مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۶۷۹ تا ۶۹۴

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی تجمع فلزات سنگین در گیاه نعناع آبیاری شده با فاضلاب یک بررسی نظام‌مند و متاآنالیز

علی عطاملکی[۱]، نیره نعیمی[۲]، یدالله فخری[۳]، هاجر شریفی ملکسری[۱]، حلیمه نصرتی[۴]، سودا فلاح[۱،*]

۱- کمیته پژوهشی دانشجویان، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران
۳- مرکز تحقیقات سلامت مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران
۴- گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۲
تاریخ ویرایش: ۹۸/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۳۰
تاریخ انتشار: ۹۸/۱۲/۲۸

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، نعناع، فاضلاب، متاآنالیز، مرور سیستماتیک

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
Fallah.sevda@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: امروزه بحران کم آبی، باعث استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی شده است. وجود آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین در فاضلاب، منجر به تجمع آنها در سبزیجات شده که سرانجام به مصرف کننده منتقل و اثرات جبران ناپذیری بر سلامت وی به دنبال خواهد داشت. بنابراین مطالعه حاضر با هدف مروری سیستماتیک همراه با متاآنالیز تجمع فلزات سنگین در گیاه نعناع آبیاری شده با فاضلاب انجام شد.

روش بررسی: مقالات مرتبط از پایگاه‌هایی نظیر SID، Magiran، Iranmedex، IranDoc، Embase، Medline، PubMed، Web of Science، Scopus و Google scholar بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ گردآوری و داده‌های مورد نیاز استخراج شد. سپس به‌علت ناهمگنی مطالعات وارد شده در پژوهش، مدل اثرات تصادفی جهت تحلیل آنها با استفاده از نرم افزار STATA 14 به‌کار گرفته شد. همچنین خطر غیر سرطان‌زایی برای رده‌های سنی کودکان و بزرگسالان مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: طبق نتایج جستجو، ۱۶۹۳ مقاله تا ابتدای سال ۲۰۱۹ وارد فرایند بررسی و در نهایت ۱۲ مقاله وارد پژوهش شدند. طبق نتایج متاآنالیز، ترتیب فلزات بر حسب غلظت (mg/kg) عبارت بودند از: روی > نیکل > کروم > مس > سرب > کادمیوم. همچنین طبق نتایج ارزیابی خطر غیر سرطان‌زایی، مصرف نعناع اثرات سلامت قابل توجهی برای گروه سنی کودکان نسبت به بزرگسالان به‌خصوص در کشورهای هندوستان و پاکستان نشان داد.

نتیجه‌گیری: استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی منجر به افزایش غلظت فلزات در گیاهانی همچون نعناع شده که احتمال خطر غیر سرطان‌زایی در گروه‌های سنی بخصوص کودکان را بالا برده است. و لذا توصیه می‌شود پایش مداوم منابع آبیاری، خاک و گیاهان مانع انتقال این آلاینده‌ها به چرخه غذایی انسان شود.

Please cite this article as: Atamaleki A, Naimi N, Fakhri Y, Sharifi Maleksari H, Nosrati H, Fallah S. Investigation of heavy metals in mint plants irrigated by wastewater: a systematic review and meta-analysis. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;12(4):679-94.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

مقدمه

توسعه شهرنشینی و روند سریع صنعتی شدن، اثرات بسیار زیادی بر محیط‌های آبی گذاشته است. بسیاری از صنایع حاوی مقادیر فراوانی از آلاینده‌های سمی از جمله فلزات سنگین هستند. فلزات سنگین علاوه بر فاضلاب‌های خانگی و صنعتی از منابع دیگری همچون رواناب‌های سطحی، فرسایش و رسوب اتمسفری نیز به منابع آبی وارد می‌شوند (۱). در اکوسیستم‌های محیطی به‌دلیل سهولت دسترسی، مشکلات دفع و کمبود منابع آبی در برخی موارد از فاضلاب شهری و صنعتی برای آبیاری محصولات استفاده می‌شود. در برخی از خاک‌های زیرکشت، لجن نیز به‌عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵-۲). آبیاری با فاضلاب به‌طور قابل توجهی در میزان فلزات سنگین خاک نقش دارد. افزایش تجمع فلزات در خاک کشاورزی از طریق آبیاری با فاضلاب، علاوه بر آلودگی خاک می‌تواند بر روی کیفیت و سلامت محصولات غذایی نیز تاثیرگذار باشد. فلزات سنگین به‌دلیل طبیعت غیر قابل تجزیه، نیمه عمر بیولوژیکی بالا و توانایی تجمع در بافت‌های مختلف بدن بسیار مضر هستند. از طرفی به‌دلیل حلالیت در آب، بسیار سمی بوده به نحوی‌که حتی در غلظت‌های کم می‌توانند اثرات مخربی بر انسان و حیوانات از طریق چرخه غذایی داشته باشند، زیرا در حال حاضر مکانیسم مناسب حذف آنها از بدن وجود ندارد (۳، ۴، ۶). سبزیجات بخش مهمی از رژیم غذایی انسان‌ها را تشکیل می‌دهد زیرا حاوی کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی و عناصر جزئی محسوب می‌شوند (۳، ۷). مطالعات انجام شده در زمینه تجمع فلزات در بخش خوراکی گیاهان نشان می‌دهد که اغلب، غلظت فلزات بیشتر از مقادیر توصیه شده‌اند (۸). به‌عنوان مثال در یک مطالعه با مقیاس آزمایشگاهی، تجمع فلز در یک سیستم آبیاری شده با جریان آب‌های سطحی نشان داد که غلظت‌های مقادیر سرب در گیاهان بیشتر از مقادیر استانداردهای غذایی برای استرالیا و نیوزلند است (۹). براساس استاندارد FAO و WHO غلظت مجاز کادمیوم و سرب در گیاه برای مصرف انسان نباید بیشتر از ۲ و ۳ mg/kg dry weight باشد. غلظت نیکل می‌تواند تا ۶۸ mg/kg wet weight، برای مصرف ایمن باشد زیرا بیش از ۹۰ درصد آن به شکل آلی بوده و به‌راحتی دفع می‌شود (۱۰). سبزیجات برگی شکل معمولا تجمع بالاتری از فلزات سنگین را در مقایسه با گیاهان میوه‌ای و حبوبات دارند (۳، ۱۱). نتایج تحقیق Mohammadi در سال ۲۰۰۱ نیز مؤید این مطلب است که جذب فلزات سنگین در سبزیجات برگی به مراتب بیشتر از سبزیجات ریشه‌ای و غده‌ای است (۱۲). نتایج پژوهش Gupta و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان داد که غلظت سرب، روی و کادمیوم در سبزی اسفناج و تربچه در بالاترین سطح است که منجر به تجمع این فلزات در سبزیجات می‌شود (۱۳). مطالعات Sergey و همکار در سال ۲۰۰۲ نیز حاکی از آن است که در اراضی آبیاری شده با فاضلاب شهری، میزان غلظت کل املاح تا ۲ برابر افزایش یافته و تا عمق ۱۵ سانتیمتری خاک میزان عناصر سنگین، افزایش عمده‌ای یافته و برخی عناصر نظیر کادمیوم حتی تا ۲۳ برابر افزایش نشان داده است (۱۴). مصرف سبزیجات آلوده به این فلزات (به‌دلیل جذب بالای مقادیر آنها توسط گیاهان) می‌تواند مشکلات جدی برای سلامت مصرف کنندگان به همراه داشته باشد (۲، ۶). فلزات سنگین در بدن انسان در بافت‌های چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌نمایند. از عوارض مصرف غذاهای آلوده به فلزات سنگین می‌توان به کاهش کارایی سیستم ایمنی بدن، عقب ماندگی رشد داخل رحمی، اختلالات روانی، سوء تغذیه و شیوع بالای سرطان اشاره نمود (۱۵). سرب می‌تواند منجر به افزایش فشار خون، عفونت کلیوی و تومور، سنتز نامناسب هموگلوبین و اختلال در سیستم تولید مثل گردد. منگنز به‌دلیل رسوب اکسید آهن مسئول بیماری پارکینسون است و نیکل در غلظت بالا می‌تواند باعث سرطان، خستگی، سردرد، بثورات پوستی، سرگیجه، مشکلات قلبی و بیماری تنفسی شود. ماهیت اثر فلزات سنگین می تواند سمی (حاد، مزمن یا تحت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

