



## ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فاضلاب شهرک صنعتی چرمشهر مشهد

سمیه خجسته<sup>۱</sup>، آزاده کریمی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱\*</sup> - گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

| نوع مقاله:  | چکیده   |
|---|---|
| پژوهشی  | <b>مقدمه:</b> در طی چند دهه گذشته جوامع بشری مشاهده کرده اند که غلظت فلزات سنگین در محیط زیست به دلیل توسعه صنعتی، اکتشاف معادن، صنایع ذوب و گاهاً به دلیل انتشارات تصادفی افزایش یافته و سلامت انسان را به خطر انداخته است. شهرک‌های صنعتی از جمله مراکزی هستند که در صورت عدم نظارت کافی می‌توانند منجر به پراکندگی فلزات سنگین در محیط زیست و به خطر افتادن سلامت افراد ساکن در آن منطقه شوند.   |
| تاریخچه مقاله:  | <b>مواد و روش‌ها:</b> در این تحقیق، به منظور بررسی مخاطرات محیط زیستی شهرک صنعتی چرمشهر به ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فاضلاب این شهرک صنعتی پرداخته شد. بدین منظور، از نرم‌افزار تحت وب سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک (RAIS) استفاده شد که احتمال خطرات سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با آلاینده‌های فاضلاب را برای گروه‌های مختلف محاسبه می‌کند. نمونه‌های فاضلاب اندازه‌گیری شده بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پس از شناسایی آلاینده‌ها، خطرات غیرسرطان‌زایی و خطر سرطان‌زایی قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها ارزیابی گردید.  |
| دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵<br>پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱   | <b>نتایج:</b> بر اساس نمونه‌برداری از خروجی تصفیه خانه چرمشهر، در اکثر موارد خطر غیرسرطان‌زایی مواجهه با آلاینده‌های موجود در آب کمتر از ۱ بوده، بنابراین خطر قابل توجهی برای ساکنین نسبت به آب‌های سطحی وجود ندارد. در یک مورد، خطر غیر سرطان‌زایی قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها در آب از مسیر دهانی در محدوده $1 < HQ < 10$ بود، بنابراین خطرات احتمالی کم بود. در یک مورد دیگر، خطر غیرسرطانی قرار گرفتن در معرض این آلاینده در آب از راه خوراکی برای کودک در محدوده $1 < HQ < 10$ بود، بنابراین خطرات بالقوه کم گزارش شد. بر اساس نتایج، این خطر به دلیل قرار گرفتن در معرض کروم شش ظرفیتی بود که به دلیل وجود صنایع چرم در فاضلاب یافت می‌شود. میزان خطر سرطان‌زایی از مسیرهای دهان و پوست در محدوده $10^{-5} < Risk < 10^{-6}$ و $10^{-4} < Risk < 10^{-5}$ بود. بنابراین احتمال سرطان‌زایی وجود دارد. خطر کل نیز در محدوده $10^{-4} > Risk$ و $10^{-4} < Risk < 10^{-5}$ بود، بنابراین خطر سرطان‌زایی کل قطعی یا محتمل است و در برخی موارد هیچ خطر شناخته شده‌ای وجود ندارد. |
| کلمات کلیدی:<br>آلودگی شیمیایی<br>خطر سرطان‌زا<br>ریسک سلامت<br>شهرک صنعتی<br>فاضلاب<br>فلزات سنگین | <b>بحث:</b> بررسی نتایج نشان می‌دهد که خطر سلامتی موجود به دلیل وجود کروم شش ظرفیتی و در برخی موارد نیکل است. بر اساس مطالعات پیشین گاهی اوقات کروم به ترکیبات پایدار با سمیت بالاتر در محیط طبیعی تبدیل می‌شود.  |

بر اساس غلظت مربوط به مواد شیمیایی از جمله فلزات سنگین و بسته نرم‌افزاری ارزیابی ریسک محیط زیستی به ارزیابی ریسک یا در معرض قرارگیری گروه‌های مختلف افراد و تحت تأثیر قرار گرفتن سلامت آن‌ها در نتیجه غلظت‌های مواد شیمیایی منتج شده از فعالیت‌های صنعتی پرداخته شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که این خطر به دلیل وجود کروم شش ظرفیتی و در برخی موارد نیکل است. نتایج حاکی از آن است که احتمال خطرات غیر سرطان‌زا و خطرات سرطان‌زای قرار گرفتن در معرض کروم شش ظرفیتی و نیکل ممکن، محتمل و در برخی موارد قطعی است. بنابراین نظارت بر فرایند تصفیه‌خانه چرمشهر و پایش مقادیر آلاینده‌ها در فواصل زمانی مشخص ضروری است. سنجش دوره‌ای و مداوم آلاینده‌ها و ارزیابی ریسک ناشی از حضور آلاینده‌های کروم شش ظرفیتی و نیکل بر ماهی‌ها، سایر حیوانات و گیاهان منطقه می‌تواند در کنترل آلودگی‌های محیط زیستی، ارائه برنامه‌های پایش و تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای مفید واقع شوند.

## مقدمه

هر ساله مقدار زیادی فاضلاب از صنایع مختلف به محیط زیست تخلیه می‌شود و روش‌های مختلفی برای تصفیه فاضلاب به منظور کاهش میزان آلاینده‌ها وجود دارد (Kato & Kansha, 2024). وجود فلزات سنگین و مواد آلی در پساب‌های صنعتی یک مشکل شایع است. این آلاینده‌ها معمولاً ترکیبات و خواص متفاوتی دارند. در برخی موارد مواد آلی و فلزات سنگین معمولاً در اشکال مخلوط در ضایعات صنعتی وجود دارند. این امر خطرات مضر بهداشتی را برای انسان‌ها، آبزیان و کل اکوسیستم به دنبال دارد، زیرا اکثر این آلاینده‌های مخلوط در غلظت‌های بیش از حد مجاز تخلیه در آب تجمع می‌یابند (Saidon et al., 2024). در بسیاری از کشورها، مقررات مربوط به مدیریت آب برای حفظ نظافت و کیفیت آب وضع شده است. نیاز به آب پاک با توجه به افزایش جمعیت و تعداد صنایع در حال افزایش است (Wanjiya et al., 2024). بر اساس این واقعیت، کشورهای در حال توسعه با رشد عظیم جمعیت در مقایسه با کشورهای توسعه یافته، مشکل بزرگتری برای تأمین نیازهای آب پاک خود دارند (Okafor et al., 2024). گازها، میکروارگانیسم‌ها و سموم دیگر (مواد شیمیایی و فلزات سنگین) در هنگام باران، آب جاری و غیره به آب اضافه می‌شوند و منجر به آلودگی آب می‌شوند (Yaqoob et al., 2020). بسیاری از بخش‌های صنعتی فاضلاب شور تولید می‌کنند. این صنایع شامل صنایع غذایی، نفت و چرم هستند.

تخلیه چنین فاضلابی حاوی شوری زیاد و محتوای آلی بالا بدون تصفیه قبلی بر زندگی آبزیان، آب آشامیدنی و کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (Lefebvre & Moletta, 2006). فاضلاب‌های تخلیه شده از صنایع حاوی مواد معدنی پیچیده و سمی، فلزات، رنگ‌ها، موجودات بیماری‌زا، کلر و محصولات فنلی غیرعادی و بسیاری از آلاینده‌های معدنی خطرناک وارد محیط می‌شوند، اثرات زیانبار بر منابع طبیعی می‌گذارند و باعث ایجاد خطرات بهداشتی می‌گردند (Zainith et al., 2016; Mishra et al., 2019; Yadav et al., 2017).

