez, 2005

** Solhi et al., 2005

حداکثر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در خاک مزارع ۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲). میانگین غلظت نیترات در نمونه‌های خاک مزارع کاهو نسبت به غلظت بحرانی نیترات در خاک برای کاهو (Seilsepour & Momayez, 2005) که ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، ۳۵ درصد بیش‌تر بود. نتایج آزمون آماری (T-test) نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین غلظت نیترات خاک مزارع و حداکثر مجاز غلظت نیترات خاک وجود دارد.

۴.۲. عامل تجمع زیستی (BCF)^۱

یکی از عوامل مهمی که برای اندازه‌گیری میزان تجمع عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عامل تجمع زیستی است و از تقسیم غلظت عنصر در بخش هوایی به غلظت عنصر در خاک محاسبه می‌شود. گونه دارای مقادیر عامل تجمع زیستی بالا (بیش‌تر از ۱) برای یک فلز خاص می‌تواند به‌عنوان گونه تثبیت‌کننده عنصر، لحاظ شود (Yoon et al., 2006).

۳. نتایج

میانگین غلظت نیترات، سرب، کادمیوم و نیکل کاهو در مزارع مورد مطالعه همراه با آماره‌های میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار در جدول (۱) و میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک مزارع مختلف همراه با میانگین غلظت کل فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم و نیکل در جدول (۲) آورده شده است.

۳.۱. غلظت نیترات در کاهو و خاک مزارع

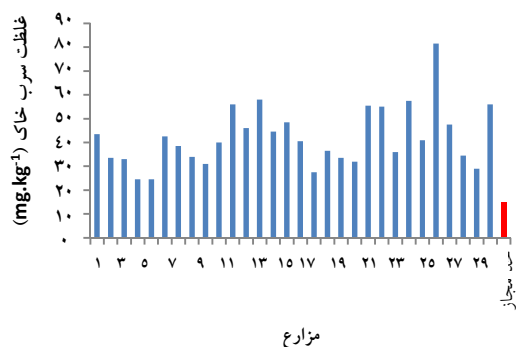
حداکثر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در کاهو ۷۲۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۶۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۲۷۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت نیترات در نمونه‌های کاهو نسبت به استاندارد ملی ایران (Iranian National Standard Organization, 2013) که ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، ۸۳ درصد بیش‌تر بود. نتایج آزمون آماری (T-test) نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین غلظت نیترات نمونه‌های کاهوی اخذ شده از مزارع و حداکثر مجاز نیترات کاهو (۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) (Iranian National Standard Organization, 2013) وجود داشت. در ۷۷ درصد مزارع مورد مطالعه، میزان نیترات از حد مجاز طبق استاندارد ملی ایران فراتر بود.

1. Biological Concentration Factor

کیلوگرم با میانگین ۱/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۱/۲۱ بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که میانگین غلظت سرب در مزارع کاهو نسبت به حداکثر میزان مجاز آن که ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (Iranian National Standard Organization, 2013)، ۷۳۰ درصد بیش‌تر است. در ۹۷ درصد مزارع مورد مطالعه، غلظت سرب نمونه‌های کاهو، فراتر از حداکثر مجاز بود.

حداکثر میزان سرب کل اندازه‌گیری شده در خاک مزارع ۸۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۲۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۴۲/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۱۲/۵۱ بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که میانگین سرب کل در مزارع نسبت به حداکثر میزان مجاز سرب کل خاک (۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) (Solhi et al., 2005)، ۱۸۰ درصد بیش‌تر بود. تغییرات غلظت سرب کل موجود در خاک مزارع در شکل (۳) نشان داده شده است. در تمامی مزارع مورد مطالعه، میزان سرب کل خاک از حداکثر مجاز بیش‌تر بود. بین محتوای سرب کاهو (Y) با غلظت سرب در خاک (X) همبستگی معنی‌دار ($P < 0/01$) با ضریب تبیین ۰/۹۵ وجود داشت که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌نمود (رابطه ۶، شکل ۴).

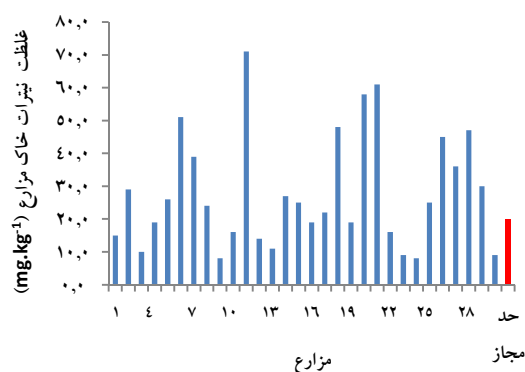
$$Y = 0.0016X^2 - 0.049X + 0.546 \quad (6)$$



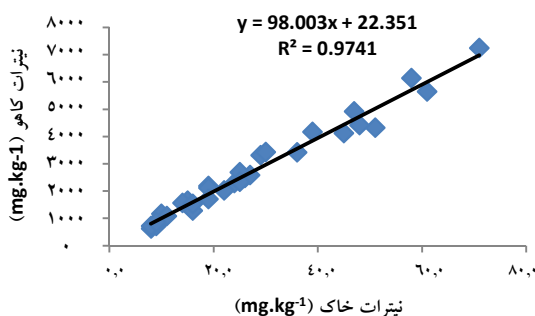
شکل ۳. پراکنش غلظت سرب خاک مزارع و مقایسه آن با حداکثر مجاز