مزمـن)، نوروتوکسـیک، سـرطان‌زا، جهـش‌زا یـا تراتوژن باشـد (۱۳). نعنـاع معمولـی گیاهـی چندسـاله و علفـی با نـام علمی Mentha spicata L. متعلـق بـه خانـواده Lamiaceae اسـت کـه برگ‌هـا، پیکـر رویشـی و اسـانس آن در اغلـب کشـورها به‌عنـوان گیاهـی دارویی مورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد (۱۰). نعنـاع سـبز معمـولا در سرتاسـر جهان کشـت می‌شـود. نعنـاع قرمـز گونه‌ای از نعناع اسـت کـه در لبـه رودخانه‌ها و در جریـان آب‌هـای ملایـم و کم‌عمـق می‌رویـد. با توجه بـه اثرات درمانـی آنهـا از قبیـل ضـد درد، ضـد میکروب، ضـد تهوع، ضد ویـروس تـب خـال، ضـد ورم، آنتـی اکسـیدان و ... مـورد توجه قـرار گرفته‌انـد (۱۶). Anwar و همـکاران در مطالعه‌ای که در سـال ۲۰۱۶ بـر جـذب و توزیـع مـواد معدنی و فلزات سـنگین در سـبزیجات برگـی آبیـاری شـده بـا فاضـلاب انجـام دادنـد، بیـان کردنـد کـه ارتفاع گیـاه نعناع بـا افزایش میـزان فاضلاب در محیـط رشـد به‌طـور معنـی‌داری کاهـش یافـت و نعنـاع بیشـترین کاهـش را در بیومس تازه و خشـک نسـبت به سـایر سـبزیجات نشـان داد. حداکثـر تجمـع کادمیـوم در ریشـه‌ها، برگ‌هـا و سـاقه‌های نعنـاع به‌ترتیـب ۴/۵۱، ۳/۸ و µg/kg dry weight ۳/۴ مشـاهده شـد. بیشـترین تجمـع سـرب و روی هـم در ریشـه‌های نعنـاع بـود (۱۷). Shakarami و همـکاران در سـال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ بـه بررسـی اثر فاضلاب و لجـن بـر جذب برخـی فلزات سـنگین در خاک و گیـاه نعناع پرداختنـد. نتایـج حاکـی از آن بـود که کاربرد فاضـلاب (خام و تصفیه شـده) و سـطوح مختلف لجن، سـبب افزایـش معنی‌دار در عملکـرد و جـذب سـرب، نیـکل و کادمیوم در گیـاه و خاک می‌شـود. هرچنـد مقادیـر تجمـع فلـزات مذکـور پایین‌تـر از حـدود مجـاز ارائه شـده توسـط اسـتاندارد FAO اسـت اما در اثـر اسـتفاده طولانـی مـدت منجـر بـه جـذب و تجمـع فلزات سـنگین در خـاک و گیـاه خواهـد شـد بنابراین ضروری اسـت کـه تعادلـی را بیـن مقـدار پسـماند مصرفـی و اعمـال تنـاوب در فصـول متمـادی برقـرار نمـود (۱۰). Tabande و همکاران گـزارش کردنـد کـه قسـمت عمـده تجمـع فلـزات سـنگین در سـبزیجات برگـی اسـت کـه بایـد توجـه زیـادی بـه مصـرف سـبزیجات برگـی، علـی الخصـوص، سـبزیجات رشـد یافته در اطـراف مناطـق صنعتـی صـورت گیـرد (۱۸). همانطـور کـه اشـاره شـد بدلیـل تجمـع بالاتـر فلزات سـنگین در سـبزیجات برگی شـکل و خطرات بالقوه‌ای که برای سـلامت عمومی بشـر دارد اسـتفاده از آن تبدیـل بـه یـک نگرانـی عمده شـده اسـت بنابرایـن نظـارت بـر منابع زیسـتی فلـزات در خاک‌هـای آلوده توجـه زیـادی را بـه خـود جلـب کـرده اسـت (۷). بـا توجـه به اینکـه مطالعـات مختلفـی در زمینه کاربرد فاضـلاب و لجن آن در بخـش کشـاورزی در آبیـاری و میزان جذب فلزات سـنگین توسـط سـبزیجات مختلـف از جملـه نعنـاع به‌عمـل آمـده، اما بررسـی نظام‌منـد و متاآنالیـزی در ایـن زمینـه انجـام نشـده اسـت. بنابرایـن ایـن مطالعه متاآنالیـز به منظور بررسـی تجمع فلـزات در گیـاه نعناع آبیاری شـده با فاضلاب و محاسـبه خطر غیرسـرطان‌زایی آن در گروه‌هـای سـنی کودکان و بزرگسـالان در کشـورهای مختلـف هدف‌گـذاری شـد.

مواد و روش‌ها

- استراتژی جستجو

جسـتجو در این مطالعـه مطابق با پروتکل‌هـای Cochranes صـورت گرفـت (شـکل ۱). به منظور دسـتیابی به مسـتندات و شـواهد علمـی مرتبـط بـا تجمع فلزات سـنگین در گیـاه نعناع آبیـاری شـده بـا فاضـلاب از مقالات چـاپ شـده در پایگاه‌های داخلـی و خارجـی نظیـر SID، Magiran، Iranmedex، IranDoc، Embase، Medline، PubMed، Web of Science، Scopus و موتور جسـتجوی Google scholar بیـن سـال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ اسـتفاده شـد. با توجـه به عدم حساسـیت پایگاه‌هـای داخلـی بـه عملگرهـای OR و AND، از واژه‌هـای کلیـدی فلـزات، فلـزات سـنگین، نعنـاع، آبیـاری، سـبزیجات و فاضـلاب جهـت جسـتجو در آنهـا اسـتفاده شـد. همچنیـن بـرای جسـتجو در پایگاه‌هـای خارجـی از کلمـات Metal، Heavy Metal، Wastewater، Sewage، Mint، Mentha و Irrigation همـراه بـا عملگرهـای OR و AND اسـتفاده شـد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

- معیارهای ورود و خروج از مطالعه

معیارهای ورود مطالعات در این پژوهش عبارت بود از: الف) مقالات فارسی و انگلیسی که میزان تجمع فلزات سنگین در گیاه نعناع را گزارش کرده‌اند، ب) مطالعات مقطعی، ج) مقالاتی که میزات غلظت فلزات و دامنه آن را گزارش کرده‌اند، د) مطالعاتی که گیاه نعناع را با فاضلاب آبیاری کرده‌اند. در این راستا، مطالعات کارآزمایی بالینی، گزارش موردی، مقالات مروری، کتاب‌ها و مطالعات مداخله‌ای از این پژوهش خارج شدند. همچنین مطالعاتی که در آنها لجن و فاضلاب رقیق شده (به‌صورت مصنوعی یا توسط سایر منابع آب سطحی) جهت آبیاری استفاده شده بود، نیز از پژوهش خارج شدند. در مطالعاتی که نتایج در آنها به‌صورت نمودار ارائه شده بود، از نرم افزار Get Data Graph Digitizer جهت استخراج داده‌ها استفاده شد. بنابراین مقالاتی که کیفیت نمودارها مناسب نبودند، از مطالعه حذف گردیدند.

