



## بررسی غلظت و ارزیابی خطر (Risk Assessment) فلزات سنگین ناشی

### از مصرف محصولات کشاورزی در مزارع مختلف شهرستان دیر، بوشهر

حسین ارفعی نیا<sup>۱</sup>، داریوش رنجبر وکیل آبادی<sup>۲</sup>، مرتضی سیفی<sup>۳</sup>، زهرا اسدگل<sup>۱</sup>، سید عنایت هاشمی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۴/۷/۶- پذیرش مقاله: ۹۴/۹/۱۶)

#### چکیده

**زمینه:** تجمع فلزات سنگین و افزایش غلظت آنها و رسیدن به محدوده خطر می‌تواند از طریق ورود به زنجیره غذایی انسان، سلامتی او را مورد تهدید قرار دهد. بنابراین پایش مداوم غلظت آلاینده‌ها در محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا این مطالعه با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین و ارزیابی خطر ناشی از آنها در محصولات کشاورزی در مزارع با دو نوع آبیاری در شهرستان دیر، که یکی از شهرستان‌های استان بوشهر می‌باشد، انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌های محصولات کشاورزی در سه دسته سبزیجات برگی (کاهو، کلم و اسفناج)، غده‌ای (پیاز و سیب‌زمینی) و میوه‌ای (فلفل سبز و گوجه) از مزارع شهرستان دیر با دو نوع آبیاری آب‌های زیرزمینی و آب رودخانه آلوده به پساب برداشت شدند. مجموعاً ۳۲۰ نمونه بعد از مراحل هضم اسیدی و استخراج فلزات سنگین از نمونه‌ها، با استفاده از (ICP-OES -Spectrum Arcos) مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده توسط معادلات و نرم‌افزارهای آماری مختلف مورد تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان دادند که غلظت روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب به ترتیب ۶۸/۷۵ (۴۷/۷۱)، ۲۷۷/۶۲ (۱۹۶/۱۲)، ۳۲/۶۸ (۱۸/۳۱)، ۴۲/۱۹ (۱۷/۰۹)، ۱/۷۶ (۰/۸۷) و ۵/۸۳ (۱۲/۰۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه (مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی) می‌باشد. غلظت فلزات سنگین در خاک مزارعی که با آب رودخانه آبیاری می‌شدند به‌طور چشمگیری بالاتر از آب زیرزمینی مشاهده گردید ( $P < 0/05$ )، نتایج همچنین نشان دادند که در مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی بالاترین میزان ضریب خطر هدف (THQ) در اسفناج بوده است که مقدار ۰/۱۱۵۰ برای روی، ۱/۲۸۴۶ برای کادمیوم، ۰/۲۰۳۰ برای مس و ۱/۹۱۴۱ برای سرب گزارش شد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های این مطالعه نشان دادند که میزان آلودگی به فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از مقداری بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند. همچنین نتایج نشان دادند که میزان خطر برای سلامتی مصرف کنندگان در محصولات مزارعی که با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از مقداری بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند. محققین این مطالعه پیشنهاد دارند که به‌صورت جدی از ورود پساب‌های شهری و صنعتی به آب آبیاری محصولات کشاورزی جلوگیری به عمل آید.

**واژگان کلیدی:** فلزات سنگین، محصولات کشاورزی، ارزیابی خطر، شهرستان دیر

\* بوشهر، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

## مقدمه

امروزه کیفیت و ایمنی مواد غذایی از اصلی‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در انتخاب مشتریان و مصرف کنندگان مواد غذایی می‌باشد. مصرف مواد غذایی به عنوان یکی از اصلی‌ترین مسیرهای تماس انسان با آلودگی‌های محیطی مطرح می‌باشد (۱).

یکی از مهم‌ترین مواردی که امروزه به آن توجه ویژه‌ای شده است آلودگی مواد غذایی به فلزات سنگین می‌باشد (۲-۳). ترکیب و میزان فلزات سنگین مختلف در انواع مواد غذایی همواره موضوع تحقیق پژوهشگران مختلف بوده است (۴-۶). فلزات کمیاب ممکن است از طریق تعدادی از منابع، وارد غذاها شوند، این منابع عبارتند از: ۱- خاک ۲- مواد شیمیایی مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی ۳- تجهیزات، ظروف و وسایل مورد استفاده برای فرآوری غذا ۴- از طریق بسته‌بندی، نگهداری و پخت (۷). از دیدگاه تغذیه‌ای، عناصر فلزی در ترکیب مواد غذایی را می‌توان در گروه فلزات ضروری (کروم، کبالت، روی، مس، منگنز، آهن و غیره) و غیرضروری (عمدتاً سرب، کادمیوم و جیوه و غیره) طبقه‌بندی کرد. حضور فلزات غیرضروری، حتی در مقادیر کم، منجر به اختلالات متابولیک با عواقب بسیار جدی می‌شود. ذکر این مطلب بسیار مهم است که افزایش غلظت هر دو دسته فلزات سنگین از حدود مجازی که در نظر گرفته شده، بر مصرف کنندگان مواد غذایی، اثرات سمی دارد. به همین دلیل است که مقدار بعضی فلزات سنگین در بعضی از مواد غذایی به وسیله مقررات بهداشتی هر کشور تنظیم می‌شود (۸). به‌طور معمول اگر همه فلزات با هم مصرف شوند، در بدن تداخل کرده و با یکدیگر واکنش می‌دهند. به عنوان مثال اثرات فیزیولوژیک از جمله سمیت کادمیوم در بدن وابسته به میزان روی (Zn) می‌باشد. همچنین عملکرد آهن در سلول‌های بدن تحت

تأثیر دو عنصر مس و کبالت قرار می‌گیرد. دو فلز مس و آهن به‌عنوان کاتالیست در اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع عمل کرده و باعث توسعه طعم و بوی بد در فرآورده‌های غذایی حاوی چربی می‌شوند. برخی از فلزات در حد چند میلی‌گرم در کیلوگرم می‌توانند عامل تغییرات ماده غذایی در طی فرآوری و ذخیره‌سازی باشند (۹). باید خاطر نشان ساخت که گروه‌هایی که بیشتر از همه در معرض خطر فلزات حتی در غلظت‌های کم می‌باشند، جنین انسان و بچه‌های زیر ۷ سال هستند که در مقایسه با بزرگسالان نسبت به فلزات سنگین حساس‌تر می‌باشند و این دو گروه درصد بیشتری از فلزات موجود در رژیم غذایی را جذب می‌کنند، چرا که مغز آنها به سرعت در حال رشد و تکامل است (۱۰). از علایم مسمومیت با فلزات سنگین، علائم حاد و مزمن، سرگیجه، تهوع، استفراغ، اسهال، اختلالات خواب، از دست دادن اشتها و کاهش میزان درک می‌باشند. همچنین فلزات ناچیز ضروری با بیماری‌های قلبی عروقی، کاهش رشد، اختلال در باروری، اختلالات سیستم عصبی و ایمنی، افزایش سقط خودبخودی و مرگ و میر بالا در نوزادان، مرتبط است (۷). گیاهان می‌توانند بدون اینکه آسیبی ببینند مقادیر زیادی کادمیوم در خود جذب کنند.