تغییرات غلظت نیترات نمونه‌های خاک مزارع کاهو در شکل (۱) نشان داده شده است. در ۷۰ درصد مزارع مورد مطالعه، میزان نیترات خاک از حد مجاز فراتر بود. بین محتوای نیترات کاهو (Y) با غلظت نیترات در خاک (X) همبستگی معنی‌دار ($P < 0/01$) با ضریب تبیین ۰/۹۷ وجود داشت که معادله رگرسیونی آن از مدل خطی پیروی می‌نمود (رابطه ۵، شکل ۲).

$$Y = 98.00X + 22.35 \quad (5)$$



شکل ۱. پراکنش نیترات خاک مزارع و مقایسه آن با حداکثر مجاز

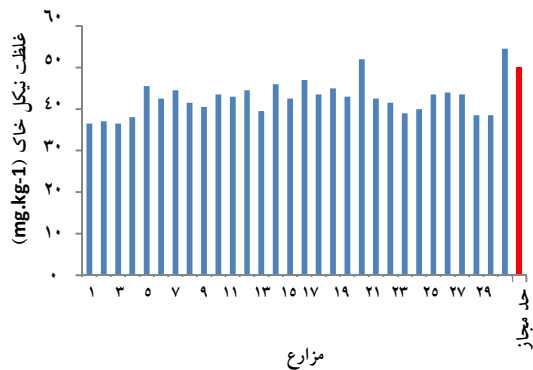


شکل ۲. رگرسیون بین نیترات خاک مزارع و غلظت نیترات کاهو

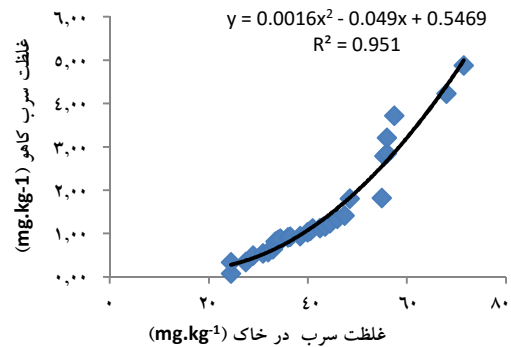
۳.۲. غلظت سرب در کاهو و خاک مزارع

حداکثر غلظت سرب اندازه‌گیری شده در کاهو ۴/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۰/۰۸ میلی‌گرم در

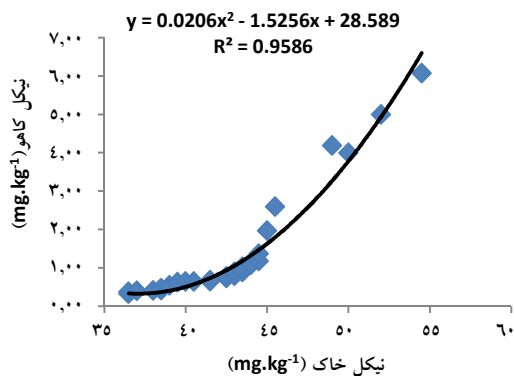
مطالعه غلظت آلاینده‌های نیترات و فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی کاهو و ارزیابی خطر مصرف آن



شکل ۵. پراکنش غلظت نیکل خاک در مزارع مختلف



شکل ۴. رگرسیون بین سرب خاک مزارع و غلظت سرب در کاهو



شکل ۶. رگرسیون بین نیکل خاک مزارع و غلظت نیکل در کاهو

۳.۳. غلظت نیکل در کاهو و خاک مزارع

حداکثر میزان نیکل اندازه‌گیری شده در کاهو ۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۱/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۱/۵۷ بود (جدول ۱). میانگین غلظت نیکل در کاهو نسبت به حداکثر میزان مجاز برای سبزی‌ها که ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر (Solhi et al., 2005) می‌باشد، کم‌تر بود. حداکثر میزان نیکل کل اندازه‌گیری شده در خاک مزارع ۵۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۳۶/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۴۲/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۴/۰۹ بود (جدول ۲). میانگین نیکل کل خاک نسبت به حداکثر میزان مجاز برای نیکل کل خاک که ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (Solhi et al., 2005)، کم‌تر بود. شکل (۵) تغییرات غلظت کل نیکل موجود در خاک مزارع را در مزارع مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، در ۹۳/۳ درصد مزارع مورد مطالعه میزان نیکل کل خاک از حد مجاز کم‌تر بوده است. بین محتوای نیکل کاهو (Y) با غلظت نیکل در خاک (X) همبستگی معنی‌دار ($P < 0/01$) با ضریب تبیین ۰/۹۵ وجود داشت که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌نمود (رابطه ۷، شکل ۶).

