DOI: 10.22059/ijswr.2020.308189.668712 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۲، اردیبهشت ۱۴۰۰ (ص ۳۷۷-۳۶۱)

Heavy Metals Investigation and the Potential Risk Assessment in the Salt of Maharloo Lake and Korsia mine

FARID FOROUGHI[1*], RAHIL EBRAHIMPOUR[1]
1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran.
(Received: Aug. 19, 2020- Revised: Nov. 26, 2020- Accepted: Dec. 27, 2020)

ABSTRACT

One of the most important issues that has always threatened the health of human societies is the contamination of food with heavy metals and reaching the danger limit. To conduct this research in a case study and laboratory work, the amounts of heavy metals (Cd, Zn, Cu, Pb, Mn, Ni and Fe) and their Target hazard quotient of human health through salt consumption of Maharloo Lake and Korsia salt mine were investigated for both child and adults groups. For this study, Maharloo Lake and Korsia salt mine were sampled and their heavy metals were determined. The daily intake of metals was determined and compared with the reference value. The target hazard quotient, THQ for all metals of Maharloo Lake salt for adults and child was less than one. This means that the hazards of the proposed metals are within the acceptable limits. For korsica salt, the THQ for lead metal (for child group) was more than one and for other metals (child and adult groups) was less than one, indicating that non-cancerous adverse effects were likely to occur in childs. Among the proposed metals, the highest THQ was obtained for lead metal and the lowest one for zinc metal for Maharloo salt and korcia salt mine. The Hazard index for adults and child was less than one for Maharloo salt and more than one for Korsia salt, indicating that there are adverse effects of non-cancerous diseases due to the consumption of heavy elements caused by the consumption of this salt. Salt consumption threshold for hazard level 1, which is negligible in terms of chronic hazard, for Maharloo Lake salt, for child and adults were 1003.8 and 4133.4 mg/day and for Korsica salt for child and adults were 13.2 and 543.5 mg/day, respectively.

Keywords: Risk Assessment, Environmental Pollution, Heavy Metals, Maharloo Lake, Korsia.

[*]Corresponding Author's Email: foroughifarid@gmail.com

بررسی مقادیر فلزات سنگین و ارزیابی میزان پتانسیل خطر در نمک دریاچه مهارلو و معدن کرسیا

فرید فروغی[1*]، راحیل ابراهیم‌پور[1]

۱. بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۹- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۷)

چکیده

یکی از مهمترین مواردی که همواره سلامت جوامع بشری را با تهدید مواجه ساخته آلودگی مواد غذایی به فلزات سنگین و رسیدن به محدوده خطر است. برای انجام این تحقیق در یک مطالعه موردی و کار آزمایشگاهی مقادیر عناصر سنگین (Cd، Zn، Cu، Pb، Mn، Ni و Fe) و پتانسیل خطر آن‌ها برای سلامت انسان از طریق مصرف نمک دریاچه مهارلو و معدن کرسیا برای دو گروه پذیرنده کودک و بزرگسال بررسی گردید. برای انجام این تحقیق از دریاچه مهارلو و معدن نمک کرسیا نمونه‌گیری شد و عناصر سنگین آن تعیین گردید. مقادیر ورود روزانه عناصر به بدن تعیین و با مقدار مرجع مقایسه شد. مقادیر پتانسیل خطر برای تمامی عناصر نمک دریاچه مهارلو برای بزرگسال و کودک کمتر از یک بود. این گفته به این معنی است که خطر ناشی از فلزات مورد بررسی در محدوده قابل‌قبول قرار دارد. برای نمک کرسیا مقادیر پتانسیل خطر برای فلز Pb و گروه کودک بیشتر از یک و برای بقیه فلزات (کودک و بزرگسال) کمتر از مقدار یک بود و نشان می‌دهد که احتمال بروز آثار سوء بیماری‌های غیر سرطانی برای کودکان وجود دارد. در بین فلزات مورد بررسی، برای نمک دریاچه مهارلو و نمک کرسیا بیشترین مقدار پتانسیل خطر (برای میانگین نمونه‌ها) برای فلز Pb و کمترین آن برای فلز Zn به‌دست آمد. مقدار شاخص خطرپذیری برای فلزات مورد بررسی برای بزرگسال و کودک، برای نمک مهارلو کمتر از یک و برای نمک کرسیا بیشتر از یک بود که نشان می‌دهد اثرات سوء بیماری‌های غیر سرطانی به‌دلیل مصرف عناصر سنگین ناشی از مصرف نمک کرسیا وجود دارد. مقدار آستانه نمک مصرفی برای سطح خطر ۱، خطر مزمن ناچیز برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به ترتیب برابر ۱۰۰۳/۸ و ۴۱۳۳/۴ mg/day و برای نمک کرسیا برای کودک و بزرگسال به ترتیب برابر ۱۳/۲ و ۵۴۳/۵ mg/day تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی خطر، آلودگی زیست‌محیطی، فلزات سنگین، دریاچه مهارلو، کرسیا.

مقدمه

افزایش جمعیت و محدود بودن اراضی کشاورزی باعث استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات گردیده است و موجب می‌شود تا پساب‌های کشاورزی و صنعتی وارد اکوسیستم های آبی-خاکی شوند. علاوه بر آن توسعه شهرنشینی و گسترش صنایع و شهرک‌های صنعتی نیز باعث به‌وجود آمدن معضلی بنام پساب‌های صنعتی گردیده است. فلزات سنگین به‌طورکلی از منابع طبیعی و انسان‌ساخت وارد محیط‌زیست می‌شود. در طی سالیان گذشته ورود آلاینده‌های فلزات سنگین با منشاء انسانی به‌داخل اکوسیستم‌ها به‌مقدار زیادی افزایش یافته است و به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات محیط‌های آبی به‌شمار می‌رود. دریاچه مهارلو نیز یکی از این اکوسیستم‌ها است که پساب‌های کشاورزی اطراف آن و فاضلاب شهری و صنعتی آلوده به فلزات سنگین از طریق مسیل‌ها و رودخانه‌های مجاور وارد آن می‌گردد. میزان ورود فلزات سنگین به‌داخل محیط‌زیست، معمولاً بیشتر از میزان برداشت آنها توسط فرایندهای طبیعی است. لذا با توجه به پایدار بودن فلزات سنگین در محیط‌زیست، گذشت زمان و انباشت آلاینده‌های زیست‌محیطی (که به فلزات سنگین آلوده شده‌اند) می‌تواند لطمات جبران‌ناپذیری به این دریاچه و اکوسیستم‌های مجاور آن وارد کند، به‌ویژه در سال‌های کم‌بارش (که منجر به خشک شدن بخشی از دریاچه می‌گردد) وزش باد می‌تواند سبب بلند شدن ذرات آلوده به فلزات سنگین و حمل آنها توسط جریان باد شود و مشکلات گوناگون زیادی را برای سلامتی انسان‌ها ایجاد نمایید. به‌دلیل پایدار بودن فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و خاکی، هنگامی‌که این عناصر به بدن موجودات زنده وارد می‌شود، علاوه بر سمی و خطرناک بودن آنها این امکان وجود دارد که در اثر فعل و انفعالات شیمیایی مختلف که در بدن موجود زنده صورت می‌گیرد به مواد خطرناک و سمی تبدیل شوند هرچند مقادیر کم برخی از این عناصر از قبیل روی و مس برای موجودات زنده ضروری است اما چنانچه مقادیر این عناصر بیش از حد مجاز

* نویسنده مسئول: foroughifarid@gmail.com

باشد باعث بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی موجودات زنده شده و عوارضی از قبیل حساسیت‌های معمولی تا مسمومیت‌های شدید و حتی مرگ و میر موجودات زنده را سبب می‌گردند. این عناصر معمولاً از طریق تماس مستقیم با منابع آلوده‌کننده، تنفس و رژیم غذایی وارد بدن موجود زنده می‌شوند. در ادامه اثرات منفی فلزات سنگین بر سلامت انسان در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول رهنمودهای بهداشتی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، US EPA برای برخی فلزات سنگین و تأثیرات مهم آنها بر سلامت انسان گزارش شده است. به‌طورکلی حضور دائمی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی، تهدید جدی برای سلامت جوامع بشری است.

جدول ۱- اثرات سمی برخی از فلزات سنگین بر سلامت انسان حسب ppm (گزارش‌شده توسط Dixit *et al.*, 2015)

نام فلز	محدودیت قانونی USEPA	اثرات سمی
Cu	۱/۳	آسیب کلیوی و مغزی، در غلظت‌های بالا منجر به سیروس کبدی و کم‌خونی مزمن، التهاب روده و معده
Cr	۰/۱	ریزش مو
Cd	۵	سرطان‌زا، جهش‌زا، اختلالات غده درون‌ریز، آسیب به ریه، شکننده شدن استخوان‌ها، بهم زدن تعادل کلسیم در سیستم‌های بیولوژیکی
Hg	۲	بیماری‌های خود ایمنی، افسردگی، خواب‌آلودگی، خستگی، ریزش مو، بی‌خوابی، از دست دادن حافظه، بی‌قراری، اختلال در بینایی، لرزش، بدخلق و خویی، صدمه به مغز، نارسایی کبدی و ریوی
As	۰/۰۱	تأثیر بر فرایندهای ضروری سلولی مانند فسفریلاسیون اکسایشی و سنتز ATP
Pb	۱۵	مواجهه زیاد کودکان می‌تواند سبب اختلال در رشد، کاهش هوش، از دست دادن حافظه کوتاه‌مدت، ناتوانی در یادگیری و هماهنگی، ریسک بیماری قلبی و عروقی شود.
Zn	۰/۵	گیجی، خستگی
Ni	*۰/۲	بیماری‌های آلرژیک پوستی مانند خارش، سرطان ریه، بینی، سینوس، گلو از طریق استنشاق مدام، ایمنی سمی، سمیت عصبی، ژنتیکی، باروری و ریزش مو را تحت تأثیر قرار می‌دهد

* حد مجاز WHO

دریاچه مهارلو در شرقی‌ترین بخش جلگه شیراز قرار دارد. نام این دریاچه، برگرفته از نام روستای مهارلو (از توابع شهرستان سروستان) است که در مجاورت آن قرار گرفته است. این روستا در بخش ساحلی دریاچه واقع است. در خشکسالی سال ۱۳۸۷ بخش اعظم دریاچه مهارلو خشک شد و از این دریاچه به‌غیر از نیزارها و تالاب‌های اقماری چیزی به‌جا نماند. این دریاچه در تابستان سال ۱۳۹۵ خورشیدی به‌طور کامل خشک شد و شهر شیراز را در خطر طوفان‌های نمک و ریزگردهای کشنده قرار داده است. خوشبختانه بارندگی‌های پاییز و زمستان سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ باعث احیای آن گردیده است. دریاچه مهارلو یک زیستگاه مناسب برای حیات‌وحش منطقه است و یکی از اکوسیستم‌های آبی مهم کشور محسوب می‌گردد. متاسفانه فاضلاب‌های شهری، سموم و پساب‌های کشاورزی و صنعتی از نقاط مجاور این دریاچه مانند شهر شیراز و مزارع کشاورزی روستاهای اطراف دریاچه، همچنین شهرک صنعتی شیراز به این تالاب وارد می‌شود.