الوی (Allowy) و همکاران گزارش کرده‌اند که غلظت بالای کادمیوم می‌تواند در بخش‌های خوراکی گیاه تجمع پیدا کنند، بدون اینکه علامت بیماری یا تأثیرگذاری آشکاری بر گیاه داشته باشد (۱۱). تجمع کادمیوم در گیاهان می‌تواند پتانسیل جذب این عنصر را توسط انسان افزایش دهد و این امر در حالتی صورت می‌گیرد که این گیاهان جزء جیره غذایی باشند (۱۲).

در مطالعه‌ای که توسط رادوان (Radwan) و همکاران در کشور مصر به منظور ارزیابی خطر فلزات سنگین در محصولات کشاورزی انجام شد نشان دادند که سبزیجات

برگی از قبیل کاهو و اسفناج دارای بیشترین مقدار سرب و کادمیوم در بین محصولات مورد مطالعه بودند (۱۳). مهاجر و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی میزان غلظت سرب و کادمیوم در محصولات کشاورزی استان اصفهان پرداختند و مشاهده کردند که اغلب محصولات کشاورزی نمونه‌برداری شده در این مطالعه دارای دو فلز مذکور بیش از حد مجاز و استاندارد هستند (۱۴). سمرقندی و همکاران در یک تحقیق دیگر به بررسی مقدار فلزات سنگین موجود در سبزیجات پرورشی در حومه شهر همدان پرداختند و گزارش کردند که مقدار فلز سرب در نمونه‌های برداشت شده از حد مجاز بالاتر بوده است (۱۵) اما با این وجود با توجه به اینکه امکان آلودگی زیاد فلزات سنگین در میوه‌ها و سبزیجات وجود دارد ولی اطلاعات بسیار اندکی در این مورد در ایران موجود است و تاکنون هیچ مطالعه‌ای در این زمینه در شهرستان دیر انجام نگرفته است، بنابراین هدف این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین و ارزیابی خطر ناشی از آنها در محصولات کشاورزی در مزارع شهرستان دیر در دو نوع آبیاری می‌باشد.

امید است که در پایان یک بستر علمی مناسب جهت تعیین راه‌کارهای عملی برای کنترل آلودگی محصولات کشاورزی مهیا گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه، نوع مطالعه

این مطالعه یک مطالعه توصیفی - مقطعی (Cross-Sectional) می‌باشد که در سال ۱۳۹۳ جهت بررسی غلظت فلزات سنگین شامل: سرب، کادمیوم، مس، کروم، منگنز و روی در محصولات کشاورزی در مزارع شهرستان دیر در دو نوع مزرعه ۱- آبیاری با آب زیرزمینی ۲- آبیاری با آب رودخانه آلوده

به پساب شهری و صنعتی (رودخانه از نوع فصلی و خور است و یک آبراهه می‌باشد که فاضلاب‌های شهری و صنعتی به آن وارد می‌شود). طراحی و اجرا شد. جامعه مورد مطالعه شامل محصولات کشاورزی در مزارع شهرستان دیر می‌باشد که از دو نوع مزرعه نمونه‌برداری شدند. در این مطالعه ده مزرعه از نوع آبیاری شده با آب زیرزمینی و ده مزرعه نیز از نوع آبیاری شده با آب رودخانه انتخاب شد. جهت نمونه‌برداری از آب آبیاری از یک سری بطری‌هایی استفاده گردید که قبل از نمونه‌برداری توسط آب و صابون عاری از فلزات در آزمایشگاه شسته شده و نهایتاً هم با آب مقطر شست و شو داده شده بود. از هر یک از مزارع دو نمونه آب برداشت شد که مجموعاً ۴۰ نمونه آب برداشت شد. نمونه‌های آب برداشت شده تا زمان آنالیز در یخچال در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد ذخیره گردید. جهت نمونه‌برداری از خاک مزارع نیز توسط یک نمونه برداری‌های زمین‌کن (Augure) از جنس فولاد ضدزنگ استفاده شد. از هر یک از مزارع دو نمونه خاک برداشت شد که مجموعاً ۴۰ نمونه خاک برداشت شد. بعد از نمونه‌برداری کلوخه‌هایی مثل تکه چوب، سنگ و سنگ ریزه و دیگر موارد مشابه از نمونه‌ها حذف شده و باقی مانده نمونه‌های وارد کیسه‌های مخصوص نمونه‌برداری شده و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه نمونه‌های خاک مخلوط شده و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک گردید. بعد از آن نمونه‌ها از الک‌های با قطر ۲۰۰ میلی‌متری عبور داده شده و در کیسه‌های پلی اتیلنی ریخته شد و تا زمان آنالیز ذخیره گردید. محصولات کشاورزی انتخاب شده شامل سه دسته: سبزیجات برگی (کاهو، اسفناج و کلم)، غده‌ای (سیب‌زمینی و پیاز) و میوه‌ای (گوجه و فلفل سبز)

نهایت با یکدیگر و با استانداردهای جهانی و همچنین با مطالعات دیگر محققان، مقایسه شد.

### دریافت روزانه از فلزات سنگین و ارزیابی خطر

جهت محاسبه دریافت روزانه از فلزات سنگین از معادله زیر استفاده شد (۱۷):

که در آن

$$DIM = \frac{C_{metal} \times C_{factor} \times W_{food}}{BW}$$

Daily intake of metals (DIM) میزان دریافت روزانه،  $C_{metal}$  غلظت فلزات سنگین در محصولات،  $C_{factor}$  ضریب تبدیل (۰/۰۸۵)،  $W_{food}$  میزان مصرف متوسط روزانه سبزیجات و  $BW$  وزن بدن یک انسان بالغ می‌باشد. در این مطالعه میزان مصرف روزانه سبزیجات بر اساس توزیع پرسشنامه بین ۲۵۰ فرد از شهروندان شهرستان دیر تعیین گردید. همچنین وزن بدن یک انسان بالغ ۶۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

جهت ارزیابی خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف محصولات کشاورزی از معادله زیر استفاده شد (۱۷).

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FI \times MC}{RfD \times BW \times AT} \times 10^{-3}$$

که در آن  $THQ$ : (ضریب خطر هدف) Target hazard quotient،  $EF$ : تناوب تماس،  $ED$ : دوره تماس،  $MC$ : غلظت فلزات سنگین،  $RfD$ : دز رفرنس دهانی و  $AT$ : متوسط زمانی برای غیرسرطان زهاست.

### آنالیز آماری

جهت آنالیز آماری داده‌های حاصل از این مطالعه شامل غلظت‌های فلزات سنگین در آب آبیاری، خاک

بودند. از هر نوع محصول ۲ نمونه از هر مزرعه برداشت شد. در مجموع ۲۸۰ نمونه از تمامی محصولات نمونه‌برداری گردید.

