Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.2, No.1; 2024.pp: 1-12

Research paper

(Received Jan. 31, 2024 Accepted Mar. 2, 2024)

Health risk assessment of nitrate pollutant in purified water for recycling in residential settlements

Kimiya Aminizade [*1], Mohesen BahaAdini[2]

[1]*Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.*
[2] *Department of Environmental Engineering (Water and Wastewater), Kish international campus, Tehran university, Hormozgan, Iran.*

Abstract

Groundwater is one of the sources used for drinking water. Nowdays, the amount of nitrate in most of the industrial effluents is outside the standard limit, and during the purification process, the efficiency of its removal should be carefully considered. Because, the infiltration of indaustrial wastewater into underground water, is unavoidable. In this study, it was conducted with the aim of investigating the health risk of nitrates present in the treatment of underground water extracted in the vicinity of one of the oil facilities located in the city of Tehran for reuse in a residential area. In order to assess the risk of purified water, the amount of nitrate output was sampled once every two weeks for a year and finally 25 samples were analyzed. The average measured nitrate concentration in the samples is equal to 3/63 mg/liter and the maximum measured concentration is equal to 7/134 mg/liter. Nitrate risk assessment method is selected based on EPA standard. The results showed that the level of non-cancerous risk in 84% of the samples for babies was above one (HQ ≥ 1) and consumption of this water can be dangerous for them. As a result, more sensitivity should be considered on the efficiency of nitrate removal in the treatment plant system.

Keywords: Drinking Water, Nitrate, Health Risk Assessment, EPA Standard, Residential Settlement.

* Corresponding Author: Kimiya Aminizade
Email: Aminizade96@gmail.com
Phone: +98 9364643035

Doi: 10.48306/jumee.2024.440957.1034

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال دوم/شماره اول/بهار ۱۴۰۳/صفحه ۱-۱۲

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/ ۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱/۱۴

ارزیابی ریسک سلامت آلاینده‌ی نیترات در آب تصفیه‌شده جهت بازچرخانی در شهرک‌های مسکونی

کیمیا امینی زاده*[۱]، محسن بها الدینی[۲]

[۱]کارشناسی ارشد، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

[۲] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط زیست (آب و فاضلاب)، پردیس کیش، دانشگاه تهران، هرمزگان، ایران

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مورد استفاده برای آب شرب است. امروزه، در اکثر پساب‌های صنعتی، میزان آلاینده‌ی نیترات خارج از محدوده‌ی استاندارد است و بایستی طی فرآیند تصفیه با دقت زیادی بر کارآمدی میزان حذف آن تا محدوده موردنظر، دقت کرد. زیرا نفوذ این پساب‌های صنعتی در آب‌های زیرزمینی، غیرقابل اجتناب است. در این مطالعه با هدف بررسی میزان ریسک سلامت، میزان نیترات موجود در تصفیه آب زیرزمینی استخراج شده در مجاورت یکی از تأسیسات نفتی واقع در شهر تهران، به‌منظور استفاده مجدد در یک شهرک مسکونی بررسی شده است. برای ارزیابی ریسک آب تصفیه‌شده، میزان خروجی نیترات طی یک سال به صورت هر دو هفته یک بار نمونه‌برداری و درنهایت تعداد ۲۵ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت. غلظت نیترات سنجیده شده به‌طور میانگین در نمونه‌ها برابر با ۶۳/۳ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر غلظت سنجش شده برابر با ۱۳۴/۷ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده‌شده است. روش ارزیابی ریسک نیترات در این تحقیق بر اساس استاندارد EPA انتخاب‌شده است. نتایج نشان داد که میزان ریسک غیر سرطانی در ۸۴ درصد نمونه‌ها برای رده سنی نوزادان بالای یک بوده است ($HQ \geq 1$) و مصرف این آب می‌تواند برای آن‌ها خطرناک باشد. درنتیجه باید حساسیت بیشتری بر کارآمدی و حذف شدن نیترات در سیستم تصفیه‌خانه در نظر گرفته شود.

کلمات کلیدی: آب شرب، نیترات، ارزیابی ریسک سلامت، استاندارد EPA، شهرک مسکونی.

* نویسنده مسئول: کیمیا امینی زاده

ایمیل: Aminizade96@gmail.com

شماره تماس:+989364643035

Doi: 10.48306/jumee.2024.440957.1034

۱-مقدمه

آب یک عنصر ضروری برای حیات و بقای موجودات زنده و یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است. با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، مصرف آب نیز به‌سرعت در حال افزایش است [۱]. بااین‌حال محدودیت منابع آبی با کیفیت مناسب سبب شده است کمبود آب به‌عنوان یک عامل مهم در رشد اقتصادی جوامع تأثیرگذار باشد. علاوه بر محدودیت منابع آبی در دسترس جهان، مشکلات مربوط به آلودگی آب‌ها نیز امروزه به یک چالش مهم زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. به‌گونه‌ای که در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، در دسترس بودن آب سالم و بهداشتی ازجمله نگرانی‌های مهم در جامعه کنونی به‌حساب می‌آید.