معمولاً برداشت نمک از دریاچه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مرسوم است. Cheraghali *et al.* (2010) گزارش کردند که برداشت نمک از دریاچه‌های نمکی سابقه طولانی دارد و به ۶ هزار سال قبل از میلاد بر می‌گردد. فعالیت‌های انسانی از قبیل دفع پساب‌های تصفیه نشده، کودهای حاوی فلزات سنگین و استخراج معادن باعث آلوده شدن محیط‌زیست به فلزات سنگین می‌شود (Brahman *et al.*, 2013; Sacmac *et al.*, 2012). به دلیل ورود پساب‌های آلوده به این دریاچه‌ها همواره این احتمال وجود دارد که نمک‌های این دریاچه‌ها به فلزات سنگین آلوده شده باشند لذا پژوهشگران زیادی به بررسی آلودگی فلزات سنگین این مکان‌ها پرداخته‌اند (Siddique *and* Aktar., 2012). آلودگی‌های فلزات سنگین می‌تواند منشاء طبیعی هم داشته باشد و در اثر هوازدگی سنگ‌ها و خاک‌هایی که حاوی این فلزات هستند و تماس با منابع آبی، این آلودگی وارد محیط‌زیست می‌شود (Hou *et al.*, 2013). (Forghani Tehrani, 2009) آلودگی زیست‌محیطی دریاچه مهارلو به عناصر Cd، Zn، Cu، Pb، Cr، As، Co Ni، Mn، و Fe را مورد ارزیابی قرار داد و با گونه‌سازی (Specification) عناصر گزارش کرد که عناصر Cr، Fe و Cu نامتحرک و منشأ آنها عمدتاً طبیعی است. در حالی که دیگر عناصر موردمطالعه عمدتاً از منشأ انسان‌ساخت وارد دریاچه شده‌اند. آلودگی‌های فلزات سنگین در محیط‌زیست معمولاً منشاء انسانی دارد. Argos *et al.* (2011) گزارش کردند که به‌طورکلی می‌توان گفت که حدود ۳۵ فلز سمی وجود دارد که از طریق آلودگی‌های محیط‌زیست، می‌تواند سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهد که از این تعداد در حدود ۲۳ فلز جزو فلزات سنگین

محسوب می‌شوند. Leendertse *et al.* (1996) مقادیر فلزات سنگین در تالاب‌های نمکی و Eksperiandova *et al.*, (1998) مقدار فلزات سنگین موجود در آبهای شور و شیرین را بررسی کردند.

درخصوص ارزیابی خطر عناصر سنگین مطالعات بسیاری در مقیاس جهانی صورت گرفته است که می‌توان به‌مواردی از جمله مطالعه Khan *et al.*, (2010)، Narsimha *et al.* (2020)، و Khademi *et al.* (2019) اشاره کرد. (Cheraghali *et al.*, 2010) در یک مطالعه، آلودگی فلزات سنگین (Pb، Cd، Hg و As) در نمک خوراکی مصرف‌شده در ایران را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که فلزات سنگین آزمایش‌شده کاملاً کمتر از حداکثر تعیین‌شده توسط Codex بود. (Heshmati *et al.*, 2014) در یک تحقیق آلودگی فلزات سنگین Cd، Hg، Cu، Pb، وFe در نمک طعام تصفیه‌شده و نشده در استان همدان را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که به‌طورکلی محتوای فلزات سنگین موردبررسی در نمک‌های تصفیه نشده نسبت به نمک تصفیه‌شده در سطح بالایی قرار داشت. (Jahed Khaniki *et al.*, 2007) غلظت عناصر Pb، Cd، Zn، Fe، Cu و Al در ۶۰ نمونه نمک آشپزخانه و نمک سفره را بررسی و گزارش کردند که در برخی از نمک‌های خوراکی مقدار بعضی از فلزات سمی بیش از حداکثر غلظت مجاز توصیه‌شده توسط Codex و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران[1] (ISIRI) است. (Barzegar *et al.*, 2019) مقادیر فلزات سنگین و خصوصیات کیفی ۲۹ نمونه آب زیرزمینی در شبستر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در برخی از نمونه‌ها غلظت As، Pb و Zn بیش از حد استاندارد WHO برای آب آشامیدنی بوده است. نتایج ارزیابی خطر سلامتی انسان نشان داد که As مهمترین فلز در ایجاد حداکثر خطر غیر سرطان‌زا در میان تمام فلزات سنگین (و دیگر فلزات) است. Aghili *et al.* (2009) و Aghili *et al.* (2012) ارزیابی خطر ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای (خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای) در استان‌های اصفهان و قم را مطالعه کردند. Chavoshi *et al.* (2011) خطر ناشی از فلوراید از مسیرهای آب، خاک و گیاه بر سلامت ساکنین استان اصفهان را مورد ارزیابی قرار داد.

(Fallah *et al.*, 2020) ارزیابی خطر و آلودگی فلزات سنگین (Cd، Ni، Pb و Zn) رودخانه بابل‌رود را بررسی کردند. مقادیر پتانسیل خطر (Hazard Quotients, HQ) از طریق بلع برای Pb از ۱/۰۴-۷/۸۳ µgr/L متغیر بود و در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای گروه کودکان بالاتر از یک بود. در مقابل، مقادیر HQ (بلع و پوستی) برای هر دو گروه برای Zn و Ni در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از یک بود. مقادیر HI (Hazard Index) برای کودکان بسیار بیشتر از بزرگسالان بود. (Kumar *et al.*, 2019a) آلودگی آب‌های سطحی به فلزات سنگین در مقیاس جهانی و از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ را با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره و شاخص‌های آلودگی بررسی کرد. از میان ۱۴۷ نشریات موردبررسی مقادیر میانگین فلزات Cr، Mn، Co، Ni، As، Cd از حد مجاز پیشنهادی WHO و USEPA بیشتر بود. نتایج شاخص آلودگی فلزات سنگین، شاخص ارزیابی، میزان آلودگی، آلودگی آب و بار مسمومیت نشان داد که منابع آبی موردبررسی بسیار آلوده به فلزات سنگین می‌باشند.

(Kumar *et al.*, 2019b) با بررسی منابع علمی مختلف از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ آلودگی خاک‌های کشور هند را موردبررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر میانگین As و Cu برای همه انواع خاک به غیر از خاک‌های کنار جاده، از حد مجاز بیشتر بود. آنها با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و تجزیه و تحلیل عامل و تعیین شاخص‌های آلودگی بیان کردند که Cd و As مهمترین آلودگی‌ها هستند. (Amouei *et al.*, 2018) آلودگی فلزات سنگین (As، Cd، Co، Cr، Ni، Pb و Zn) و ارزیابی خطر در ۵۰ نمونه خاک سطحی در بابل را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که ارزیابی ریسک نمونه‌های خاک از درجه پایین تا متوسط آلودگی طبقه‌بندی می‌شود. (Meng *et al.*, 2016) مقادیر فلزات سنگین در نمونه خاک و گیاه پس از آبیاری طولانی مدت با پساب فاضلاب در تیانجین چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خاک آبیاری شده با پساب فاضلاب دارای غلظت‌های بالاتری از فلزات Cd، Cu، Pb، Zn، Ni، Cr، As و Hg در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب معمولی است. (Bartkowiak *et al.*, 2017) خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک‌های تحت تأثیر نمک در یک منطقه در لهستان را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که مقدار فلز Cu، Pb، Zn، و Cd در خاک‌های موردمطالعه بیش از حد استاندارد لهستان است. (Gad *et al.*, 2020) غلظت فلزات سنگین (Cd، Co، Cr، Cu، Ni، Pb، V و Zn) و ریسک سلامت، برای نمک‌های تصفیه نشده‌ی دریاچه-های بسیار شور (واحه سیوا و وادی النترون) در کشور مصر را تعیین نمودند. نتایج نشان داد که شاخص خطر غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا برای نمک واحه سیوا کمتر از سطح قابل‌قبول بود اما مقادیر شاخص‌های خطر سلامتی انسان برای نمک وادی النترون بالاتر از سطح قابل قبول بود. نمک وادی النترون در مقایسه با

1 Institute of Standards and Industrial Research of Iran

نمک واحه سیوا و سراسر جهان حاوی غلظت بالایی از فلزات سنگین بود. (Wang *et al*., 2005) ریسک سلامت عناصر سنگین از طریق مصرف ماهی و سبزیجات را مورد ارزیابی قرار دادند. Bo *et al*. (2009) ریسک سلامت عناصر سنگین (As، Cr، Cu، Ni، Pb، Cd و Zn) ناشی از مصرف سبزیجات برای افراد ساکن در شهر بیگنیگ چین را مورد بررسی قرار دادند. آنها مقدار HI کل را برای سه گروه سنی موردمطالعه (کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان) کمتر از یک به‌دست آوردند. Zheng *et al*. (2007) ریسک سلامت ناشی از بلع عناصر سنگین از طریق مصرف سبزیجات در شهر صنعتی هولادو (Huludao) چین را مورد مطالعه قرار دادند. آنها مقدار HI در هر دو گروه سنی را بیشتر از یک گزارش کردند. (Islam *et al*., 2018) در یک تحقیق در چندین شهر در بنگلادش آلودگی آب، خاک و مواد غذایی به فلزات سنگین را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که خاک‌های نزدیک به مناطق پرتردد و صنعتی دارای غلظت بالایی از فلزات سنگین (و دیگر فلزات) هستند. اراضی و محصولات کشاورزی مناطقی که با پساب فاضلاب آبیاری شده‌اند، آب رودخانه، رسوبات و ماهی‌ها همگی آلوده به فلزات سنگین (و دیگر فلزات) هستند.

با توجه به‌مصرف نمک استخراج‌شده از این دریاچه (در مواردی مصرف مستقیم خوراکی) و همچنین معدن کرسیای داراب (مصرف مستقیم خوراکی و به‌مقدار زیاد در منطقه) تحقیق حاضر با هدف اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمک این دریاچه و مقایسه این عناصر با معدن نمک کرسیای داراب و ارزیابی و تعیین پتانسیل خطر عناصر سنگین بر سلامت انسان از طریق مصرف آنها صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

دریاچه مهارلو و گنبد نمکی کرسیا

دریاچه مهارلو به ابعاد ۱۰ در ۶ کیلومتر و مساحت ۲۵ هزار هکتار، در موقعیت "۲۷ ´۲۷ °۲۹ عرض شمالی و "۲۲/۹ ´۴۸ °۵۲ طول شرقی قرار دارد. این دریاچه در ۲۳ کیلومتری جنوب شرقی شهر شیراز و در غرب دریاچه بختگان قرار گرفته و از دو رودخانه فصلی سلطان‌آباد و رودخانه خشک تغذیه می‌گردد. آب چند چشمه نیز عمدتاً از قسمت‌های غربی و شمالی وارد این دریاچه می‌شود. دریاچه مهارلو دارای آب بسیار شوری است به‌طوری‌که در فصل‌های خشک یکی از کانسارهای بزرگ نمک ایران به‌شمار می‌آید. فرآوری نمک این دریاچه توسط مجتمع استحصال نمک وابسته به پتروشیمی شیراز انجام می‌شود. علاوه بر آن از این دریاچه برای تهیه نمک صنایع استان فارس نیز استفاده می‌شود.