$$Y = 0.020X^2 - 1.526X + 28.58 \quad (7)$$

۴. غلظت کادمیوم در کاهو و خاک مزارع

حداکثر میزان کادمیوم اندازه‌گیری شده در کاهو ۰/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن صفر میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۰/۱۲ بود (جدول ۱). میانگین غلظت کادمیوم نسبت به حداکثر میزان مجاز برای کاهو (۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر) براساس استاندارد ملی کشور کمی بیش‌تر بود. در ۴۳ درصد مزارع مورد مطالعه، میزان کادمیوم از حد مجاز طبق استاندارد ملی ایران، فراتر بود. حداکثر میزان کادمیوم کل اندازه‌گیری شده در خاک مزارع ۳/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداقل آن ۰/۰۲

۵.۳. ارزیابی خطر مصرف کاهو

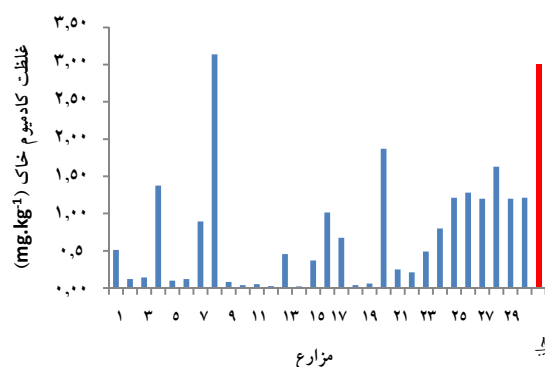
برای ارزیابی خطر مصرف کاهو، از شاخص احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ)^۱ استفاده شد (USEPA, 2006). چنانچه این شاخص کم‌تر از یک باشد، خطر آشکاری برای مصرف‌کنندگان وجود ندارد. براساس محاسبات صورت‌گرفته، شاخص احتمال خطرپذیری برای کلیه آلاینده‌ها کم‌تر از یک بود (جدول ۳). میانگین مصرف روزانه سبزی‌های برگی ۴۰ گرم در روز تعیین شده است (Aghili et al., 2010). با مصرف این مقدار کاهو در روز، شاخص احتمال خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی کم‌تر از یک خواهد بود که در این صورت، مصرف‌کنندگان کاهو با خطرات بیماری‌های غیرسرطانی قابل‌توجهی مواجه نیستند (جدول ۳).

۶.۳. عامل تجمع زیستی (BCF)^۲

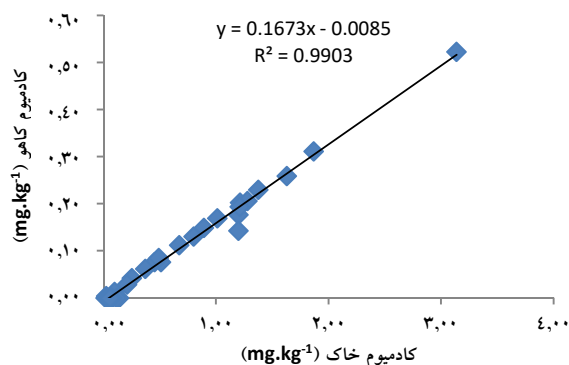
یکی از عامل‌های مهمی که برای اندازه‌گیری میزان تجمع عناصرسنگین در نمونه‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عامل تجمع زیستی است و از تقسیم غلظت عنصر در بخش هوایی به غلظت عنصر در خاک محاسبه می‌شود. گونه دارای مقادیر عامل تجمع زیستی بالا (بیش‌تر از ۱) برای یک فلز خاص می‌تواند به‌عنوان گونه تثبیت‌کننده عنصر، لحاظ شود (Yoon et al., 2006). عامل تجمع زیستی برای آلاینده‌های سرب، نیکل و کادمیوم در جدول (۴) درج شده است. نتایج حاصل از محاسبه عامل تجمع زیستی نشان‌دهنده آن بود که برای تمام فلزات مورد مطالعه، این شاخص کم‌تر از یک بود. براساس این مطالعه، غلظت فلزات سنگین در کاهو از حد آستانه تعریف‌شده برای گیاهان بیش‌اندوز کم‌تر است. بیش‌ترین عامل تجمع زیستی متعلق به فلز سنگین کادمیوم بود که نشان‌دهنده تمایل کاهو به جذب و انباشت کادمیوم در مقایسه با سایر فلزات سنگین بود.

میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و انحراف معیار ۰/۷۲ بود (جدول ۲). میانگین غلظت کادمیوم کل خاک نسبت به حداکثر میزان مجاز کادمیوم کل خاک که ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد (Solhi et al., 2005) کم‌تر است. تغییرات غلظت کل کادمیوم موجود در خاک مزارع در شکل (۷) نشان داده شده است. در ۹۷ درصد مزارع مورد مطالعه، غلظت کادمیوم کل خاک از حداکثر مجاز کم‌تر بوده است. محتوای کادمیوم کاهو (Y) با غلظت کادمیوم در خاک (X) همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین ۰/۹۹ داشت. این همبستگی از مدل خطی پیروی می‌کند (رابطه ۸، شکل ۸).