- متاآنالیز و آنالیز آماری

عنوان و چکیده مقالاتی که با استفاده از جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی به‌دست آمده بودند با توجه به معیارهای ورود و خروج پژوهش ارزشیابی گردید و لیستی از مقالات مورد استفاده در این پژوهش به‌دست آمد و اصل مقالات تهیه شد. مشخصات استخراج شده از هر مطالعه شامل سال مقاله، کشور، منطقه WHO، تعداد نمونه، میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین بود. به منظور تناسب واحدها، تمامی واحدهای غلظت فلزات شامل µg/kg، ppb و ng/g به mg/kg dry weight تبدیل شد.

داده‌های غلظت فلزات سنگین با استفاده از میانگین و خطای معیار (Standard Error (SE)) بررسی شد. خطای معیار غلظت فلزات سنگین با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \qquad (۱)$$

در این معادله: SD (Standard Deviation) و n به‌ترتیب انحراف معیار و تعداد نمونه هستند. از آزمون کای دو (Chi Square) جهت تعیین I^2 و سپس ناهمگنی (Heterogeneity) استفاده شد. در صورتی که I^2 بیشتر از ۵۰ درصد به‌دست آید، I^2 معنی‌دار خواهد بود. با توجه به معنی‌دار شدن I^2 ($I^2 > ٪۵۰$) و ناهمگنی مطالعات وارد شده در پژوهش، از مدل اثرات تصادفی (Random Effects Model) استفاده شد. داده‌ها با استفاده از روش آماری متاآنالیز (Meta-analysis) توسط نرم افزار STATA ver.14.0 تحلیل شدند. سطح معنی‌داری آماری $p < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد. برآورد نقطه‌ای میانگین تجمع فلزات سنگین در گیاه نعناع با فاصله اطمینان ۹۵درصد در نمودار انباشت (Forest Plots) محاسبه شدند که در این نمودار اندازه لوزی نشان‌دهنده وزن هر مطالعه و خطوط دو طرف آن فاصله اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

- خطر غیر سرطان‌زایی

خطر غیر سرطان‌زایی به‌دلیل تغذیه از مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین از طریق جذب روزانه (معادله ۲) محاسبه می‌شود (۱۹، ۲۰):

$$EDI = \frac{Cm \times IR \times EF \times ED}{BW \times ATn} \qquad (۲)$$

که در آن: EDI (Estimated Daily Intake) میزان جذب روزانه، Cm غلظت فلزات سنگین (mg/kg dry weight ماده غذایی)، IR (Ingestion Rate) نرخ تغذیه (g به ازای هر نفر در روز)، EF (Exposure Frequency) توالی مواجهه (۳۵۰ روز در سال)، ED (Exposure Duration) مدت زمان مواجهه (۳۰ سال برای بزرگسالان و ۶ سال برای کودکان)، BW (Body Weight) وزن بدن (۷۰ kg برای بزرگسالان و ۱۵ kg برای کودکان) و ATn (Averaging Time exposure n) حاصل ضرب ED در EF (۱۰۹۵۰ روز برای بزرگسالان و ۲۱۹۰ روز برای کودکان)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

هستند. در مطالعه حاضر، نرخ تغذیه نعناع برابر ۱۰ درصد سرانه مصرف سبزیجات (۲۵ g و ۱۶ g به ازای هر نفر در روز به‌ترتیب برای بزرگسالان و کودکان) در نظر گرفته شد (۶، ۲۰-۲۲). با توجه به اینکه از طرفی غلظت آلاینده‌ها در مطالعات بر حسب جرم آلاینده به ازای هر کیلوگرم از وزن خشک نعناع محاسبه شده و از طرف دیگر مصرف سبزیجات بر حسب وزن تر صورت می‌گیرد و همچنین به منظور مقایسه با استانداردهای سلامت، وزن تر از طریق معادله ۳ محاسبه گردید:

$$ww = \frac{dw \times (۱۰۰ - \%M)}{۱۰۰} \quad (۳)$$

در معادله فوق، dw بیانگر میزان وزن خشک، ww میزان وزن تر و M % درصد وزن خشک ماده (۹۱/۵ درصد) هستند (۳).

همچنین از معادله ۴ و ۵ به‌ترتیب جهت برآورد احتمال خطرپذیری (Target Hazard Quotient (THQ)) و احتمال خطرپذیری کل (Total Target Hazard Quotient (TTHQ)) استفاده شد. از احتمال خطرپذیری کل جهت برآورد خطر فلزات همراه با یکدیگر استفاده می‌شود.

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (۴)$$

$$TTHQ = \sum_{i=۱}^{n} THQ_i \quad (۵)$$

که در آن: EDI میزان جذب روزانه و دوز مرجع (Reference Dose (RfD)) هستند. دوز مرجع برای فلزات کادمیوم، مس، روی و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۴، ۰/۳ و mg/kg.day ۰/۰۱۱ در نظر گرفته شد. دوز مرجع برای فلزات سرب و کروم قابل دسترس نیست (۲۰، ۲۲).

یافته‌ها

- انتخاب مقالات

طبق نتایج جستجو در پایگاه‌های مذکور، ۱۶۹۳ مقاله تا ابتدای سال ۲۰۱۹ وارد فرایند مطالعه شدند که در مرحله اول تعداد ۲۹۶ مقاله به‌دلیل تکراری بودن حذف گردیدند. سپس ۸۷۴ مقاله به‌علت عنوان‌های نامرتبط از پژوهش خارج شدند. براساس چکیده، ۵۲۳ مقاله بررسی شدند که تعداد ۵۱۱ مقاله حذف گردید. سپس ۱۲ مقاله کامل تهیه و بررسی شدند که درنهایت ۱۲ مقاله وارد پژوهش گردیدند (شکل ۱). خصوصیات مطالعات وارد شده به پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

- متاآنالیز

طبق نتایج به‌دست آمده (شکل ۲)، ترتیب کشورها بر حسب غلظت سرب عبارتند از: هندوستان > پاکستان > افغانستان > ترکیه > ایران؛ بر حسب غلظت کادمیوم: هندوستان > پاکستان > ایران > افغانستان> ترکیه؛ بر حسب غلظت مس: پاکستان> هندوستان> افغانستان > ترکیه> ایران؛ بر حسب غلظت کروم: هندوستان > ایران > ترکیه > پاکستان؛ بر حسب غلظت روی: هندوستان > پاکستان > افغانستان > ترکیه > ایران؛ بر حسب غلظت نیکل: هند> پاکستان> ترکیه. همچنین غلظت فلزات به‌دست آمده در گیاه نعناع آبیاری شده با فاضلاب عبارت بود از : روی (۷۱/۰۶ mg/kg) > نیکل (۲۹/۳۲ mg/kg) > کروم (۲۸/۶۲ mg/kg) > مس (۱۹/۹۶ mg/kg) > سرب (۹/۵۹ mg/kg) > کادمیوم (۰/۴۷ mg/kg).