گنبد نمکی کرسیا با مساحت بالغ بر ۳۵/۵ کیلومترمربع در موقعیت "۴۶ ´۲۸ °۲۸ عرض شمالی و "۴۰ ´۲۳ °۵۴ طول شرقی در جنوب شرقی استان فارس و در ارتفاع ۱۰۸۳ متری از سطح دریا واقع شده است. این معدن فعال بوده و استخراج آن برای مصارف صنعتی انجام می‌گردد. نمک استخراجی توسط تعداد زیادی مغازه در حاشیه جاده به‌فروش رسیده و اغلب به‌مصرف خوراکی می‌رسد. در شکل (۱) موقعیت دریاچه مهارلو و گنبد نمکی کرسیا نشان داده شده است.

برای انجام این تحقیق از معدن نمک کرسیا و حاشیه جنوبی دریاچه مهارلو (هر کدام ۱۰ نمونه) نمونه‌گیری شد. سپس نمونه‌های تهیه‌شده برای آنالیز و تعیین عناصر سنگین به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای تعیین مقدار عناصر سنگین نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی استفاده گردید. در این دستگاه برای قرائت غلظت هر عنصر لامپ خاصی (که مختص همان عنصر است) مورد نیاز می‌باشد که از قبل در جایگاه مخصوص قرار داده می‌شود. نمونه‌های استاندارد غلظت هر عنصر نیز از قبل تهیه و به دستگاه معرفی گردید. در گام بعد نمونه‌های تهیه‌شده از دریاچه مهارلو برای تعیین مقدار عناصر سنگین در جایگاه مخصوص دستگاه قرار داده شد. مقدار غلظت هر عنصر با توجه به‌میزان نور عبوری (ساطع‌شده از لامپ مخصوص هر عنصر) از شعله دستگاه (حاصل از سوختن گازهای استیلن، استون و هوا) از مانیتور دستگاه قابل قرائت است.

ارزیابی اثرات غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین

به‌طورکلی اثرات منفی ناشی از ورود فلزات سنگین به بدن انسان به دو نوع اثرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی تقسیم می‌شود (USEPA, 2000). به‌منظور ارزیابی اثرات غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین از تابعی به‌نام نسبت خطر (THQ[1]) یا پتانسیل خطر استفاده می‌شود که عبارت از نسبت غلظت آلاینده موردنظر به مقدار مرجع خوراکی (RfD[2])، است (USEPA, 2000). چنانچه مقدار THQ کوچک‌تر از یک باشد نشان می‌دهد که احتمالاً خطر قابل‌توجهی در دوره زندگی متوجه فرد نخواهد شد (USEPA, 2000).

$$THQ = EDI/RfD \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

مقدار مرجع خوراکیRfD عبارت از ورود روزانه یک آلاینده به بدن یک فرد در طول دوره زندگی وی (بدون بروز خطر قابل‌توجه) است که واحد آن میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن بر

1 Target Hazard Quotient
2 Oral Reference Dose

روز است و از جداول ارائه‌شده توسط EPA تعیین می‌شود. EDI[۱] میزان دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق بلع آب، خاک و ماده غذایی به‌ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز ($mgr\ kg^{-1}\ day^{-1}$) است و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد (USEPA, 1989).

(رابطه ۲)

$$EDI = (IR \times C \times ED \times EF \times CF)/(BW \times AT)$$

در این رابطه IR میزان مصرف ماده غذایی mg/day ، C غلظت آلاینده در ماده خوراکی mg/kg ، ED طول دوره مصرف years، EF دفعات مصرف در سال Days/Years، CF فاکتور تبدیل و برابر 10^{-6} kg/mg، BW وزن بدن، Kg و AT حاصل‌ضرب ED در تعداد روزهای سال حسب years است. خطر-پذیری کل یا ارزیابی تجمعی خطر بیماری‌های غیر سرطانی از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود.

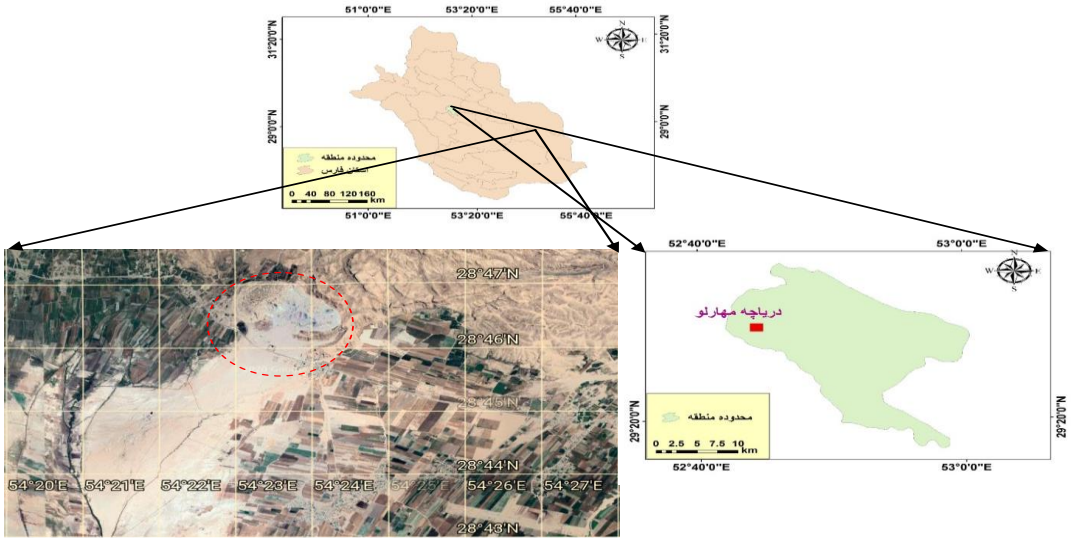
(رابطه ۳)

$$HI = \sum_{i=1}^{n} THQ_i$$

در این رابطه HI شاخص خطرپذیری یا شاخص تجمعی خطر و n تعداد آلاینده‌های موردبررسی است. چنانچه رابطه ۲ را در رابطه ۱ جایگذاری کنیم رابطه ۴ به‌دست می‌آید. چنانچه در این رابطه برای هر فلز سنگین مقدار پارامترهای معادله به‌جز IR را لحاظ کنیم، آنگاه رابطه به‌شکل معادله خطی $THQ = m \times IR$ ساده می‌گردد.

(رابطه ۴)

$$THQ = IR \times \left(\frac{C \times ED \times EF \times FI \times CF}{RfD \times BW \times AT}\right) = IR \times m, \quad m = \frac{C \times ED \times EF \times FI \times CF}{RfD \times BW \times AT}$$



شکل ۱- موقعیت دریاچه مهارلو و معدن نمک کرسیا

حال با داشتن معادله ساده‌شده با تغییر مقدار مصرف نمک می‌توان به‌راحتی پتانسیل خطر یا احتمال ابتلا به بیماری‌های غیر سرطانی را برای بزرگسال و کودک محاسبه نمود. با استفاده از معادله ۳ و ۴ معادله ۵ به‌دست می‌آید که در آن با داشتن ضرایب m_i برای هر فلز و مقدار نمک مصرفی می‌توان خطرپذیری یا شاخص تجمعی خطر را با استفاده از رابطه جدید زیر محاسبه نمود.

(رابطه ۵)

$$HI = \sum_{i=1}^{n} THQ_i = (\sum_{i=1}^{n} m_i) \times IR$$

گروه‌های سنی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت شامل افراد بزرگسال (۵۴-۱۸) سال و کودک (زیر ۷ سال) در نظر گرفته شد (Kheirabady et a, 2015). دفعات مصرف EF برابر تعداد روزهایی از سال است که ماده موردنظر (نمک) مورداستفاده قرار می‌گیرد که برابر ۳۶۵ روز از سال در نظر گرفته شد. طول دوره مصرف در این تحقیق برای بزرگسال ۳۰ سال و برای کودک ۴ سال در نظر گرفته شد. وزن بدن برای افراد بالغ و کودک به-ترتیب برابر ۷۰ و ۱۷ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

غلظت عناصر سنگین در نمک دریاچه مهارلو و معدن کرسیا

مقادیر میانگین، خطای استاندارد، حداقل و حداکثر غلظت فلزات سنگین در نمونه نمک دریاچه مهارلو در جدول (۲) ارائه شده است. میانگین مقادیر غلظت فلزات سنگین به‌لحاظ ترتیب برابر

۱. Estimated daily intake

Cd<Zn<Cu<Pb<Mn<Ni<Fe بود. بیشترین و کمترین مقدار غلظت فلزات (به‌ترتیب) برای Fe برابر ۲۶/۲۴ و ۱۲/۸۶، برای Ni برابر ۵/۸۵ و ۳/۰۱، برای Mn برابر ۳/۸۹ و ۲/۳، برای Pb برابر ۳/۳۷ و ۱/۹۷، برای Cu برابر ۲/۱۵ و ۱/۶۱، برای Zn برابر ۱/۹۹ و ۱/۰۴ و برای Cd برابر ۰/۷۹ و ۰/۴۶ mg/kg بود. میانگین ± خطای استاندارد برای Fe برابر ۱۷/۱±۰/۳۷۱، برای نیکل ۴/۰۹±۰/۰۸۷، برای Mn برابر ۳/۲۶±۰/۰۵۲، برای Pb ۲/۷۳±۰/۰۴۶ ، برای Cu برابر ۱/۸۸±۰/۰۲۰، برای Zn برابر ۱/۶±۰/۰۳۱ و برای Cd برابر ۰/۰۴ ±۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در بین نمونه‌های نمک موردمطالعه Fe بیشترین غلظت و Cd کمترین غلظت را داشته است. میانگین غلظت فلزات سنگین Fe، Pb و Cd در نمک دریاچه مهارلو (به‌ترتیب برابر ۱۷/۱، ۲/۷۳ و ۰/۶۱ mg/kg بود) از حداکثر مقدار مجاز توصیه‌شده توسط استاندارد نمک طعام ایران ISIIR ۱۱۹۵، (برای Fe، Pb و Cd به‌ترتیب برابر ۱۰، ۱ و ۰/۲ mg/kg) بیشتر بود. مقدار میانگین غلظت Cu (۱/۸۸ mg/kg) با اختلاف اندکی از مقدار مجاز توصیه‌شده توسط استاندارد ۱۱۹۵ ایران (mg/kg) کمتر بود.