$$Y = 0.167X - 0.0085 \quad (8)$$



شکل ۷. پراکنش غلظت کادمیوم خاک در مزارع مختلف



شکل ۸. رگرسیون بین کادمیوم خاک مزارع و غلظت کادمیوم در کاهو

1. Hazard Quotient
2. Biological Concentration Factor

جدول ۳. محاسبات شاخص ارزیابی خطر مصرف کاهو

شاخص های محاسبه	نیترات	سرب	نیکل	کادمیوم
میانگین غلظت آلانینده (Cf) (mg.kg ⁻¹)	۲۷۵۶/۶۴	۱/۴۶	۰/۴۱	۰/۱۱
میانگین مصرف روزانه کاهو (Ir) (g)	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
وزن بدن (kg)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
مقدار جذب روزانه آلانینده (Intake) (mg kg ⁻¹ day ⁻¹)	۱/۴۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵
میزان مجاز دریافت روزانه (RFD) (mg.kg ⁻¹ .body weight ⁻¹)	۳/۸۶	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۱
شاخص احتمال خطرپذیری (HQ)	۰/۳۸	۰/۱۷۵	۰/۰۱	۰/۵

جدول ۴. میانگین عامل تجمع زیستی فلزات سنگین در کاهو

ردیف	عامل زیستی سرب	عامل زیستی نیکل	عامل زیستی کادمیوم
میانگین	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۰/۱۷۱

۴. بحث

براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، میانگین نیترات اندازه‌گیری شده در کاهو نسبت به استاندارد ملی ایران (Iranian National Standard Organization, 2013) که ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، ۸۳ درصد بیش‌تر بود که این یافته با نتایج به دست آمده توسط سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. نتایج پژوهش‌ها در خصوص بررسی میزان نیترات در سبزی‌های میدان مادر میوه و تره‌بار تهران نشان داد که کاهو بیش‌ترین غلظت نیترات به میزان ۱۱۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم را به خود اختصاص داده است (Pourmoghim *et al.*, 2010). نتایج پژوهش‌های Dejon & Stekbaut (1995) نیز در مورد غلظت ۱۹ نوع سبزی و میوه در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد که در بین سبزیجات مورد بررسی، کاهو بیش‌ترین تجمع نیترات به میزان ۳۱۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه را داشته است. هم‌چنین، نتایج پژوهش‌های Susin *et al.* (2006) در مورد اندازه‌گیری میزان نیترات در ۱۴ نوع سبزی و میوه نشان داد که کاهو بالاترین غلظت نیترات را به میزان

۱۰۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه در بین سبزیجات مورد بررسی داشته است. Hassani Moghadam *et al.* (2019) مصرف بی‌رویه کودهای حاوی نیتروژن را عامل افزایش نیترات در سبزی‌ها دانسته‌اند. نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین محتوای نیترات خاک و محتوای نیترات کاهو بود (رابطه ۵)، بدین معنی که غلظت نیترات در کاهو تحت تأثیر غلظت نیترات خاک می‌باشد. با این وصف چنانچه مدیریت مصرف کودهای نیتروژنه درست انجام نشود و مقادیر بیش از حد نیترات در سبزیجات انباشته شود، با توجه به غلظت نیترات مازاد و دفعات زیاد مصرف سبزیجات، ممکن است سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهد (Haftbaradaran *et al.*, 2018).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غلظت سرب کاهو، بیش از میزان استاندارد است که با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. به‌عنوان مثال، در اراضی زیر کشت سبزی در اصفهان، میانگین غلظت سرب در نمونه‌های کاهو ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد که بیش از حد مجاز بود (Mohajer *et al.*, 2014). Bigdeli & Seilsepour (2008) نیز طی مطالعه‌ای در اراضی جنوب تهران، غلظت سرب را در تمامی محصولات سبزی و صیفی از جمله کاهو را، فراتر از حد مجاز گزارش نمودند. وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین

نیز غلظت کادمیوم اکثر محصولات سبزی و صیفی را بیش از حداکثر مجاز گزارش کرده‌اند. مقدار کادمیوم جذب شده توسط گیاهان بستگی به مقدار کل کادمیوم موجود در خاک و قابلیت جذب این عنصر (Alloway, 2005) و نوع گونه گیاهی دارد؛ به گونه‌ای که سبزی‌هایی مثل کاهو و اسفناج تمایل زیادی به جذب کادمیوم دارند (Torabian & Mahjoori, 2003). همبستگی مثبت و معنی‌دار غلظت کادمیوم خاک و غلظت کادمیوم کاهو (رابطه ۸) در پژوهش حاضر نیز با یافته‌های این پژوهش‌گران مطابقت داشت. پژوهش‌های McBride (2033) نیز مؤید این مطلب است که افطایش غلظت فلزات سنگین در خاک موجب افزایش غلظت این عنصر در گیاه می‌شود.