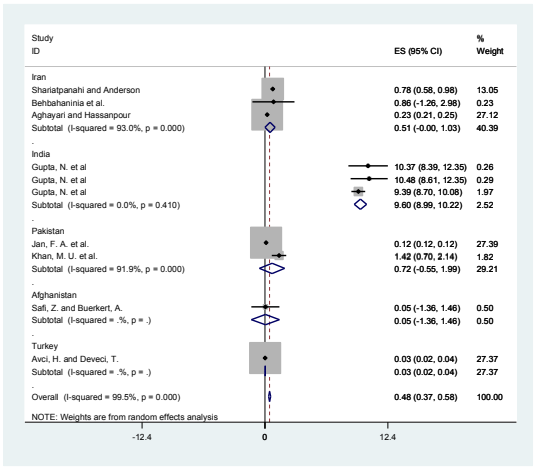
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

شکل ۱- فلوچارت مراحل ورود مطالعات به فرایند

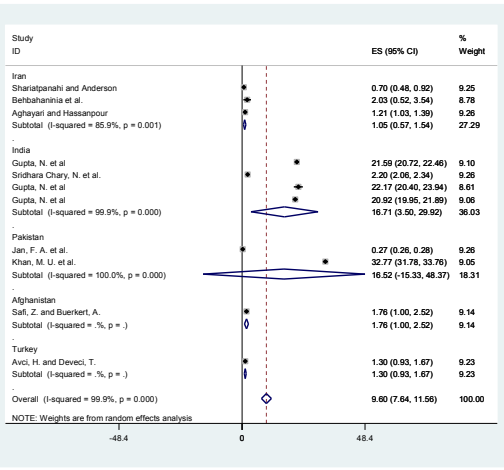
جدول ۱- خصوصیات مطالعات وارد شده به پژوهش

سال	کشور	Mean (Pb)	SD (Pb)	Mean (Cd)	SD (Cd)	Mean (Cu)	SD (Cu)	Mean (Cr)	SD (Cr)	Mean (Zn)	SD (Zn)	Mean (Ni)	SD (Ni)	منبع
۱۹۸۶	ایران	۰/۷	۰/۳۴	۰/۷۸	۰/۳۱	–	–	–	–	–	–	–	–	(۲۳)
۲۰۰۸	هندوستان	–	–	–	–	۱۲/۷	۱/۲	–	–	۴۵	۳/۲	–	–	(۳)
۲۰۰۸	هندوستان	۲۱/۵۹	۲/۸	۱۰/۳۷	۶/۴	۲۶/۲۵	۳	۶۷/۸۲	۴/۲۲	۱۳۹/۱	۱۰/۵۲	۵۳/۸	۱۵/۹	(۲۴)
۲۰۰۸	هندوستان	۲/۲	۰/۴۵	–	–	۱/۱	۰/۲۷	۱/۴	۰/۳۵	۶/۵	۱/۳۵	۲/۴	۰/۶۷	(۷)
۲۰۱۰	هندوستان	۲۲/۱۷	۶/۷	۱۰/۴۸	۶/۴	۲۴/۲۴	۴/۹۲	۶۱/۵۴	۱۱/۶	۱۳۷/۴۲	۱۱/۱۲	۵۴/۶۲	۱۶/۲	(۲۵)
۲۰۱۰	پاکستان	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۰۶	۶۶/۴۶	۴	۱/۹۳	۰/۰۰۷	۷۲/۵۵	۳/۷۶	۲۸/۳۲	۲/۲۱	(۶)
۲۰۱۰	ایران	۱/۹	۰/۷۷	۰/۸۶	۲/۶۵	–	–	۲۵/۶۷	۴/۱	–	–	–	–	(۲۶)
۲۰۱۱	افغانستان	۱/۷۶	۰/۸۷	۰/۰۵	۱/۶۱	۱۱/۱	۲/۲۶	–	–	۴۷/۷۶	۲۱/۲۷	–	–	(۲۷)
۲۰۱۲	هندوستان	۲۰/۹۲	۲/۳۱	۹/۳۹	۱/۶۶	۲۰/۲	۱/۹۷	۶۵/۶	۲/۶۶	۱۳۴/۳۳	۴//۷۳	۵۵/۵۴	۲/۰۷	(۱۳)
۲۰۱۳	ترکیه	۱/۳	۰/۶	۰/۰۳	۰/۰۱	۱۵/۰۱	۲/۰۶	۴/۱	۱/۰۹	۳۹/۴۲	۵/۶۱	۴/۷	۱/۴	(۴)
۲۰۱۳	پاکستان	۳۲/۷۷	۲/۲۱	۱/۴۲	۱/۶۱	–	–	۲/۸۳	۶/۰۱	–	–	۶/۳۹	۳/۸	(۱)
۲۰۱۳	ایران	۰/۰۹	۰/۲۳	–	–	۳/۰۵	۰/۵۲	–	–	۱۷/۴۶	۷/۷۸	–	–	(۲۸)

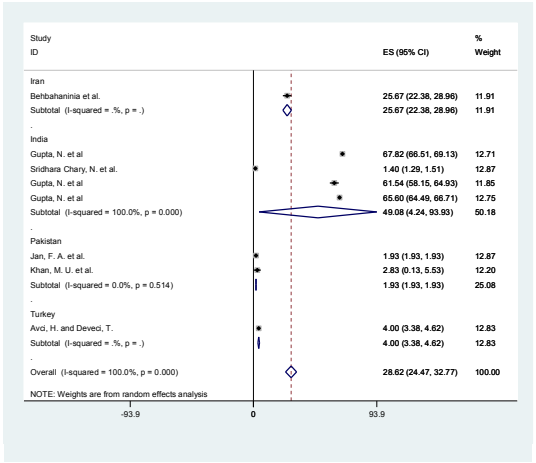
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]