آلودگی فلزات سنگین یکی از نگرانی‌های مهم محیط زیستی در سراسر جهان است. فلزات سنگین سمی در صورت عدم تصفیه در محیط جمع می‌شوند و می‌توانند تهدیدی جدی برای موجودات زنده باشند (Nanda et al., 2019). فلزات سنگین از محیط غیر زنده به موجودات زنده منتقل می‌شوند و در زیستگاه در سطوح مختلف تغذیه‌ای تجمع یافته و در نتیجه زنجیره‌های غذایی را آلوده می‌کنند. انتقال جغرافیایی، تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی فلزات سنگین خطرناک در زنجیره‌های غذایی پیامدهای مهمی بر حیات وحش و سلامت انسان دارد (Ali & Khan, 2019). صنعت تولید چرم آثار محیط زیستی عمده‌ای دارد (Sawalha et al., 2019). این صنعت مقادیر زیادی مواد شیمیایی (تقریباً ۱۳۰ نوع مختلف مواد شیمیایی) را از کلرید سدیم تا سولفات کروم مصرف می‌کند (Dandira et al., 2012) و فرآیندهای مختلف آن مقادیر زیادی فاضلاب تولید می‌کنند (De Aquim et al., 2019; Tamersit et al., 2018).

پدید آید (Aein Jamshid & Haghshenas, 2017). در تعریفی دیگر ریسک را به عنوان "خطر، قرار گرفتن در معرض آسیب یا خطر" تعریف می‌کنند. بنابراین قرار دادن خود در معرض خطر به معنی مشارکت داوطلبانه یا ناخواسته در یک فعالیت یا رویداد است که می‌تواند منجر به آسیب یا زیان شود.

روش RAIS در مطالعات گذشته برای ارزیابی مخاطرات بهداشتی آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، Parsajou و Nasrabadi (۲۰۲۱) به ارزیابی مخاطرات بهداشتی تصفیه خانه فاضلاب شهر سرعین بر اساس روش RAIS پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین فاکتور خطر سلامتی مربوط به نیتريت است. Karimi و همکاران در سال ۲۰۲۲ به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مواجهه با فلزات سنگین هوا در منطقه ۲۱ تهران پرداختند. نتایج ریسک تنفسی نشان داد که آلومینیوم ریسک غیرسرطانی و سرب ریسک سرطانی دارد. Rashidi Fard و همکاران در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی ریسک استنشاق آلاینده‌های هوا در مجتمع فولاد با روش RAIS پرداختند نتایج حاکی از آن بود که ریسک غیرسرطانی آلاینده‌های هوا در این مجتمع برای کارکنان مربوط به منواکسید کربن و دی اکسیدنیترژن و بیش از حد آستانه است.

هدف از این مطالعه تعیین خطر اثرات غیرسرطانی ناشی از مواجهه‌ی انسان با آلاینده‌ها در آب‌های آلوده از جریان دریافت کننده است. با توجه به پیامدهای مختلف ذکر شده در مطالعات مختلف، نیاز است تا بر میزان آلاینده‌های موجود در فاضلاب خروجی از شهرک‌های صنعتی تولید چرم نظارت صورت گیرد تا سلامت ساکنین و جانوران و گیاهان مجاور شهرک‌ها به خطر نیفتد. بر این اساس، در این مطالعه ریسک بهداشتی مواجهه با فاضلاب خروجی از شهرک صنعتی چرم‌شهر بر اساس روش RAIS مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** یکی از قدیمی‌ترین محل‌های تولید چرم ایران در شهرستان مشهد واقع است که از گذشته‌های دور و در طی سال‌ها، واحدهای تولید چرم در آن ساخته و بهره‌برداری گردیده است. با رشد شهر و گسترش مناطق

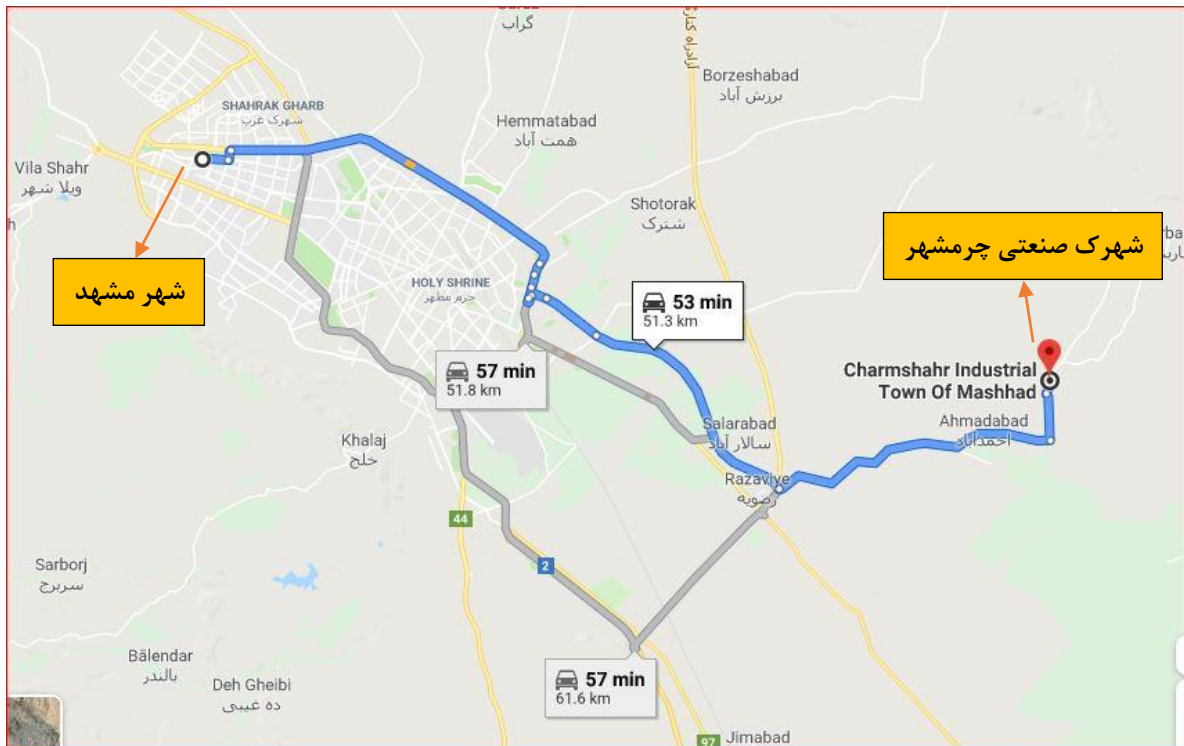
(Chowdhury *et al.*, 2015). ضایعات ناشی از صنعت چرم منجر به اثرات مضر بر موجودات زنده و محیط زیست می‌شود. این ضایعات شامل پوست حیوانات و پساب‌های حاوی مواد شیمیایی مانند کلریدها، سولفات‌ها، هیدروکربن‌ها، آمین‌ها، آلدئیدها و غیره به همراه فلزات سنگین از جمله آرسنیک و کروم مورد استفاده در فرآیند دباغی چرم است. این زباله‌های سمی پتانسیل استفاده در تولید انرژی برای کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست را دارند.

با توجه به کاربردهای متنوع محصولات جانبی فرآیند تصفیه فاضلاب، به ویژه برای اهداف کشاورزی، مسیری برای ورود آلاینده‌های فاضلاب به محیط زیست وجود دارد. بنابراین، نیاز به تخمین خطر بالقوه‌ای وجود دارد که می‌تواند ناشی از قرار گرفتن در معرض آب آلوده از رودخانه‌های دریافت‌کننده پساب‌های فرآیندهای تصفیه فاضلاب باشد. خطرات سلامتی انسان (غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا) را می‌توان برای بلعیدن و جذب پوستی آلاینده‌ها از طریق آب با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی ارزیابی کرد. به عنوان مثال، Azimi-Yancheshmeh و همکاران ۲۰۲۲ به ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سمی در غبار خیابانی شهر کرج پرداختند. نتایج نشان داد که کبالت، کروم و کادمیوم خطر سرطان‌زایی داشتند. Ishtiaq و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک بهداشتی آلودگی آب زیرزمینی در مواجهه با فلزات سنگین در منطقه صنعتی در پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد که ریسک سرطان‌زایی عناصری مانند کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در حدود قابل قبولی بودند. Romero-Crespo و همکاران در سال ۲۰۲۳ به ارزیابی ریسک سلامتی در خاک و محصولات کشاورزی در مناطق متأثر از فعالیت‌های معدنکاری در اکوادور پرداختند. نتایج نشان داد که ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی جذب عناصر از طریق محصولات بالاتر از میزان آستانه مواجهه ایمن بود.