جدول ۲- میانگین مقادیر غلظت فلزات سنگین در نمک دریاچه مهارلو، mg/kg

کمیت	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
میانگین	۱۷/۱	۱/۶	۳/۲۶	۱/۸۸	۲/۷۳	۰/۶۱	۴/۰۹
حداقل	۱۲/۸۶	۱/۰۴	۲/۳	۱/۶۱	۱/۹۷	۰/۴۶	۳/۰۱
حداکثر	۲۶/۲۴	۱/۹۹	۳/۸۹	۲/۱۵	۳/۳۷	۰/۷۹	۵/۸۵
خطای استاندارد	۰/۳۷۱	۰/۰۳۱	۰/۰۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰۴۶	۰/۰۱	۰/۰۸۷

میانگین، خطای استاندارد، حداقل و حداکثر مقادیر فلزات سنگین موجود در نمونه نمک معدن کرسیای داراب در جدول (۳) ارائه شده است. میانگین مقادیر غلظت فلزات سنگین به‌لحاظ ترتیب برابر Zn<Cu<Cd<Mn<Pb<Ni<Fe بود. بیشترین و کمترین مقدار غلطت (به‌ترتیب) برای Fe برابر ۴۵/۸۸ و ۳۴/۸، برای Ni برابر ۳۹/۳۱ و ۲۹/۱۴، برای Pb برابر ۲۳/۹۴ و ۲۱/۵، برای Mn برابر ۴/۸ و ۴/۲، برای Cd برابر ۴/۵۹ و ۴/۲۵، برای Cu برابر ۲/۰۳ و ۱/۵۸ و برای Zn برابر ۰/۴۳۲ و ۰/۰۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین ± خطای استاندارد برای Fe برابر ۴۲/۹۶±۰/۵۶، برای Ni برابر ۳۴/۵۶±۰/۴۸، برای Pb برابر ۲۲/۹۵±۰/۱۱، برای Mn برابر ۴/۵۶±۰/۰۲۳، برای Cd برابر ۴/۴۲±۰/۰۱۵، برای Cu برابر ۱/۸±۰/۰۱۷ و برای Zn برابر ۰/۲۴±۰/۰۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در بین نمونه‌های نمک موردمطالعه فلز Fe بیشترین غلظت و Zn کمترین غلظت را داشته است. میانگین غلظت فلزات سنگین آهن، سرب و کادمیم در نمک معدن کرسیا (به‌ترتیب برابر ۴۲/۹۶، ۲۲/۹۵ و ۴/۴۲ mg/kg بود) که از حداکثر مقدار مجاز توصیه‌شده توسط استاندارد ۱۱۹۵ ایران (برای Fe، Pb و Cd به‌ترتیب برابر ۱۰، ۱ و ۰/۲ mg/kg) بسیار بیشتر بود. مقدار میانگین غلظت Cu (۱/۸ mg/kg) با اختلاف اندکی از مقدار مجاز توصیه‌شده توسط استاندارد ۱۱۹۵ ایران (mg/kg) کمتر بود. به‌منظور مقایسه مقادیر غلظت فلزات سنگین در نمونه نمک دریاچه مهارلو با سنگ نمک معدن کرسیا داراب، از نرم‌افزار SPSS و از آزمون t استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. بر این اساس برای فلز Ni، Cd، Pb، Mn، Zn و Fe در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت، در حالی‌که برای فلز Cu تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده نشد. بیشترین مقدار غلظت فلز Ni، Cd، Pb، Mn در سنگ نمک معدن کرسیا به‌دست آمد درحالی که بیشترین مقدار غلظت فلز Cu، Zn و Fe در دریاچه مهارلو تعیین گردید.

جدول ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین در سنگ نمک معدن کرسیای داراب، mg/kg

	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
میانگین	۴۲/۹۶	۰/۲۴	۴/۵۶	۱/۸	۲۲/۹۵	۴/۴۲	۳۴/۵۶
حداقل	۳۴/۸	۰/۰۵۴	۴/۲	۱/۵۸	۲۱/۵۰	۴/۲۵	۲۹/۱۴
حداکثر	۴۵/۸۸	۰/۴۳۲	۴/۸	۲/۰۳	۲۳/۹۴	۴/۵۹	۳۹/۳۱
خطای استاندارد	۰/۵۶	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷	۰/۱۱	۰/۰۱۵	۰/۴۸

جدول ۴- آزمون t برای مقایسه میانگین مقادیر غلظت فلزات سنگین در سنگ نمک معدن کرسیای داراب با دریاچه مهارلو

فلز سنگین	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	0.33	.000	.000	.000

مقدار کل فلز سنگین واردشده به بدن برای نمک دریاچه مهارلو

با استفاده از معادله (۲) فلز جذب‌شده محاسبه گردید که با ضرب کردن در وزن بدن مقدار کل فلز سنگین واردشده به بدن از طریق مصرف نمک دریاچه مهارلو و معدن کرسیا برای دو گروه سنی بزرگسال و کودک به‌دست می‌آید که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. به‌منظور مقایسه‌ی مقادیر فلزات سنگین واردشده به بدن با مقادیر مرجع، از استاندارد FDA، Codex، ISIRI (جدول ۶) استفاده شد. برای تخمین میزان دریافت روزانه ایمن آلاینده-هایی مانند فلزات سنگین مقدار مرجعی تحت عنوان میزان دریافت قابل‌تحمل روزانه موقت[1] (PTDI) حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن، توسط کمیته مشترک متخصصان سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی JECFA[2] تعیین شده و به‌عنوان یک شاخص اولیه سلامت جهت تعیین میزان کل در معرض آلاینده موردنظر قرار گرفتن از منابع غذایی و غیر غذایی به‌کار می‌رود که با ضرب کردن آن در وزن بدن میزان دریافت قابل‌تحمل روزانه برای هر فرد ($PTDI_p$) به-دست می‌آید. برای تعیین مقدار نمک مصرفی از گزارش Hadian *et al.*, (2020) استفاده شد. در این گزارش مقادیر نمک مصرفی در چند نقطه کشور گزارش شده است. در تحقیق حاضر میانگین مقادیر گزارش شده یعنی ۱۱ گرم در روز در نظر گرفته شد. معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی گلستان Deputy of Food and Drugs (2015) به‌نقل از معاون بهداشت (وزیر بهداشت) گزارش کرد که ۵۰ درصد از نمک مصرفی از طریق خوردن مواد غذایی وارد بدن می‌شود. بنابراین در این تحقیق مقدار نمک مصرفی مستقیم برای بزرگسال برابر ۵/۵ گرم در روز لحاظ گردید. در خصوص میزان نمک مصرفی کودکان در ایران گزارش مکتوبی موجود نیست اما دفتر بهبود تغذیه جامعه، معاونت بهداشت (وزرات بهداشت درمان و آموزش پزشکی) مقدار مجاز توصیه‌شده نمک برای کودکان (گزارش سازمان بهداشت جهانی) را برابر ۳ گرم در روز اعلام نموده است (Saie and Namdari, 2015) که در این تحقیق برای کودکان در نظر گرفته شد. برای دریاچه مهارلو مقدار کل فلز واردشده به بدن، (Ni، Cu و Zn) برای بزرگسال و کودک کمتر از مقدار مجاز توصیه‌شده روزانه[3] آنها (RDA) (جدول ۵) بود. مقدار فلز Pb واردشده به بدن برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۵ $mgr\ day^{-1}$ بود. میزان دریافت قابل تحمل روزانه موقتی (PTDI) بر اساس ISIRI 12968 برابر ۰/۰۰۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن می-باشد. با توجه به وزن بدن در این تحقیق (برای افراد کودک و بزرگسال به‌ترتیب برابر ۱۷ و ۷۰ کیلوگرم) مقدار $PTDI_p$ به‌ترتیب برای بزرگسال و کودک برابر ۰/۲۵۲ و ۰/۰۶۱ $mg\ day^{-1}$ به‌دست آمد. در نتیجه مقدار فلز Pb نیز برای بزرگسال و کودک کمتر از مقدار مجاز بوده است. مقدار کل فلز Cd واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۳۳ و ۰/۰۰۱۸ $mgr\ day^{-1}$ است که کمتر از مقدار بالاترین حد قابل‌تحمل خوردن UL[4] کادمیم است.

جدول ۵- مقدار فلز واردشده به بدن $mg\ day^{-1}$ برای مهارلو و کرسیا، بزرگسال و کودک.

دریاچه مهارلو							
نوع فلز / گروه سنی	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
بزرگسال	۰/۰۹۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۲۴
کودک	۰/۰۵۱	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۲۲
نمک کرسیا							
نوع فلز / گروه سنی	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
بزرگسال	۰/۲۳۶	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۱۲۶	۰/۰۲۴	۰/۱۹۰
کودک	۰/۱۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۹	۰/۰۱۳	۰/۱۰۴

جدول ۶- مقادیر مجاز فلزات سنگین در استانداردهای مختلف

استاندارد FDA و EPA، مقادیر UL، RDA و RfD (گزارش‌شده توسط Kheirabady *et al.*, 2015)

1 Provisional Tolerable Daily Intake
2 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive
3 Recommended Daily Intake
4 Upper Tolerable Daily Intakes

نوع فلز / توصیه/گروه سنی	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
RDA بزرگسال $mg\ day^{-1}$	۸	۱۱	۲-۳	۰/۹	-	۰/۰	۰/۵
RDA کودک $mg\ day^{-1}$	-	۳-۵	-	۰/۳۴-۰/۴۴	-	-	۰/۲-۰/۳
UL $mg\ day^{-1}$	۴۵	۴۰	۱۱	۱۰	-	۰/۰۶۴	۱
RfD $mg\ kg^{-1}day^{-1}$	۰/۷	۰/۳	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲

	بیشینه میزان آلاینده فلزی در نمک خوراکی ISIRI 1195 بیشینه مجاز mg/kg	میزان دریافت قابل‌تحمل روزانه موقتی ISIRI mg/kg Bw 12968	بیشترین مقدار مجاز فلز سنگین در نمک یددار mg/kg Codex
Ni	-	-	-
Cd	۰/۲	۰/۰۰۱	۰/۵
Pb	۱	۰/۰۰۳۶	۲
Cu	۲	-	۲
Mn	-	-	-
Zn		-	-
Fe	۱۰	-	-

مقدار PTDI برای Cd بر اساس استاندارد ISIRI 12968 برابر ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن است. با توجه به وزن بدن کودک و بزرگسال در این تحقیق مقدار $PTDI_p$ برای کادمیوم به‌ترتیب برای بزرگسال و کودک برابر ۰/۰۷ و ۰/۰۱۷ $mgr\ day^{-1}$ تعیین گردید که میزان Cd واردشده به بدن بر این اساس کمتر از مقدار مجاز است. مقدار فلز Mn واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۱۷۹ و ۰/۰۱۰ $mgr\ day^{-1}$ بود که برای بزرگسال کمتر از مقدار Mn RDA و برای کودک کمتر از مقدار UL منگنز بود. مقدار فلز Fe واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۹۴ و ۰/۰۵۱ $mgr\ day^{-1}$ بود که برای بزرگسال کمتر از مقدار RDA آهن و برای کودک نیز کمتر از مقدار UL آهن بود. برای مهارلو بیشترین مقدار فلز واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک Fe و کمترین آن Cd بود.