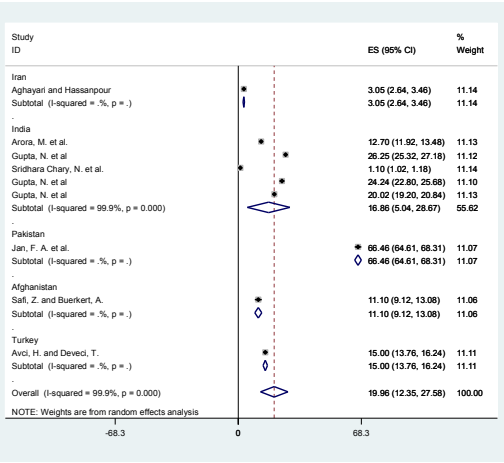
Cd



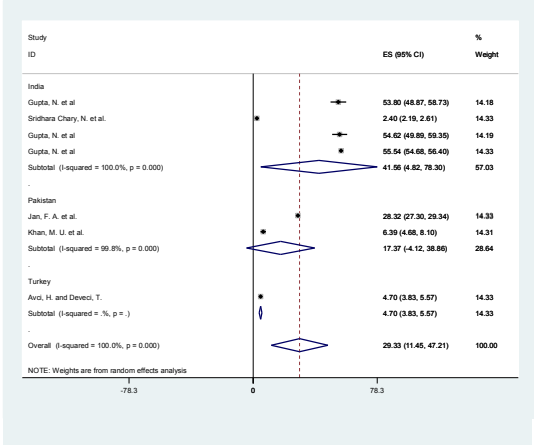
Pb



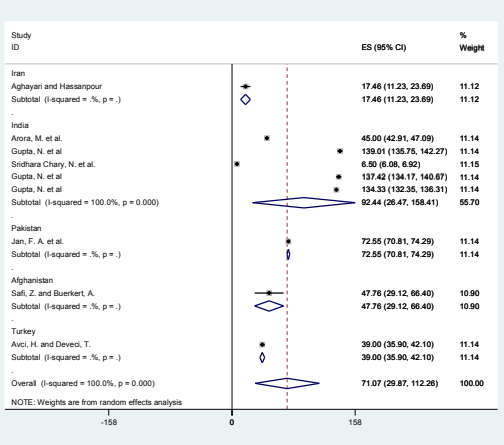
Cr



Cu



Ni



Zn

شکل ۲- نمودار درختی (Forest Plot) نتایج حاصل از متاآنالیز

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

- خطر غیر سرطان‌زایی

اطلاعات مربوط به خطر غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین در تمامی کشورهای مطالعه شده به تفکیک گروه‌های سنی در جدول ۲ ارائه شده است. در صورتی‌که احتمال خطرپذیری (THQ) بالاتر از یک باشد، آلاینده دارای اثرات سلامت قابل توجه و در صورتی که کمتر از ۱ به‌دست آید، این اثرات محتمل نیست (۲۹، ۳۰). طبق نتایج به‌دست آمده، ترتیب فلزات بر حسب THQ عبارتند از: $Cd < Ni < Zn < Cu$. همچنین ترتیب کشورها بر حسب TTHQ عبارتند از : هندوستان > پاکستان > افغانستان > ایران > ترکیه. جهت محاسبه TTHQ به تفکیک گروه سنی، آلاینده‌ها از طریق مصرف نعناع اثرات سلامت قابل توجهی برای گروه سنی کودکان نشان داد.

بحث

وجود فلزات سنگین در دنیای صنعتی امروز به یک معضل تبدیل شده است که از راه‌های مختلف وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود (۳۱). Rai و همکاران در مطالعه‌ای بیان کردند که آبیاری با استفاده از فاضلاب در کشورهای در حال توسعه اصلی‌ترین روش انتقال آلاینده‌ها به محصولات زراعی است (۳۲). استفاده از فاضلاب، باعث افزایش مقدار تجمع فلزات در گیاهان

جدول ۲- خطر غیرسرطان‌زایی مصرف نعناع آبیاری شده با فاضلاب

کشور	گروه سنی	فلز	صدک ۹۵ درصد	جذب روزانه (EDI)	دوز مرجع(RfD)	احتمال خطرپذیری (THQ)
ایران	بزرگسالان	Pb	۱/۴۵	۰/۰۰۰۴	-	محاسبه نشده
		Cd	۰/۹۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۳
		Cu	۳/۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲
		Cr	۲۷/۵۱	۰/۰۰۸	-	محاسبه نشده
		Zn	۲۲/۵	۰/۰۰۷	۰/۳	۰/۰۲
	کودکان	Pb	۱/۴۵	۰/۰۰۱	-	محاسبه نشده
		Cd	۰/۹۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۹
		Cu	۳/۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷
		Cr	۲۷/۵۱	۰/۰۲	-	محاسبه نشده
		Zn	۲۲/۵	۰/۰۲	۰/۳	۰/۰۷
هندوستان	بزرگسالان	Pb	۲۸/۴۱	۰/۰۰۸	-	محاسبه نشده
		Cd	۹/۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۳/۰۴
		Cu	۲۷/۲۲	۰/۰۰۸	۰/۰۴	۰/۲۱
		Cr	۸۹/۲۲	۰/۰۲	-	محاسبه نشده
		Zn	۱۵۰/۴۸	۰/۰۴	۰/۳	۰/۱۵
		Ni	۷۴/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۱۱	۲/۱۱
	کودکان	Pb	۲۸/۴۱	۰/۰۲	-	محاسبه نشده
		Cd	۹/۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۹/۰۸
		Cu	۲۷/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۶۳
		Cr	۸۹/۲۲	۰/۰۸	-	محاسبه نشده
		Zn	۱۵۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۳	۰/۴۶
		Ni	۷۴/۳۸	۰/۰۶	۰/۰۱۱	۶/۳۲

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

ادامه جدول ۲- خطر غیرسرطان‌زایی مصرف نعناع آبیاری شده با فاضلاب

کشور	گروه سنی	فلز	صدک ۹۵ درصد	جذب روزانه (EDI)	دوز مرجع(RfD)	احتمال خطرپذیری (THQ)
پاکستان	بزرگسالان	Pb	۴۵/۹۴	۰/۰۱	-	محاسبه نشده
		Cd	۱/۸۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۵۸
		Cu	۶۴/۸۹	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۵
		Cr	۱/۸۳	۰/۰۰۰۵	–	محاسبه نشده
		Zn	۷۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۳	۰/۰۷
		Ni	۳۶/۹۰	۰/۰۱	۰/۰۱۱	۱/۰۵
	کودکان	Pb	۴۵/۹۴	۰/۰۴	–	محاسبه نشده
		Cd	۱/۸۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۷۶
		Cu	۶۴/۸۹	۰/۰۶	۰/۰۴	۱/۵۱
		Cr	۱/۸۳	۰/۰۰۱	–	محاسبه نشده
		Zn	۷۰/۵۶	۰/۰۶	۰/۳	۰/۲۲
		Ni	۳۶/۹۰	۰/۰۳	۰/۰۱۱	۳/۱۴
افغانستان	بزرگسالان	Pb	۲/۳۹	۰/۰۰۰۷	–	محاسبه نشده
		Cd	۱/۳۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۴۳
		Cu	۱۲/۴۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴	۰/۰۹
		Zn	۶۳/۰۸	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۶
	کودکان	Pb	۲/۳۹	۰/۰۰۲	–	محاسبه نشده
		Cd	۱/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۲۹
		Cu	۱۲/۴۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۲۹
		Zn	۶۳/۰۸	۰/۰۵	۰/۳	۰/۱۹
ترکیه	بزرگسالان	Pb	۱/۵۸	۰/۰۰۰۴	–	محاسبه نشده
		Cd	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸
		Cu	۱۵/۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۴	۰/۱۲
		Cr	۴/۳۸	۰/۰۰۱	–	محاسبه نشده
		Zn	۳۹/۹۸	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۴
		Ni	۵/۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۱۵
	کودکان	Pb	۱/۵۸	۰/۰۰۱	–	محاسبه نشده
		Cd	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲
		Cu	۱۵/۴۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۶
		Cr	۴/۳۸	۰/۰۰۴	–	محاسبه نشده
		Zn	۳۹/۹۸	۰/۰۳	۰/۳	۰/۱۲
		Ni	۵/۲۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱	۰/۴۴