در پژوهش حاضر، میانگین غلظت کادمیوم کل اندازه‌گیری شده در خاک مزارع کم‌تر از حداکثر مجاز (Solhi et al., 2005) بود. سایر پژوهش‌گران نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. طی مطالعه‌ای، مقدار میانگین غلظت کل کادمیوم در اراضی اصفهان ۱/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد که کم‌تر از حداکثر مجاز بود و منبع کادمیوم خاک، استفاده از کودهای فسفره اعلام شد (Amini et al., 2005). طی مطالعه دیگری، مقدار کادمیوم در اراضی تحت کشت سبزیجات در همدان بیش‌تر از سایر اراضی اعلام شد. این پژوهش‌گران علت افزایش کادمیوم خاک در این مزارع را فعالیت‌های انسانی از جمله مصرف بی‌رویه کودهای حاوی فسفر دانسته‌اند (Jalali & Khanlary, 2008). در پژوهش حاضر غلظت نیکل در کاهو و خاک مزارع کم‌تر از حدود استاندارد بود. این یافته با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. طی یک پژوهش دیگر در خاک‌های اصفهان، غلظت کل نیکل خاک به‌طور متوسط ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که کم‌تر از حدود مجاز بود (Houdaji & Jalalian, 2004).

غلظت سرب کاهو و غلظت سرب در خاک (رابطه ۶) مؤید این مطلب بود که غلظت سرب در کاهو تحت تأثیر غلظت سرب خاک می‌باشد. مطابق نتایج پژوهش حاضر، میانگین غلظت سرب کل اندازه‌گیری شده در خاک مزارع بیش از حداکثر مجاز بود (Solhi et al., 2005) که استفاده غیرمنطقی از کودهای شیمیایی فسفاته که حاوی مقادیری سرب به‌صورت ناخالصی می‌باشند، می‌تواند از منابع تجمع سرب در خاک باشد (Wang & Ma, 2004). نتایج آنالیز شیمیایی خاک مزارع (جدول ۲) نشان داد که میانگین غلظت فسفر قابل جذب خاک مزارع مطالعه‌شده ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است که بسیار فراتر از حد بحرانی غلظت فسفر قابل جذب خاک برای کاهو بود (Seilsepour & Momayezi, 2005) و نشان‌دهنده مصرف بی‌رویه کودهای حاوی فسفر در این مزارع می‌باشد. Amini et al. (2005) نیز مقدار میانگین غلظت کل سرب در اراضی اصفهان را ۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند و منبع سرب خاک، استفاده از کودهای حیوانی و فرونشست‌های جوی اعلام شد. طی پژوهش دیگری، غلظت سرب در کاهو در اراضی جنوب تهران ۰/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد که مقدار آن کم‌تر از پژوهش حاضر بود (Givianrad et al., 2011).

در پژوهش حاضر، میانگین غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شده در کاهو بیش از حد مجاز بود که با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. Mohajer et al. (2014) نیز در اراضی زیر کشت سبزی در اصفهان، میانگین غلظت کادمیوم در نمونه‌های کاهو را ۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند که بیش از حداکثر مجاز بود. طی پژوهش دیگری غلظت کادمیوم در کاهو در اراضی جنوب تهران ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد که مقدار آن کم‌تر از پژوهش حاضر بود (Givianrad et al., 2011). Sharma et al. (2008) نیز

و بزرگسالان بزرگتر از یک برآورد کردند. در گزارش دیگری در مورد ارزیابی خطر عناصر سنگین از طریق مصرف سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب بر سلامت انسان، شاخص احتمال خطرپذیری کادمیوم و منگنز بیش از یک بود و مصرف سبزیجات، به‌طور شدید سلامت مصرف‌کننده را تهدید می‌کرد (Mahmood & Malik, 2014).

نتایج حاصل از محاسبه عامل تجمع زیستی نشان‌دهنده آن بود که برای تمام فلزات مورد مطالعه، این شاخص کم‌تر از یک بود. براساس این مطالعه، غلظت فلزات سنگین در کاهو از حد آستانه تعریف شده برای گیاهان بیش‌اندوز کم‌تر است. بیش‌ترین عامل تجمع زیستی متعلق به فلز سنگین کادمیوم بود که نشان‌دهنده تمایل کاهو به جذب و انباشت کادمیوم در مقایسه با سایر فلزات سنگین بود. سایر پژوهش‌گران نیز به تمایل بیش‌تر کاهو نسبت به جذب کادمیوم در مقایسه با سایر فلزات سنگین اشاره کرده‌اند (Moyo & Chimbira, 2009). نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. Babaakbari Sari et al. (2019) در بررسی خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف سبزی‌های برگی در ورامین عامل تجمع زیستی فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم و نیکل را در ریحان، جعفری، تره و مرزه کم‌تر از یک گزارش کردند. همانند نتایج پژوهش حاضر، عامل تجمع زیستی کادمیوم بزرگ‌تر از عامل‌های تجمع زیستی سرب و نیکل بود.

