

Human health risk assessment from consumption of (Portulaca oleracea) cultivated in nickel contaminated soil and modified with iron nanoparticles

ABSTRACT

Background and purpose: Consumption of vegetables contaminated with heavy metals is dangerous for human health. The present research determined some heavy metals in Portulaca oleracea and assessed its health risk.

Materials and methods: P. oleracea was grown in pots using soil polluted with nickel and various amounts of iron nanoparticles (0, 15, and 30 mg/kg). The concentration of heavy metals was determined by ICP-OEC after the samples were extracted. The bioaccumulation and transfer factors in plants, daily intake, and risk indicators of heavy metals for humans were all calculated.

Results: The treatment with 30 mg/kg of iron nanoparticles resulted in the maximum concentration of nickel and iron in the roots and aerial sections of P. oleracea. The nickel and iron TF were below one for the soil-root but above one for the root-stem. For nickel and iron, the BAF in the plant was discovered to be less than one. Human consumption of P. oleracea poses minimal dangers, as indicated by HRI values that are less than 1. Compared to iron, nickel showed higher HRI values. Across all treatments, children demonstrated high HRIs for nickel and iron than adults.

Conclusion: There are no non-cancerous diseases for consumers, according to the hazard ratio of the investigated components in the P. oleracea, which was 1. Overall, the findings demonstrated that the HRI of heavy elements for both analyzed age groups was less than one.

Keywords: Iron Nanoparticles, Nickel Contaminated Soil, Portulaca oleracea, Risk Assessment, Risk Factor.

Zahra Jafarpour Chek Ab

Master student, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Ava Heidari

* Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
heidari@um.ac.ir, ava.heidari@um.ac.ir

Mohammad Farzam

Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abbas Rouhani

Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2022/08/06

Accepted: 2022/10/07

Document Type: Research article

► **Citation:** Jafarpour Chek Ab Z, Heidari A, Farzam M, Rouhani A. Human health risk assessment from consumption of (Portulaca oleracea) cultivated in nickel contaminated soil and modified with iron nanoparticles. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2023; 8(4): 392-405.

ارزیابی ریسک سلامتی انسان ناشی از مصرف گیاه خرفه (Portulaca Oleracea) کشت شده در خاک آلوده به فلز نیکل و اصلاح شده با آهن

چکیده

زمینه و هدف: عناصر سنگین با ورود از طریق زنجیره غذایی، سلامت انسان را به خطر می اندازند. مصرف سبزیجات آلوده به فلزات سنگین، خطری برای سلامت انسان محسوب می شود. مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت برخی فلزات سنگین در گیاه خرفه و ارزیابی میزان خطر سلامت آن ها در این گیاه انجام شد. **مواد و روش ها:** پس از افزودن سطوح (۰، ۱۵ و ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) نانوذرات آهن به خاک آلوده به نیکل و آماده سازی تیمارها، اقدام به کشت گلدانی گیاه خرفه در این تیمارها شد. پس از عصاره گیری نمونه ها، غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه ICP-OES اندازه گیری و فاکتورهای تجمع زیستی، انتقال، دریافت روزانه و شاخص های خطرپذیری فلزات سنگین برای انسان محاسبه شد. داده ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، نمودارها و جداول لازم در نرم افزار مایکروسافت (۲۰۱۳) رسم گردید. **یافته ها:** بیشترین غلظت نیکل و آهن در ریشه و اندام هوایی خرفه در تیمار ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانوذرات آهن بود. TF نیکل و آهن برای خاک- ریشه کمتر از ۱، اما برای ریشه- ساقه بیشتر از ۱ بود. مقدار BAF در خرفه برای عناصر نیکل و آهن کمتر از ۱ و مقادیر HRI برای آهن و نیکل کمتر از ۱ بود که نشان دهنده خطرات کم برای مصرف خرفه در خاک مورد مطالعه است. بنابراین با وجود HRI کمتر از ۱ برای نیکل و آهن در همه تیمارها برای کودکان نسبت به بزرگسالان بالاتر بود، به طور کلی مقادیر HRI برای نیکل بالاتر از آهن بود. **نتیجه گیری:** ضریب خطرپذیری عناصر مورد مطالعه در گیاه خرفه کمتر از ۱ بود که بیانگر عدم وجود بیماری های غیرسرطانی برای مصرف کنندگان است. به طور کلی بر اساس نتایج HRI عناصر سنگین برای هر دو گروه سنی مورد مطالعه کمتر از ۱ بود که بیانگر این است که خرفه در این خاک در وضعیت امن قرار دارد.

کلید واژه ها: ارزیابی ریسک، خاک آلوده به نیکل، خرفه، ضریب خطرپذیری، نانوذرات آهن

زهرا جعفرپور چک آب

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

آوا حیدری

* استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

heidari@um.ac.ir, ava.heidari@um.ac.ir

محمد فرزام

استاد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

عباس روحانی

دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

نوع مقاله: پژوهشی

◀ استناد: جعفرپور چک آب، ز. حیدری الف، فرزام م، روحانی ع. ارزیابی ریسک سلامتی انسان ناشی از مصرف گیاه خرفه (Portulaca Oleracea) کشت شده در خاک آلوده به فلز نیکل و اصلاح شده با آهن. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. زمستان ۱۴۰۱؛ ۴(۴): ۳۹۲-۴۰۵.

مقدمه

گسترش روزافزون صنایع و توسعه شهرنشینی‌ها سبب انتشار آلاینده‌های فلزی از منابع طبیعی (هوازدگی مواد مادری) و انسانی شامل صنایع فلزی و معدنی، فاضلاب‌های صنعتی، آگروز وسایل نقلیه، عملیات کشاورزی، کودهای دامی، جنگ و آموزش نظامی، صنایع الکترونیکی، مصرف سوخت‌های فسیلی و دفع زیاله شده است (۱-۳) و به‌طور جدی بر کیفیت محیط و سلامت انسان تأثیر می‌گذارد (۴). یکی از مهم‌ترین مسیرهای تماس انسان با فلزات سنگین، زنجیره غذایی می‌باشد (۵-۱۰). مهم‌ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه‌های زیستی، گیاهان از جمله گوجه‌فرنگی محسوب می‌شوند (۱۱). ضرورت مس، آهن، منگنز، نیکل و روی بر اساس نقش آن‌ها به‌عنوان متالونزیم است. این فلزات کوفاکتور تعداد زیادی از آنزیم‌ها هستند. بدن انسان تا حد مشخصی از غلظت، به این عناصر نیازمند است (مس ۰/۹ میلی گرم در روز، آهن ۸-۱۸ میلی گرم در روز، منگنز ۱/۸-۲/۳ میلی گرم در روز، روی ۸-۱۱ میلی گرم در روز و نیکل ۰/۵ میلی گرم در روز). با این وجود، خارج از این محدوده، اثرات سمّیت و کمبود مشاهده می‌شود (۹، ۱۰).