یکی از روش‌های ارزیابی این مخاطرات، بر اساس روش سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک (RAIS) است. ریسک ترکیبی از احتمال رخداد یک اتفاق خطرناک یا قرار گرفتن در معرض آن و شدت مصدومیت یا بیماری که می‌تواند به موجب آن اتفاق و یا قرار گرفتن در معرض آن

2000). این شهرک در فاصله‌ی ۱۲ کیلومتری مشهد و در همسایگی جاده سرخس-مشهد قرار گرفته است. شهرک صنعتی چرمشهر در ۳۵ کیلومتر جاده مشهد-سرخس است و ۱۵۳ هکتار وسعت دارد. آلاینده‌های موجود در نمونه‌های فاضلاب شهرک چرمشهر عبارتند از: نیکل، روی، کروم، آهن، سرب و مس.

مسکونی، مناطق تخصیصی به تولید چرم در محدوده شهری جاگرفته است. شهرک صنعتی چرمشهر مشهد به دلیل جلوگیری از انتشار آلودگی و اهداف محیط زیستی ساخته شده است. این شهرک در شرق شهرستان مشهد واقع شده است. از شمال به دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات هزار مسجد و از جنوب به حریم خط لوله گاز مشهد-سرخس در حوالی کال تراز و کال شش بازه می‌رسد (Saghi,



شکل ۱- موقعیت استقرار شهرک و تصفیه خانه چرم شهر همچنین مسیر دسترسی آن از شهر مشهد (ماخذ: Google Map)

محور و بارگیری داده‌ها با استفاده از جدیدترین فناوری‌های وب، ابزارها و اطلاعات ضروری را برای فرایند ارزیابی ریسک ارائه می‌دهد و می‌تواند برای پاسخگویی به نیازهای خاص منطقه مورد مطالعه طراحی شود. با استفاده از این روش، خطرات غیر سرطان‌زا و سرطان‌زای بهداشتی ناشی از مواجهه انسان از طرق بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات ارزیابی گردید که مراحل آن در شکل ۲ نشان داده شده است. جزئیات مراحل مورد نظر در زیر تشریح شده است.

**روش پژوهش:** این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است که بر روی اثرات بهداشتی حاصل از مواجهه با پساب خروجی از شهرک صنعتی چرمشهر مطالعه می‌نماید. بدین منظور، تجزیه و تحلیل کاملی از فعالیت‌های صنعتی جاری در شهرک صنعتی چرمشهر برای شناسایی خطرات و برآورد ریسک انجام گرفت. در این مطالعه از نرم‌افزار تحت وب سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک (RAIS) استفاده گردید. سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک (RAIS) یک سیستم مبتنی بر وب است که برای انتشار ابزارهای ریسک و ارائه اطلاعات برای فعالیت‌های ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. RAIS با بهره‌گیری از پایگاه‌های داده قابل جستجو، اجرایی، پرسش‌های منو

(الف)

ارزیابی خطرات غیر سرطان زای بهداشتی ناشی از مواجهه انسان از طرق بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات

محاسبه مصرف مزمن روزانه (CDI) برای بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات

تقسیم مقادیر مصرف مزمن روزانه (CDI) ماده آلاینده (فلزات سنگین) بر دوز مرجع مزمن (RfD)

محاسبه ضریب ریسک غیر سرطان زای بهداشتی (HQ)

(ب)

ارزیابی خطرات سرطان زای بهداشتی ناشی از مواجهه انسان از طرق بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات

ضرب مصرف مزمن روزانه (CDI) در فاکتور شیب سرطان (CSF) برای فلزات Cr، Cd، As و Pb

محاسبه ریسک سرطانزایی فلزات Cr، Cd، As و Pb

محاسبه ریسک کل سرطانزایی با جمع بندی تمام ریسک های مواد سرطانزا و مسیره های مواجهه

شکل ۲- مراحل ارزیابی الف) خطرات غیر سرطانزا و ب) سرطان زای بهداشتی ناشی از مواجهه انسان با فاضلاب غیر بهداشتی

زیر برای به ترتیب برای بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات در کودکان و بزرگسالان استفاده گردید:

$$CDI_{Ingestion} = \frac{C_{water} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$CDI_{Dermal} = \frac{C_{water} \times SA \times Kp \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

$$CDI_{inhalation} = \frac{C_{water} \times EF \times ED \times ET \times K}{AT}$$

فاکتورهای تشکیل دهنده این معادلات به صورت زیر هستند:

ارزیابی خطرات غیرسرطانزای بهداشتی<sup>۲</sup>: ضریب ریسک غیرسرطانزای بهداشتی انسان (HQ) برای سه مسیر اصلی مواجهه، یعنی بلع مستقیم، جذب و تنفس بخارات و دو گروه سنی از جمعیت، یعنی بزرگسالان و کودکان با تقسیم مقادیر مصرف مزمن روزانه (CDI) بر دوز مرجع مزمن (RfD) محاسبه گردید) و مراحل زیر طی شد: (۱) برای محاسبه مقادیر مصرف مزمن روزانه ( $CDI_{Inhalation}$  و  $CDI_{Dermal}$ ،  $CDI_{Ingestion}$ ) فرمولهای

<sup>2</sup> Non-carcinogenic health hazards assessment

ارزیابی ریسک سرطان‌زایی بهداشتی<sup>۳</sup>: ارزیابی ریسک سرطان‌زای بهداشتی با استفاده از مدل افزایش خطر ابتلا به سرطان (RISK) ارائه شده توسط USEPA (2004) صورت گرفت و مراحل زیر طی شد:

(۱) افزایش خطر ابتلا به سرطان (RISK) با ضرب مصرف مزمین روزانه (CDI) در فاکتور شیب سرطان (CSF) محاسبه گردید:

$$Risk = CDI \times CSF$$

(۲) برای چندین فلز سرطان‌زا، ریسک کل سرطان‌زایی با جمع‌بندی (با فرض اثرات افزودنی) تمام RISK ها از تمام مواد سرطان‌زا و مسیرهای مواجهه ارزیابی گردید. As، Cd، Cr و Pb سرطان‌زا محسوب می‌شوند و سمیت سرطان‌زا بر روی این فلزات مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر  $CSF_{ingestion}$  ( $[\text{mgkg}^{-1}\text{day}^{-1}]^{-1}$ ) برای فلزات به صورت As (۱/۵)، Cd (۰/۳۸)، Cr (۰/۵) و Pb (۰/۰۰۸۵) در دسترس بود، در حالی که  $CSF_{Dermal}$  فقط برای As (۳/۶۶) در دسترس بود (USEPA, 2004) که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

در این مطالعه از طبقه‌بندی زیر که سازمان بهداشت جهانی جهت ارزیابی ریسک سرطان‌زایی ارائه کرده است استفاده شد (Ahmadi Moshiran et al., 2020; Zhang et al., 2018):

- سرطان‌زایی قطعی<sup>۴</sup>  $Risk > 10^{-4}$
- احتمال سرطان‌زایی<sup>۵</sup>  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$
- امکان سرطان‌زایی<sup>۶</sup>  $10^{-6} < Risk < 10^{-5}$
- بندرت سرطان‌زایی<sup>۷</sup>  $Risk < 10^{-6}$

متغیر مهم در این مطالعه غلظت آلاینده‌های موجود در فاضلاب بود که اطلاعات غلظت آلاینده‌ها از مسؤول مربوطه در شهرک صنعتی چرمشهر اخذ گردید. منطقه تحت مواجهه به عنوان منطقه‌ای تعریف می‌گردد که در معرض آلودگی قرار دارد. در این مطالعه مناطقی که تحت تأثیر فاضلاب تخلیه شده به آب‌های سطحی بودند به عنوان منطقه تحت مواجهه در نظر گرفته شدند. با توجه به سابقه نمونه‌برداری و آزمایشات در این منطقه، از