۵. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، غلظت آلاینده‌های نیترات و سرب در خاک مزارع مورد مطالعه بیش از بیشینه رواداری بود که در نتیجه مصرف بی‌رویه کودهای حاوی نیتروژن و کودهای فسفاته می‌باشد. غلظت آلاینده‌های نیترات و سرب در قسمت خوراکی

در پژوهش حاضر، شاخص احتمال خطرپذیری برای کلیه آلاینده‌ها کم‌تر از یک بود که با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. سایر پژوهش‌گران نیز از این شاخص برای ارزیابی ریسک خطر مصرف سبزیجات استفاده کرده‌اند. به‌عنوان مثال، Hu et al. (2013) شاخص احتمال خطرپذیری برای عناصر سرب، کادمیوم و روی را در هر دو گروه سنی از طریق مصرف سبزیجات کم‌تر از یک گزارش کردند. این پژوهش‌گران بیان نمودند که عناصر سنگین از طریق مصرف سبزیجات سلامت مصرف‌کننده را تهدید نمی‌کند، ولی باید به خطر تجمع طولانی مدت عناصر سنگین به‌ویژه در کودکان توجه شود. Baba akbari et al. (2019) طی مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین سبزی‌های برگی منطقه جنوب تهران و شاخص خطرپذیری این فلزات بر سلامت مصرف‌کننده پرداختند. شاخص‌های خطرپذیری فلزات سنگین برای همه عناصر سنگین مورد مطالعه ناشی از مصرف محصولات کم‌تر از یک بود که نشان می‌دهد در صورت مصرف سبزیجات مطابق با الگوی استاندارد کشوری، احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی برای عناصر سنگین مورد مطالعه از مصرف سبزی‌های جنوب تهران وجود ندارد. Tabande & Taheri (2016) نیز به مطالعه غلظت فلزات سنگین در سبزی‌های برگی زنجان پرداختند. غلظت کادمیوم کم‌تر و غلظت سرب بیش‌تر از استاندارد ملی ایران بود. در این مطالعه با رعایت میزان مجاز مصرف روزانه، شاخص خطرپذیری سرب و کادمیوم ۰/۱۷ و ۰/۱۱ به‌دست آمد که مشکلی را برای مصرف‌کننده به‌وجود نمی‌آورد که با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر مطابقت داشت. Salehipour et al. (2015) در بررسی ارزیابی خطر عناصر سنگین بر سلامت انسان از طریق مصرف محصولات کشاورزی در اصفهان، مقدار نسبت خطر را برای آرسنیک و سرب برای کودکان

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

- Aghili, F., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., & Schulin, R. (2010). Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in central Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, 15(2), 999-1015.
- Alihyaei, M., & Behbahanzadeh, A.A. (1993). *Methods of Chemical Decomposition of Soil and Water (Vol. 1)*. Ministry of Jihad Agriculture, Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran (In Ppsian).
- Alloway B.J. 2005. Heavy metals in soils. Edinburgh: Blackie & Son Ltd, 278-283.
- Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., & Schulin, R. (2005). Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Science of the Total Environment*, 347(1-3), 64-77.
- Baba Akbari Sari, M., Shakouri, M., & Hassani, A. (2019). Evaluation of heavy metal hazard indicators due to vegetable consumption in Varamin city. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9 (1), 119-133.
- Bakhshi Khaniki, G., Javadi, P., Mehdi Khani, P., & Tahmasebi, D. (2011). Investigation of the effect of drought stress on some quantitative and qualitative characteristics of new improved sugar beet cultivars. *Molecular Cell Biotechnology Updates*, 1 (3), 65-74.
- Bigdeli, M., & Seilsepour, M. (2008). Investigation of metals metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 4(1), 86-92.
- Chen, B.M., Wang, Z.H., Li, S.X., Wang, G.X., Song, H.X., & Wang, X.N. (2004). Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science*, 167(3), 635-643.
- Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R.H., Chen, D.Y., & Liang, J.Z. (2004). Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environment International*, 30(6), 785-791.
- Danica Fazekasová, D., & Fazekas, J. (2020). Soil Quality and Heavy Metal Pollution Assessment of Iron Ore Mines in Nizna Slana (Slovakia). *Sustainability*, 12(6), 1-15.

کاهو نیز بیش از بیشینه رواداری بود. همبستگی مثبت معنی‌دار بین محتوای نیترات خاک و محتوای نیترات اندام خوراکی کاهو وجود داشت که نشان می‌داد غلظت نیترات در کاهو تحت تأثیر غلظت نیترات خاک است. همچنین همبستگی مثبت معنی‌دار بین غلظت فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی کاهو وجود داشت که نشان می‌داد غلظت فلزات سنگین در کاهو تحت تأثیر غلظت فلزات سنگین خاک است. نتایج همچنین نشان داد که در بین فلزات سنگین مورد مطالعه، کاهو تمایل بیش‌تری به جذب و انباشت کادمیوم دارد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، توصیه می‌شود به‌منظور کاهش غلظت نیترات و فلزات سنگین شامل سرب و کادمیوم در خاک مزارع، از مصرف بی‌رویه کودهای حاوی نیتروژن و فسفر خودداری شود و مصرف این کودها براساس آزمون خاک و نیاز گیاه باشد. با توجه به شاخص خطرپذیری کم‌تر از یک در مورد نیترات و فلزات سنگین در کاهو، احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از نیترات و فلزات سنگین از مسیر خوردن کاهو به‌طور جدی وجود ندارد، اما پایش غلظت نیترات و فلزات سنگین در خاک و اندام خوراکی کاهو در فواصل زمانی مختلف ضروری است.

۶. تشکر و قدردانی

داده‌های این پژوهش، بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی "بررسی مقدار فلزات سنگین (کادمیم، سرب و نیکل) و نیترات در کاهو مناطق عمده تولید کشور" به شماره مصوب ۹۱۱۳۰-۱۰-۱۰-۰۴ است که بدین‌وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ir)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب (www.swri.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (www.tehran.areeo.ac.ir)، تشکر و قدردانی می‌گردد.