در مسیر ارزیابی خطر، احتمال و بزرگی خسارت، هدررفت یا آسیب ناشی از خطر و تهدید بالقوه سلامتی برآورد می‌شود. در فرآیند مدیریت خطر، نتایج ارزیابی خطر از جنبه‌های مختلف سیاسی، اقتصادی، اخلاقی و قانونی مورد توجه قرار می‌گیرد (۱۲). تصمیم‌گیری‌های مدیریتی زیست‌محیطی بر پایه ارزیابی خطر و مدیریت خطر انجام می‌شوند. اهداف ارزیابی ریسک شامل توجه به وضعیت آلودگی هوا، آب، خاک یا رسوبات، ارزیابی در معرض آلودگی قرار گرفتن، تخمین میزان آلاینده ورودی به بدن موجودات زنده و تعیین اثرات منفی آن‌ها می‌باشد (۱۳).

افزایش روزافزون غلظت فلزات سنگین در محیط‌زیست باعث ایجاد نگرانی‌های جدی شده است. در سطح جهان مطالعات متعددی درباره ارزیابی خطر عناصر سنگین صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه ژنگ و همکاران اشاره کرد که در بررسی خطر

بیماری‌زایی به‌علت دریافت عناصر سنگین از مواد غذایی در شهر صنعتی هولادو^۱ چین، ضریب خطرپذیری در هر دو گروه سنی بیشتر از ۱ به‌دست آمد. محصولات دریایی، غلات و سبزیجات، مهم‌ترین منبع ورود عناصر سنگین در بدن بزرگسالان و کودکان بود و شیر، میوه، تخم‌مرغ و گوشت اهمیت کمتری داشتند (۱۴). ونگ و همکاران، ارزیابی خطر سلامتی عناصر سنگین از طریق مصرف سبزیجات و ماهی در تیانجین^۲ چین را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که ضریب خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی در کودکان تقریباً ۱/۵-۳/۵ برابر بیشتر از بزرگسالان است (۱۵). علاوه بر این در ارتباط با ارزیابی خطر عناصر سنگین بر سلامت انسان از طریق مصرف محصولات کشاورزی و خاک می‌توان به مطالعات خوش‌گفتارمنش و همکاران و یگانه و همکاران در استان اصفهان و همدان اشاره کرد (۱۶، ۱۷).

اخیراً کاربردهای نانوذرات (NPs)^۳ و ارزیابی ریسک همراه آن توجه کافی را به خود جلب کرده است؛ به‌ویژه، استفاده از NPs در اصلاح خاک‌های آلوده و سم‌زدایی گیاهان تحت تنش در حال شناسایی است. آزمایشات مختلفی با هدف کنار هم قرار دادن نانوذرات، آلاینده‌ها و سایر عوامل خارجی انجام شده است که می‌توانند سمّیت گیاهی و جذب فلزات از خاک را تعیین کنند و ما را به تخمین قابل اعتمادی از کاربرد بالقوه نانوذرات در اصلاح خاک نزدیک‌تر کنند. امروزه علاقه فزاینده‌ای برای غلبه بر سمّیت گیاهی فلزات سنگین با استفاده از نانوذرات به‌عنوان جاذب در محیط وجود دارد. طیف وسیعی از نانوذرات مانند نانوذرات مگنتیت، سیلیسیوم و تیتانیوم دی اکسید، برای کاربرد بالقوه اصلاح آن‌ها در خاک‌های آلوده مورد مطالعه قرار می‌گیرند. ونکاتاچالم و همکاران، کاهش سمّیت ناشی از افزودن نانوذرات اکسید روی ناشی از کادمیوم^۴ و سرب^۵ را برای نهال‌های گیاه *Leucaena leucocephala* گزارش

1. Holado
2. Tianjin
3. Nanoparticles
4. Cadmium
5. Plumbum

طیف گسترده‌ای از بیماری‌ها از جمله بیماری‌های دستگاه گوارش، التهاب کبدی، مشکلات تنفسی، زخم مثانه، کلیه‌ها، التهاب شدید، تب، سردرد، بی‌خوابی و غیره مورد استفاده قرار گرفته است (۲۴). علاوه بر این، منبعی غنی از اسیدهای چرب امگا-۳، ویتامین‌های A و Mg، Fe، Ca، C و K است (۲۵). این گیاه در سرتاسر جهان پراکنده است و رتبه هشتم را به‌عنوان "معمول‌ترین گیاه در جهان" دارد (۱۹). همچنین رتبه دوازدهم را به‌عنوان "گونه‌های غیرکشت که به‌خوبی در مناطق جدید رشد می‌کنند" دارد (۲۶). بر این اساس و با توجه به کاربردهای مختلف آن انتخاب گردیده است.

در این مطالعه از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به‌عنوان اصلاح‌کننده استفاده شد که اولین مطالعه پیرامون تأثیرات نانوذرات آهن بر گیاه خرفه در زنجیره غذایی انسان می‌باشد. با توجه به اهمیت مصرف روزانه سبزیجات، مطالعه حاضر با هدف اصلی تعیین غلظت فلزات سنگین در سبزی خرفه کشت شده در خاک آلوده به نیکل در تماس با نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و ارزیابی میزان خطر زیست‌محیطی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های تجمع زیستی، شاخص گیاهی انتقال و ارزیابی خطرپذیری ناشی از این فلزات بر سلامت انسان انجام شد.

روش کار

نمونه‌برداری از خاک سطحی

نمونه خاک از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. خاک نمونه‌برداری شده به آزمایشگاه منتقل شده و سپس هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بخشی از خاک برای انجام آزمایشات مقدماتی و تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و تعیین غلظت فلزات سنگین خاک و بخش دوم نمونه‌های خاک، جهت آماده‌سازی، کشت گیاه و اعمال تیمارهای نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به گلخانه تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل گردید.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتري (۲۷، ۲۸)، میزان کربن

کردند، اما در غیاب نانوذرات اکسید روی، تجمع زیستی Cd و Pb افزایش یافت. این مطالعه نشان داد که نانوذرات می‌توانند سمیت گیاهی سایر آلاینده‌ها را با تنظیم سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و ایجاد تغییر ژنومی در گیاهان در معرض کاهش دهند. به‌طور مشابه، نانوذرات می‌توانند تجمع زیستی و سمیت آلاینده‌های آلی را از طریق جذب کاهش دهند (۱۸).

انواع گونه‌های گیاهی برای استفاده در تکنیک‌های گیاه‌پالایی برای جذب فلزات سنگین آزمایش شده‌اند. انتخاب گونه‌های گیاهی برای گیاه‌پالایی بر اساس ویژگی‌های گیاهان مانند تحمل فلزات، توانایی آن‌ها در انباشتگی، رشد سریع، تولید زیست توده بالا و سهولت برداشت است. در این راستا، گونه‌های گیاهی مختلفی به‌طور گسترده برای حذف فلزات از خاک استفاده شده است. در میان گونه‌های گیاهی، خرفه دارای پتانسیل رشد سریع است؛ به این معنی که پتانسیل پاک‌سازی آب و خاک را دارد. چندین مطالعه پتانسیل آن را برای انباشت فلزات از هر دو محیط خاک و آب توصیف کرده‌اند (۱۹)؛ به‌طور مثال در مطالعه سیوا کومار و پرابها، از گیاه خرفه به‌منظور گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به مس و کادمیوم استفاده شد (۲۰). همچنین مطالعه تیواری و همکاران با هدف ارزیابی تجمع فلزات سنگین، توسط گیاه خرفه برای درک چگونگی زنده ماندن آن‌ها در برابر سمیت پساب صنعتی و همچنین ارزیابی تهدیدات مرتبط با مصرف آن انجام شد (۲۱). در مطالعه دیگری که توسط سیوا کومار انجام شد، از گیاه خوراکی خرفه که از نظر دارویی باارزش است و همچنین تحمل بالایی در برابر تنش‌های فلزی مختلف دارد، برای گیاه‌پالایی استفاده شد (۲۲).