مقدار کل فلز سنگین واردشده به بدن برای نمک معدن کرسیا

برای معدن کرسیا مقدار کل فلز واردشده به بدن، (Ni، Cu و Zn) برای بزرگسال و کودک کمتر از مقدار RDA آنها بود. مقدار فلز Pb واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۱۲۶ و ۰/۰۶۹ $mgr\ day^{-1}$ بود. با توجه به مقدار $PTDI_p$ سرب به‌ترتیب برای بزرگسال و کودک برابر ۰/۲۵۲ و ۰/۰۶۱ $mgr\ day^{-1}$،مقدار فلز Pb واردشده به بدن برای کودک بیشتر از مقدار مجاز بوده اما برای بزرگسال کمتر از مقدار مجاز است. مقدار فلز Cd واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۲۴ و ۰/۰۱۳ بود که کمتر از UL کادمیم است. با توجه به مقدار $PTDI_p$ کادمیوم، برای بزرگسال و کودک مقدار Cd واردشده به بدن کمتر از مقدار مجاز است. مقدار فلز Mn واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۲۵ و ۰/۰۱۴ بود. که برای بزرگسال کمتر از RDA منگنز و برای کودک کمتر از مقدار UL منگنز بود. مقدار فلز Fe واردشده به بدن برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۲۳۶ و ۰/۱۲۹ بود که برای بزرگسال کمتر از مقدار RDA آهن و برای کودک کمتر از مقدار UL آهن بود. برای کرسیا برای بزرگسال و کودک بیشترین فلز واردشده به بدن Fe و کمترین آن Zn بود.

پتانسیل خطر عناصر سنگین

با استفاده از فرمول ۱ مقادیر پتانسیل خطر برای هر یک از فلزات سنگین موجود در هر یک از نمونه‌های دریاچه مهارلو محاسبه گردید و نتایج آنها در شکل (۲) ارائه شد (نمونه شماره ۱ میانگین تمام نمونه‌هاست). طبق شکل (۲)، در بین فلزات موردبررسی برای نمک دریاچه مهارلو بیشترین مقدار پتانسیل خطر (برای میانگین نمونه‌ها) برای فلز Pb به‌دست آمد که برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۶۱ و ۰/۱۳۸ و کمترین مقدار پتانسیل خطر (برای میانگین نمونه‌ها) برای فلز Zn بوده که برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۰۴ و ۰/۰۰۰۹۴ به‌دست آمد. مقادیر پتانسیل خطر برای تمامی فلزات (موردبررسی در این تحقیق) نمک دریاچه مهارلو برای بزرگسال و کودک کمتر از ۱ بود که نشان می‌دهد خطر ناشی از فلزات مورد بررسی در محدوده قابل‌قبول قرار دارد. مقادیر THQ برای بزرگسال و کودک برای دریاچه مهارلو به‌لحاظ ترتیب قرارگیری برابر Zn<Mn<Fe<Cu<Ni<Cd<Pb بود که با ترتیب قرارگیری غلظت آنها (جدول ۲) تفاوت دارد و این مطلب به‌دلیل متفاوت

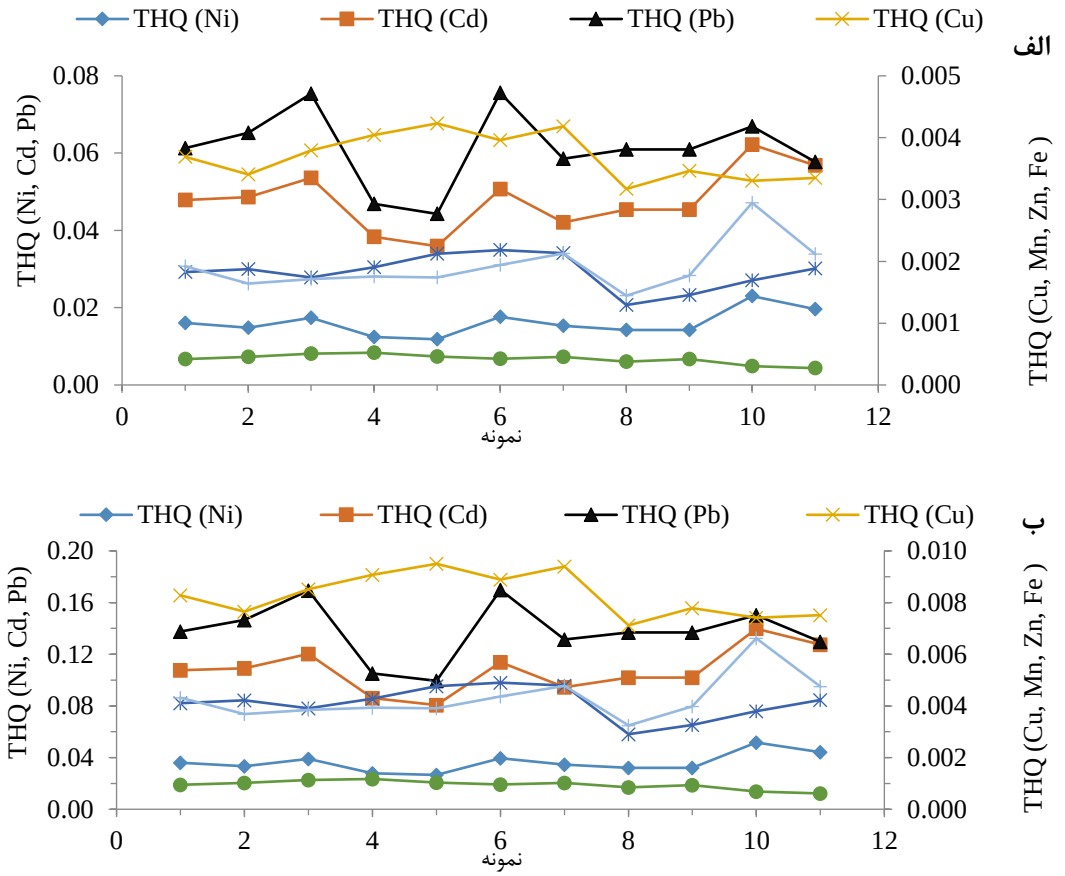
بودن مقادیر RfD فلزات است که Cd و Pb کمترین مقدار RfD در بین فلزات مورد بررسی را دارد.

مقادیر پتانسیل خطر برای هر یک از فلزات سنگین موجود در هر یک از نمونه‌های معدن کرسیا نیز محاسبه گردید که نتایج آنها در شکل (۳) ارائه شده است. در بین فلزات موردبررسی برای نمک کرسیا بیشترین مقدار پتانسیل خطر برای بزرگسال و کودک، برای فلز Pb و به‌ترتیب برابر ۰/۵۱۵ و ۱/۱۵۷ و کمترین مقدار پتانسیل خطر برای بزرگسال و کودک، برای فلز Zn و به‌ترتیب برابر $۶/۴\times۱۰^{-۵}$ و $۱/۴۴\times۱۰^{-۴}$ بود. برای نمک کرسیا مقادیر پتانسیل خطر برای فلز Pb (کودک) بیشتر از یک و برابر ۱/۱۵۷ و برای بقیه فلزات (کودک و بزرگسال) کمتر از مقدار یک بود. میزان پتانسیل خطر فلز Pb بیان می‌کند که احتمال بروز آثار سوء بیماری‌های غیر سرطانی برای کودکان وجود دارد. مقادیر THQ برای بزرگسال و کودک برای معدن کرسیا به‌لحاظ ترتیب قرارگیری برابر Zn<Mn<Cu<Fe<Ni<Cd<Pb بود. که با ترتیب قرارگیری غلظت آنها (جدول ۳) تفاوت دارد و این مطلب به‌دلیل متفاوت بودن مقادیر RfD فلزات است که Cd و Pb کمترین مقدار RfD در بین فلزات مورد بررسی را دارد. برای نمک دریاچه مهارلو و نمک کرسیا مقدار THQ کودک ۲/۲۵ برابر بزرگسال بود. (Khan *et al*., 2010) خطر سلامتی عناصر سنگین در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. (Wang *et al*., 2005) نیز مقدار THQ (برای ماهی و سبزیجات) در کودکان را تقریبا ۱/۵ تا ۳/۵ برابر بزرگتر از بزرگسالان به‌دست آوردند.

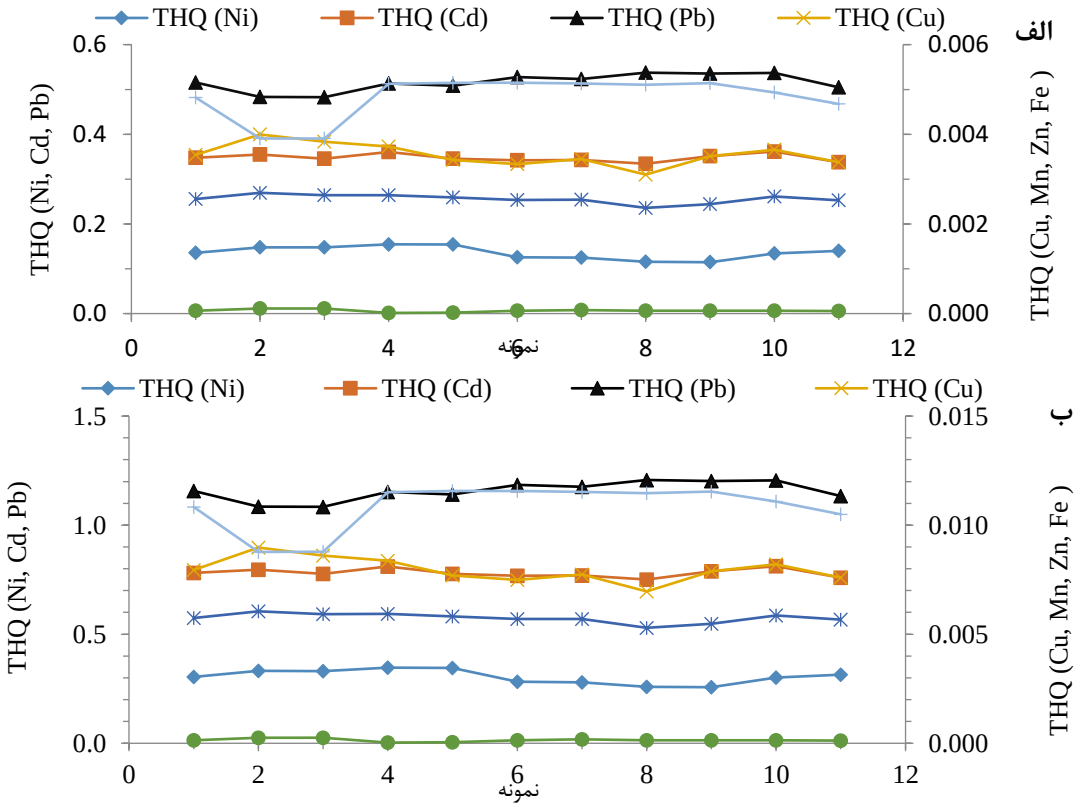
میزان مشارکت هر یک از عناصر در پتانسیل خطر حسب درصد و همچنین مقادیر m_i ضریب معادله ۴، شیب خط معادله پتانسیل خطر حسب mgr/day برای میانگین نمونه‌ها در دریاچه مهارلو و نمک کرسیا برای بزرگسال و کودک در جدول (۷) ارائه شده است. بر این اساس برای نمک دریاچه مهارلو میزان مشارکت هر یک از عناصر Fe، ۱/۴۴ درصد، Zn، ۰/۳ درصد، Mn، ۱/۴ درصد، Cu، ۲/۸ درصد، Pb، ۴۶ درصد، Cd، ۳۶ درصد و Ni، ۱۲/۱ درصد بود که بیشترین میزان مشارکت مربوط به دو عنصر Pb و Cd و کمترین آن Zn است. برای نمک کرسیا میزان مشارکت هر یک از عناصر Fe، ۰/۴۸ درصد، Zn، ۰/۰۱ درصد، Mn، ۰/۲۵ درصد، Cu، ۰/۳۵ درصد، Pb، ۵۱/۰۴ درصد، Cd، ۳۴/۴۲ درصد و Ni، ۱۳/۴۵ درصد بود که بیشترین میزان مشارکت مربوط به دو عنصر Pb و Cd و کمترین آن Zn است. آلودگی‌های فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی- خاکی و مواد غذایی ناشی از عناصر متفاوتی است اما معمولاً از بین آنها یکی دو عنصر دارای نقش کلیدی است و بیشترین میزان مشارکت در THQ را دارد. به‌عنوان مثال Bo *et al*. (2009) بیشترین میزان مشارکت در HI (از بین هفت عنصر موردبررسی) را As دانسته‌اند. (Salehipour *et al*., 2014) در بررسی پتانسیل خطر در برخی محصولات کشاورزی استان اصفهان بیشترین میزان مشارکت در HI (از میان فلزات As، Cu، Pb، Ni و Zn) را مربوط به As و Cu اعلام نمودند.