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

شده که دلیل آن احتمال ورود فاضلاب‌های صنعتی به پساب‌های شهری است. مصرف پساب‌های شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه خانه‌های فاضلاب و معادن استخراج فلزات از منابع اصلی فلزات سنگین موجود در خاک است (۳۳). فرایند تجمع فلزات سنگین در گیاهان به عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های گیاه، خصوصیات فلزات سنگین، خصوصیات فیزیکوشیمیایی فاضلاب و ویژگی‌های خاک بستگی دارد. فلزات موجود در پساب تمایل به تجمع در خاک و قسمت‌های مختلف بافت گیاهی را دارند (۳۴). طبق مطالعات قبلی گونه‌های گیاهی مختلف تمایل متفاوتی به جذب فلزات سنگین دارند. برخی از قسمت‌های گیاهی مانند میوه و دانه به‌دلیل دارا بودن بافت فیبری بسیار زیاد، توانایی کمتری در تجمع فلزات سنگین دارند درحالی‌که سبزیجات برگی به‌علت تحرک ضعیف فلزات سنگین در بافت آنها به سهولت فلزات را جذب می‌کنند که از این حیث گیاه نعناع در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت و همچنین در این گیاه ریزوم‌ها در سطح خاک قرار دارند که احتمال نگهداشت فلزات سنگین در ریشه نعناع را بیشتر کرده و فلزات به دیواره سلولی سطح ریشه جذب و به قسمت‌های هوایی منتقل و وارد زنجیره غذایی می‌شوند (۳، ۳۵، ۳۶). نتایج مطالعه Shakarami و همکاران نشان داد که کاربرد فاضلاب و لجن، میزان فلزات سنگین خاک و همچنین میزان سرب، نیکل و کادمیوم را در گیاه نعناع افزایش می‌دهد (۱۰). ترکیب فاضلاب یا به‌عبارت دیگر ویژگی‌های آن نیز می‌تواند به‌طور مستقیم بر انتقال و تجمع بیشتر فلزات در محصولات زراعی تاثیر بگذارد. ویژگی‌های فاضلاب می‌تواند بسته به نوع منبع آن (خانگی، صنعتی یا هر دو) و فرایند تصفیه مورد استفاده متغیر باشد (۳۷، ۳۸). به‌طور کلی فاضلاب‌های صنعتی از فلزات سنگین بیشتری نسبت به فاضلاب شهری برخوردارند که نسبتا می‌توانند آنها را در مقدار بیشتری به محیط زیست انتقال دهند. نوع و کارایی فناوری کاربردی در تصفیه فاضلاب نیز حائز اهمیت است. واضح است که با استفاده از واحدهای تصفیه مدرن و با راندمان بالا، سطح بالاتری از حذف فلزات حاصل می‌شود. یافته‌های یک تحقیق تاکید می‌کند که بیشترین میزان انتقال کادمیوم، کبالت، نیکل و سرب در نعناع با استفاده از خاک‌های تیمار شده با لجن دباغی در نسبت ۷۵:۲۵ لجن به خاک مشاهده گردید (۳۵). علاوه بر این، مقاومت بالا و واکنش پذیری کم فلزات، دفعات و طول مدت آبیاری می‌تواند اثرات افزایشی بر غلظت فلزات در محصولات آبیاری بگذارد. براساس نتایج Solís و همکاران آبیاری طولانی مدت با فاضلاب می‌تواند منجر به سطوح بالاتر محتوای آلی و در نتیجه افزایش دسترسی زیستی فلزات گردد (۴۱-۳۹). طبق نتایج به‌دست آمده، غلظت فلزات در کشورهای مختلف متفاوت بوده و کشور هند نسبت به سایر کشورها دارای بیشترین غلظت فلزات سرب، کادمیوم، کروم، روی و نیکل است. منطقه خاورمیانه از خشک‌ترین مناطق جهان هست که تنها ۱ درصد از منابع آب شیرین جهان را شامل می‌شود. افزایش رقابت برای آب با کیفیت سبب کاهش سهم آب کشاورزی و گسترش استفاده از فاضلاب در کشاورزی شده است. حدود ۴۳ درصد از فاضلاب‌های تولید شده در این منطقه تصفیه می‌شوند که در مقایسه با سایر کشورهای در حال توسعه درصد نسبتا بالایی است (۴۲، ۴۳). علاوه بر کمبود آب و استفاده مجدد از فاضلاب، این تفاوت در جذب فلزات در کشورهای مختلف را می‌توان به عوامل گوناگون مانند آب و هوا، بارش‌های جوی، غلظت فلزات در خاک، ماهیت خاک و کانی‌های آن، میزان رسیدگی گیاه در زمان برداشت و استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی مرتبط دانست (۴۴، ۴۵). همچنین انتشار فلزات از صنایع و وسایل نقلیه موجود در کشورها و حتی قوانین کنترلی حاکم و استانداردهای خروجی پساب نیز می‌توانند بر غلظت فلزات در کشورهای مختلف تاثیرگذار باشد (۴۶). قابلیت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

دسترسی زیستی خاک از عوامل اصلی و تاثیرگذار بر تجمع فلزات در گیاهان است. با توجه به مکانیسم‌های جذب مختلف در هر گیاه، قابلیت دسترسی زیستی فلزات سنگین در گیاهان گوناگون، متفاوت است. همچنین این امر ممکن است به‌دلیل عوامل خاک مانند pH، ماده آلی و محتوای خاک رس باشد. افزایش pH خاک، تحرک فلزات را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (۴۷). گزارش‌های مختلف نشان داده‌اند که افزایش ماده آلی و افزایش ذرات رس می‌توانند با یون‌های فلزی پیوند برقرار کنند و دسترسی زیستی برای گیاهان را کاهش دهد (۴۸). در مطالعه حاضر فلز روی بیشترین غلظت را دارا بود که علت تجمع زیاد این فلز انتقال آسان آن از ریشه‌ها به سمت بخش‌های هوایی گیاه است (۵۱-۴۹). در برخی از مطالعات، همبستگی آنتاگونیسمی بین روی و مس گزارش شده است که منجر به تجمع بیشتر فلز روی نسبت به مس، تحت تاثیر pH خاک می‌گردد (۵۲). اثر متقابل بین فلزات سنگین یکی دیگر از دلایل توزیع غیر یکنواخت آنها در گیاهان است (۵۳). در مطالعه‌ای Behbahaninia و همکاران کمترین میزان جذب کادمیوم را در نعناع (۰/۸۶۶ mg/kg) گزارش کردند (۲۶). بزرگسالان و کودکان به‌دلیل تفاوت‌های رفتاری و فیزیولوژیکی خطر سلامتی متفاوتی را نشان می‌دهند (۵۴). مشابه سایر مطالعات انجام شده توسط Fakhri و همکاران و Atamaleki و همکاران (۱۹، ۲۱، ۵۵، ۵۶)، TTHQ آلاینده‌ها از طریق مصرف نعناع اثرات سلامت قابل توجهی برای گروه سنی کودکان نشان داد که می‌تواند به‌دلیل وزن بدن آنها باشد (۵۷) و خطر سلامتی بالاتر در این گروه سنی را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که نسبت میزان سبزیجات دریافتی به وزن بدنشان به مراتب بیشتر از گروه‌های سنی دیگر است. بنابراین کودکان در معرض خطر سلامتی بیشتری قرار دارند. الگوی رژیم غذایی سبزیجات، مصرف سرانه سبزیجات و غلظت فلزات در خاک و فاضلاب استفاده شده جهت آبیاری سبزیجات از مهمترین عوامل مواجهه خطر سلامت ناشی از مصرف نعناع آبیاری شده با فاضلاب است (۵۸). یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که مصرف سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب، تهدید بزرگی برای سلامت انسان است. با این حال، منابع دیگر مواجهه با فلزات سنگین مانند نوشیدن آب آلوده به فلز، استنشاق گرد و غبار، تماس پوستی و بلع خاک آلوده به فلز (برای کودکان)، نیز وجود دارند که همه آنها در این مطالعه لحاظ نشده‌اند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، از طریق یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز، غلظت فلزات سنگین در گیاه نعناع آبیاری شده با فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی در برخی از کشورهای خاورمیانه (پاکستان، افغانستان و ایران)، و در کشورهای هندوستان و ترکیه نیز انجام گرفت. عامل تجمع فلزات با غلظت‌های متفاوت در گیاه نعناع در کشورهای مختلف شامل عوامل مختلفی از قبیل رشد صنعتی، خصوصیات آب و خاک و گیاه، آلودگی آنها و ... است. همچنین نتایج حاصل از بررسی خطر غیر سرطان‌زایی در دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان حاکی از آن است که مصرف نعناع اثرات سلامت قابل توجهی برای گروه سنی کودکان به همراه دارد. بنابراین توصیه می‌شود در کشورهای مختلف، پیش از کشت، غلظت فلزات در خاک و فاضلاب (به‌صورت تصفیه شده و تصفیه نشده) مورد بررسی قرار گیرد. همچنین توصیه می‌شود با توجه به خاصیت تجمع پذیری فلزات در گیاه، این پایش به‌صورت مستمر علاوه بر آب و خاک، در گیاهان نیز انجام گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق IR.SBMU.RETECH.REC.1397.956 است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