تأمین آب آشامیدنی باکیفیت، سالم و بهداشتی یکی از اهداف مهم جوامع بشری است و مصرف آب ناسالم و غیربهداشتی در کوتاه‌مدت و درازمدت می‌تواند منجر به اثرات سوء بهداشتی در جمعیت مصرف‌کننده شود و سلامتی این افراد را در معرض خطرات جبران ناپذیری قرار دهد.

نیترات، نیتریت و فلوراید ازجمله آلاینده های غیر آلی رایج در منابع آب زیرزمینی هستند که در ایجاد خطر سلامتی غیر سرطان‌زا در جمعیت مصرف‌کننده تأثیرگذارند. نیترات یکی از متداول‌ترین آلاینده‌های شیمیایی منابع آب در اکثر نقاط جهان است که وجود بیش‌از حد مجاز آن در منابع آبی، سبب محدودیت و حتی ممنوعیت استفاده از این منابع می‌گردد. غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی به‌طور طبیعی پایین است اما انحلال نیترات در پساب های صنعتی رها شده، با عبور از لایه‌های جبهه خاک و رسیدن تا عمق سفره‌های آب زیرزمینی، سبب ورود آن به چرخه محیط‌زیست می گردد که در نهایت منجر به آلودگی آب می شود.

مهم‌ترین منابع ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی شامل دفع فاضلاب در چاه‌های جاذب، تخلیه پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به محیط‌زیست، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در کشاورزی و نشت شیرابه در محل‌های دفن بهداشتی پسماند شهری است. به‌علاوه یکی از چالش‌های مهم در کیفیت آب زیرزمینی وجود تأسیسات مختلف صنعتی در حومه شهرهای بزرگ و نفوذ آلاینده‌های آن‌ها به این منابع آب است.

در سراسر جهان محدودیت‌هایی در خصوص مصرف آب آشامیدنی حاوی نیترات در نظر گرفته‌شده است. سازمان جهانی بهداشت، اتحادیه اروپا و همچنین سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، حداکثر مجاز یون نیترات در آب‌های آشامیدنی را برابر ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات تعیین نموده است [۲]. میزان مجاز نیترات در آب شرب برای آژانس محافظت از محیط‌زیست ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر گزارش‌شده است [۳].

مصرف آب با غلظت بالای نیترات سبب بروز مشکلات اساسی در سیستم ایمنی انسان به‌ویژه در کودکان و شیرخواران (به دلیل نسبت بالاتر حجم آب به وزن بدن آن‌ها) می‌گردد. در اثر فعالیت باکتری‌های موجود در دستگاه گوارش در شرایط بی‌هوازی، نیترات به نیتریت احیا می‌شود. جذب نیتریت توسط خون سبب اختلال در تشکیل هموگلوبین، تولید مت‌هموگلوبین و کاهش ظرفیت حمل اکسیژن توسط گلبول‌های قرمز و درنهایت ایجاد بیماری سندرم کودک آبی (مت هموگلوبینمیا) و حتی مرگ نوزادان می‌شود [۴]. علاوه بر این سقط‌جنین و ایجاد ناهنجاری‌ها در جنین، تأثیر بر اختلالات عملکرد تیروئید، ناباروری و بروز انواع مختلف سرطان که در اثر تشکیل نیتروزآمین حاصل از ترکیب نیتریت با آمین‌های نوع دوم و سوم صورت می‌گیرد، مشکلات قلبی و حتی مرگ ناشی از خفگی در غلظت‌های بالا ازجمله مهم‌ترین عوارض مصرف آب آشامیدنی حاوی غلظت بالای نیترات است [۵, ۶]. غلظت بالای نیترات در آب آشامیدنی به‌عنوان یکی از انواع آلودگی های شیمیایی آب شرب شناخته‌شده و با ویژگی‌های آب آشامیدنی سالم مغایر است. قابل ذکر است که میزان اثرگذاری و عوارض نوشیدن آب حاوی نیترات در نوزادان، کودکان و بزرگ‌سالان با یکدیگر متفاوت است.