### آماده‌سازی، هضم و آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌های جمع‌آوری شده در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شده و جهت انجام آزمایشات و آنالیزهای غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس، کروم، منگنز، روی) به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

در این مطالعه، با توجه به مسائلی از قبیل فسادپذیری محصولات کشاورزی، نمونه‌ها حداکثر ۴۸ ساعت بعد از چیدن محصولات مورد آماده‌سازی و آنالیز قرار گرفتند. نمونه‌های جمع‌آوری شده به روش هضم اسیدی و با مخلوطی از اسیدنیتریک، اسید سولفوریک و اسید پرکلریک با نسبت‌های ۵:۱:۱ هضم شده و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا مایع شفاف تبخیر گردد. بعد از مراحل هضم اسیدی و استخراج فلزات سنگین از نمونه‌ها، با استفاده از ICP-OES -Spectrum Arcos آنالیز نمونه‌ها انجام شد. پس از اپتیمم کردن دستگاه، منحنی کالیبراسیون عناصر مورد نظر به کمک استانداردهای این عناصر رسم شد و مقدار عناصر مورد نظر در محلول‌های آماده‌سازی شده با سه بار تکرار و با به‌کارگیری سیستم ICP-OES -Spectrum Arcos اندازه‌گیری گردیدند (۱۶). حد تشخیص این دستگاه برای فلزات روی، کروم، سرب، کادمیوم، منگنز و مس به ترتیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۴، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. سپس آمار و ارقام به‌دست آمده به‌صورت نمودار درآمد و با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه، تجزیه و تحلیل شدند و در

## یافته‌ها

## غلظت فلزات سنگین در خاک و آب آبیاری

غلظت فلزات سنگین در آب مورد استفاده برای آبیاری و همچنین خاک مزارع آبیاری شده با دو نوع آب (زیرزمینی و رودخانه آلوده) در جدول ۱ آورده شده است.

و محصولات کشاورزی از نرم افزار SPSS ویرایش ۲۰ استفاده شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از تست Shapiro-Wilk استفاده شد. آمار توصیفی پارامترهای مورد مطالعه تعیین و گزارش گردید. از آزمون ANOVA جهت بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه استفاده گردید.

جدول ۱) میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آب (میکروگرم بر لیتر) مورد استفاده در آبیاری مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی و رودخانه آلوده

فلز سنگین	آبیاری	تعداد نمونه آب	استاندارد FAO	آب زیرزمینی	آب رودخانه آلوده	تعداد نمونه خاک	استاندارد اتحادیه اروپا	آب رودخانه آلوده	خاک مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	خاک مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده
روی	۲۰	۲۰	۲۰۰	۷۸/۵۳±۱۲/۱	۱۲۱/۷۳±۱۶/۹	۲۰	۳۰۰	۴۷/۷۱±۷/۹	۶۸/۷۵±۹/۱	
منگنز	۲۰	۲۰	۲۰	۸/۲۴±۱/۱۸	۲۳/۳۲±۹/۱	۲۰	۲۰۰۰	۱۹۶/۱۲±۲۳	۲۷۷/۶۲±۲۷	
مس	۲۰	۲۰	۱۷	۹/۲۷±۱/۲۵	۱۷/۶۶±۷/۷	۲۰	۱۰۰	۱۸/۳۱±۴/۱	۳۲/۶۸±۱۲/۱	
مس	۲۰	۲۰	۵۵۰	۲۳/۸۴±۴/۲۴	۵۳/۲۵±۱۰/۸	۲۰	۱۰۰	۱۷/۰۹±۳/۲	۴۲/۱۹±۸/۱۱	
کادمیوم	۲۰	۲۰	۵۰	۴/۳۱±۱/۱۲	۷/۶۳±۲/۱	۲۰	۳	۰/۸۷±۰/۱	۱/۷۶±۰/۰۹	
سرب	۲۰	۲۰	۶۵	۱۲/۸۴±۲/۲۸	۲۷/۲۹±۹/۹	۲۰	۱۰۰	۵/۸۳±۱/۱	۱۲/۰۴±۳/۱	

غلظت فلزات سنگین در خاک مزارع کشت مورد استفاده نیز در جدول ۱ آورده شده است. طبق این جدول غلظت روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب به ترتیب ۶۸/۷۵ (۴۷/۷۱)، ۲۷۷/۶۲ (۱۹۶/۱۲)، ۳۲/۶۸ (۱۸/۳۱)، ۴۲/۱۹ (۱۷/۰۹)، ۱/۷۶ (۰/۸۷) و ۱۲/۰۴ (۵/۸۳) میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه (مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی) بود. غلظت فلزات سنگین در خاک مزارعی که با آب رودخانه آبیاری شده بودند به‌طور چشمگیری بالاتر از مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی مشاهده گردید ( $P < 0/05$ ).

## غلظت فلزات سنگین در محصولات کشاورزی

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود غلظت روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب در آب رودخانه آلوده به فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از آب زیرزمینی بوده است ( $P < 0/05$ ). در بین فلزات سنگین مورد مطالعه فلز روی با مقادیر ۱۲۱/۷۳ و ۷۸/۵۳ میکروگرم بر لیتر به ترتیب در آب آبیاری شده با آب رودخانه و آب زیرزمینی بیشترین غلظت را به خود اختصاص داده است. بعد از فلز روی فلزات کروم، سرب، منگنز، مس و کادمیوم با غلظت‌های ۵۳/۲۵ (۲۳/۸۴)، ۲۷/۲۹ (۱۲/۸۳)، ۲۳/۳۲ (۸/۲۴)، ۱۷/۶۶ (۹/۲۷) و ۷/۶۴ (۴/۳۱) میکروگرم بر لیتر به ترتیب در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه (آب زیرزمینی) در رده‌های بعدی قرار دارند.

مقادیر غلظت فلزات سنگین برای محصولات کشاورزی مختلف که از مزارع دو نوع آبیاری با آب رودخانه و با آب زیرزمینی جمع‌آوری شده‌اند در جدول ۲ آورده شده است. همچنان که در این جدول مشاهده می‌گردد غلظت فلزات سنگین به ترتیب از چپ به راست، از بزرگ به کوچک گزارش شده است:

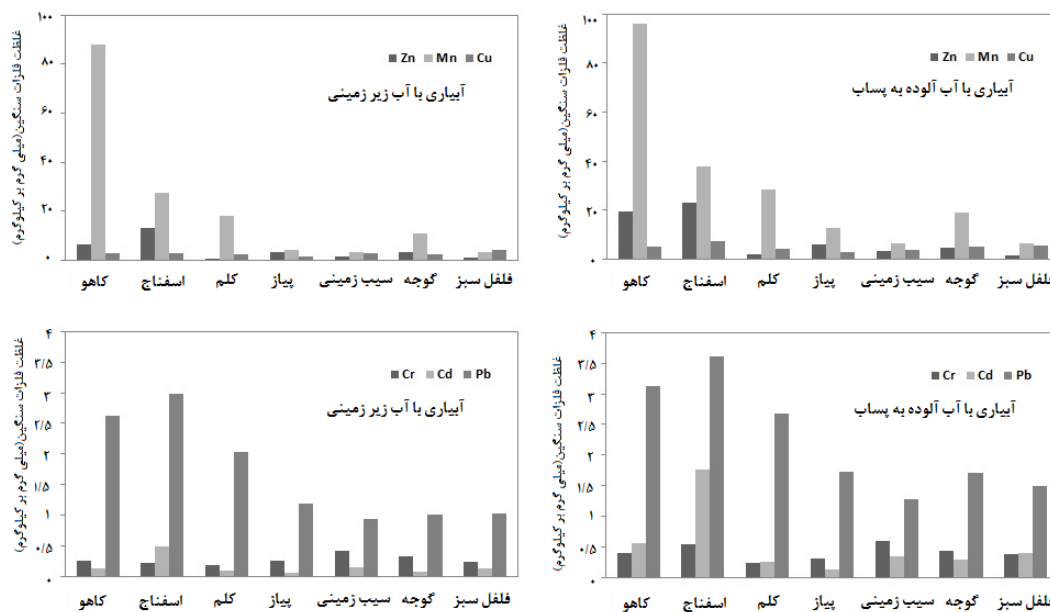
مقادیر غلظت فلزات سنگین برای محصولات کشاورزی مختلف که از مزارع دو نوع آبیاری با آب رودخانه و با آب زیرزمینی جمع‌آوری شده‌اند در جدول ۲ آورده شده است. همچنان که در این جدول مشاهده می‌گردد غلظت فلزات سنگین به ترتیب از چپ به راست، از بزرگ به کوچک گزارش شده است:

جدول ۲) میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در سبزیجات کشت یافته در آبیاری مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی و رودخانه آلوده

کلمه	آبیاری رودخانه	کلمه	آبیاری زیرزمینی	کلمه	آبیاری رودخانه	کلمه	آبیاری زیرزمینی	تعداد نمونه آبیاری	فلز سنگین
۱۹/۷۵±۱/۷۳	۲۳/۰۳±۱/۸۰	۲/۰۱±۰/۴۸	۶/۳±۰/۴۰	۱/۲۳±۰/۱۷	۴/۷۶±۰/۲۱	۱/۶۲±۰/۱۸	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Zn
۶/۴۶±۰/۷۰	۱۳/۴۳±۱/۳۶	۰/۸۱±۰/۰۶	۳/۲۱±۰/۱۹	۱/۸۱±۰/۱۰	۳/۳۲±۰/۱۶	۱/۱۷±۰/۰۵	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		
۹۶/۰۶±۴/۰۵	۳۷/۹۸±۲/۲۳	۲۸/۳۱±۱/۴۷	۱۲/۹۶±۰/۸۵	۶/۳۴±۰/۷۴	۱۹/۲±۱/۱۴	۶/۴۱±۰/۹۳	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Mn
۸۷/۷۶±۳/۱۰	۲۷/۷۷±۱/۴۳	۱۸/۱۱±۱/۲۹	۴/۳۱±۰/۲۶	۳/۴۱±۰/۴۸	۱۱/۱۸±۰/۹۳	۳/۴۳±۰/۵۵	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		
۵/۱۲±۰/۲۵	۷/۳۱±۰/۶۹	۴/۳۹±۰/۲۵	۲/۸۱±۰/۰۸	۴/۰۶±۰/۲۲	۵/۰۹±۰/۲۹	۵/۸۷±۰/۷۱	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Cu
۰/۸۱±۰/۱۴	۳/۱۶±۰/۲۴	۲/۶۱±۰/۲۳	۱/۴۸±۰/۰۹	۳/۱۱±۰/۱۹	۲/۶۱±۰/۲۶	۴/۱۲±۰/۴۱	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		
۰/۴۱±۰/۰۲	۰/۵۴±۰/۰۷	۰/۲۵±۰/۰۵	۰/۳۱±۰/۰۴	۰/۶۱±۰/۰۵	۰/۴۴±۰/۰۵	۰/۳۸±۰/۰۴	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Cr
۰/۲۶±۰/۰۳	۰/۲۲±۰/۰۴	۰/۱۹±۰/۰۳	۰/۲۶±۰/۰۳	۰/۴۲±۰/۰۳	۰/۳۳±۰/۰۵	۰/۲۴±۰/۰۴	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		
۰/۵۷±۰/۰۵	۱/۷۷±۰/۱۲	۰/۲۶±۰/۰۴	۰/۱۳±۰/۰۲	۰/۳۶±۰/۰۴	۰/۲۹±۰/۰۵	۰/۴۱±۰/۰۵	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Cd
۰/۱۳±۰/۰۲	۰/۵۱±۰/۰۵	۰/۱۱±۰/۰۲	۰/۰۶±۰/۰۱	۰/۱۶±۰/۰۳	۰/۰۹±۰/۰۱	۰/۱۳±۰/۰۲	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		
۳/۱۳±۰/۰۹	۳/۶۱±۰/۱۰	۲/۶۸±۰/۰۸	۱/۷۳±۰/۱۱	۱/۲۹±۰/۰۹	۰/۷۱±۰/۱۳	۱/۵۱±۰/۰۸	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۲۰	Pb
۲/۶۲±۰/۰۷	۲/۹۸±۰/۱۵	۲/۰۳±۰/۱۲	۱/۱۹±۰/۰۹	۰/۹۴±۰/۰۷	۱/۰۱±۰/۰۹	۱/۰۴±۰/۱۱	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی		

دونوع آب رودخانه آلوده به پساب و آب زیرزمینی در شکل ۱ آورده شده است.

غلظت فلزات سنگین در بخش‌های خوراکی سبزیجات جمع‌آوری شده از مزارع آبیاری شده با



شکل ۱) غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر یلوگرم) در بخش‌های خوراکی سبزیجات جمع‌آوری شده از مزارع آبیاری شده با دونوع آب رودخانه آلوده به پساب و آب زیرزمینی

نیز بالاترین غلظت هم در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه و هم آب زیرزمینی مربوط به منگنز بود و در بین محصولات کشاورزی مختلف نیز منگنز با مقادیر ۸۷/۷۶ و ۹۶/۰۶ به ترتیب برای مزارع آبیاری شده با آب رودخانه و هم آب زیرزمینی بیشترین غلظت را بخود اختصاص داده است. بعد از کاهو، بیشترین غلظت به ترتیب مربوط به اسفناج، کلم، گوجه، پیاز، فلفل سبز و سیب زمینی بود. علاوه بر این، محصولات برگی (کاهو و کلم) مقادیر بالاتری از منگنز نسبت به محصولات غده‌ای (سیب‌زمینی و پیاز) و میوه‌جات (گوجه و فلفل سبز) داشتند ( $P < 0.05$ ).