$C_{water}$  غلظت ماده آلاینده ( $\mu\text{g/L}$ )،  $IR$  نرخ مصرف (۲.۵  $L/day$  و  $0.64 L/day$  به ترتیب برای بزرگسالان و کودکان)

$EF$  فرکانس مواجهه (۳۶۵  $days/year$ )،  $ED$  مدت زمان مواجهه (۷۰ سال برای بزرگسالان و ۶ سال برای کودکان)

$BW$  وزن بدن (۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان و ۱۵ کیلوگرم برای کودکان)،  $AT$  میانگین زمان ( $ED \times 365 days/year$ )

$SA$  سطح پوست ( $18000\text{cm}^2$ ) برای بزرگسالان و  $6600\text{cm}^2$  برای کودکان،  $ET$  زمان مواجهه ( $0.58h/day$  و  $1h/day$  به ترتیب برای بزرگسالان و کودکان)،  $K_p$  ( $\text{cm/h}$ ) ضریب نفوذپذیری پوستی فلز در آب،  $CF$  فاکتور انتقال واحد (مقدار فاکتور انتقال واحد برای آب  $1 \times 10^{-2}$  است)،  $K$  فاکتور فرار Andelman

(۲) ریسک بهداشتی غیر سرطان‌زا که به عنوان ضریب خطر (HQ) نشان داده می‌شود، بر اساس مصرف مزمین روزانه (CDI) تقسیم بر دوز مرجع مزمین (RfD) محاسبه گردید.

$$HQ_{ingestion} = \frac{CDI_{ingestion}}{RfD_{ingestion}}$$

$RfD_{ingestion}$  دوز مرجع خوراکی مزمین ( $\mu\text{g/kg/d}$ )

$$HQ_{Dermal} = \frac{CDI_{Dermal}}{RfD_{Dermal}}$$

$RfD_{Dermal}$  دوز مرجع پوستی مزمین ( $\mu\text{g/kg/d}$ )

شاخص ریسک (HI) از طریق جمع شدن کلیه HQ های عناصر منفرد از هر دو مسیر قابل استفاده، یعنی بلع و پوستی بدست آمد:

$$HI = \sum HQs$$

اگر  $HI < 1$  باشد، فلزات سنگین محلول اثرات نامطلوب کمتری بر سلامتی مردم دارند و اگر  $HI \geq 1$  باشد، احتمال اثرات مضر بیشتر می‌گردد.

<sup>3</sup> Carcinogenic health risk assessment

<sup>4</sup> Definite risk<sup>5</sup> Probable risk

<sup>5</sup> Probable risk

<sup>6</sup> Possible risk

<sup>7</sup> Negligible risk

تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه کشف‌رود)، نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)، نمونه بعد از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر و نمونه قبل از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر بودند. نتایج حاصل از نمونه‌گیری‌های انجام شده از شهرک چرمشهر بیانگر آن است که در مواردی مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، مجموع مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی بالا بود.

با بررسی نتایج حاصل از نمونه‌گیری‌های انجام شده در بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ مشخص شد که مقادیر آلاینده‌ها در خروجی شهرک چرمشهر زیاد نبوده و با توجه به فعالیت‌های دباغی در این شهرک، ماده شیمیایی مورد نظر، کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی و در مواردی نیکل است. نتایج مصرف مازاد غیر سرطانزای بلع، پوست و تنفس ارزیابی مواجهه با کروم شش ظرفیتی نمونه‌های خروجی از فاضلاب در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است.

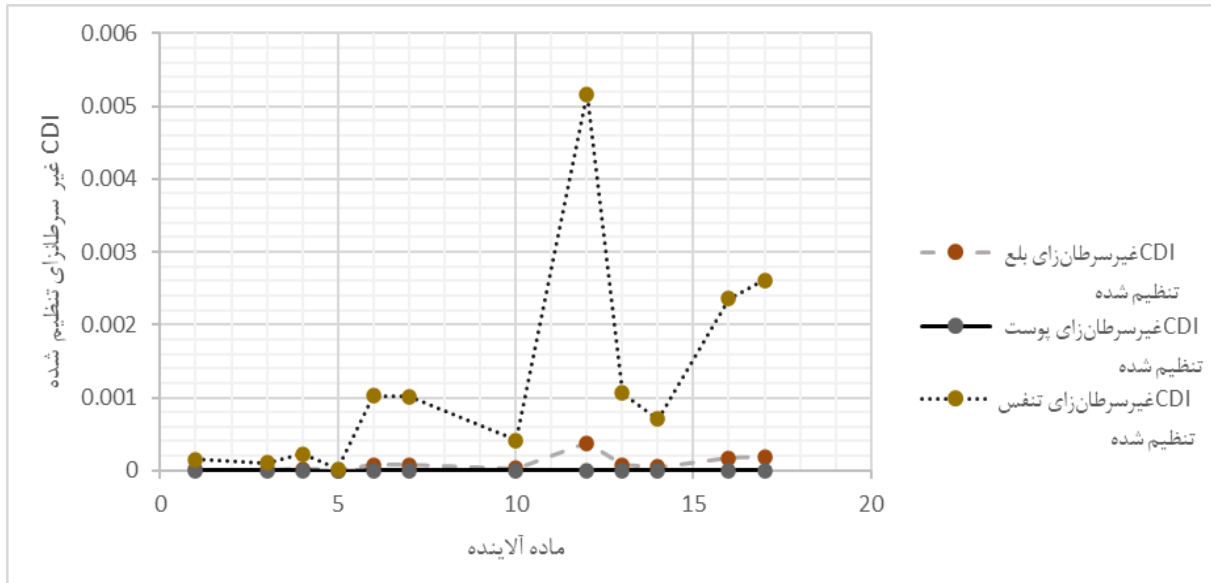
گزارشات شهرک صنعتی چرمشهر در این مورد استفاده گردید. در این روش موقعیت مکانی و فاصله از منبع آلاینده در نظر گرفته نمی‌شود.

## نتایج

نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا: در این بخش نتایج آنالیز ارزیابی مواجهه انسان با فلزات سنگین شهرک صنعتی چرمشهر مشهد در بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ آورده شده است. پارامترهای فاضلاب مورد بررسی در چرمشهر شامل عمده فاکتورهای فیزیکی شامل رنگ، کدورت، pH، BOD5، COD، DO، TSS، برخی فاکتورهای شیمیایی شامل ES، SS، TDS، Ni، Cu، Zn، Cr3+ و Cr6+ بوده است. نقاط نمونه‌برداری جهت آنالیز ریسک بهداشتی خروجی فاضلاب شهرک چرمشهر شامل نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر، نمونه چاه شرب روستای بزغان، نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (بدون کلرزنی)، نمونه خروجی