تشکر و قدردانی

ایـن مقالـه حاصـل بخشـی از طـرح تحقیقاتـی بـا عنـوان "بررسـی نظام‌منـد و متاآنالیـز تجمـع فلـزات سـنگین در سـبزیجات آبیـاری شـده بـا پسـاب فاضـلاب خانگـی" مصوب دانشـگاه علـوم پزشـکی و خدمات بهداشـتی، درمانی شـهید بهشـتی در سـال ۹۷ بـا کـد ۶۸۶۳۲/ص/۱۳۹۷ اسـت، کـه بـا حمایت دانشـگاه علوم پزشـکی و خـدمات بهداشـتی، درمانی شـهید بهشـتی اجـرا شـده اسـت.

References

1. Khan MU, Malik RN, Muhammad S. Human health risk from heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. Chemosphere. 2013;93(10):2230-38.
2. Salmasi R, Behbahaninia A, Ostadrahimi A. Comparison of different inorganic amendments on decreasing of Cd, Pb, Ni, Cu, and Zn sorption by wastewater-irrigated plants. Iranian Journal of Health Environment. 2019;12(2):247-56 (in Persian).
3. Arora M, Kiran B, Rani S, Rani A, Kaur B, Mittal N. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. Food Chemistry. 2008;111(4):811-15.
4. Avci H, Deveci T. Assessment of trace element concentrations in soil and plants from cropland irrigated with wastewater. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2013;98:283-91.
5. Ben Hassena A, Zouari M, Trabelsi L, Khabou W, Zouari N. Physiological improvements of young olive tree (Olea europaea L. cv. Chetoui) under short term irrigation with treated wastewater. Agricultural Water Management. 2018;207:53-58.
6. Jan FA, Ishaq M, Khan S, Ihsanullah I, Ahmad I, Shakirullah M. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). Journal of Hazardous Materials. 2010;179(1-3):612-21.
7. Sridhara Chary N, Kamala CT, Samuel Suman Raj D. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2008;69(3):513-24.
8. Ng KT, Herrero P, Hatt B, Farrelly M, McCarthy D. Biofilters for urban agriculture: Metal uptake of vegetables irrigated with stormwater. Ecological Engineering. 2018;122:177-86.
9. Tom M, Fletcher TD, McCarthy DT. Heavy metal contamination of vegetables irrigated by urban stormwater: a matter of time? PloS One. 2014;9(11):e112441.
10. Shakarami M, Maroufi S. Wastewater and sewage sludge effects on the absorption of some heavy metals in soil and mint. Journal of Environmental Studies. 2019;45(1):1-15 (in Persian).
11. Yang J, Guo H, Ma Y, Wang L, Wei D, Hua L. Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. Journal of Environmental Sciences. 2010;22(8):1246-52.
12. Mohammadi J, editor Cadmium concentration in vegetable crops grown in polluted soils of Kempen region (Belgium). 4th National Conference on Environmental Health; 2001; Belgium.
13. Gupta N, Khan D, Santra S. Heavy metal accumulation in vegetables grown in a long-term wastewater-irrigated agricultural land of tropical India. Environmental Monitoring and Assessment. 2012;184(11):6673-82.
14. Sergey G, Svetlana S, editors. Heavy metals as contaminants of agricultural lands of Belarus. 17th World Congress of Soil Science; 14-21 Aug 2002; Bangkok, Thailand.
15. Farahbakhsh Z, Akbarzadeh A, Amiri P, Naji A. Potential health risk assessment of heavy metals (Cu, Zn, Ni) via the consumption of the prevailing bony fish Liza auratas (Risso, 1810) of Caspian Sea. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(2):193-202 (in Persian).
16. Mikaili P, Mojaverrostami S, Moloudizargari M, Aghajanshakeri S. Pharmacological and therapeutic effects of Mentha Longifolia L. and its main constituent, menthol. Ancient Science of Life. 2013;33(2):131-38.
17. Anwar S, Nawaz MF, Gul S, Rizwan M, Ali S,

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

Kareem A. Uptake and distribution of minerals and heavy metals in commonly grown leafy vegetable species irrigated with sewage water. Environmental Monitoring and Assessment. 2016;188(9):541.
18. Tabande L, Taheri M. Evaluation of exposure to heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in vegetables grown in the olericultures of Zanjan Province's fields. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):41-56 (in Persian).
19. Fakhri Y, Abtahi M, Atamaleki A, Raoofi A, Atabati H, Asadi A, et al. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in honey: A global systematic review and meta-analysis and risk assessment. Trends in Food Science & Technology. 2019;91:498-506.
20. USEPA. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. Washington DC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development; 2011.
21. Atamaleki A, Yazdanbakhsh A, Fakhri Y, Mahdipour F, Khodakarim S, Mousavi Khaneghah A. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in the onion and tomato irrigated by wastewater: A systematic review; meta-analysis and health risk assessment. Food Research International. 2019;125:108518.
22. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Washington DC: US Environmental Protection Agency; 1989.
23. Shariatpanahi M, Anderson AC. Accumulation of cadmium, mercury and lead by vegetables following long-term land application of wastewater. Science of The Total Environment. 1986;52(1):41-47.
24. Gupta N, Khan DK, Santra SC. An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2008;80(2):115-18.
25. Gupta N, Khan D, Santra S. Determination of public health hazard potential of wastewater reuse in crop production. World Review of Science, Technology and Sustainable Development. 2010;7(4):328-40.
26. Behbahaninia A, Azadi A, Sadeghian S. Effect of irrigation with wastewater treatment plan on heavy metals content of some vegetables in Roudehen region. Journal of Crop Production Research. 2010;2(2):165-73 (in Persian).
27. Safi Z, Buerkert A. Heavy metal and microbial loads in sewage irrigated vegetables of Kabul, Afghanistan. Journal of Agriculture Rural Development in the Tropics Subtropics. 2011;112(1):29-36.
28. Aghayari F, Hassanpour Darvishi H. Consideration of irrigation influence with domestic wastewater in mint. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 2013;9(2):35-43 (in Persian).
29. Dadar M, Adel M, Nasrollahzadeh Saravi H, Fakhri Y. Trace element concentration and its risk assessment in common kilka (Clupeonella cultriventris caspia Bordin, 1904) from southern basin of Caspian Sea. Toxin Reviews. 2017;36(3):222-27.
30. Fakhri Y, Mohseni-Bandpei A, Oliveri Conti G, Ferrante M, Cristaldi A, Jeihooni AK, et al. Systematic review and health risk assessment of arsenic and lead in the fished shrimps from the Persian Gulf. Food and Chemical Toxicology. 2018;113:278-86.
31. Vaghar SA, SOLGI E. Investigation of the effect of irrigation with wastewater on accumulation of cadmum and lead in the soil and cultivated vegetables (Case study: Hamedan city). Journal of Environmental Science and Technology. 2019;20(6):139-50.
32. Rai PK, Lee SS, Zhang M, Tsang YF, Kim K-H. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environment International. 2019;125:365-85.
33. Chaney RL, Malik M, Li YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, et al. Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology. 1997;8(3):279-84.
34. Lone M, Saleem S, Mahmood T, Saifullah K, Hussain G. Heavy metal contents of vegetables irrigated by sewage/tubewell water. International Journal of Agriculture and Biology. 2003;5(4):533-35.
35. Patel A, Pandey V, Patra D. Metal absorption properties of Mentha spicata grown under tannery sludge amended soil-its effect on antioxidant system and oil quality. Chemosphere. 2016;147:67-73.
36. Tandi N, Nyamangara J, Bangira C. Environmental and potential health effects of growing leafy vegetables on soil irrigated using sewage sludge and effluent: a case of Zn and Cu. Journal of Environmental