#### فاکتور انتقال (Transfer Factor)

در این شکل نیز به راحتی قابل مشاهده است که غلظت فلزات در محصولات جمع‌آوری شده از مزارعی که با آب رودخانه آبیاری می‌شوند بالاتر از مزارعی‌اند که با آب زیرزمینی آبیاری شده‌اند. غلظت فلزات سنگین سرطان‌زا (سرب، کروم و کادمیوم) در تمامی محصولات جمع‌آوری شده از مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی بجز برای اسفناج به ترتیب از بیشتر به کمتر به صورت زیر می‌باشد: Pb, Cr, Cd. در مورد مزارع آبیاری شده با آب رودخانه نیز سرب بالاترین غلظت را در بین فلزات سنگین سرطان‌زا در همه محصولات کشاورزی بخود اختصاص داده بود و غلظت کادمیوم نیز در کاهو، کلم، اسفناج و فلفل سبز بالاتر از کروم بود ولی برای پیاز، سیب‌زمینی و گوجه قضا به برعکس بود. در مورد فلزات ضروری برای رشد

جدول ۳ مقادیر فاکتور انتقال فلزات سنگین در هر دو مزارع آبیاری شده با آب رودخانه و هم آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

جدول ۳) فاکتور انتقال فلزات سنگین در سبزیجات کشت یافته در آبیاری با آب زیرزمینی و رودخانه آلوده

فلزات سنگین	نوع مزرعه	لفل سبز	گوجه	سیب‌زمینی	پیاز	کاهو	اسفناج	کاهو
Zn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۳۳	۰/۲۹
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۱۴
Mn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۳۵
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۴۵
Cu	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۶
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۵
Cr	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۱
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
Cd	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۱/۰۱	۰/۳۲
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۱۵
Pb	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۲۶
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۳۵	۰/۵۱	۰/۴۵

(۰/۳۳)، سرب در اسفناج (۰/۳)، روی در کاهو (۰/۲۹) و مس در اسفناج (۰/۲۳) می‌باشد.

**دریافت روزانه از فلزات سنگین و ارزیابی خطر**  
مقادیر میزان دریافت روزانه فلزات سنگین برای بزرگسالان در شهرستان دیر از طریق مصرف محصولات کشاورزی در جدول ۴ آورده شده است.

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، مقادیر فاکتور انتقال در مزارع آبیاری شده با آبیاری شده با آب رودخانه در محدوده ۰/۰۲-۰/۲۸، ۰/۰۲-۰/۳۶، ۰/۰۲-۰/۲۳، ۰/۰۹-۰/۲۳، ۰/۰۱، ۰/۰۸-۱/۰۴ و ۰/۱۱-۰/۳ به ترتیب برای روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب بوده است. در این مزارع بیشترین مقادیر فاکتور انتقال مربوط به کادمیوم در اسفناج (۱/۰۴) بود و بعد از آن به ترتیب منگنز در کاهو (۰/۳۶)، روی در اسفناج



جدول ۴) میزان دریافت روزانه فلزات (Daily intake of metals) (DIM) برحسب میلی گرم به ازای هر فرد در روز) در سبزیجات کشت یافته در آبیاری با آب زیرزمینی و رودخانه آلوده

فلزات سنگین	نوع مزرعه	فلفل سبز	گوجه	سیب زمینی	پیاز	کاهو	اسفناج	کاهو
Zn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۰۱۳۸	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۵۰۳	۰/۰۰۴۳۱
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۲۹۳	۰/۰۰۱۴۱
Mn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۱۴۰	۰/۰۰۴۱۹	۰/۰۰۱۳۸	۰/۰۰۲۸۳	۰/۰۰۳۱۸	۰/۰۰۸۲۹	۰/۰۱۰۹۸
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۲۴۴	۰/۰۰۰۷۴	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۳۹۵	۰/۰۰۶۰۶	۰/۰۱۹۱۷
Cu	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۱۲۸	۰/۰۰۱۱۱	۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۱۶۰	۰/۰۰۱۱۲
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۹۰	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۹۰	۰/۰۰۰۶۱
Cr	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۹
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۶
Cd	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۱۲
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳
Pb	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۱۴۰	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۵۹	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۶۸
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۵۷

نتایج نشان داد میزان دریافت فلزات سنگین از طریق خوردن محصولات کشاورزی مزارع آبیاری شده با آب رودخانه بالاتر از مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی بوده است. ترتیب مقادیر میزان دریافت روزانه در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه به صورت زیر بود: Cd, Cr, Cu, Zn و Mn بالاترین مقدار DIM برای روی ۰/۰۰۵۰۳، مس ۰/۰۰۰۱۶، کادمیوم ۰/۰۰۰۳۹، و سرب ۰/۰۰۰۷۹ میلی گرم در روز در اسفناج بود و بالاترین

مقدار DIM برای منگنز ۰/۰۲۲۰۷ و کروم ۰/۰۰۰۱۳ به ترتیب در کاهو و سیب زمینی یافت شد. THQ یک فاکتور مناسب برای ارزیابی خطر مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین می باشد. میزان THQ برای فلزات از طریق مصرف محصولات کشاورزی مزارع آبیاری شده با آب رودخانه و زیرزمینی نیز محاسبه گردید که نتایج این محاسبات در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵) میزان ضریب خطر هدف (Target hazard quotient, THQ) فلزات سنگین در سبزیجات کشت یافته در آبیاری با آب زیرزمینی و رودخانه آلوده

فلزات سنگین	نوع مزرعه	فلفل سبز	گوجه	سیب زمینی	پیاز	کاهو	اسفناج	کاهو
Zn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۱۳۹	۰/۰۴۰۸	۰/۰۲۷۷	۰/۰۵۴۰	۰/۰۱۷۲	۰/۱۹۷۲	۰/۱۶۹۱
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۹۴	۰/۰۲۸۴	۰/۰۱۵۵	۰/۰۲۷۵	۰/۰۰۶۹	۰/۱۱۵۰	۰/۰۵۵۳
Mn	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۴۹۹۱	۱/۴۹۴۸	۰/۴۹۳۶	۱/۰۰۹۰	۲/۲۰۴۱	۲/۹۵۷۰	۷/۴۷۸۸
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۲۶۷۰	۰/۸۷۰۴	۰/۲۶۵۵	۰/۳۳۵۶	۱/۴۱۰۰	۲/۱۶۲۰	۶/۸۳۲۶
Cu	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۳۷۷۰	۰/۳۲۶۹	۰/۲۶۰۸	۰/۱۸۰۵	۰/۲۷۶۲	۰/۴۶۹۵	۰/۳۲۸۹
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۲۶۳۳	۰/۱۶۷۰	۰/۱۹۹۸	۰/۰۹۵۱	۰/۱۶۷۰	۰/۲۰۳۰	۰/۱۷۹۸
Cr	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴
Cd	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۱/۰۲۷۷	۰/۷۴۵۱	۰/۹۲۹۴	۰/۳۳۴۰	۰/۶۶۸۰	۴/۵۴۷۵	۱/۴۶۴۵
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۳۳۴۰	۰/۲۳۱۲	۰/۴۱۱۱	۰/۱۵۴۲	۰/۲۸۲۶	۱/۲۸۴۶	۰/۳۳۴۰
Pb	مزارع آبیاری شده با آب رودخانه آلوده	۰/۹۶۳۵	۱/۰۹۸۳	۰/۸۲۸۶	۱/۱۱۱۲	۱/۷۲۱۴	۲/۳۱۸۷	۲/۰۱۰۴
	مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی	۰/۶۶۸۰	۰/۶۴۸۷	۰/۶۰۳۸	۱/۷۶۴۳	۱/۳۰۳۹	۱/۹۱۴۱	۱/۶۸۲۸