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea*، گیاه علفی یک‌ساله با ساقه‌های مایل به قرمز و برگ‌های متناوب و گوشتی ضخیم برای ذخیره آب از خانواده *Portulacaceae* است (۲۳). این گیاه به‌دلیل توانایی تحمل تنش‌های مختلف، در مزارع، کنار جاده‌ها و در مناطق بیابانی رشد می‌کند. در بسیاری از کشورها خرفه به‌عنوان سبزی معطر خوراکی با برگ‌های سبز و زرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. خرفه به‌عنوان داروی سنتی برای کاهش

به آن اضافه گردید و به مدت ۵-۱۰ دقیقه روی شیکر قرار گرفت تا به خوبی با هم مخلوط شوند و با توجه به تیمارها (برای هر غلظت ۱ تیمار با ۳ تکرار) به خاک اضافه شد. برای جلوگیری از باقی ماندن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در داخل بشر، آن را با کمی آب مقطر شسته و دوباره به خاک اضافه گردید و خاک حاصل تا انجام مرحله بعدی آزمایش داخل کیسه های پلاستیکی قرار گرفتند.

کاشت و برداشت گیاه

از گیاه خرفه به منظور ارزیابی خطر سلامت انسان استفاده شد که به صورت گلدانی در گلخانه دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد کشت شد. خاک آلوده حاوی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی داخل گلدان ریخته شده و ۵ عدد بذر در هر گلدان قرار داده شد. آبیاری گلدان ها تا حد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه، با آب مقطر روی خاک گلدان اسپری شد. پس از سپری نمودن طول دوره رشد (حدود ۳ ماه)، اندام هوایی و ریشه گیاه خرفه برداشت شده و با آب مقطر شسته شدند. سپس طول ساقه و ریشه و همچنین وزن تر گیاه اندازه گیری شد. در مرحله بعدی، ریشه و اندام هوایی به ترتیب به مدت ۲۴ و ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد داخل آون نگهداری و خشک گردید. مراحل رشد گیاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

آلی خاک در نمونه ها از روش احتراق خشک یا سوزاندن در کوره الکتریکی (۲۹)، اسیدیته خاک^۱ با استفاده از نسبت محلول خاک به آب ۱:۲۵، هدایت الکتریکی^۲ خاک با استفاده از نسبت محلول خاک به آب ۱:۲۵، مقدار نیتروژن کل با استفاده از روش کج دال (۳۰)، مقدار فسفر در نمونه خاک طبق روش اولسن (۳۱)، مقدار پتاسیم قابل دسترس در نمونه خاک با استفاده از روش استات آمونیوم (۳۲) و محتوای نیکل و آهن در خاک با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه گیری شد.

اضافه کردن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

در این مطالعه ۳ تیمار با ۳ تکرار در سطح های ۰، ۱۵ و ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانوذرات آهن به عنوان اصلاح کننده همراه با خاک آلوده به نیکل (۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) و با ترکیب شیمیایی دی نیترات نیکل در نظر گرفته شد. پس از قرار دادن خاک در دمای محیط و کاهش رطوبت آن و عبور از الک ۲ میلی متری، بخشی از خاک در مقادیر ۱ کیلوگرمی وزن و داخل کیسه های پلاستیکی ریخته شد. به منظور اضافه کردن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به خاک آلوده، ابتدا ظروف مورد نظر استریل شدند. در مرحله بعد ۱ کیلوگرم خاک آلوده را داخل سینی فلزی ریخته و طبق طرح آزمایش، نانوذرات آهن در سطح های ۰، ۱۵ و ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن شده و سپس ۵۰ سی سی آب مقطر



شکل ۱. مراحل رشد گیاه خرفه در خاک آلوده به نیکل و در تماس با نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

1. PH

2. Electrical conductivity

انتقال فلزات سنگین (یعنی نیکل و آهن) از خاک به ریشه و از قسمت ریشه به ساقه تعریف می‌شود (۳۵). غلظت فلزات سنگین در عصاره سبزیجات و خاک بر اساس وزن خشک (DW)^۳ هستند (۳۷) و با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$TF = \frac{\text{غلظت فلزات سنگین در قسمت گیاه}}{\text{غلظت گیاه} \times \frac{\text{غلظت فلزات سنگین در خاک مربوطه}}{\%}} \quad (2)$$

ارزیابی ریسک خطر سلامتی

مصرف روزانه فلزات (DIM)^۴

مسیر قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین برای انسان از طریق مصرف سبزیجات رشد یافته در محیط‌های آلوده توسط بسیاری از محققین مورد توجه قرار گرفته است (۳۸-۴۱). علاوه بر این، DIM با معادله (۳) تعیین شد:

(۳)

$$DIM = \frac{C \text{ vegetable} \times C \text{ factor} \times D \text{ food intake}}{B \text{ average weight}}$$

که در آن C vegetable، C factor، D food intake و B average به ترتیب غلظت فلزات سنگین در سبزیجات (میلی گرم در کیلوگرم) بر اساس وزن خشک، ضریب تبدیل برای وزن تازه به خشک سبزیجات (۰/۰۸۵) (۴۲)، مصرف روزانه سبزیجات (۰/۳۴۵) کیلوگرم برای هر نفر در روز برای بزرگسالان، ۰/۲۳۲ کیلوگرم به ازای هر نفر برای کودکان) و میانگین وزن بدن (۵۵/۹۰) کیلوگرم برای بزرگسالان و ۳۲/۷۰ کیلوگرم برای کودکان) می‌باشند (۴۳، ۴۴).

شاخص خطر سلامتی (HRI)^۵

ارزیابی خطر سلامتی مصرف‌کنندگان از مصرف سبزیجات آلوده به فلزات با استفاده از HRI مشخص شد. اگر HRI کمتر از ۱ باشد، خطر آشکاری برای جمعیت در معرض وجود نخواهد داشت. HRI با استفاده از معادله (۴) زیر محاسبه شد (۴۵):

$$HRI = \frac{DIM}{RfD} \quad (4)$$

3. Dry weight

4. Daily intake of metals

5. Health risk index

اندازه‌گیری غلظت فلز نیکل و آهن در گیاه

جهت اندازه‌گیری غلظت نیکل و آهن در ساقه و ریشه، از روش اشرفی و همکاران (۳۳) استفاده گردید. پس از خشک شدن نمونه‌ها، توسط هاون چینی خرد و یکنواخت و به شکل پودر درآورده و سپس با ۰/۲ گرم از نمونه پودر شده با ترازوی دیجیتال توزین گردید و سپس با ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ترکیب شده و به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه هاضم گذاشته شد. پس از گذشت ۲ ساعت، ۱ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن به آن اضافه گردید و ۱ ساعت در حال جوش قرار گرفت. مواد با استفاده از کاغذ صافی صاف شدند و غلظت نیکل توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک با استفاده از روش تیزاب سلطانی انجام شد. ابتدا ۱ گرم نمونه خاک با نسبت (۳:۱) اسید کلریدریک ۳۷٪ و اسید نیتریک ۷۰٪ مخلوط نموده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط هم زده شد. سپس محتوای هضم اسیدی اولیه در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در دستگاه هیتر قرار داده شد. محلول نهایی با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و در نهایت میزان جذب فلزات سنگین آهن و نیکل توسط دستگاه ICP مشخص گردید (۳۴).