چنانچه مقدار نمک مصرفی تغییر کند مقادیر THQ نیز تغییر خواهد کرد. در گام بعد برای به‌دست آوردن روابطی که این مشکل را نداشته باشد نسبت به‌رسم معادله ۴ اقدام گردید تا با تغییر مقدار نمک مصرفی به‌راحتی بتوان مقادیر THQرا محاسبه نمود. برای این کار با در نظر گرفتن پارامترهای معادله ۴، مقادیر ضریب m_i (و همچنین مقادیر $\sum m_i$ برای استفاده از رابطه ۵) برای هر کدام از فلزات سنگین برای داده‌های دریاچه مهارلو و معدن نمک کرسیا محاسبه شد که این مقادیر در جدول (۷) گزارش گردیده است. همچنین در شکل (۴ و ۵) مقادیر مختلف پتانسیل خطر حسب مقادیر شیب خط معادله ۴ برای دریاچه مهارلو و معدن نمک کرسیا برای بزرگسال و کودک رسم شده است. با استفاده از جدول (۷) و یا شکل (۴ و ۵) می‌توان با تغییر مقدار نمک مصرفی به‌راحتی مقادیر THQ را محاسبه نمود. به‌عنوان مثال چنانچه مقادیر نمک مصرفی برای بزرگسال برابر ۵۵۰۰ $mgr\ day^{-1}$ باشد مقادیر THQ_{Pb} برای بزرگسال با استفاده از رابطه ۵ و جدول (۷) برابر زیر تعیین می‌گردد. و یا چنانچه مقدار نمک مصرفی معدن کرسیا برابر ۱۰۰۰۰میلی‌گرم در روز برای بزرگسال باشد مقدار THQ_{Pb} با استفاده از شکل (۵ الف) برابر ۰/۹۲ به‌دست می‌آید.

$$THQ_{Pb,Adult}^{Maharloo} = m_{Pb,}^{Mahrloo} \times IR_{Adult} = ۱/۱\times۱۰^{-۵} \times ۵۵۰۰ = ۰/۰۶۰۵$$



شکل ۲- مقادیر پتاسیل خطر برای هریک از عناصر سنگین در نمک دریاچه مهارلو، الف-بزرگسال، ب-کودک.



شکل ۳- مقادیر پتانسیل خطر برای هریک از عناصر سنگین در نمک کرسیا ، الف-بزرگسال، ب-کودک.

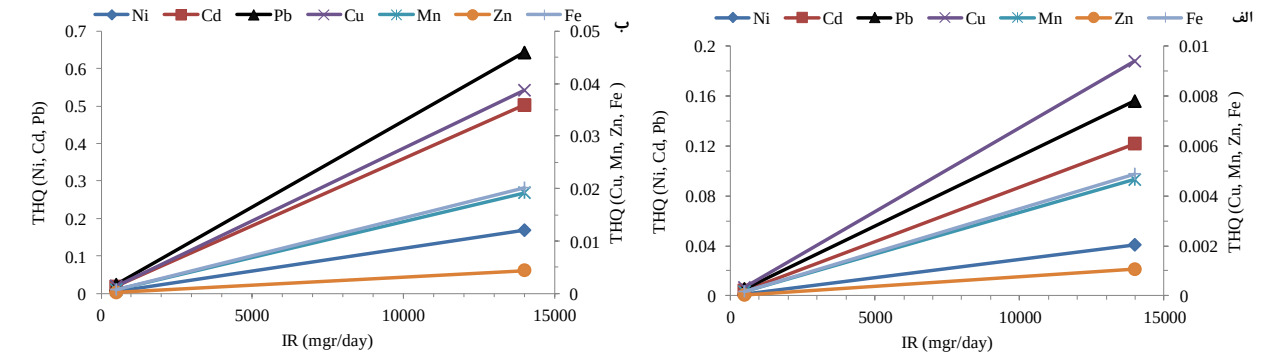
جدول ۷- مقادیر m_i ضریب معادله پتانسیل خطر حسب mg/day برای میانگین نمونه‌ها در دریاچه مهارلو و نمک کرسیا، بزرگسال و کودک و میزان مشارکت هر یک از عناصر در پتانسیل خطر حسب درصد

دریاچه مهارلو

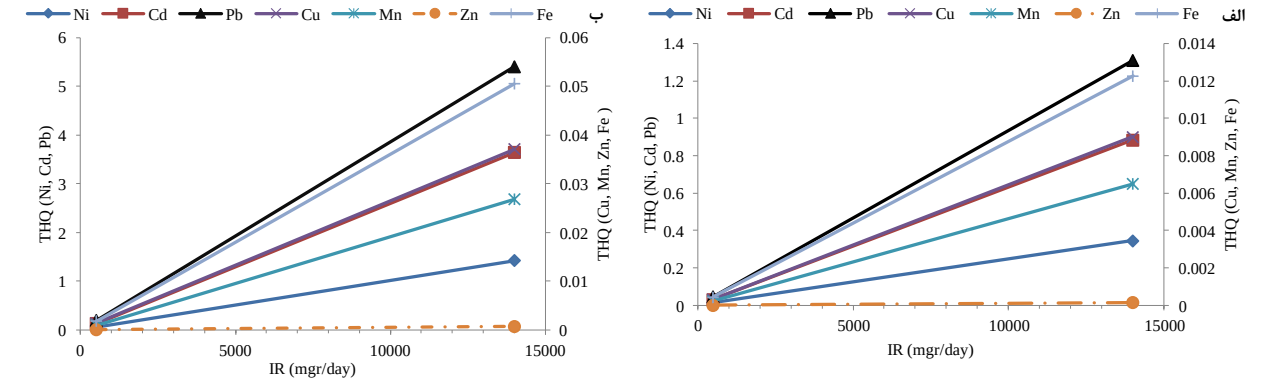
نوع فلز / گروه سنی	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni	Σm_i
بزرگسال	۳/۵×۱۰$^{-۷}$	۷/۶×۱۰$^{-۸}$	۳/۳×۱۰$^{-۷}$	۶/۷×۱۰$^{-۷}$	۱/۱×۱۰$^{-۵}$	۸/۷×۱۰$^{-۶}$	۲/۹ ×۱۰$^{-۶}$	۲/۴×۱۰$^{-۵}$
کودک	۱/۴۴×۱۰$^{-۶}$	۳/۱۴×۱۰$^{-۷}$	۱/۳۷×۱۰$^{-۶}$	۲/۷۶×۱۰$^{-۶}$	۴/۵۹×۱۰$^{-۵}$	۳/۵۹×۱۰$^{-۵}$	۱/۲×۱۰$^{-۵}$	۹/۹۶×۱۰$^{-۵}$
میزان مشارکت	۱/۴۴	۰/۳۳	۱/۳۷	۲/۷۷	۴۶/۰۳	۳۶	۱۲/۰۶	-

نمک کرسیا

نوع فلز / گروه سنی	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni	Σm_i
بزرگسال	۸/۸×۱۰$^{-۷}$	۱/۲×۱۰$^{-۸}$	۴/۷×۱۰$^{-۷}$	۶/۴×۱۰$^{-۷}$	۹/۴×۱۰$^{-۵}$	۶/۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۵×۱۰$^{-۵}$	۱/۸۴×۱۰$^{-۴}$
کودک	۳/۶×۱۰$^{-۶}$	۴/۸×۱۰$^{-۸}$	۱/۹×۱۰$^{-۶}$	۲/۶×۱۰$^{-۶}$	۴×۱۰$^{-۴}$	۳×۱۰$^{-۴}$	۱×۱۰$^{-۴}$	۷/۶×۱۰$^{-۳}$
میزان مشارکت	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۳۵	۵۱/۰۴	۳۴/۴۲	۱۳/۴۵	-



شکل ۴- نمودار معادله ۴، مقادیر مختلف پتانسیل خطر حسب مقادیر شیب خط، دریاچه مهارلو، الف بزرگسال، ب کودک



شکل ۵- نمودار معادله ۴، مقادیر مختلف پتانسیل خطر حسب مقادیر شیب خط، معدن کرسیا، الف بزرگسال، ب کودک

شاخص خطرپذیری

با استفاده از رابطه ۳ مقدار خطرپذیری برای دریاچه مهارلو و معدن کرسیا تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۸) ارائه شده است. همچنین مقادیر محدوده‌ی طبقه‌بندی خطرپذیری بر اساس استاندارد EPA (گزارش شده توسط Barzegar *et al.*, 2019) در این جدول ارائه شده است. براین‌اساس مقدار HI برای مهارلو برای بزرگسال و کودک (میانگین نمونه‌ها) به‌ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۳ به‌دست آمد که بر اساس محدوده طبقه‌بندی EPA در گروه سطح خطر ۲، خطر مزمن کم قرار دارد که نشان می‌دهد اثرات سوء بیماری‌های غیر سرطانی به‌دلیل مصرف عناصر سنگین ناشی از مصرف نمک مهارلو کم است. مقدار HI برای کرسیا برای بزرگسال و کودک (میانگین نمونه‌ها) به‌ترتیب برابر ۱/۰۱ و ۲/۲۷

بود که بر اساس محدوده‌ی طبقه‌بندی EPA در گروه سطح خطر ۳، خطر مزمن متوسط قرار دارد این مطلب بیان می‌کند که اثرات بیماری‌های غیر سرطانی به‌دلیل مصرف عناصر سنگین ناشی از مصرف نمک کرسیا وجود دارد. برای نمک مهارلو و برای کودک و بزرگسال ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در گروه ۲، خطر مزمن کم قرار دارد. برای نمک کرسیا و برای کودک ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در گروه ۳، خطر مزمن متوسط قرار دارد اما برای بزرگسال ۴۰ درصد نمونه‌ها در گروه ۲، خطر مزمن کم و ۶۰ درصد نمونه‌ها در گروه ۳ خطر مزمن متوسط قرار دارد. برای نمک دریاچه مهارلو و نمک کرسیا فلز Pb و Zn به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان مشارکت در HI را داشته است (هم برای کودک و هم برای بزرگسال). (Barzegar *et al*., 2019) گزارش کردند که بر اساس شاخص HI، مقادیر ۴۵ و ۱۴ درصد از نمونه‌ها به ترتیب برای کودکان و بزرگسالان، در گروه پر خطر (خطر مزمن بالا) قرار دارند. (Salehipour *et al*., 2014) مقدار HI برای گروه زنان و مردان را به‌ترتیب برابر ۲/۹ و ۲/۶ به‌دست آوردند. (Zheng., *et al* 2007) نیز مقادیر شاخص خطرپذیری برای دو گروه سنی بزرگسال و کودک را به‌ترتیب برابر ۹/۹-۵/۷۹ و ۱۳-۷/۶ به‌دست آوردند. Bo *et al*. (2009) مقدار HI کل را برای سه گروه سنی مورد مطالعه (کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان) کمتر از یک به‌دست آوردند. مقدار HI برای افراد کودک بیشتر از بزرگسال است و نشان می‌دهد که کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض اثرات غیر سرطانی ناشی از مصرف نمک می‌باشند.