در هر دو نوع مزرعه بالاترین میزان THQ مربوط به منگنز بوده است و بعد از آن به ترتیب سرب، کادمیوم، مس، روی و کروم قرار داشتند. در مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی بالاترین میزان THQ در اسفناج یافت شد که مقدار ۰/۱۱۵۰ برای روی، ۱/۲۸۴۶ برای کادمیوم، ۰/۲۰۳۰ برای مس و ۱/۹۱۴۱ برای سرب گزارش شده است.

### بحث

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود غلظت روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب در آب رودخانه آلوده به فاضلاب به طور معنی داری بیشتر از آب زیرزمینی بوده است ( $P < 0.05$ ). همچنین محمود و همکاران در پاکستان (۱۸)، راتان (Rattan) و

همکاران در هند (۱۹) و سینگ (Singh) و همکاران در هند (۲۰) نیز مشاهده کردند که غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه های آلوده و پساب فاضلاب بالاتر از آب های زیرزمینی بوده است. غلظت همه فلزات سنگین اندازه گیری شده در این مطالعه از حدود مجاز سازمان FAO کمتر بوده است (۲۱). همچنین در مطالعه شارما (Sharma) و همکاران، سینگ در سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ نیز گزارش شده است که بیشترین و کمترین فلز در آب آبیاری به ترتیب مربوط به روی و کادمیوم بوده است و این نتایج در تطابق با مطالعه حاضر قرار دارد (۲۰ و ۲۲). غلظت بالای فلزات سنگین در آب آبیاری رودخانه می تواند به دلیل تخلیه پساب شهری و صنعتی به رودخانه خور (خور بردستان) در این منطقه باشد. غلظت فلزات سنگین در

شهری و صنعتی به این رودخانه وارد می‌شده و از آب آن برای آبیاری سبزیجات استفاده می‌شده است. غلظت کادمیوم در مزارعی که با آب رودخانه آبیاری می‌شدند در همه محصولات کشاورزی بجز پیاز از حد مجاز و ایمن اتحادیه اروپا تجاوز کرده است و همچنین در بین محصولات کشاورزی که از مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی جمع‌آوری شده بودند غلظت کادمیوم فقط در نمونه اسفناج از حد ایمن اتحادیه اروپا تجاوز کرده است. در مورد سرب نیز، میانگین غلظت در همه محصولات کشاورزی جمع‌آوری شده از مزارع هر دو نوع آبیاری از حدود ایمن اتحادیه اروپا تجاوز کرده است، اگرچه طبق استاندارد WHO، غلظت آن در محصولات برگدار (اسفناج، کاهو و کلم) در مزارع آبیاری شده با هر دو نوع آب رودخانه و آب زیرزمینی از حد قابل قبول تجاوز کرده است ولی در مورد بقیه محصولات در محدوده مجازی قرار گرفته است. این بخوبی شناخته شده است که، قسمت‌های برگ‌های محصولات کشاورزی مقادیر بالاتری از فلزات سنگین را در خود تجمع می‌کنند (۲۹). علاوه بر سرب، برای بقیه فلزات سنگین نیز مشاهده شد که غلظت آنها در محصولات برگ‌های بیشتر از بقیه محصولات می‌باشد. یک دلیل منطقی برای این مسئله ترسیب آلودگی فلزات از طریق هوا بر روی قسمت‌های برگ‌های این محصولات می‌باشد. مزارع کشاورزی مورد مطالعه در ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند که در اطراف آنها حجم عظیمی از صنایع و کارخانجات قرار گرفته است که این صنایع باعث انتشار آلاینده‌های اتمسفری به‌خصوص در فرم آئروسول‌های فلزی می‌باشند که این آلاینده‌ها بعد از مدتی از طریق مکانیزم‌های ترسیب و ته‌نشست اتمسفری بر روی قسمت‌های برگ‌های این محصولات نشست و باعث

خاک مزارعی که با آب رودخانه آبیاری شده بودند به‌طور چشمگیری بالاتر از مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ). این پدیده نیز می‌تواند به تخلیه پساب فاضلاب‌های شهری و همچنین رواناب‌های شهری ارتباط داده شود. غلظت بالای منگنز و پایین کادمیوم در هر دو نوع مزرعه (مزرعه آبیاری شده با آب رودخانه (مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی) مشاهده شد. این قضیه می‌تواند به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک حوضه آبریز این منطقه ارتباط داده شود. با وجود این، غلظت فلزات سنگین در خاک هر دو نوع مزرعه از محدوده مجاز اتحادیه اروپا برای خاک‌ها تجاوز نکرده است. کشت‌های پیای و جذب مداوم فلزات سنگین توسط محصولات نیز می‌تواند عاملی باشد که مانع تجمع بیش از حد فلزات در خاک شده است.

آبیاری مداوم مزارع با آب آلوده به فاضلاب می‌تواند منجر به تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک شده و باعث دریافت فلزات سنگین با محصولات کشاورزی به خصوص سبزیجات بشود. این فلزات تجمع یافته در سبزیجات از طریق مصرف وارد بدن انسان شده و تجمع بیش از حد آن منجر به مشکلات بهداشتی عدیده‌ای می‌گردند (۲۵-۲۳). اگرچه برخی از فلزات مثل روی، منگنز، مس و کروم از نوترینت‌های اصلی می‌باشند و مورد نیاز برای رشد می‌باشند ولی با این وجود دز بیش از حد آنها منجر به آسیب‌های جدی بر سلامتی می‌شوند (۲۶ و ۲۷). این نتایج با یافته‌هایی که توسط خان، لیو، موچورتی (Khan, Liu & Muchuweti)، شارما و همکاران گزارش کرده‌اند در تطابق می‌باشد (۲۲، ۲۸-۲۶). مزارعی که با آب رودخانه آبیاری می‌شدند در پایین دست رودخانه‌ای به نام خور بردستان بودند که پساب

با زیرزمینی بود. اختلاف در مقادیر فاکتور انتقال در محصولات کشاورزی مختلف می‌تواند به محتوای فلزات سنگین در خاک مزرعه مورد نظر نسبت داده شود (۳۱). غلظت بالای فلزات سنگین در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه، دریافت فلزات از خاک توسط سبزیجات را تسهیل می‌کند. مقادیر فاکتور انتقال برای روی، کادمیوم، سرب، منگنز و مس بین محصولات کشاورزی مختلف دارای تفاوت معناداری بود ( $P < 0.05$ ). انواع متفاوت سبزیجات، حتی گونه‌های مختلف یک نوع محصول کشاورزی خاص میزان جذب متفاوتی از فلزات از خاک دارند (۲۲).