جدول ۱- مشخصات کدهای نمودارهای تحقیق

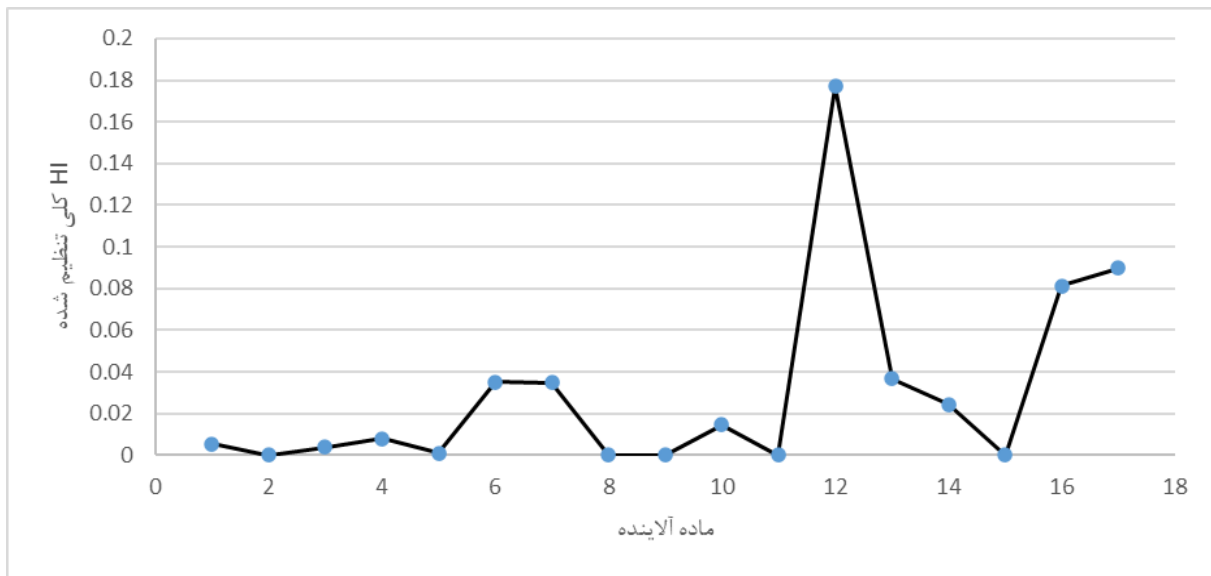
|    |  |
|----|--|
| ۱  | خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر در تاریخ ۱۳۸۴/۰۵/۰۴  |
| ۲  | نمونه چاه شرب روستای بزغان ۱۳۸۶/۰۹/۱۱  |
| ۳  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۱۹                                  |
| ۴  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (بدون کلرزنی) ۱۳۹۲/۰۱/۱۷                             |
| ۵  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه کشف‌رود)-نمونه ۸- ۱۳۹۴/۰۱/۱۹              |
| ۶  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه کشف‌رود)- نمونه ۹- تاریخ ۱۳۹۴/۰۱/۱۹       |
| ۷  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه کشف‌رود)-نمونه ۱۰- ۱۳۹۴/۰۱/۱۹             |
| ۸  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)-نمونه ۳۷- ۱۳۹۵/۰۲/۱۱ |
| ۹  | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)- ۱۳۹۵/۰۳/۱۹          |
| ۱۰ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)- ۱۳۹۵/۰۴/۰۹          |
| ۱۱ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)- ۱۳۹۵/۰۴/۱۹          |
| ۱۲ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)- ۱۳۹۵/۱۲/۲۵          |
| ۱۳ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه آب‌های سطحی کشف‌رود)- ۱۳۹۶/۰۵/۰۹          |
| ۱۴ | نمونه بعد از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر تاریخ ۱۳۹۷/۰۱/۲۱                              |
| ۱۵ | نمونه قبل از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر تاریخ ۱۳۹۷/۰۱/۲۱                              |
| ۱۶ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر تاریخ ۱۳۹۷/۰۱/۲۱                                     |
| ۱۷ | نمونه خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر (محل تخلیه کشف‌رود)- ۱۳۹۸/۰۵/۲۳                      |



شکل ۳- مصرف مزمن روزانه غیر سرطانزای بلع، پوست و تنفس ارزیابی مواجهه با کروم شش ظرفیتی

بازه  $1 < HQ < 10$  قرار گرفت لذا خطرات احتمالی کم بیان گردید. در موردی دیگر میزان خطر غیرسرطانزای مواجهه با این میزان آلاینده در آب از مسیر بلع برای کودک در بازه  $1 < HQ < 10$  قرار گرفت لذا خطرات احتمالی کم گزارش شد. بر اساس نتایج حاضر، این خطر ناشی از مواجهه با کروم شش ظرفیتی بوده است.

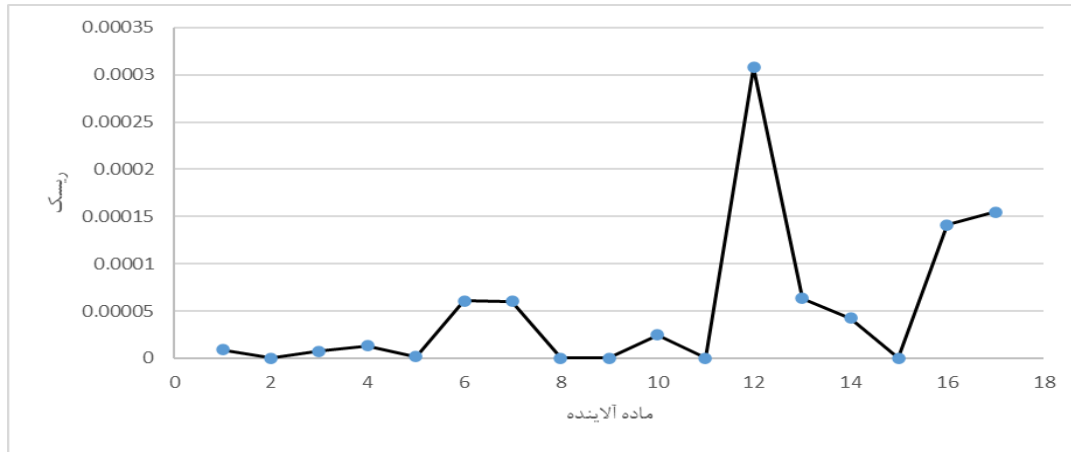
شکل ۴ خطر غیرسرطانزای مواجهه با آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نمونه‌برداری از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر، در اغلب موارد میزان خطر غیرسرطانزای مواجهه با آلاینده‌ها در آب کمتر از ۱ بود. لذا خطر قابل توجهی ساکنین در ارتباط با آب‌های سطحی منطقه مواجهه را تهدید نمی‌کند. در یک مورد نیز میزان خطر غیرسرطانزای مواجهه با آلاینده در آب از مسیر بلع در



شکل ۴- خطر غیرسرطانزای مواجهه با آلاینده‌ها

ریسک سرطان‌زایی کل نیز قطعی و یا محتمل و در مواردی فاقد ریسک مشخص است. در بررسی نتایج بدست آمده این موضوع مشخص می‌گردد که این ریسک ناشی از حضور غلظت کروم شش ظرفیتی و در برخی موارد نیکل است.

شکل ۵ ریسک سرطان‌زایی مواجهه با آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. میزان ریسک سرطان‌زایی حاصل از مواجهه با آلاینده‌های کروم شش ظرفیتی و سه ظرفیتی، نیکل و سایر آلاینده‌ها از دو مسیر بلع و پوست به میزانی است که امکان و یا احتمال سرطان‌زایی وجود دارد. در موردی هم میزان ریسک سرطان‌زایی از مسیر بلع، قطعی گزارش شد.



شکل ۵- ریسک سرطان‌زایی مواجهه با آلاینده‌ها

سرطانی بلع کروم در محدوده بین ۰/۳ تا ۵/۴ و CDI و پوستی کروم در محدوده بین صفر تا ۰/۰۰۵ قرار داشت در حالی که در مطالعه حاضر CDI غیرسرطان‌زای بلع در محدوده بین ۰/۰۰۰۰۱۳۸ تا ۰/۰۰۰۰۳۷۲ و CDI سرطان‌زای بلع در محدوده بین ۰/۰۰۰۰۰۱۶ تا ۰/۰۰۰۰۴۳ قرار داشت.