با تغییر مقدار نمک مصرفی، مقدار HI نیز تغییر خواهد کرد. برای به‌دست آوردن روابطی که این مشکل را نداشته باشد، چنانچه رابطه ۵ رسم گردد با معلوم بودن مقادیر ضریب m_i و محاسبه شیب خط معادله ۵ ($\sum m_i$) نمودار HI براساس مقدار نمک مصرفی برای نمک دریاچه مهارلو و نمک معدن کرسیا، برای بزرگسال و کودک، رسم گردید که نتایج آن در شکل (۶) ارائه شده است. به‌عنوان مثال چنانچه مقادیر نمک مصرفی برای کودک برابر ۳۰۰۰ میلی‌گرم در روز باشد مقادیر HI برای کودک با استفاده از شکل (۶) برابر ۰/۲۹۸۸ به‌دست می‌آید که با استفاده از رابطه ۵ و یا جدول (۷) همین نتیجه حاصل می‌گردد.

$$HI_{Child}^{Maharloo} = \sum_{i=1}^{n} m_{i,Adult}^{Maharloo} \times IR = ۹/۹۶\times۱۰^{-۵} \times ۳۰۰۰ = ۰/۲۹۸۸$$

جدول ۸- محدوده‌ی طبقه‌بندی خطرپذیری بر اساس استاندارد EPA (گزارش‌شده توسط Barzegar *et al*., 2019) و مقادیر خطرپذیری برای نمونه‌ها، برای دریاچه مهارلو و معدن کرسیا، بزرگسال و کودک

مقادیر خطرپذیری برای نمونه‌ها				
	مهارلو		کرسیا	
شماره نمونه	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک
۱*	۰/۱۳۳	۰/۲۹۸	۱/۰۰۹	۲/۲۶۷
۲	۰/۱۳۶	۰/۳۰۵	۰/۹۹۶	۲/۲۳۷
۳	۰/۱۵۴	۰/۳۴۵	۰/۹۸۶	۲/۲۱۵
۴	۰/۱۰۵	۰/۲۳۷	۱/۰۴۰	۲/۲۳۵
۵	۰/۱۰۰	۰/۲۲۵	۱/۰۱۹	۲/۲۸۸
۶	۰/۱۵۲	۰/۳۴۱	۱/۰۰۶	۲/۲۵۹
۷	۰/۱۲۴	۰/۲۷۹	۱/۰۰۲	۲/۲۴۹
۸	۰/۱۲۷	۰/۲۸۴	۰/۹۹۷	۲/۲۴۰
۹	۰/۱۲۷	۰/۲۸۶	۱/۰۱۲	۲/۲۷۴
۱۰	۰/۱۶۰	۰/۳۶۰	۱/۰۴۴	۲/۳۴۴
۱۱	۰/۱۴۲	۰/۳۱۸	۰/۹۹۳	۲/۲۳۰

*میانگین نمونه‌ها

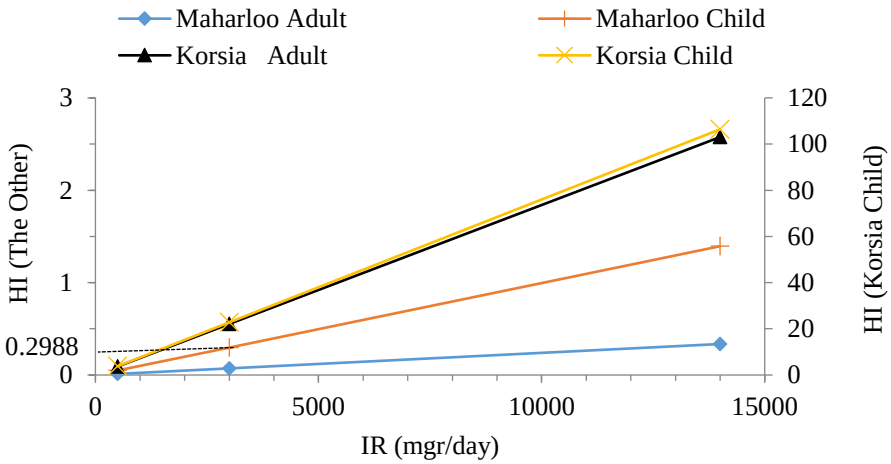
محدوده‌ی طبقه‌بندی خطرپذیری کل بر اساس استاندارد EPA

مقدار HI	< ۰/۱	۰/۱ ≤ < ۱	۱ ≤ < ۴	۴ ≤
سطح خطر	۱	۲	۳	۴
خطر مزمن	ناچیز	کم	متوسط	بالا

مقدار آستانه نمک مصرفی

با استفاده از شکل (۶) (یا از معادله ۵ و مقادیر m_i از جدول ۷) و با توجه به محدوده طبقه‌بندی EPA برای HI، مقادیر آستانه نمک مصرفی (IR_t) که به ازای آن شاخص HI برابر ۰/۱، ۱، ۴ می‌گردد (در نظر گرفتن محدوده طبقه‌بندی EPA برای شاخص HI) برای نمک مهارلو و کرسیا تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۹) ارائه شده است. در سطر آخر جدول (۹) برای مقدار آستانه نمک مصرفی، محدوده جواب تئوری که از نظر عملی قابل‌قبول است با

علامت ستاره معرفی شده است. محدوده جواب عملی قابل‌قبول با فرض اینکه ۱۰۰ درصد مقدار نمک مصرفی به‌صورت مستقیم استفاده گردد، حداکثر برابر ۱۱ گرم در روز (متوسط مقدار گزارش‌شده توسط Hadian *et al.* (2020) است. لذا مقادیری از آستانه نمک مصرفی (جدول ۹) که بیشتر از میانگین مقدار نمک مصرفی (۱۱ گرم در روز)، محاسبه گردیده در جدول (۹) با علامت ستاره مشخص شده که جنبه تئوری داشته و در عمل این مقدار نمک مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. مقدار نمک آستانه برای سطح خطر ۱ (خطر مزمن ناچیز) برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب برابر ۱۰۰۳/۸ و ۴۱۳۳/۴ mg/day و برای کرسیا برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب برابر ۱۳/۲ و ۵۴۳/۵ mg/day است. مقدار نمک آستانه برای سطح خطر ۲ (خطر مزمن کم) برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب در محدوده ۱۰۰۳/۸≤ <۱۰۰۳۸/۳ و ۴۱۳۳/۴ ≤ <۴۱۳۳۴*[1] mg/day و برای نمک کرسیا برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب در محدوده ۱۳/۲ ≤ < ۱۳۱/۶ و ۵۴۳/۵ ≤ <۵۴۳۴/۸ mg/day است. مقدار نمک آستانه برای سطح خطر ۳ (خطر مزمن متوسط) برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب در محدوده ۴۰۱۵۳*[2]< ≤۱۰۰۳۸/۳ و ۱۶۵۳۳۶*[2]> ≤۴۱۳۳۴*[2] mg/day و برای نمک کرسیا برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب در محدوده ۵۲۶/۳ < ≤ ۱۳۱/۶ و ۲۱۷۳۹/۱*[1]> ≤ ۵۴۳۴/۸ mg/day است. مقدار نمک آستانه برای سطح خطر ۴ (خطر مزمن بالا) برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب ۴۰۱۵۳*[2] و ۱۶۵۳۳۶*[2] و برای نمک کرسیا برای کودک و بزرگسال به‌ترتیب ۵۲۶/۳ و ۲۱۷۳۹/۱*[2] و mg/day می‌باشد. نسبت مقدار آستانه نمک مهارلو به آستانه نمک کرسیا برای گروه کودک برابر ۷۶/۳ و برای بزرگسال برابر ۷/۶ است. چنانچه مقدار نمک مصرفی از مقدار تعیین‌شده آستانه کمتر باشد حاشیه امنی برای محافظت در مقابل بیماری‌های غیر سرطانی است و درصورتی‌که مقدار نمک مصرفی بیش از مقدار آستانه باشد خطر بروز بیماری‌های غیرسرطانی وجود دارد.



شکل ۶- نمودار خطرپذیری بر اساس مقدار نمک مصرفی برای دریاچه مهارلو و معدن کرسیا، بزرگسال و کودک

جدول ۹- مقدار آستانه نمک مصرفی کل بر اساس محدوده طبقه‌بندی EPA برای نمک مهارلو و کرسیا، حسب mg/day

محدوده طبقه‌بندی EPA			نمک مهارلو		نمک کرسیا	
سطح خطر	مقدار HI	خطر مزمن	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال
۱	< ۰/۱	ناچیز	<۱۰۰۳/۸	<۴۱۳۳/۴	<۱۳/۲	<۵۴۳/۵
۲	۰/۱ ≤ < ۱	کم	۱۰۰۳/۸≤ <۱۰۰۳۸/۳	۴۱۳۳/۴ ≤ <۴۱۳۳۴*[1]	۱۳/۲ ≤ < ۱۳۱/۶	۵۴۳/۵ ≤ <۵۴۳۴/۸
۳	۱ ≤ < ۴	متوسط	۱۰۰۳۸/۳≤ <۴۰۱۵۳*	۴۱۳۳۴*[2]< ≤۱۶۵۳۳۶*[2]	۱۳۱/۶ ≤ < ۵۲۶/۳	۵۴۳۴/۸ ≤ <۲۱۷۳۹/۱*[1]
۴	۴ ≤	بالا	۴۰۱۵۳*[2]≤	۱۶۵۳۳۶*[2]≤	< ۵۲۶/۳	<۲۱۷۳۹/۱*[2]

*[1] در این شرایط مقدار آستانه برابر ۱۱۰۰۰ mg/day است.