در این مطالعه مقدار DIM برحسب میانگین غلظت فلزی خاص در هر محصول کشاورزی و میزان مصرف هر نوع محصول در رژیم غذایی جامعه برآورد شد (۳۲). میزان DIM در مطالعه حاضر کمتر از مقادیری بود که برای شهر گنژو در جنوب غربی چین (۲۷) و دابوشان در جنوب چین گزارش شده است (۳۳) ولی مشابه مقادیری می‌باشد که برای منطقه لاهور پاکستان گزارش شده است (۱۸). بیشترین میزان دریافت فلزات در این مطالعه مربوط به اسفناج بود که بعد از آن کاهو قرار داشت. به جز منگنز برای کاهو، DIMs برای بقیه موارد در محدوده ایمن از لحاظ استاندارد USEPA قرار داشتند. THQ یک فاکتور مناسب برای ارزیابی خطر مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین می‌باشد. میزان THQ برای منگنز و سرب در اثر مصرف محصولات کشاورزی برگری (کاهو، کلم و اسفناج) هر دو مزرعه و همچنین برای پیاز و گوجه از ۱ بالاتر بوده است. علاوه بر این، میزان این فاکتور برای کادمیوم در محصولات کاهو، اسفناج و فلفل سبز از حد ایمن فراتر رفته است و موجبات خطر سلامتی را برای ساکنین شهر دیر فراهم می‌کند.

تجمع فلزات سنگین در این محصولات می‌شوند. شهر دیر در ۲۰ کیلومتری پروژه‌های عظیم پالایشگاه‌های نفتی و گازی عسلویه قرار گرفته است و آلاینده‌های هوای تولیدی در این صنایع نیز از طریق انتقالات اتمسفری به این مزارع رسیده و باعث آلودگی محصولات آن می‌گردد. غلظت فلزات در محصولات جمع‌آوری شده از مزارعی که با آب رودخانه آبیاری می‌شوند بالاتر از مزارعی بودند که با آب زیرزمینی آبیاری شده‌اند. این نتایج در تطابق با گزارشاتی بود که علی و القحطانی (AL-Qahtani) و همکاران برای سبزیجات برگری *Jews mallow* و *arugula* نشان دادند که بیشترین غلظت منگنز را داشته‌اند (۳۰).

فاکتور انتقال یعنی مهاجرت فلزات سنگین از هرگونه شکل خاک به بخش خوراکی محصولات کشاورزی به طوری که آن فلز را در معرض مصرف قرار دهد. این فاکتور به چندین خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک و گونه‌های سبزیجات بستگی دارد که شامل pH، بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، محتوای آلی خاک و غیره می‌باشد. علاوه بر این فاکتور انتقال از خاک به گیاه عاملی می‌باشد که باعث در معرض قرار گرفتن انسان با فلزات سنگین از طریق مواد غذایی می‌باشد. بیشترین فاکتور انتقال در الگوی کلی مربوط به سرب در هر دو نوع مزارع بود و پس از آن کادمیوم، مس، منگنز، روی و کروم در مراتب بعدی قرار دارند. این نتایج با یافته‌های گبرکیدان (Gebrekidan) و همکاران در تطابق می‌باشد به طوری که در مطالعه خود گزارش کرده‌اند که ترتیب فاکتور انتقال از بزرگ به کوچک به صورت  $Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, Co$ ،  $Pb, Cd$  و  $Fe$  بوده است (۱۶). علاوه بر موارد ذکر شده، در بیشتر موارد مقادیر فاکتور انتقال در مزارع آبیاری شده با آب رودخانه بالاتر از مزارع آبیاری شده

مضر اساسی‌تری می‌توانند بر سلامتی مصرف‌کنندگان داشته باشند. محققین این مطالعه پیشنهاد دارند که به صورت جدی از ورود پساب‌های شهری و صنعتی به آب آبیاری محصولات کشاورزی جلوگیری عمل آید.

### سپاس و قدردانی

این مقاله حاصل مطالعه‌ای است که در چارچوب طرح تحقیقاتی به شماره (د پ/۲۰/۷۱/۹۱۱۱۴) مصوب دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام شد. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از این دانشگاه اعلام می‌نمایند.

### تضاد منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان دادند که میزان آلودگی به فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از خاکی بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند. ترتیب مقادیر فلزات سنگین در هر دو نوع مزارع به صورت زیر بودند:  $Cd, Cr, Pb, Cu, Zn$  و  $Mn$  همچنان که پیش‌بینی می‌شد، در همه محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب رودخانه دارای مقادیر بالاتری نسبت به آنهایی‌اند که با آب زیرزمینی آبیاری شده‌اند ( $P < 0.05$ ). محصولات کشاورزی برگی نیاز به توجه بیشتری در مقایسه با محصولات غده‌ای و میوه‌ای دارند زیرا میزان تجمع فلزات سنگین و همچنین میزان فاکتور انتقال فلزات سنگین از خاک به محصولات در این نوع سبزیجات دارای مقادیر بالاتری بودند و در نتیجه اثرات

### References:

1. Fries GF. A review of the significance of animal food products as potential pathways of human exposures to dioxins. *J Anim Sci* 1995; 73(6): 1639-50.
2. Movahed A, Dehghan A, Hajihosseini R, et al. D. Evaluation of heavy metals in the tissues of different species of shrimps collected from coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. *Iran South Med J* 2013; 16(2): 100-9. (Persian)
3. Abedi SZ, Khalesi MK, Eskandari S. Comparison of cadmium and chromium bioconcentration factors between scaled and scale less fish species: common carp and sutchi (striped) catfish. *Iran South Med J* 2014; 17(4): 695-705. (Persian)
4. Ereifej KI, Gharaibeh SH. The levels of cadmium, nickel, manganese lead, zinc, iron, tin, copper and arsenic in the brined canned Jordanian cheese. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 1993; 197(2): 123-6.
5. Yüzbaşı N, Sezgin E, Yıldırım M, et al. Survey of lead, cadmium, iron, copper and zinc in Kasar cheese. *Food Additives Contaminants* 2003; 20(5): 464-9.
6. Gogoasa I, Rada M, Pârnu D, et al. AAS detection of heavy metals in sheep cheese (the Banat area, Romania). *Buletinul USAMV-CN* 2006; 62: 240-5.
7. Reilly C. Metal contamination of food: its significance for food quality and human health. 3<sup>rd</sup> ed. Hoboken, New Jersey: Blackwell Science, 2008, 436-441.
8. Merdivan M, Yilmaz E, Hamamci C, et al. Basic nutrients and element contents of white cheese of Diyarbakır in Turkey. *Food Chem* 2004; 87(2): 163-71.
9. Ayar A, Sert D, Akın N. The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia—Turkey. *Environ Monitoring Assessment* 2009; 152(1-4): 1-12.
10. Zohrehvand F, Takdastan A, Jafarzadeh N, et al. Assessment of Lead Contamination in