عوامل تجمع زیستی و انتقال

فاکتور تجمع زیستی (BAF)^۱ به عنوان توانایی گیاه برای تجمع فلزات سنگین (یعنی نیکل و آهن) در رابطه با غلظت کل فلز سنگین در خاک تعریف می‌شود. BAF با استفاده از معادله (۱) حساب می‌شود:

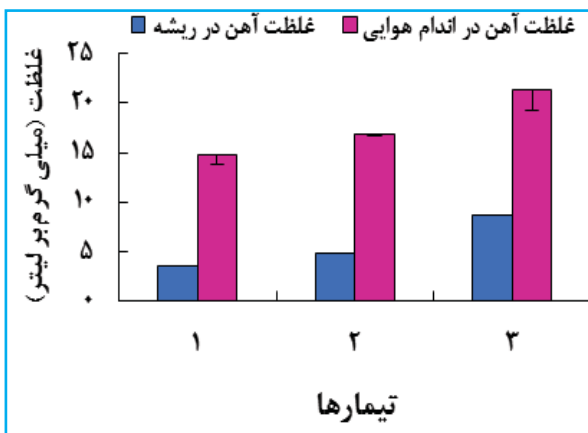
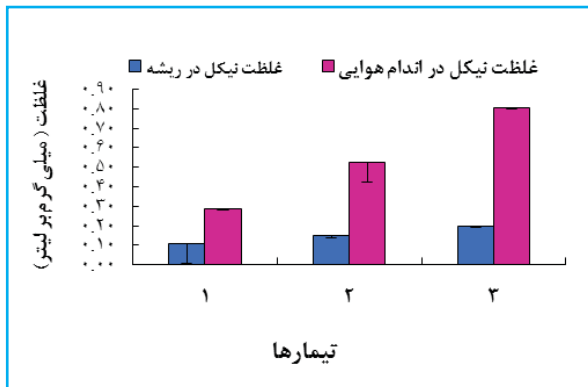
$$BAF = \frac{C \text{ plant}}{C \text{ soil}} \quad (1)$$

که در آن C plant، غلظت عناصر در قسمت خوراکی گیاه خرفه و C soil، غلظت کل عناصر در خاک است (۳۵). گونه دارای مقادیر BAF بالا (بیش تر از ۱) می‌تواند به عنوان گونه تثبیت کننده عنصر لحاظ شود (۳۶). فاکتور انتقال (TF)^۲ به منظور ارزیابی

1. Bioaccumulation factor

2. Translocation factor

در خاک حاوی آهن و نیکل از حد مجاز فراتر می‌رفت، با توجه به مخاطرات این عناصر برای سلامت انسان و قابلیت تجمع این عناصر در محیط زیست می‌توانست خطرناک باشد، در نتیجه نیازمند نظارت دقیق بر غلظت فلزات سنگین در قسمت خوراکی سبزیجات کشت شده در خاک‌های آلوده می‌باشد.



نمودار ۱. میانگین غلظت فلز نیکل و آهن در ریشه و اندام هوایی گیاه خرفه

عوامل تجمع زیستی و انتقال

فاکتورهای انتقال فلزات از خاک به گیاه با تقسیم غلظت فلز در محصول (وزن خشک) بر فلزات در خاک (وزن خشک) به دست می‌آید. این یک روش مناسب برای تعیین کمیت تفاوت‌های نسبی در فراهمی زیستی فلزات برای گیاه است. مقادیر BAF در نمودار ۲ و TF در نمودار ۳ نشان داده شده است. BAF به دست آمده برای نیکل در تیمار اول ۰/۰۱۱، در تیمار دوم ۰/۰۲۱ و در تیمار

دوز مرجع جذب سبزیجات (RfD)^۱ برای فلزات نیکل و آهن ۰/۰۰۳۵ و ۰/۷ میلی گرم بر کیلوگرم در روز در نظر گرفته شد (۴۶، ۴۷).

نتایج

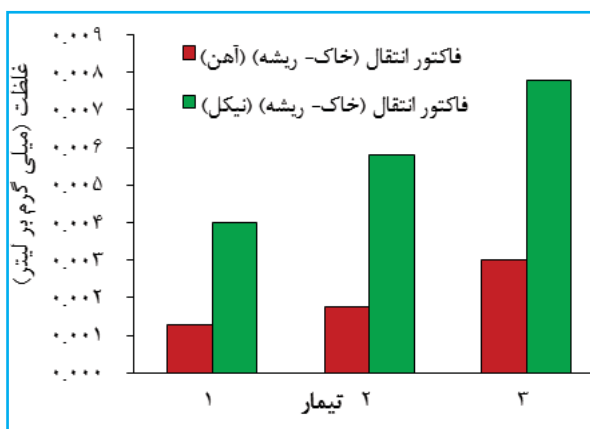
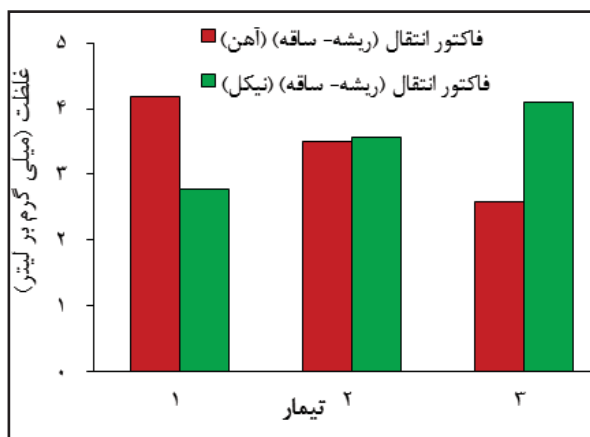
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک به صورت لوم و ذرات خاک شامل ۳۰٪ شن، ۲۶٪ رس و ۴۴٪ سیلت به دست آمد. pH خاک ۹/۰۶ و EC خاک ۰/۲۲۴ میلی‌زیمنس، میزان کربن آلی خاک در نمونه‌ها ۰/۰۳ گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. مقدار نیتروژن کل ۴۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم و فسفر ۴/۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم و مقدار پتاسیم قابل دسترس در نمونه خاک ۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. محتوای نیکل در خاک ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم و آهن ۲۷۳۰/۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد.