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

tion in different vegetables grown in and around urban areas. Research Journal of Environmental Toxicology. 2011;5(3):162-79.
47. Hussain A, Alamzeb S, Begum S. Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. Food Chemistry. 2013;136(3-4):1515-23.
48. Kumar A, Seema. Accumulation of heavy Metals in Soil and Green Leafy Vegetables, Irrigated with Wastewater. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2016;10(10):8-19.
49. Nazir R, Khan M, Masab M, Rehman HU, Rauf NU, Shahab S, et al. Accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants and analysis of physico-chemical parameters of soil and water collected from Tanda Dam Kohat. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2015;7(3):89-97.
50. Salgueiro MJ, Zubillaga M, Lysionek A, Sarabia MI, Caro R, De Paoli T, et al. Zinc as an essential micronutrient: a review. Nutrition Research. 2000;20(5):737-55.
51. Chaoua S, Boussaa S, El Gharmali A, Boumezzough A. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2019;18(4):429-36.
52. Chaudhry F, Sharif M, Latif A, Qureshi R. Zinc-copper antagonism in the nutrition of rice (Oryza sativa L.). Plant and Soil. 1973;38(3):573-80.
53. Nayek S, Gupta S, Saha R. Metal accumulation and its effects in relation to biochemical response of vegetables irrigated with metal contaminated water and wastewater. Journal of Hazardous Materials. 2010;178(1-3):588-95.
54. Kamunda C, Mathuthu M, Madhuku M. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand gold mining basin, South Africa. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016;13(7):663.
55. Fakhri Y, Saha N, Ghanbari S, Rasouli M, Miri A, Avazpour M, et al. Carcinogenic and non-carcinogenic health risks of metal (oid) s in tap water

Science and Health, Part B. 2004;39(3):461-71.
37. Leblebici Z, Kar M. Heavy metals accumulation in vegetables irrigated with different water sources and their human daily intake in Nevsehir. Journal of Agricultural Science and Technology. 2018;20(2):401-15.
38. Khawla K, Besma K, Enrique M, Mohamed H. Accumulation of trace elements by corn (Zea mays) under irrigation with treated wastewater using different irrigation methods. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2019;170:530-37.
39. Mahmood A, Malik RN. Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. Arabian Journal of Chemistry. 2014;7(1):91-99.
40. Solís C, Andrade E, Mireles A, Reyes-Solís IE, García-Calderón N, Lagunas-Solar MC, et al. Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2005;241(1):351-55.
41. Inyinbor AA, Bello OS, Oluyori AP, Inyinbor HE, Fadiji AE. Wastewater conservation and reuse in quality vegetable cultivation: Overview, challenges and future prospects. Food Control. 2019;98:489-500.
42. Qadir M, Bahri A, Sato T, Al-Karadsheh E. Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. Irrigation and Drainage Systems. 2010;24(1-2):37-51.
43. Drechsel P, Scott CA, Raschid-Sally L, Redwood M, Bahri A. Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries. United Kingdom: Earthscan; 2010.
44. Lake D, Kirk P, Lester J. Fractionation, characterization, and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge-amended soils: A review. Journal of Environmental Quality. 1984;13(2):175-83.
45. Ali MH, Al-Qahtani KM. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. Egyptian Journal of Aquatic Research. 2012;38(1):31-37.
46. Khanna P. Assessment of heavy metal contamina-

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

from Ilam city, Iran. Food and Chemical Toxicology. 2018;118:204-11.
56. Fakhri Y, Ghorbani R, Taghavi M, Keramati H, Amanidaz N, Moradi B, et al. Concentration and prevalence of aflatoxin M1 in human breast milk in Iran: Systematic review, meta-analysis, and carcinogenic risk assessment: A review. Journal of Food Protection. 2019;82(5):785-95.
57. Iqbal HH, Taseer R, Anwar S, Mumtaz M, Shahid N. Human health risk assessment: Heavy metal contamination of vegetables in Bahawalpur, Pakistan. Bulletin of Environmental Studies. 2016;1(1):10-17.
58. Fakhri Y, Khaneghah AM, Conti GO, Ferrante M, Khezri A, Darvishi A, et al. Probabilistic risk assessment (Monte Carlo simulation method) of Pb and Cd in the onion bulb (Allium cepa) and soil of Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25(31):30894-906.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Investigation of heavy metals in mint plants irrigated by wastewater: a systematic review and meta-analysis

A Atamaleki[1], N Naimi[2], Y Fakhri[3], H Sharifi Maleksari[1], H Nosrati[4], S Fallah[1,*]

1- Student Research Committee, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

3- Food Health Research Center, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran

4- Department of Public Health, School of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 November 2019
Revised: 12 February 2020
Accepted: 19 February 2020
Published: 18 March 2020

Keywords: Heavy metals, Mint, Wastewater, Meta-analysis, Systematic review

***Corresponding Author:**
Fallah.sevda@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Nowadays, water shortage crisis leads to wastewater reuse in agriculture sector. The presence of pollutants such as heavy metal in wastewater results in the accumulation of them in vegetables, and it will finally be transferred to consumers and will have irreversible effects on their health. Therefore, the present study was performed to do a systematic review along with meta-analysis on heavy metal accumulation in mint plant that is irrigated with wastewater.

Materials and Methods: Related articles were collected from databases like SID, Magiran, Iranmedex, IranDoc, Embase, Medline, PubMed, Web of Science, Scopus, and Google scholar between 1982 and 2019 and the required data were extracted. Then, due to the heterogeneity of studies entered in the research, a random effect model was applied to analyze them using STATA 14 software. Non-carcinogenic risk was assessed for children and adults.

Results: According to the search results, 1693 articles were entered in the review process until the beginning of 2019 and finally only 12 articles were included in the research. According to the results of the meta-analysis, the order of the metals based on concentration (mg/kg) were: Zn > Ni > Cr > Cu > Pb > Cd. Also, based on the non-carcinogenic risk assessment results, mint consumption showed a significant health effects on children age group compared to adults, especially in India and Pakistan.

Conclusion: wastewater reuse in agriculture sector leads to increase concentration of metals in vegetables like mint. This increased the risk of non-carcinogenicity in the age groups, especially children. Therefore, it is recommended that continuous monitoring of irrigation sources, soils, and vegetables is done to prevent the transmission of these pollutants to the human food cycle.

Please cite this article as: Atamaleki A, Naimi N, Fakhri Y, Sharifi Maleksari H, Nosrati H, Fallah S. Investigation of heavy metals in mint plants irrigated by wastewater: a systematic review and meta-analysis. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;12(4):679-94.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-14]