میزان ریسک سرطان‌زایی از دو مسیر بلع و پوست در بازه  $10^{-6} < Risk < 10^{-5}$  و  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$  قرار گرفت لذا امکان و یا احتمال سرطان‌زایی وجود دارد. در موردی که میزان ریسک سرطان‌زایی از مسیر بلع در بازه  $Risk > 10^{-4}$  قرار گرفت، ریسک سرطان‌زایی از مسیر بلع، قطعی گزارش شد. ریسک کل نیز در بازه  $Risk > 10^{-4}$  و  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$  قرار گرفت بنابراین ریسک سرطان‌زایی کل، قطعی و یا محتمل و در مواردی فاقد ریسک مشخص است. در مطالعه Azimi-Yancheshmeh و همکاران (۲۰۲۲) نیز بلع ذرات غبار مسیر اصلی مواجهه با فلزات سمی از قبیل کروم برای کودکان و بزرگسالان بود. کروم دارای ریسک سرطان‌زایی

## بحث

ریسک سرطان‌زایی کروم در منطقه صنعتی پاکستان در حد قابل قبول  $10^{-4} \times 1$  برآورد شده در حالی که عدد کلی ریسک برای این عنصر برای کودکان بیشتر از حد قابل قبول ( $> 1$ ) بود (Ishtiaq et al., 2024). کروم به علت وجود صنایع چرم در فاضلاب یافت می‌شود. Nur-E-Alam و همکاران (۲۰۲۰)، Kanagaraj و Elango (۲۰۱۹)، Sajil Kumar و James (۲۰۱۹)، Shafahi (۲۰۱۹) به این مورد اشاره کردند و معنقد بودند که دباغی‌ها نقش مهمی در بروز کروم در آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند. در بین فلزات سنگین، کروم به دلیل استفاده بیش از حد از نمک‌های سولفات کروم  $[Cr(H_2O)_5(OH)SO_4]$  به وفور در صنایع چرم یافت می‌شود. خواص جهش‌زایی Cr به عوامل مختلفی مانند حالت‌های اکسیداسیون، قابلیت دسترسی زیستی، جذب زیستی، تحرک لیگاند و ثبات در محیط بستگی دارد. در مطالعه‌ی کاناگاراچ و الانگو (۲۰۱۹) که در اطراف صنایع برنزه کننده چرم در جنوب هند انجام شد، CDI غیر

نیکل در خاک تحرک بیشتری دارد و ممکن است به آب‌های زیرزمینی نفوذ کند. به نظر نمی‌رسد که نیکل در بدن ماهیان تجمع یابد. مطالعات نشان می‌دهند که برخی از گیاهان می‌توانند نیکل را جذب کنند و این فلز می‌تواند در آنها تجمع یابد. با این حال شواهد حاکی از آن است که نیکل در بدن حیوانات کوچک ساکن در خشکی (که با لجن حاوی نیکل آمیخته شده‌اند) تجمع نمی‌یابد. لازم به ذکر است Lenntech (۲۰۲۱) بیان داشت که نیکل در آب به صورت  $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$  و گاهی به صورت  $\text{NiCO}_3$  وجود دارد. با توجه به این‌که مقادیر نمونه‌ها در آب اندازه‌گیری شده است لذا در این تحقیق فرم نیکل به صورت  $\text{NiCO}_3$  در نظر گرفته شد.

در تحقیق حاضر به منظور بررسی و ارزیابی مخاطرات محیط زیستی شهرک صنعتی چرمشهر از داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به کیفیت فیزیکی و شیمیایی خروجی‌های تصفیه‌خانه این شهرک استفاده شد. بر اساس غلظت مربوط به مواد شیمیایی از جمله فلزات سنگین و بسته نرم‌افزاری ارزیابی ریسک محیط زیستی به ارزیابی ریسک یا در معرض قرارگیری گروه‌های مختلف افراد و تحت تأثیر قرار گرفتن سلامت آن‌ها در نتیجه غلظت‌های مواد شیمیایی منتج شده از فعالیت‌های صنعتی پرداخته شد. برای محاسبه ریسک سلامت انسان در مواجهه با آلودگی آب بر اساس سه مسیر اصلی مواجهه، یعنی بلع مستقیم، جذب پوستی و تنفس بخارات و برای دو گروه سنی از جمعیت انسان یعنی بزرگسالان و کودکان در نظر گرفته شدند. بدین منظور نمونه‌های فاضلاب اندازه‌گیری شده در بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ مورد آنالیز قرار گرفت و خطرات غیرسرطانزایی و ریسک سرطانزایی مواجهه با آلاینده‌ها ارزیابی گردید. بر اساس نمونه‌برداری از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر، در برخی از نمونه‌ها مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، مجموع مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی بالاتر از حد مجاز اندازه‌گیری شد. بر اساس نمونه‌برداری از خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر، در اغلب موارد میزان خطر غیرسرطان‌زای مواجهه با آلاینده‌ها در آب کمتر از ۱ و بنابراین بدون خطر قابل توجه برای ساکنین در ارتباط با آب‌های سطحی منطقه بود. در یک مورد نیز میزان خطر غیرسرطان‌زای مواجهه با آلاینده در آب از مسیر بلع در

بالا در نمونه‌های محصولات کشاورزی در مطالعه Romero-Crespo و همکاران (۲۰۲۳) نیز معرفی گردید. در بررسی نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر این موضوع مشخص می‌گردد که ریسک بهداشتی موجود ناشی از حضور غلظت کروم شش ظرفیتی و در برخی موارد نیکل است. با توجه به اینکه Zhang و همکاران (۲۰۱۷) به این نتیجه رسیدند که گاهی اوقات، کروم در محیط طبیعی به ترکیبات پایدار با سمیت بالاتر تبدیل می‌شود و Ouyang و همکاران (۲۰۰۲) هم بیان کردند که غلظت بالای کروم برای زندگی انسان و آبیان بسیار سمی است بنابراین ریسک مسمومیت به کروم و نیکل برای انسان و آبیان وجود دارد. در شکل محلول، کروم به صورت آنیون سه ظرفیتی  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  یا به صورت شش ظرفیتی  $\text{CrO}_4^{2-}$  وجود دارد. مقدار یون‌های  $\text{Cr}^{3+}$  محلول نسبتاً کم است، زیرا این یون‌ها ترکیبات پایدار را تشکیل می‌دهند. صنایع فلزی به طور عمده کروم سه ظرفیتی تخلیه می‌کنند. کروم شش ظرفیتی در فاضلاب‌های صنعتی عمدتاً از دباغی و رنگ‌آمیزی ناشی می‌شود. ترکیبات کروم به عنوان رنگدانه استفاده می‌شود و ۹۰٪ از چرم با استفاده از ترکیبات کروم دباغی می‌شود. کروم سه ظرفیتی برای تعدادی از ارگانوسم‌ها یک نیاز غذایی است. کروم شش ظرفیتی برای گیاهان و جانوران بسیار سمی است.

برخی از فلزاتی که نیکل می‌تواند با آن‌ها آلیاژ تشکیل دهد آهن، مس، کروم و روی است. بنابراین ارتباطی بین حضور کروم و نیکل در پساب خروجی از چرمشهر وجود دارد. Adamu و همکاران (۲۰۱۵) و Alves و همکاران (۲۰۱۴) و Herojeet و همکاران (۲۰۱۵) هم بیان کردند که اگرچه نیکل از نظر مقدار کمی برای موجودات زنده ضروری است (هم به عنوان اجزای ساختاری و هم کاتالیزوری پروتئین‌ها و آنزیم‌ها عمل می‌کند) و از نظر مقدار اضافی نسبت به استانداردهای نظارتی مضر است. در مطالعه Ehtemae و همکاران (۲۰۲۰) نیز ریسک اکولوژیکی نیکل در گرد و غبار خیابانی شهر ایلام کم گزارش شد. ATSDR (۲۰۰۵) به این نکته اشاره کرده است که مقدار زیادی نیکل که به محیط وارد می‌شود به خاک یا رسوب ملحق می‌شود. در آن‌جا به شدت به ذرات حاوی آهن یا منگنز متصل می‌شود. در شرایط اسیدی