محتوای غلظت فلزات سنگین در گیاه خرفه

نمودار ۱ میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل و آهن در ریشه و اندام هوایی گیاه خرفه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، تیمار ۱ تا ۳ غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین را در ریشه و ساقه نشان می‌دهد. غلظت‌های بیشتر در تیمار ۳ نسبت به تیمار ۲ و ۱ و در تیمار ۲ نسبت به تیمار ۱ احتمالاً به دلیل مقادیر بیشتری از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی استفاده شده در تیمار ۳ نسبت به تیمار ۲ و ۱ و همچنین در تیمار ۲ نسبت به تیمار ۱ می‌باشد. میانگین غلظت فلز نیکل در ریشه بین ۰/۱۱، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ و در اندام هوایی (ساقه و برگ) بین ۰/۲۸، ۰/۵۲ و ۰/۸۰ متغیر بود. میانگین غلظت فلز آهن در ریشه بین ۳/۵۶، ۴/۸۲ و ۸/۷۶ و در اندام هوایی بین ۱۴/۸۵، ۱۶/۸۵ و ۲۱/۳۱ متغیر بود. واضح است که بخش‌های خوراکی (اندام هوایی) گونه‌های سبزی تغییراتی را در تجمع فلزات سنگین نشان می‌دهد. روند غلظت فلزات سنگین در گیاه خرفه نشان داد آهن بیشتر از نیکل جذب شده است. اگر غلظت فلزات سنگین در سبزی کشت شده

1. Reference dose

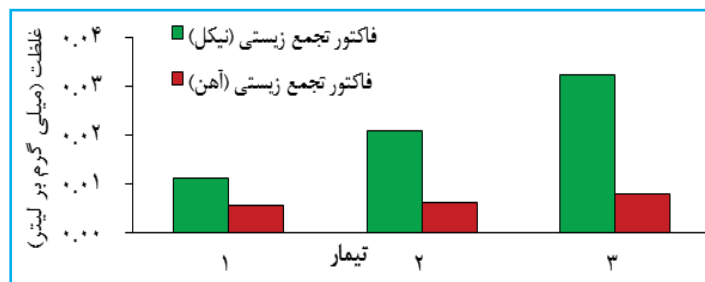


نمودار ۳. فاکتور انتقال (خاک - ریشه) و فاکتور انتقال (ریشه- ساقه) نیکل و آهن در گیاه خرفه

خطر بالقوه سلامتی

آلودگی فلزات در خاک‌های سراسر جهان مورد توجه زیادی قرار گرفته است. غالباً دو مسیر اصلی برای قرار گرفتن انسان در معرض آلودگی خاک وجود دارد: خاک-گیاه- انسان (مسیر زنجیره غذایی) و خاک- انسان (بلع تصادفی خاک). مطالعه حاضر بر مسیر زنجیره غذایی متمرکز شده است. غلظت عناصر مختلف در سبزیجات به سطح نسبی مواجهه بستگی دارد. خطرات بالقوه نیکل و آهن برای سلامتی در مصرف خرفه کشت شده در خاک‌های آلوده به نیکل و در تماس با نانوذرات آهن برای کودکان و بزرگسالان کوچک‌تر از ۱ بود که در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

سوم ۰/۰۳۲ بود. برای آهن نیز در تیمار ۱ برابر ۰/۰۰۵، در تیمار ۲ برابر ۰/۰۰۶ و برای تیمار ۳ برابر ۰/۰۰۸ به دست آمد. به طور کلی BAF نیکل و آهن برای گیاه خرفه کمتر از ۱ بود. نتایج نشان داد با افزایش سطح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، مقادیر BAF نیز افزایش یافته است. مقادیر TF نیکل از خاک به ریشه و از ریشه به ساقه با افزایش سطح نانوذرات آهن افزایش یافته است و TF نیکل و آهن در قسمت اندام هوایی بیشتر از ریشه به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش جذب نیکل و آهن در ساقه گیاه خرفه می‌باشد. مقادیر TF از خاک به ریشه در همه تیمارها کمتر از ۱ بود، در حالی که مقدار TF از ریشه به ساقه در همه تیمارها بالاتر از ۱ به دست آمد. روند TF نیکل برای فلزات در قسمت‌های خوراکی سبزی خرفه کشت شده در خاک آلوده به نیکل، با افزایش سطح نانوذرات آهن مقدار TF نیکل افزایش، اما TF آهن برعکس و با افزایش سطح نانوذرات آهن، مقدار TF کاهش یافت. نتایج مشاهده شده ثابت کرد جذب فلزات توسط سبزیجات عمدتاً به فراهمی زیستی فلزات سنگین بستگی دارد؛ تا آنجا که به TF همان فلز در قسمت‌های خوراکی سبزیجات مربوط می‌شود و کارایی نسبی سبزیجات برای جذب فلزات حاصل از خاک آلوده را مشخص می‌کند. این اطلاعات در انتخاب سبزی برای کشت در خاک‌های آلوده بسیار مفید خواهد بود تا خطرات سلامتی ناشی از انتقال فلز به انسان را کاهش دهد. مقادیر فاکتور انتقال محاسبه شده برای خرفه نشان می‌دهد که این گیاه قادر به تجمع عناصر آهن و نیکل در بخش هوایی نسبت به ریشه خود بود.



نمودار ۲. فاکتور تجمع زیستی نیکل و آهن در خرفه

جدول ۱. خطر سلامتی غیرسرطان‌زا مرتبط با نیکل در گیاه خرفه

Ni بزرگسالان			Ni کودکان			تیمار
خطر	HRI	DIM	خطر	HRI	DIM	
پایین	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰۱۴	پایین	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰۱۷	۱
پایین	۰/۰۷۸	۰/۰۰۰۲۷	پایین	۰/۰۹۰	۰/۰۰۰۳۱	۲
پایین	۰/۱۲۰	۰/۰۰۰۴۲	پایین	۰/۱۳۸	۰/۰۰۰۴۸	۳

جدول ۲. خطر سلامتی غیرسرطان‌زا مرتبط با آهن در گیاه خرفه

Fe بزرگسالان			Fe کودکان			تیمار
خطر	HRI	DIM	خطر	HRI	DIM	
پایین	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷۷	پایین	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳۳	۱
پایین	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸۸	پایین	۰/۰۲۱	۰/۰۱۵۱	۲
پایین	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱۱	پایین	۰/۰۲۷	۰/۰۱۹۱	۳

زنجیره غذایی است (۴۹، ۵۰). بنابراین شاخص‌های تجمع‌زیستی و انتقال از این جهت مهم هستند که می‌توانند نشان‌گر گیاهان مناسب برای استفاده در گیاه‌پالایی باشند (۵۱). تجمع‌زیستی فلزات سنگین در خاک به قابلیت دسترسی آن‌ها بستگی دارد (۵۲). علاوه بر این، توزیع فلزات در سبزیجات با فراهمی زیستی مواد خوراکی تعیین شده که این عامل بستگی به ویژگی‌های خاک و مواد معدنی و خصوصیات سم‌شناسی آن‌ها دارد (۵۳). فاکتور BAF نشان می‌دهد که ظرفیت گیاه برای ذخیره فلز سنگین خاص در رابطه با غلظت آن فلز در خاک چگونه است (۵۴). هنگامی که BAF کوچک‌تر از ۱ باشد، بیانگر این است که غلظت فلز سنگین در گیاه نسبت به خاک زیاد است. این موضوع نشان می‌دهد که گیاه فلزات سنگین را جذب کرده و آن‌ها را در اندام‌های مختلف گیاهی انباشت می‌کند که این ممکن است طبقات سوئی برای سلامت انسان در زمان استفاده قسمت‌های خوراکی گیاه به وجود آورد (۵۵). با این وجود، هنگامی که BAF کمتر از ۱ باشد؛ نشان‌دهنده این است که گیاه با وجود این که قادر به جذب فلزات سنگین است، اما این فلزات را در بافت‌های خود متمرکز نمی‌کند (۵۱، ۵۶، ۵۷).