- Darnell, R.L., & Stutte, G.W. (2001). Nitrite concentration effects on NO₃-N uptake and reduction, growth, and fruit yield in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(5), 560-563.
- Dejon, C.W., & Stekbaut, W. (1995). *Nitrate in food commodities vegetable origin and the total diet in Belgium*, University of Ghent.
- Emami, A. (1996). *Methods of chemical decomposition of plants (Volume I)*, Ministry of Jihad Agriculture, Soil and Water Research Institute. Thechnical Report No. 982. Tehran. Iran (In persian)
- Givianrad, M.H., Sadeghi, T., Larijani, K., & Hosseini, S.E. (2011). Determination of cadmium and lead in lettuce, mint and leek ultivated in different sites of Southern Tehran. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 8(2), 38-43 (In Persian).
- Gu, J., & Liu, Z.X. (2014). Investigation and evaluation on heavy metal pollution of vegetable farm soils in Fuxin, China. *Advanced Materials Research*, 3(2), 955-959
- Haftbaradaran, S., Malakouti, M.J., & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2018). Investigation of nitrate risk assessment in edible parts of some crops grown in Isfahan Province. *Applied Soil Research*, 6(1), 1-12 (In persian).
- Hassani Moghadam, A., Bazdar, A., & Shaban, M. (2019). Nitrate content in some vegetables grown in Poldakhtar and Khorramabad counties in Lorestan province. *Journal of Health and Environment*, 12(1), 110-112
- Hodji, M., & Jalalian, M. (2004). Distribution of nickel, manganese and cadmium in soil and agricultural products in the area of Mobarakeh Steel Complex. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 8(3), 210-218.
- Hu, W., Huang, X, Shi, W., Chen, Y., & Jiao, W. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in a plot-scale vegetable production system in a peri-urban vegetable farm near Nanjing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 303-309.
- Iranian Institute of Standards and Industrial Research. (2010). *Human feed, livestock, maximum tolerance of heavy metals. National Standard of Iran No. 12968*. Iranian Institute of Standards and Industrial Research, Karaj. Tehran (In persian).
- Iranian Institute of Standards and Industrial Research. (2013). *Maximum nitrate residue limit in agricultural products. National Standard of Iran No. 16596*. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- Karaj. Tehran. (In persian).
- Jalali, M., & Khanlari, Z.V. (2008). Cadmium availability in calcareous soils of agricultural lands in Hamadan, western Iran. *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*, 17(3), 256-68.
- Kabata-Pendias, A. (2007). *Trace elements in soils and plants*. Florida: CRC press, 162-168pp.
- Kabata-Pendias A., & Mukherjee, B.A. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer. 561p.
- Kladivko, E.J., Frankenberger, J.R., Jaynes, D.B., Meek, D.W., Jenkinson, B.J., & Fausey, N.R. (2004). Nitrate leaching to subsurface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. *Journal of Environmental Quality*, 33(5), 1803-1813.
- McBride, M.B. (2003) Toxic metals in sewage sludgeamended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environment Research*, 8(1), 5-19.
- Mahmood, A., & Malik, R.N. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. *Arabian Journal of Chemistry*, 7, 91-99.
- Malakouti, M. J., Ladan, S. H., & Tabatabaee, S. J. (2013). *Nitrate in leafy vegetables: Toxicity and safety measures*. In: Umar S. H., Anjum N. A., and Khan N. A. (Ed.), Content in the edible parts of vegetables: Origin, safety, toxicity limits and the prevalence of cancer in Iran. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India. pp. 93-122.
- Malakoutian, M., Mesraghani, M., & Danesh pazhouh, M. (2011). A Survey on Pb, Cr, Ni and Cu Concentrations in Tehran Consumed Black Tea: A Short Report. *Juornal of Rafsanjan Univsity Medicin Science*, 102, 138- 139.
- Merdivan, M., Yilmaz, E., & Hamamci, C. (2004). Basic nutrients and element contents of white cheese of Diyarbakır in Turkey. *Food Chemistry*, 87(2), 163-71.
- Merusi, C., Corradini, C., Cavazza, A., Borromei, C., & Salvadeo, P. (2010). Determination of nitrates, nitrites and oxalates in food products by capillary electrophoresis with pH-dependent electroosmotic flow reversal. *Food Chemistry*, 120(2), 615-620.
- Mohajer, R., Salehi, M.H., & Mohammadi, J. (2014). Investigation of lead and cadmium concentrations in lettuce, cabbage, onion and beet agricultural products of Isfahan province. *Journal of Health and Environment*, Iranian Scientific Association of Environmental Health, 7(1), 1-10.