نوزادان تا ۳ ماهگی در بالاترین میزان ریسک خطر ابتلا به سندرم کودکان آبی قرار دارند زیرا فلور طبیعی روده آن‌ها به تولید مت‌هموگلوبین کمک می‌کند. اما در غلظت‌های بالاتر نیترات، حتی کودکان و بزرگ‌سالان هم می‌توانند این سندرم را تجربه کنند [۷, ۸]. در برخی مطالعات قرار گرفتن در معرض سطوح بالاتر نیترات‌ها یا نیتریت‌ها با افزایش بروز سرطان و تومورهای مغزی در بزرگسالان، و لوسمی و تومورهای نازوفارنکس (بینی و گلو) در کودکان همراه بوده است [۷, ۹]. محتمل‌ترین راه‌های در معرض خطر قرار گرفتن کودکان، مصرف آب آشامیدنی آلوده و همچنین مصرف مواد غذایی حاوی نگه‌دارنده‌ها، مانند گوشت پخته و فرآورده های گوشتی فرآوری شده مانند سوسیس است. برخی از نیتریت‌ها در محصولات خانگی به‌عنوان مواد استنشاقی توسط نوجوانان و بزرگسالان برای افزایش

عملکرد جنسی به کار می‌روند و عموماً «پوپر» نامیده می‌شوند. ترکیبات آن شامل آمیل[۱]بوتیل[۲] ایزوبوتیل[۳] و سیکلوهگزیل نیتریت‌ها[۴] هستند و اغلب در بطری‌های قهوه‌ای کوچک به فروش می‌رسند و با برچسب «تمیزکننده سر ویدئو»، «خوش‌بوکننده اتاق»، «تمیزکننده چرم» یا «عطر مایع» شناخته می‌شوند [۱۰].

درویش متولی[۵] و همکاران در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی خطرات سرطان‌زایی مربوط به در معرض قرار گرفتن نیترات در آب آشامیدنی در کشور ایران پرداختند [۲]. این مطالعه با استفاده از مطالعات مروری بر غلظت نیترات در منابع آب آشامیدنی از نشریات بررسی‌شده تا سال ۲۰۱۹ به دست آمد. همچنین، طبق نتایج به‌دست‌آمده، ذخایر آب شرب شهرهای تهران، مشهد (خراسان رضوی)، زاهدان (سیستان و بلوچستان)، شیراز (فارس)، قم، اردبیل و اهواز (خوزستان) دارای غلظت نیترات بالاتر از حد توصیه‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI)[۶] شناسایی شدند.

قاسمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی خطرات بهداشتی ناشی از تغییر غلظت نیترات در آب آشامیدنی در مناطق روستایی شمال شرق ایران پرداختند [۱۱]. در این مطالعه پنجاه‌وهشت نمونه آب زیرزمینی از چاه‌ها و چشمه‌ها در سال ۲۰۱۹ جمع‌آوری شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده تغییرات مشهودی در غلظت نیترات با تغییر مکانی نمونه‌برداری‌ها مشاهده شد. همچنین نتایج ارزیابی ریسک سلامت شامل مقادیر ضریب خطر (HQ)[۷] برای ۴۱ درصد از کودکان و نوزادان بالاتر از سطح ایمنی به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی حساسیت و ریسک بالای سلامت برای گروه سنی نوزادان و کودکان است.

رادفر و همکاران در سال ۲۰۱۸ به ارزیابی ریسک سلامت نیترات در آب شرب مناطق روستایی شهرستان خاش پرداختند [۱۲]. در این مطالعه ۳۰ نمونه به‌منظور بررسی غلظت نیترات در منابع آب شرب از روستاهای شهرستان خاش استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری شد. نتایج نشان دادند که غلظت نیترات در آب آشامیدنی از ۶ تا ۳۵ میلی‌گرم در لیتر (میانگین ۱۶/۰۸۳) میلی‌گرم در لیتر) متغیر بوده و میانگین مقادیر HQ در ۴ درصد نمونه‌ها در گروه‌های سنی نوزادان، کودکان، نوجوانان و بزرگ‌سالان بیش‌ازحد استاندارد است.

گولکی[۸] و همکاران در سال ۲۰۲۲ به ارزیابی ریسک سلامت و توزیع مکانی آلاینده‌های نیترات، نیتریت، فلوراید و کلیفرم در منابع آب شرب کازرون، ایران پرداختند [۴]. در این مطالعه تعداد ۲۵ حلقه چاه آب زیرزمینی موردبررسی قرار گرفت. حداکثر غلظت نیترات معادل ۲۵/۵ میلی‌گرم در لیتر و میانگین غلظت نمونه‌ها برابر ۱۳/۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد. مقادیر ضریب HQ آلاینده نیترات در همه گروه‌های سنی زیر عدد یک به دست آمد. درنهایت نتایج نشان‌دهنده اثرات بیشتر و مهم‌تر نیترات در مقایسه با نیتریت و فلوراید، در ریسک سلامت گروه‌های سنی است.