در این پژوهش، مقادیر BAF نیکل و آهن در خاک کمتر از ۱

مقادیر غیر سرطان‌زا HRI برای آهن و نیکل کمتر از ۱ بود که نشان‌دهنده خطرات کم برای مصرف خرفه در خاک مورد مطالعه است. با این حال با وجود کوچک‌تر از ۱ بودن مقادیر HRI برای نیکل و آهن، در همه تیمارها برای کودکان نسبت به بزرگسالان بالاتر بود و به‌طور کلی مقادیر HRI برای نیکل بالاتر از آهن بود. نتایج نشان داد که گیاه خرفه کشت شده در خاک آلوده بر اساس مقادیر HRI کوچک‌تر از ۱ برای خوردن بی‌خطر هستند، اما مصرف طولانی‌مدت خرفه با غلظت بالای آهن و نیکل در خاک ممکن است باعث تجمع آهن و نیکل در گیاهان خرفه بالاتر از DIM توصیه شده شود که ممکن است به‌طور بالقوه سلامت انسان را مختل کند (۴۸).

بحث

تعدادی از فاکتورهای خاک-گیاه مانند جابجایی فلز از خاک به گیاه و فاکتورهای خطرات سلامتی را می‌توان برای نشان دادن انتقال فلزات خاک-گیاه (عوامل جذب) و بررسی خطرات غذایی از سبزیجات یا سایر محصولات برای سلامت انسان استفاده نمود. انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه، پیوندی قوی از قرار گرفتن انسان در معرض خطرات ناشی از فلزات سنگین از طریق

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که خرفه رشد یافته برای مصرف، حداقل از نظر جذب آهن و نیکل در رژیم غذایی بی خطر است. جذب و تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان با تعداد زیادی از عوامل مانند اقلیم، رسوبات اتمسفری، غلظت‌های فلزات سنگین در خاک، ماهیت خاک و مقدار رشد گیاهان در زمان برداشت تغییر می‌کند. علاوه بر این اختلاف غلظت فلزات سنگین در سبزیجات را فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک، ظرفیت جذب فلزات توسط سبزیجات، اثرات آب‌وهوایی نظیر رطوبت، سرعت باد، دما و خصوصیات خود گیاه نظیر ریشه، میوه و نوع برگ، و همچنین فاصله از مناطق صنعتی بیان کرده‌اند. میزان آلاینده‌های هوا نیز می‌تواند تهدیدی بالقوه برای سبزیجات باشد که باعث سطوح بالای فلزات سنگین در سبزیجات می‌شود.

نتایج حاصل از بررسی میزان جذب روزانه و شاخص خطر و سلامت حاکی از آن بود که بالاترین میزان جذب روزانه فلزات سنگین ناشی از مصرف گیاه خرفه مربوط به عنصر آهن است. این نتیجه بیانگر این است که افراد بالغ و کودکان مصرف‌کننده گیاه خرفه، مقادیر بالایی از آهن را مصرف کرده‌اند. در این بین، بیش‌ترین جذب توسط کودکان صورت گرفته است. از طرفی مقدار شاخص خطر و سلامت کمتر از ۱ برای فلزات نیکل و آهن، بیانگر فقدان نسبی خطر برای افراد مصرف‌کننده سبزیجات آلوده است. علاوه بر این مشخص است که کودکان نسبت به افراد بالغ، بیش‌تر در معرض خطر قرار دارند. آلودگی سبزیجات به فلزات سنگین می‌تواند در بدن انسان منجر به بیماری‌های جهش‌زا و سرطان‌زایی شود.

از جمله مطالعاتی که به‌منظور ارزیابی ریسک خطر انجام شده است، می‌توان به مطالعه هارمانسکو و همکاران اشاره کرد که برای سبزیجات رشد یافته در مناطق معدنی صورت گرفت. در مطالعه مذکور شاخص خطر و سلامت برای فلزات سرب، نیکل، روی و کادمیوم برآورد شد و مشخص گردید در مناطق آلوده، این شاخص برای روی، نیکل و کادمیوم کمتر از ۱ می‌باشد که با نتایج این تحقیق مشابهت داشت (۶۴). در مطالعه بابا اکبری و همکاران که در رابطه با

به‌دست آمد. مطالعات زیادی در این باره انجام شده است؛ به‌عنوان مثال در مطالعه ساری و همکاران با عنوان ارزیابی شاخص‌های خطرپذیری فلزات سنگین ناشی از مصرف سبزیجات شهرستان ورامین، عوامل تجمع‌زیستی و انتقال در این بررسی در بیشتر موارد و برای بیش‌تر فلزات مورد بررسی این شاخص‌ها کمتر از ۱ بودند (۵۸). همچنین اینفنت و همکاران در مطالعه‌ای، انباشت زیستی و ارزیابی خطر سلامت انسان کروم و نیکل را در برنج شلتوک کشت شده در خاک‌های سرپانتین به مقادیر BAF کوچک‌تر از ۱ و مقادیر TF بزرگ‌تر از ۱ دست یافتند (۵۹). نتایج مطالعه چنگ و همکاران تحت عنوان کاربرد پساب و تجمع عناصر سنگین در خاک، نشان‌دهنده این بود که بین فلزات سنگین موجود در خاک و بافت‌های گیاهی رابطه همبستگی وجود دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (۶۰). همچنین مقادیر BAF کوچک‌تر از ۱ و TF بزرگ‌تر از ۱ با سایر مطالعات گزارش شده فوق مطابقت داشت.

نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از گیاه خرفه به‌منظور گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به نیکل استفاده نمود. با وجود فراهمی زیستی کم عناصر آهن و نیکل در خاک، این فلزات می‌توانند از راه جذب گیاه وارد زنجیره غذایی انسان شوند. اگرچه جذب این فلزات توسط گیاهان از خاک و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی ممکن است به‌صورت جزئی انجام شود و در کوتاه‌مدت برای سلامتی انسان خطر کمی ایجاد کند، اما در هر صورت انتقال آن‌ها به بدن انسان در بلندمدت و در صورت استفاده مکرر از این سبزیجات، می‌تواند آسیب جدی به سلامت وارد کند که این مورد نیازمند بررسی‌های بیشتر و مطالعات جامع‌تر در این زمینه می‌باشد.

فلزات سنگین علاوه بر اینکه ارزش غذایی سبزیجات را تحت تأثیر قرار می‌دهند، سلامتی انسان را نیز به خطر می‌اندازند (۶۱). میانگین غلظت فلزات سنگین در ماده خشک قسمت‌های خوراکی گیاه (خرفه) کشت شده در خاک آلوده به نیکل کمتر از حد بحرانی معرفی شده توسط سازمان جهانی بهداشت بود (۶۲، ۶۳).