- Moyo, D.Z., & Chimbira, C. (2009). The Effect of single and mixed treatments of lead and cadmium on soil bioavailability, uptake and yield of *Lactuca sativa* irrigated with sewage effluent under greenhouse conditions. *Amerivan Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 6(5), 526-531.
- Nazemi, S., Asgari, A., & Raei, M. (2010) Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahrud. *Iranian Journal of Health and Environment*, 3(2), 195-202 (in Persian).
- Nazemi, S. (2012). Concentration of heavy metal in edible vegetables widely consumed in Shahrud, the North East of Iran. *Juornal. of Applied Environment. and Biology. Science*, 2, 386-391.
- Nazemi, S., Asgari, A.R., & Raei, M. (2010). Survey the amount of Heavy Metals in Cultural Vegetables in Suburbs of Shahrud. *Iranian Journal of Health and Environment*, 3(2), 195-202.
- Nezami, S., & Fatemi, A. (2021). Human Health Risk Assessment of Exposure to Nitrate from Vegetables Distributed in Kermanshah. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*, 7(2), 164-174.
- Pourmoghim, M., Khoshtinat, K., Sadeghi makkei, A., Komeili fonod, R., Golestan, B., & Pirali, M. (2010). Determination of nitrate contents of lettuce, tomatoes and potatoes on sale in Tehran central fruit and vegetable market by HPLC. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Industry*, 5(1), 63-70.
- Radu, L., & Anca-Rovena, L. (2008). Vegetable and fruits quality within heavy metals polluted areas in Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 3(2), 115-29.
- Radwan, M.A., & Salama, A.K. (2006). Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food Chemistry Toxicology*, 44(8), 1273-8.
- Ranjbar, G. h., Najafpoor A. A., & Dehghan, A. (2020). Survey of Heavy Metals (Lead, Cadmium, Arsenic, Mercury) in Vegetables of Farmlands Around Kashafrud River in Mashhad in Spring and Summer, 2018. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*, 6(2), 107-116.
- Reilly, C. (2008). *Metal contamination of food: its significance for food quality and human health*. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: Blackwell Science. 436-441.
- Samarghandi, M.R., Kari, M.M., & Sadri, G.H. (2000). A study of Hamadan vegetables heavy metals irrigated with water polluted to these metals, Iran, *Juornal of Sabzevar Univsity Medicin Sciences*, 7(1), 45-53. (In persian)
- Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 10-17.
- Seilsepour, M., & Momaiezi, M.R. (2005), *Management of Nitrogen Consumption in Vegetable crops*. Marz Danesh Publications, Tehran, Iran. 32-64. (In persian)
- Seilsepour, M. (2020). Study of heavy metal concentrations in soil and edible organs of leafy vegetables and risk assessment of consumption using risk indicators. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3 (2), 145-158. (In persian)
- Seilsepour, M. (2020). Study of nitrate concentration in leafy vegetables of Varamin plain and assessment of its risk for humans. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 69-86. (In persian)
- Seilsepour, M. (2021). Study of nitrate and heavy metal pollutant concentration in soil and edible leafy vegetables and risk assessment of its consumption with hazard quotient index. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(2). (In persian)
- Sharma, R.K., Agrawal, M., & Marshall, F.M. (2008). Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: a case study in Varanasi. *Environmental Pollution*, 154(2), 254-63.
- Sharma, R., Agrawa, M., & Marshall, F. (2009). Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 583-591.
- Solhi, M., Malakouti, M. J., & Sadat, S. (2005). *Distribution and permissible concentration of heavy metals in the life cycle*. Technical Journal No. 470. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In persian)
- Song, B., Lei, M., Chen, T., Zheng, Y., Xie, Y., & Li, X. (2009). Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21(12), 1702- 09.
- Susin, J., Kmecl, V., & Gregoric, A. (2006). A survey of nitrate and nitrite content of fruit and vegetables grown in Slovenia during 1996-2002., *Food Additives and Contaminants*, 23(4), 385-390.
- Tabande, L., & Taheri, M. (2016). Evaluation of Exposure to Heavy Metals Cu, Zn, Cd and Pb in Vegetables Grown in the Zanjan Province's Fields. *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(1), 41-56
- Tabandeh, L., & Zarei, M. (2018). Overview of nitrate concentration in some vegetables and summer crops produced in Zanjan province. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 32(3), 373-382.

- Tahsini, H., & Goylyan, H. (2016). Nutritional risk assessment of heavy metals (cadmium, lead, zinc and copper Consumption of crops distributed in Sanandaj. *Zanko Journal of Medical Sciences*. Kurdistan University of Medical Sciences. Autumn. 62-72. (In Persian)
- Torabian, A., & Mahjoori, M. (2003). Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. *Soil and Water Journal*, 16(2), 188-196. (In persian)
- USEPA, IRIS. (2006). *Integrated Risk Information System Program*. United States, Environmental Protection Agency. 43p.
- USEPA. (2000). *Risk-based concentration table*. Office of Health and Environmental Assessment, Washington DC, USA. 385p.
- Wang, Q.C., & Ma, Z.W. (2004). Heavy metals in chemical fertilizer and environmental risks. *Rural Eco-Environment*, 20(2), 62-64. (in Chinese).
- Yalcin, M.G., Battaloglu, R., & Ilhan, S. (2007). Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2), 399-415.
- Yang, J., Guo, H., Ma, Y., Wang, L., Wei, D., & Hua, L. (2010). Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. *Juornal of Environment Science (China)*, 22(8), 1246-1252.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Science of The Total Environment*, 368, 456-664.