## منابع

1. **Ahmadi Moshiran, V., Karimi, A., Golbabaee, F., Sadeghi Yarandi, M., Asghar Sajediyan, A. and Ghasemi Koozekonan, A., 2020.** Evaluating occupational exposure to Styrene vapor and determining risks of health consequences in Petrochemical Industry Workers. *Journal of health and safety at work*. 10 (4), 316-328. [In Persain].
2. **Adamu, C.I., Nganje, T.N. and Edet, A., 2015.** Heavy metal contamination and health risk assessment associated with abandoned barite mines in Cross River State, southeastern Nigeria. *Environmental Nanotechnology, monitoring & management*. 3, 10-21.
3. **Aein Jamshid, K. and Haghsheenas, A., 2017.** Environmental risk assessment of the activity of SPE shrimp production centers. *Iranian scientific fisheries journal*. 26(4), 73-81. [In Persain].
4. **Ali, H. and Khan, E., 2019.** Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 25(6), 1353-1376.
5. **Alves, R.I., Sampaio, C.F., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L. and Segura-Muñoz, S.I., 2014.** Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. *Environmental research*. 133, 149-155.
6. **ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2005.** Public health statement nickel, CAS#: 7440-02-0, summary chapter from the toxicological profile for nickel. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/>.
7. **Azimi-Yancheshmeh, R., Moeinaddini, M., Mazloomi, S., Feyz Nia, S. and Shahbazi, R., 2022.** Health risk assessment of metals in street dust of Karaj City in 2018. *Journal of environmental health engineering*. 9 (3), 313-332. [In Persain].
8. **Cao, S., Duan, X., Ma, Y., Zhao, X., Qin, Y., Liu, Y., ... and Wei, F., 2017.** Health benefit from decreasing exposure to heavy metals and metalloid after strict pollution control measures near a typical river basin area in China. *Chemosphere*. 184, 866-878.
9. **Chen, L., Zhou, S., Shi, Y., Wang, C., Li, B., Li, Y. and Wu, S., 2018.** Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested. *Science of the total environment*. 615, 141-149.
10. **Chowdhury, M., Mostafa, M.G., Biswas, T.K., Mandal, A. and Saha, A.K., 2015.** Characterization of the effluents from leather

بازه  $1 < HQ < 10$  و با خطر احتمالی کم بیان گردید. میزان ریسک سرطان‌زایی حاصل از مواجهه با آلاینده‌های کروم شش ظرفیتی و سه ظرفیتی، نیکل و سایر آلاینده‌ها از دو مسیر بلع و پوست به میزانی گزارش گردید که امکان و یا احتمال سرطان‌زایی وجود دارد. میزان ریسک سرطان‌زایی از دو مسیر بلع و پوست در بازه  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$  و  $10^{-6} < Risk < 10^{-5}$  قرار گرفت که بیانگر وجود احتمال سرطان‌زایی است. در موردی که میزان ریسک سرطان‌زایی از مسیر بلع در بازه  $Risk > 10^{-4}$  قرار گرفت، ریسک سرطان‌زایی از مسیر بلع، قطعی گزارش شد. ریسک کل نیز در بازه  $Risk > 10^{-4}$  و  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$  قرار گرفت که نشان دهنده قطعی و یا محتمل بودن ریسک است.

در بررسی نتایج بدست آمده این موضوع مشخص گردید که این ریسک ناشی از حضور غلظت کروم شش ظرفیتی کروم به علت وجود صنایع چرم و در برخی موارد نیکل است. نتایج حاکی از آن است که احتمال خطرات غیر سرطان‌زایی و ریسک‌های سرطان‌زایی مواجهه با کروم شش ظرفیتی و نیکل در منطقه مطالعاتی امکان‌پذیر، محتمل و در مواردی قطعی است. بنابراین نیاز است تا بر فرایند تصفیه‌خانه چرم‌شهر نظارت صورت گیرد و پایش مقادیر آلاینده‌ها در فواصل زمانی مشخص گزارش گردد. همچنین برنامه‌های مدیریت و کنترل محیط زیست در این منطقه باید اجرایی گردد. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی سنجش دوره‌ای و مداوم آلاینده‌ها و ریسک ناشی از حضور آلاینده‌های کروم شش ظرفیتی و نیکل بر ماهی‌ها، سایر حیوانات و گیاهان منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد و نتایج حاصله در تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای به کار برده شود.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش ارائه بخشی از نتایج طرح پژوهشی در گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، با کد مصوب ۵۱۴۵۷ است. صمیمانه از همکاری و حمایت تمام کسانی که در این پژوهش ما را یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

- groundwater around leather tanning industries in southern India: Implications from stable isotopic ratio  $\delta^{53}\text{Cr}/\delta^{52}\text{Cr}$ , geochemical and geostatistical modelling. *Chemosphere*. 220, 943-953.
23. **Karimi, S.R., Mansouri, N., Taghavi, L. and Moeinaddini M., 2022.** Carcinogenicity and non-carcinogenicity risk assessment encounter of air heavy metals. *Journal of environmental science and technology*. 24(6), 77-90. [In Persain].
  24. **Kato, S. and Kansha, Y., 2024.** Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(39), 51064-51097.
  25. **Kumar, V., Sharma, A., Kumar, R., Bhardwaj, R., Kumar Thukral, A. and Rodrigo-Comino, J., 2020.** Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices. *Human and ecological risk assessment: an international journal*. 26(1), 1-16.
  26. **Lefebvre, O. and Moletta, R., 2006.** Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review. *Water research*. 40(20), 3671-3682.
  27. **Li, F., Qiu, Z., Zhang, J., Liu, W., Liu, C. and Zeng, G., 2017.** Investigation, pollution mapping and simulative leakage health risk assessment for heavy metals and metalloids in groundwater from a typical brownfield, middle China. *International journal of environmental research and public health*. 14(7), 768.
  28. **Mirbagheri, S.A., Shams, A., Hashemi, S.H. and Shams, H., 1387.** Removal of divalent nickel from wastewater of electroplating industries by reverse osmosis method. *Environmental Science and Technology*. 12(1): 1-11. [In Persain].
  29. **Mishra, S., Chowdhary, P. and Bharagava, R.N., 2019.** Conventional methods for the removal of industrial pollutants, their merits and demerits. In *Emerging and eco-friendly approaches for waste management* (pp. 1-31). Springer, Singapore.
  30. **Nanda, M., Kumar, V. and Sharma, D.K., 2019.** Multimetal tolerance mechanisms in bacteria: The resistance strategies acquired by bacteria that can be exploited to 'clean-up' heavy metal contaminants from water. *Aquatic toxicology*. 212, 1-10.
  31. **Nur-E-Alam, M., Mia, M.A.S., Ahmad, F. and Rahman, M.M., 2020.** An overview of chromium removal techniques from tannery effluent. *Applied Water Science*. 10 (9), 1-22.
  32. **Okafor, C.O., Ude, U.I., Okoh, F.N. and Eromonsele, B.O., 2024.** Safe drinking water: The need and challenges in developing countries. In *Water quality-new perspectives*. IntechOpen
  - processing industries. *Environmental Processes*. 2(1), 173-187.
  11. **Dandira, V., Mugwindiri, K. and Chikuku, T., 2012.** A cleaner production exercise of a leather manufacturing company: a Zimbabwean experience. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 1(11), 1-5.
  12. **De Aquim, P.M., Hansen, É. and Gutterres, M., 2019.** Water reuse: An alternative to minimize the environmental impact on the leather industry. *Journal of environmental management*. 230, 456-463.
  13. **Duffus, J.H., 2002.** "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*. 74 (5), 793-807.
  14. **Ehtemae, N., Ghanavati, N., Nazarpour, A., Babaenejad, T. and James Watts, M., 2020.** Assessment of Potential Ecological and Human Health Risk of Some Selected Heavy Metals in Street Dusts in Ilam. *Journal of Water and Soil Science*. 23 (4), 183-197. [In Persain].
  15. **Engwa, G.A., Ferdinand, P.U., Nwalo, F. N. and Unachukwu, M.N., 2019.** Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. *Poisoning in the modern world-new tricks for an old dog*, 10.
  16. **Feng, H., Jiang, H., Gao, W., Weinstein, M.P., Zhang, Q., Zhang, W. ... and Tao, J., 2011.** Metal contamination in sediments of the western Bohai Bay and adjacent estuaries, China. *Journal of Environmental Management*. 92(4), 1185-1197.
  17. **Hedayatzadeh, F. and Hassanzadeh, N., 2020.** Evaluation of Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in Sediments of Karun using Aquatic Pollution Indices. *Archives of Hygiene Sciences*. 9(1), 10-26.
  18. **Herojeet, R., Rishi, M.S. and Kishore, N., 2015.** Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India. *Chinese Journal of Geochemistry*. 34 (4), 620-633.
  19. **Hutton, M. and Shafahi, M., 2019.** Water pollution and leather industry-A review. 13th International Conference on Energy Sustainability, Bellevue, WA, USA.
  20. **Joshi, J.B., Mahajani, V.V. and Juvekar, V.A., 1985.** Invited review absorption of NOx gases. *Chemical Engineering Communications*. 33(1-4), 1-92.
  21. **Ishtiaq, M., Khan, M.J., Khan, S.A., Ghani, J., Ullah, Z., Nawab, J. ... and Alharbi, S.N., 2024.** Potentially harmful elements and health risk assessment in groundwater of urban industrial areas. *Frontiers in Environmental Science*. 12, 1332965.
  22. **Kanagaraj, G. and Elango, L., 2019.** Chromium and fluoride contamination in