- Vegetables, Irrigation Water and Soil in Farmlands Irrigated by Surface Water in Ahvaz. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 24(118): 225-30. (Persian)
11. Alloway BJ. Heavy metals in soils. Edinburgh: Blackie & Son Ltd., 1990, 278-283.
  12. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Florida: CRC press, 2010, 162-168.
  13. Radwan MA, Salama AK. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food Chem Toxicol* 2006; 44(8): 1273-8.
  14. Mohajer R, Salehi MH, Mohammadi J. Lead and cadmium concentration in agricultural crops (lettuce, cabbage, beetroot, and onion) of Isfahan Province, Iran. *Iran J Health Environm* 2014; 7(1): 1-10. (Persian)
  15. Samarghandi MR, Kari MM, Sadri GH. A study of hamadas N vegetables heavy metals irrigated with water polluted to these metals, Iran, 1996. *J Sabzevar Univ Med Sci* 2000; 7(1): 45-53. (Persian)
  16. Gebrekidan A, Weldegebriel Y, Hadera A, et al. Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. *Ecotoxicol Environ Saf* 2013; 95: 171-8.
  17. Chen Y, Hu W, Huang B, et al. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicol Environ Saf* 2013; 98: 324-30.
  18. 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 J Chem* 2014; 7(1): 91-9.
  19. Rattan RK, Datta SP, Chhonkar PK, et al. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2005; 109(3-4): 310-22.
  20. Singh A, Sharma RK, Agrawal M, et al. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem Toxicol* 2010; 48(2): 611-9.
  21. Ayers R, Westcot DW. Water quality for agriculture. Circo Massimo: Food and Agricultural Organization Rome, 1985, 112-119.
  22. Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi. *Environ Pollut* 2008; 154(2): 254-63.
  23. Arora M, Kiran B, Rani Sh, et al. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chem* 2008; 111(4): 811-5.
  24. Bi X, Feng X, Yang Y, et al. Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang County, western Guizhou, China. *Environ Int* 2006; 32(7): 883-90.
  25. Kachenko AG, Singh B. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution* 2006; 169(1-4): 101-23.
  26. Khan S, Cao Q, Zheng YM, et al. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environ Pollut* 2008; 152(3): 686-92.
  27. Liu W-h, Zhao J-z, Ouyang Z-y, et al. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environ Int* 2005; 31(6): 805-12.
  28. Muchuweti M, Birkett JW, Chinyanga E, et al. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2006; 112(1): 41-8.
  29. Li Y, Wang YB, Gou X, et al. Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China. *J Environ Sci (China)* 2006; 18(6): 1124-34.
  30. Ali MH, Al-Qahtani KM. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and

- fruits in Saudi Arabian markets. *Egypt J Aquat Res* 2012; 38(1): 31-7.
31. Cui Y-J, Zhu Y-G, Zhai R-H, et al. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environ Int* 2004; 30(6): 785-91.
32. Santos EE, Lauria DC, Da Silveira CLP. Assessment of daily intake of trace elements due to consumption of foodstuffs by adult inhabitants of Rio de Janeiro city. *Sci Total Environ* 2004; 327(1): 69-79.
33. Zhuang P, McBride MB, Xia H, et al. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Sci Total Environ* 2009; 407(5): 1551-61.

Original Article

# Study of Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metals Resulting From the Consumption of Agriculture Product in Different Farms of Dayyer City, Bushehr

H. Arfaeinia<sup>1</sup>, D. Ranjbar Vakil Abadi<sup>2</sup>, M. Seifi<sup>3</sup>, Z. Asadgol<sup>1</sup>,  
SE. Hashemi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Boushehr University of Medical Sciences, Boushehr, Iran

<sup>3</sup> Environmental Health Department, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received 28 Sep, 2015 Accepted 7 Dec, 2015)

## Abstract

**Background:** Accumulation of heavy metals and increasing their concentration and reaching them to the danger range can threaten human health by entering to food chain. Thus, continuous monitoring of pollutants concentration in agricultural products is important. So, the aim of this study was to investigate the heavy metals concentration and risk assessment resulting from them in agriculture product with two types of irrigation in farms of Dayyer city which is one of the counties in Boushehr province.

**Material and Methods:** Samples of agriculture product were harvested in three in three categories vegetables included: leafy (lettuce, spinach, cabbage), tuber (onion, potato), and fruit (tomato, green pepper) from farms of Dayyer city with two types of irrigation included River Water Irrigation (RWI) and Ground Water Irrigation (GWI). Totally 320 samples were analyzed by using (ICP-OES -Spectrum Arcos) after acidic digestion steps and extraction of heavy metals from samples. Then, the obtained results were analyzed by different equations and statistic softwares.

**Results:** results showed that the concentrations of metals were 68.75 (47.71), 277.62 (196.12), 32.68 (18.31), 42.19 (17.09), 1.76 (0.87) and 12.04 (5.83) mg kg<sup>-1</sup> for Zn, Mn, Cu, Cr, Cd and Pb in RWI (and GWI), respectively in irrigated farms with river water (farms irrigated by ground water). The concentration of heavy metals was significantly higher in the soil of farms which irrigated with river water than those which irrigated with ground water (P<0.05). Also, results showed that in farms which irrigated by ground water, the highest Target hazard quotient (THQ) have been reported in spinach with mentioned values; Zn (0.1150), Cd (1.2846), Cu (0.2030) and Pb (1.9141).

**Conclusion:** The findings of this study showed that the concentration of heavy metals in soil and agricultural products which irrigated with contaminated water with urban and industrial sewage was higher than soil and agricultural products which irrigated with ground water. Also results of this study showed that the hazard for consumers health in agricultural products that were irrigated with water contaminated by industrial and urban sewage was higher than which irrigated with ground water. The researchers of this study suggest that we seriously should be avoided from entering the urban and industrial sewage to water which irrigate the agricultural products.

**Key words:** heavy metals, agricultural products, risk assessment, Dayyer city

©Iran South Med J. All rights reserved.

Cite this article as: Arfaeinia H, Ranjbar Vakil Abadi D, Seifi M, Asadgol Z, and Hashemi SE. Study of Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metals Resulting From the Consumption of Agriculture Product in Different Farms of Dayyer City, Bushehr. Iran South Med J 2016; 19(5): 839-854.

Copyright © 2016 Arfaeinia, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

\*Address for correspondence: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Boushehr University of Medical Sciences, Boushehr, Iran. E.mail: e.hashemi@bpums.ac.ir

Website: <http://bpums.ac.ir>  
Journal Address: <http://ismj.bpums.ac.ir>