ارزیابی خطر مصرف سبزی‌های برگ‌ی در جنوب استان تهران انجام شد، برای همه فلزات سنگین مورد بررسی، شاخص خطرپذیری در مجموع محصولات کمتر از ۱ بود (۶۵). همچنین در مطالعه وانگ و همکاران در کشور چین که بر روی خاک و سبزیجات آبیاری شده با آب فاضلاب انجام شد، شاخص خطر و سلامت برای فلزات نیکل و کادمیوم کمتر از ۱ بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت (۶۶). در مطالعه فری و همکاران در اسپانیا که روی سبزیجات رشد کرده در خاک آبیاری شده با آب‌های کاتولونیا^۱ صورت گرفت، شاخص خطر و سلامت برای فلزات نیکل و کادمیوم کمتر از ۱ بود که با این تحقیق هم‌خوانی داشت (۶۷).

با این حال، درک پویایی و فراهمی زیستی فلزات سنگین در بقیه محصولات کشاورزی و آب آشامیدنی به‌منظور ارائه بررسی‌های گسترده‌تر مبتنی بر سلامت انسان و اطمینان از ایمنی مصرف‌کننده در مناطق آلوده ضروری است. مسائل مربوط به کیفیت غذا در مناطق آلوده باید سایر محصولات زراعی را پوشش دهد و تعیین پتانسیل سمیت اکولوژیکی این فلزات باید توجه بیشتری به نظارت در مقیاس وسیع بر خاک‌های آلوده مورد استفاده برای زراعت داشته باشد. به‌طور کلی، تحقیقات بیشتر و جامعی برای درک سهم فلزات سنگین قابل دسترس در بهبود سلامت خاک برای دستیابی به ایمنی مواد غذایی مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

غلظت نیکل و آهن در سبزی خرفه کشت شده در خاک آلوده به نیکل و در تماس با نانوذرات آهن اندازه‌گیری شد. نتایج غلظت این دو عنصر نشان داد که میزان آن کمتر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت است. در این مطالعه با افزایش سطح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، مقادیر BAF نیز افزایش یافت، اما به‌طور کلی BAF نیکل و آهن برای گیاه خرفه کمتر از ۱ به‌دست آمد. مقادیر TF نیکل از خاک به ریشه و از ریشه به ساقه با افزایش سطح نانوذرات آهن افزایش یافت و TF نیکل و آهن در قسمت اندام هوایی بیشتر از ریشه به‌دست آمد که نشان‌دهنده افزایش جذب نیکل و آهن

در ساقه گیاه خرفه می‌باشد. مقادیر TF از خاک به ریشه در همه تیمارها کمتر از ۱ بود، در حالی مقدار TF از ریشه به ساقه در همه تیمارها بالاتر از ۱ به‌دست آمد. یافته‌های HRI برای بزرگسالان و کودکان در همه تیمارهایی که نانوذرات آهن با ۳ سطح غلظتی به آن اضافه شده بود، ثابت کرد که کمتر از ۱ است؛ این بدان معنی است که احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف نیکل و آهن از مسیر خوردن سبزی خرفه وجود ندارد. با توجه به اینکه مقدار مصرف سبزی و نوع آن در جوامع مختلف متفاوت است، بنابراین لازم است در مطالعات آینده متغیر مقدار مصرف در محاسبه ارزیابی ریسک بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد این فاکتور برای این گیاه رشد کرده در مجاورت غلظت‌های بالاتر نیکل و همچنین سایر آلاینده‌های فلزات سنگین تخمین زده شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین، هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از گروه علوم و مهندسی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد به‌دلیل استفاده از امکانات آزمایشگاهی این گروه، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Shahbazi A. Safianian A. R. Afraz R. etal. Location distribution of cadmium, copper and lead heavy metals in the soil and determination of the origin of these metals (Case study: Nahavand city). Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Science) 2009; 2 (2): 97-109. (persian).
2. Facchinelli A. Sacchi E. Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environmental Pollution 2001; 114(3): 313-324.
3. Liu L. Li W. Song W. etal. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. Science of the Total Environment 2018; 633: 206-219.
4. Janoš P. Vavrova J. Herzogova L. etal. Effects of inorganic and organic amendments on the mobility (leachability) of heavy metals in contaminated soil: A sequential extraction study. Geoderma 2010; 159(3): 335-341.
5. Liu W. H. Zhao J. Z. Ouyang Z. Y. etal. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environment International 2005; 31:805-812.
6. Qishlaqi A. Moore F. Forghani G. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. Environmental Monitoring and Assessment 2008; 141: 257-273.
7. Chary N. S. Kamala C. T. Raj D. S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. Ecotoxicology and Environmental Safety 2008; 69(3): 513-524.
8. Khan S. Cao Q. Zheng Y. M. etal. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution 2008; 152: 686-692.
9. Food and Drug Administration (US). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Report of the Panel on Micronutrients. National Academy Press, Washington, DC, Food and Drug Administration. Dietary supplements. Center for Food Safety and Applied Nutrition. 2001.
10. Singh V. Garg A. N. Availability of essential trace elements in Indian cereals, vegetables and spices using INAA and the contribution of spices to daily dietary intake. Food Chem 2008; 94:81-89.
11. Winsor G.W. Nutrition in the U.K Tomato manual. London: Grower books. 1973. p. 1246-1252.
12. USEPA (US Environmental Protection Agency). Risk-based concentration table. Office of Health and Environmental Assessment, Washington: DC, USA. 2000.
13. Yeganeh M. Modeling the process of accumulation of heavy elements in surface soils of Hamadan province and determining the resulting risk to human health. [PhD Thesis in Soil Science].iran. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology.2016. (persian).
14. Zheng N. Wang Q. Zheng D. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. Science of the Total Environment 2007; 383: 81-89.
15. Wang X. Sato T. Xing B. Tao S. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. Science of the total Environment. 2005; 350: 28-37.
16. Yeganeh M. Afyuni M. Khoshgoftarmanesh A.H. etal. Amini M. Soffyanian A.R. Schulin R. Mapping of human health risks arising from soil nickel and mercury contamination. J Hazard Mater 2013; 244(245): 225-239.
17. Khoshgoftarmanesh A.H. Aghili F. Sanaeiostovar A. Daily intake of heavy metals and nitrate through greenhouse cucumber and bell pepper consumption and potential health risks for human. Inter J Food Sci Nutr 2009; 60: 199-208.
18. Venkatachalam P. Jayaraj M. Manikandan R . Geetha N. Rene E. R. Sharma N. C. Sahi S. V. Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) alleviate heavy metal-induced toxicity in *Leucaena leucocephala* seedlings: A physiochemical analysis. Plant Physiology and Biochemistry. 2016.
19. Liu L. Howe P. Zhou Y.F. etal. Fatty acids and β -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. J. Chromatogr 2000. 893: 207-213.
20. Sivakumar S. Prabha D. Velmurugan P. etal. Phytoremediation of Cu and Cd-contaminated roadside soils by using stem cuttings of *Portulaca oleracea* L. Environmental Chemistry and Ecotoxicology 2020; 2: 201-204.
21. Tiwari K. Dwivedi S. Mishra S. etal. Phytoremediation efficiency of *Portulaca tuberosa* and *Portulaca oleracea* L. Naturally growing in an industrial effluent irrigated area in Vadodra Gujrat, India 2008; 147(1-3): 15-22.
22. Subpiramanyam S. *Portulaca oleracea* L. for phytoremediation and biomonitoring in metal-contaminated environments. Chemosphere 2021; 280:130784.
23. Iranshahy M. Javadi B. Iranshahi M. etal. "A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Portulaca oleracea* L.". J Ethnopharmacol 2017; 205: 158-172.
24. Elshamy M. M. Heikal Y. M. Bonanomi G. "Phytoremediation efficiency of *Portulaca oleracea* L. naturally growing in some industrial sites, Dakahlia District, Egypt." Chemosphere 2019; 225: 678-687.
25. Sedaghati B. Haddad R. Bandehpour M. Efficient