- Journal of environmental management. 251, 109596.
41. **Tamersit, S., Bouhidel, K.E. and Zidani, Z., 2018.** Investigation of electro dialysis anti-fouling configuration for desalting and treating tannery unhairing wastewater: Feasibility of by-products recovery and water recycling. *Journal of environmental management.* 207, 334-340.
  42. **Tiwari, A.K. and De Maio, M., 2017.** Assessment of risk to human health due to intake of chromium in the groundwater of the Aosta Valley region, Italy. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.* 23(5), 1153-1163.
  43. **USEPA., 2004.** Risk assessment guidance for superfund volume i: human health evaluation manual (part e, supplemental guidance for dermal risk assessment). Office of superfund remediation and technology innovation, U.S. Environmental protection agency. Washington, D C.
  44. **Wanjiya, M., Zhang, J.C., Wu, B., Yin, M.J. and An, Q.F., 2024.** Nanofiltration membranes for sustainable removal of heavy metal ions from polluted water: A review and future perspective. *Desalination,* 578, 117441.
  45. **Wu, H., Liao, Q., Chillrud, S.N., Yang, Q., Huang, L., Bi, J. and Yan, B., 2016.** Environmental exposure to cadmium: health risk assessment and its associations with hypertension and impaired kidney function. *Scientific reports,* 6(1), 1-9.
  46. **Yadav, A., Chowdhary, P., Kaithwas, G. and Bharagava, R.N., 2017.** Toxic Metals in the Environment: Threats on Ecosystem and Bioremediation Approaches. In *Handbook of Metal-Microbe Interactions and Bioremediation* (pp. 128-141). CRC Press.
  47. **Yaqoob, A.A., Parveen, T., Umar, K. and Mohamad Ibrahim, M.N., 2020.** Role of nanomaterials in the treatment of wastewater: A review. *Water,* 12(2), 495.
  48. **Zainith, S.U.R.A.B.H.I., Sandhya, S., Saxena, G.A.U.R.A.V. and Bharagava, R.N., 2016.** Microbes an ecofriendly tool for the treatment of industrial waste waters. *Microbes and Environmental Management.* 78-103.
  33. **Ouyang, Y., Higman, J., Thompson, J., O'Toole, T. and Campbell, D., 2002.** Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega rivers subbasin. *Journal of Contaminant Hydrology.* 54(1-2), 19-35.
  34. **Parsajou, H. and Nasrabadi, T., 2021.** Evaluation of greenhouse gases emission and human health risk levels due to operation and maintenance of Sareyn City wastewater treatment plant. *Journal of environmental studies.* 47(1): 45-64. [In Persain].
  35. **Rashidi Fard, M., Rashidi, Y. and Amiri, M., 2019.** Modeling the emission and calculation of the risk of steelmaking contaminants using the AERMOD model. *Journal of Behdasht Dar Arseh (i.E., Health in the Field).* 6(3), 27-35. [In Persain].
  36. **Romero-Crespo, P., Jiménez-Oyola, S., Salgado-Almeida, B., Zambrano-Anchundia, J., Goyburo-Chávez, C., González-Valoys, A. and Higuera, P., 2023.** Trace elements in farmland soils and crops, and probabilistic health risk assessment in areas influenced by mining activity in Ecuador. *Environmental Geochemistry and Health.* 45(7), 4549-4563.
  37. **Saghi, G.R., 2000.** Feasibility study of wastewater treatment and wastewater circulation in small industrial communities (Charm-Shahr, Mashhad). Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. [In Persain].
  38. **Saidon, N.B., Szabó, R., Budai, P. and Lehel, J., 2024.** Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental pollution,* 340, 122815.
  39. **Sajil Kumar, P.J. and James, E.J., 2019.** Assessing the impact of leather industries on groundwater quality of Vellore District in South India using a geochemical mixing model. *Environmental Claims Journal.* 31(4), 335-348.
  40. **Sawalha, H., Alsharabaty, R., Sarsour, S. and Al-Jabari, M., 2019.** Wastewater from leather tanning and processing in Palestine: characterization and management aspects.





## Health Risk Assessment Due to Wastewater in Charm-Shahr Industrial Town of Mashhad

Somayeh Khojasteh<sup>1</sup>, Azadeh Karimi<sup>\*1</sup>

<sup>1\*</sup> - Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

### Original Article

**Received:**  
2024.12.05

**Accepted:**  
2025.03.01

**Keywords:**  
Carcinogenic Risk,  
Chemical  
Pollution,  
Health Risk,  
Heavy Metals,  
Industrial Town,  
Wastewater

### Abstract

**Introduction:** Over the past a few decades, human societies have observed that the concentrations of heavy metals in the environment have increased due to industrial development, mining exploration, smelting industries and sometimes due to accidental emissions. These activities have posed a major threat to the human's health. Industrial towns are among the centers that, if not adequately monitored, can lead to the dispersion of heavy metals in the environment and endanger the health of people living in the surrounding area.

**Materials and Methods:** For this purpose, the environmental hazards of wastewater from Charm-Shahr industrial town were investigated. In this study, the Risk Assessment Information System (RAIS) web-based software was used. The measured wastewater samples were analyzed between 2004 and 2019 and after pollutants' identifications, non-carcinogenic hazards and carcinogenic risks of the human's exposure to those pollutants were evaluated.

**Results:** Based on the sampling from the outlet of Charm-Shahr's water treatment plant, in most cases, the non-carcinogenic risk of exposure to the contaminants in water was less than 1, indicating that there is no significant risk to the residents in relation to the surface water of the exposure area. In one case, the non-carcinogenic risk of exposure to the contaminants in water from the oral path was in the range of  $0.1 < HQ < 1$ , indicating the possible risk was low. In another case, the non-carcinogenic risk of exposure to the contaminants in the water from the oral route for the child was in the range of  $0.1 < HQ < 1$ , meaning the potential risk was low.

**Discussion:** According to the results, this risk was due to exposure to hexavalent chromium which was found in the sewage due to the presence of leather industries in Charm-Shahr. The rate of carcinogenic risk from both oral and skin pathways were in the range of  $10^{-6} < Risk < 10^{-5}$  and  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$ . Therefore, there was a possibility of carcinogenesis in relation to the contaminants. The total risk was also in the range of

$Risk > 10^{-4}$  and  $10^{-5} < Risk < 10^{-4}$ , indicating the risk of total carcinogenesis was definite or probable, and in some cases, there was no known risk. Results showed that the existing health risk was due to the presence of hexavalent chromium and in some cases was related to nickel. It has been reported that chromium is sometimes converted to stable compounds with higher toxicity in the natural environment. In this study, we discussed the risk assessment due to the exposure of different groups of people and the impact on their health due to the concentrations of heavy metals resulting from industrial activities. The findings show that the carcinogenic risk was due to the presence of hexavalent chromium and in some cases nickel. The possibility of non-carcinogenic hazards and carcinogenic risks of exposure to hexavalent chromium and nickel were possible, probable and in some cases definite. Therefore, it is necessary to monitor the functionality of the Charm-Shahr's water treatment plant and track the number of pollutants at specific time intervals. Periodic and continuous measurements of pollutants and the risk assessment due to the presence of hexavalent chromium and nickel pollutants on fish, other animals and plants in the region can be useful in controlling environmental pollution, providing monitoring programs and regional decision-making.