*[2] از نظر عملی محدوده جواب وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین Fe، Pb و Cd در نمک دریاچه مهارلو و نمک معدن کرسیا از حداکثر مقدار مجاز توصیه‌شده بیشتر بود. مقدار میانگین غلظت مس در نمک دریاچه مهارلو و معدن کرسیا با اختلاف اندکی از مقدار مجاز توصیه‌شده کمتر بود. برای دریاچه مهارلو مقدار کل فلز واردشده به بدن، (Ni)، Cu، Zn، Pb و Cd) برای بزرگسال و کودک کمتر از مقدار مجاز بود همچنین مقدار فلز Mn و Fe

واردشده به بدن برای بزرگسال کمتر از مقدار RDA آنها و برای کودک کمتر از مقدار UL آنها بود. همچنین برای کودک و بزرگسال بیشترین فلز واردشده به بدن Fe و کمترین آن Cd بود. برای معدن کرسیا مقدار کل فلز واردشده به بدن، (Ni، Cu، Zn، و Cd) برای بزرگسال و کودک کمتر از مقدار مجاز بود. مقدار فلز Pb واردشده به بدن برای کودک بیشتر از مقدار مجاز بوده اما برای بزرگسال کمتر از مقدار مجاز است. مقدار فلز Mn و Fe واردشده به بدن، برای بزرگسال کمتر از RDA آنها و برای کودک کمتر از مقدار UL آنها بود. برای کرسیا برای بزرگسال و کودک بیشترین فلز واردشده به بدن Fe و کمترین آن Zn بود. برای نمک دریاچه مهارلو بیشترین مقدار پتانسیل خطر برای بزرگسال و کودک برای فلز Pb و کمترین مقدار برای فلز Zn به‌دست آمد. مقادیر پتانسیل خطر برای فلزات موردبررسی در نمک دریاچه مهارلو برای بزرگسال و کودک کمتر از ۱ بود که نشان می‌دهد خطر ناشی از فلزات موردبررسی در محدوده قابل‌قبول قرار دارد.

برای نمک مهارلو بیشترین مقدار THQ (برای بزرگسال و کودک)، برای فلز Pb و به‌ترتیب برابر ۰/۰۶۱ و ۰/۱۳۸ و کمترین مقدار آن برای فلز Zn و برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۰۴ و ۰/۰۰۰۹۴ بود. برای نمک کرسیا بیشترین مقدار THQ (برای بزرگسال و کودک)، برای فلز Pb و به‌ترتیب برابر ۰/۵۱۵ و ۱/۱۵۷ و کمترین مقدار آن برای فلز Zn و برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر $۶/۴\times۱۰^{-۵}$ و $۱/۴۴\times۱۰^{-۴}$ بود.

مقدار HI برای مهارلو برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۳ (سطح خطر ۲، خطر مزمن کم) به‌دست آمد که نشان می‌دهد اثرات سوء بیماری‌های غیر سرطانی به‌دلیل مصرف عناصر سنگین ناشی از مصرف نمک کم است. مقدار HI برای کرسیا برای بزرگسال و کودک به‌ترتیب برابر ۱/۰۱ و ۲/۲۷ (سطح خطر ۳، خطر مزمن متوسط) بود. این مطلب بیان می‌کند که اثرات بیماری‌های غیر سرطانی به‌دلیل مصرف عناصر سنگین ناشی از مصرف این نمک وجود دارد. مقدار آستانه نمک مصرفی با توجه به محدوده طبقه‌بندی EPA برای HI، برای سطح خطر ۱، خطر مزمن ناچیز برای نمک مهارلو برای کودک و بزرگسال به ترتیب برابر ۱۰۰۳/۸ و ۴۱۳۳/۴ mg/day و برای نمک کرسیا برای کودک و بزرگسال به ترتیب برابر ۱۳/۲ و ۵۴۳/۵ mg/day تعیین گردید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Aghili, F., Khoshgoftar manesh, A. H., Afyuni, M. and Mobli, M. (2012). Mineral and ascorbic acid concentrations of greenhouse- and field-grown vegetables: implications for human health. *International Journal of Vegetable Science*, 18: 64 -77.

Aghili, F., Khoshgoftar manesh, A. H., Afyuni, M. and Schulin, R. (2009). Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in central Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal,* 15:999-1015.

Amouei, A., Cherati, A., and Naghipour, D. (2018). Heavy metals contamination and risk assessment of surface soils of Babol in northern Iran. *Health Scope*, *7*(1).

Argos, M., Kalra, T., Pierce, BL., Chen, Y., Parvez, F. and Islam, T. (2011). A prospective study of arsenic exposure from drinking water and incidence of skin lesions in Bangladesh. *American journal of epidemiology*, 174(2):185-94.

Bartkowiak, A., Lemanowicz, J., and Hulisz, P. (2017). Ecological risk assessment of heavy metals in salt-affected soils in the Natura 2000 area (Ciechocinek, north-central Poland). *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(35), 27175-27187.

Barzegar, R., Moghaddam, A. A., Soltani, S., Fijani, E., Tziritis, E., and Kazemian, N. (2019). Heavy metal (loid) s in the groundwater of Shabestar area (NW Iran): source identification and health risk assessment. *Exposure and Health*, *11*(4), 251-265.

Bo, S., Mei1, L., Tongbin, C., Yuanming, Z., Yunfeng, X., Xiaoyan, L. and Ding, G. (2009). Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 1702-1709.

Brahman, KD., Kazi TG., Afridi, HI, Naseem, S. and Arain, SS. and Ullah, N. (2013). Evaluation of high levels of fluoride, arsenic species and other physicochemical parameters in underground water of two sub districts of Tharparkar, Pakistan: A multivariate study. *Water research*,. 47(3):1005-7.

Chavoshi, E., Afyuni, M., Hajabbasi, M. A., Khoshgoftar manesh, A. H., Abbaspour, K. C., Shariatmadari, H. and Mirghafari, N. (2011). Health risk assessment of fluoride exposure in soil, plants, and water at Isfahan, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 17: 414-430.

Cheraghali, A.M., Kobarfard, F., and Faeizya, N. (2010). Heavy metals contamination of table salt consumed in Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 9(2), 129-132.

Deputy of Food and Drugs, (2015). *Salt consumption: Excessive salt consumption.* Golestan university of medical science, University Extension, from https://goums.ac.ir/page/9984/مصرف-نمک.

Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., and Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes.

Sustainability, *7*(2), 2189-2212.

Eksperiandova, L., Makarovska, Y., and Blank, A. (1998). Determination of small quantities of heavy metals in water-soluble salts and natural water by X-ray fluorescence. *Journal of Analytica Chimica Acta*, 371(7), 105-108.

Fallah, S., H., Bakaeian, M., Parsian, H., Amouei, A., Asgharnia, H., Ghanbarian, M., and Miri, S. A. (2020). Potentially harmful heavy metal contamination in Babolrood river: evaluation for risk assessment in the Mazandaran province, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-15.

FAO/WHO, (1983). Food standards program. *Codex Alimentarius Commission Fifteenth Session* Rome. 4-15 July.

Forghani Tehrani, G. (2009). Ecological geochemistry and origin of heavy elements in Maharloo lake, southeast of Shiraz. Ph. D. dissertation, Shiraz University, Shiraz.

Gad, A., Abd El Bakey, S. M., and Sakr, S. (2020). Concentrations of heavy metals and associated human health risk in unrefined salts of inland hypersaline lakes, Egypt. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-14.

Hadian, Z., Feyzollahi, E., Honarvar, Z., Komeili-fonood, R., Khosravi Darani, K., Mofid, V., Zand-Rajabi, H., Bahramian, Gh., Salehi, M., Mortezaee, Gh. and Rasekhi, H. (2020). Assessment of Salt (Sodium Chloride) Content in Traditional and Industrial Breads in Tehran-2016. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 14(4): 113-122.

Heshmati, A., Vahidinia, A. A., and Salehi, I. (2014). determination of heavy metal levels in edible salt. *Avicenna Journal of Medical Biochemistry*, 2(1): 1-3.

Hou, D., He, J., Lu, C., Ren, L., Fan, Q., Wang, J. and Xie, Z. (2013). Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 93:135-44.

ISIRI, No. 1195, Food *grade iodized salt -Specifications and test methods*. 3th. Revision, Approved in Bahman 1371. ICS:67.220.20.

ISIRI, No. 12968, *Food and Feed-Maximum limit of heavy metals*. ICS:67.020. 1st. Edition. Approved in Bahman 1371. ICS:67.020.

Islam, M. M., Karim, M. R., Zheng, X., and Li, X. (2018). Heavy Metal and Metalloid Pollution of Soil, Water and Foods in Bangladesh: A Critical Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12): 2825.

Jahed Khaniki, Gh. R., Dehghani, M. H., Mahvi, A. and Nazmara, Sh. (2007). Determination of Trace Metal Contaminants in Edible Salts in Tehran (Iran) by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Journal of Biological Sciences*, 7(5):811-814.

Khademi, H., Gabarro´n, M., Abbaspour, A., Martı´nez-Martı´- nez, S., Faz, A., and Acosta, J. A. (2019). Environmental impact assessment of industrial activities on heavy metals distribution in street dust and soil. *Chemosphere*, 217,695–705.

Khan, S., Rehman, S., Khan, A. Z., Khan, M. A., and Shah. M. T. (2010). Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 1820-1827.

Kheirabady, H., Afiyni, M., Auubi, Sh. A. and Safinanian, A. R (2015). Heavy metal hazard assessment in soil and major edible crops in Hamadan province. *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*, 19(74). 27-37.

Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S. and Rodrigo-Comino, J. (2019a). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, *236*, 124364.

Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Bhardwaj, R., and Cerda, A. (2019b). Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment. A state-of-the-art. *Chemosphere*, *216*, 449-462.

Leendertse, P. C., Scholten, M. C. and VanderWal, J. T. (1996). Fate and effects of nutrients and heavy metals in experimental salt marsh ecosystems. *Journal. of Environmental Pollution*, 94(6), 19-29.

Meng, W., Wang, Z., Hu, B., Wang, Z., Li., H. and Goodman, R. C. (2016). Heavy metals in soil and plants after long-term sewage irrigation at Tianjin China: A case study assessment. *Agricultural Water Management*, 171: 153-161.

Narsimha, A., Jie, Ch. and Hui, Q. (2020). Spatial characteristics of heavy metal contamination and potential human health risk assessment of urban soils: A case study from an urban region of South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194. 1-8.

Sacmac, S., Kartal, S. and Sacmacı, M. (2012). Determination of Cr (III), Fe (III), Ni (II), Pb (II) AND Zn (II) ions by FAAS in environmental samples after separation and preconcentration by solvent extraction using a triketone reagent. *Environmental bulletin*, 21(6):1563-70.

Saie, H. and Namdari V. (2015). Student Health Center, *The importance of reducing salt consumption On the occasion of holding a national mobilization Reduce salt consumption.* Tabriz University, University Extension, from http:// www. tabrizu. ac.ir/ Files /Content/مقاله.٪۲۰نمک.pdf

Salehipour Baversad, M., Ghorbani, H., Afyuni, M. and Kheir Abadi, H. (2014). The potential risk assessment of heavy metals on human health in some agricultural products in Isfahan province. ***Journal of Water and Soil Science,*** *Isfahan University of Technology*, *18*(67), 71-81.

Siddique, M.A., and Aktar, M. (2012). Heavy metals in salt marsh sediments of porteresia bed along the

Karnafully River coast, Chittagong. *Soil and Water Res*, 7(3), 117-123.

USEPA. (1989). Risk *assessment guidance for superfund. Human Health Evaluation Manual., Part A.* EPA/540/1- 89/002. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.

USEPA. (2000). *Risk-based concentration table*. Office of Health and Environmental Assessment, Washington DC, USA.

Wang, X., Sato, T., Xing, B. and Tao, S. (2005). Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment*, 1;350(1-3):28-37.

Zheng, N., Wang, Q. and Zheng, D. (2007). 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*, 383: 81-89.