- plant regeneration and Agrobacterium-mediated transformation via somatic embryogenesis in purslane (*Portulaca oleracea* L.): an important medicinal plant. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 2019; 136: 231–245.
26. Kale R.A. Lokhande V.H. Ade A.B. Investigation of chromium phytoremediation and tolerance capacity of a weed, *Portulaca oleracea* L. in a hydroponic system. *Water Environ* 2015; 29: 236–242.
27. Page AL. Miller RH. Keeney DR. Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. 1982; 4(2):167-79.
28. Bouyoucos GJ. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*. 1962; 54(5):464-465.
29. Park CH. Li XR. Zhao Y. etal. Rapid development of cyanobacterial crust in the field for combating desertification. *PLoS One*. 2017; 23:12(6): 81-93.
30. Kirk P. L. "Kjeldahl Method for Total Nitrogen." *Analytical Chemistry* 1950; 22(2): 354-358.
31. Olsen S. R. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, US Department of Agriculture. 1954.
32. Martin S. Griswold W. Human Health Effects of Heavy Metals. *Environmental Science and Technology Briefs from Citizens* 2009; 15: 1-6.
33. Ashrafi A. Zahedi M. Soleimani M. Effect of Co-planted Purslane (*Portulaca Oleracea* L.) on Cd Accumulation by Sunflower in Different Levels of Cd Contamination and Salinity: A Pot Study. *International Journal of Phytoremediation* 2015; 17(9): 853-860.
34. Alghanmi S. I. Sulami A. F. Al. El-Zayat T. A. etal. Acid leaching of heavy metals from contaminated soil collected from Jeddah, Saudi Arabia: kinetic and thermodynamics studies. *International Soil and Water Conservation Research* 2015; 3(3): 196-208.
35. Singh J. Upadhyay S. Pathak R. etal. Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (*Oryza sativa*), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *Toxicol Environ Chem* 2011; 93:462–473.
36. Yoon J. Cao X. Zhou Q. etal. Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of The Total Environment* 2006; 368: 456-664.
37. Xue Z. J. Liu S. Q. Liu Y. L. etal. Health risk assessment of heavy metals for edible parts of vegetables grown in sewage-irrigated soils in suburbs of Baoding City, China, *Environmental Monitoring Assessment* 2012; 184(6): 3503–3513.
38. Arora M. Kiran B. Rani S. etal. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry* 2008; 111: 811-815.
39. Khan S. Cao Q. Zheng Y. M. etal. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution* 2008; 152: 686-692.
40. Qishlaqi A. Moore F. Forghani G. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 2008; 141: 257-273.
41. Chary N. S. Kamala C. T. Raj D. S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2008; 69(3): 513-524.
42. Rattan R. K. Datta S. P. Chhonkar P. K. etal. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2005; 109: 310–322.
43. Ge KY. The status of nutrient and meal of Chinese in the 1990s. Beijing People's Hygiene Press, Beijing. 1992; 415-434.
44. Wang X. Sato T. Xing B. etal. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment* 2005; 350: 28-37.
45. United State, Environmental Protection Agency, Region 9, Preliminary remediation goals. 2002.
46. United State, Environmental Protection Agency: Integrated Risk Information System 2002.
47. European Food Safety Authority. Scientific opinion on lead in food. EFSA 2010; 8:1570.
48. Hseu ZY. Biogeochemistry of Serpentine Soils. Nova Science Publishers, Incorporated. 2018; 197:15-17
49. Zeng F. Wu X. Qiu B. etal. Physiological and proteomic alterations in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under hexavalent chromium stress. *Planta* 2014; 240(2):291–308.
50. Zeng F. Wei W. Li M. etal. Heavy metal contamination in rice producing soils of Hunan province, China and potential health risks. *International Journal Environmental Research Public Health* 2015; 12:15584–15593.
51. Mganga N.D. The potential of bioaccumulation and translocation of heavy metals in plant species growing around the tailing dam in Tanzania. *International Journal Science Technology* 2014; 3:690–697.
52. Hellström A. Uptake of organic pollutants in plants. Department of Environment and Assessments, Swedish University of Agricultural Sciences. 2004.
53. Behbahani Nia A. Azadi A. Sadeghian S. The effect of wastewater irrigation on the accumulation of heavy metals in some vegetables in the Rudehen region. *Environmental stresses in plant science* 1389; 2(2): 165-173. (Persian).
54. Ghosh M. Singh S. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution* 2005; 133:365–371.
55. Barman S. Sahu R. Bhargava S. etal. Distribution of heavy

- metals in wheat, mustard, and weed grown in field irrigated with industrial effluents. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology* 2000; 64:489–496.
56. Satpathy D. Reddy M.V. Dhal S.P. Risk assessment of heavy metals contamination in paddy soil, plants, and grains (*Oryza sativa* L.) at the East Coast of India. *Biomedical Research International* 2014; 1–11.
 57. Gupta S. Nayek S. Saha R. etal. Assessment of heavy metal accumulation in macrophyte, agricultural soil and crop plants adjacent to discharge zone of sponge iron factory. *Environmental Geology* 2008; 55:731–739.
 58. Baba Akbari Sari M. Shakoori M. Hassani A. Evaluation of heavy metal hazard indicators due to vegetable consumption in Varamin city. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 1398; 9 (1): 119-133. (Persian).
 59. Infante E. F. Cristine P. Gerald P. etal. Bioaccumulation and human health risk assessment of chromium and nickel in paddy rice grown in serpentine soils. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28:17146–17157.
 60. Cheng A. C. Warknek J. E. Page A. L. etal. Accumulation of heavy metal in sewage sludge treated soils. *Journal Environmental Quality* 1984; 13:87-90.
 61. Singh A. Sharma R.K. Agrawal M. Marshall FM. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*. 2010;51(2):375-87.
 62. European Union (EU). Heavy Metals in Wastes European Commission on Environment. European Union: Brussels, Belgium, 2002.
 63. FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session. Report of the Thirty Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene. Houston, United States of America. 2007.
 64. Harmanescu M. Alda L.M. Bordean D.M. etal. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area a case study Banata county Romania. *Chemistry Central Journal* 2011; 5(54):1-10.
 65. Baba Akbari Sari M. Shakoori M. Hassani A. Evaluation of heavy metal risk indicators due to vegetable consumption in Varamin city. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 2019; 9(1): 119-133.
 66. Wang Y. Qiao M. Liu Y. Zh Y. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola* 2010; 69(1):54-60.
 67. Ferre Huguet N. Marti Cid R. Schuhmacher M. etal. Risk assessment of metals from consuming vegetables fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro River in Catalonia Spain. *Biological Trace Element Research*. 2008; 123: 66-79.