در مطالعه رضایی و همکاران در سال ۲۰۱۹ ارزیابی خطر سلامت مربوط به آلاینده‌های فلوراید، نیترات و نیتریت در آب آشامیدنی در شهرستان سنندج، ایران مورد بررسی قرار گرفت [۱۳]. تعداد نمونه‌ها برداشت‌شده در منطقه‌ی موردمطالعه ۱۰۶ نمونه است. حداکثر غلظت نیترات گزارش‌شده در این مطالعه ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و میانگین CDI نیترات در مردان، زنان و کودکان به ترتیب ۰/۴۲۵۸، ۰/۵۱۱۰ و ۱/۱۴۵۴ بود. طبق نتایج هر سه گروه موردمطالعه در معرض خطرات تماس نیترات قرار داشتند و HQ در هر یک از سه گروه بالاتر از عدد یک بود که لزوم نیاز به اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی در سیستم آب مصرفی منطقه را نشان می‌داد.

اژدرپور و همکاران در سال ۲۰۲۱ به ارزیابی مقدار نیترات در سیستم توزیع آب شهر شیراز در ایران پرداختند [۱۴]. در این مطالعه ۳۱ نمونه از نقاط مختلف شهری برداشته شد و ارزیابی این نمونه ها برای گروه‌های سنی مختلف کمتر از ۲ سال، بین ۲ تا ۶، ۶ تا ۱۶ و ۱۶ سال و بیشتر انجام شد. در این تحقیق میزان HQ و آنالیز حساسیت با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو[۹] با رویکرد احتمالی

---

[۱] Amil

[۲] Botil

[۳] Isobotil

[۴] Siclohexil Nitrits

[۵] Darvish Motevalli

[۶] Institute of Standards and Industrial Research of Iran

[۷] Hazard Quotient

[۸] Golaki, Mohammad

[۹] Mont Carlo

استفاده شده بود. نتایج آزمایشات، بیشترین و کمترین میانگین غلظت دوساله به ترتیب ۵۸/۳۵ و ۲/۱ و میانگین غلظت کل دو ساله نیترات ۲۲/۶ میلی‌گرم بر لیتر را نمایش دادند که میزان غلظت این آلاینده در برخی از نقاط بالاتر از میزان استاندارد بود. از تحلیل مقادیر HQ بر روی گروههای سنی مختلف نیز مشخص شد که گروه نوزادان در خطر بیشتری نسبت به سایر گروههای سنی بودند و میزان نیترات می تواند اثرات نامطلوبی بر روی سلامتی و رشد آنان بگذارد.

همان‌طور که از بررسی مطالعات ارائه‌شده مشخص است نیترات یکی از اصلی‌ترین چالش‌های کیفی آب مصرفی در شهرهای ایران است و ضرورت بررسی‌های مدون و دوره ای برای اطمینان از وضعیت کیفی آلاینده‌ها و میزان ریسک ناشی از آن‌ها بر سلامت شهروندان لازم و ضروری است. در این مطالعه، باهدف بررسی ریسک آلاینده نیترات آب خروجی از یک تصفیه‌خانه نیم صنعتی بر سلامت ساکنان شهرک مسکونی مجاور آن در شهر تهران پرداخته‌شده است. یکی از شاخص‌های اصلی این مطالعه ارائه‌ی فرایند تصفیه‌خانه و استفاده از مخلوطی از آب چاه (منابع آب زیرزمینی) و پساب فاضلاب بهداشتی صنعت نفتی مجاور شهرک مسکونی است.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-روش ارزیابی ریسک نیترات

در این پژوهش به بررسی ارزیابی ریسک نیترات موجود در آب تصفیه‌شده مخلوط آب زیرزمینی و پساب بهداشتی یک صنعت نفتی بر اساس استاندارد EPA پرداخته‌شده است. در مرحله اول میزان نیترات نهایی در خروجی تصفیه‌خانه اندازه‌گیری شده و با فرض استفاده‌ی آن به‌عنوان منبع آب مصرفی شهرک مسکونی مجاور، ارزیابی ریسک سلامت برای جمعیت آماری موردنظر صورت گرفته است. طبق استاندارد EPA[1]ارزیابی ریسک سلامت انسان شامل چهار مرحله اصلی است [۱۵] که در طی این مطالعه مراحل ذکرشده به ترتیب برای محاسبه و شناسایی ریسک سلامت در نظر گرفته‌شده است:

۱. شناسایی خطر
۲. ارزیابی دوز-پاسخ
۳. ارزیابی قرار گرفتن در معرض
۴. شناسایی ریسک

پس از شناسایی خطرات نیترات، در این مراحل، ارزیابی به دوز-پاسخ شامل بررسی رابطه دوز یک ماده شیمیایی و پاسخ بیولوژیکی نسبت به آن است، که در اکثر موارد، این بررسی رابطه، با آزمایش بر روی حیوانات در آزمایشگاه و تحت شرایط کنترل شده درمان آن ها رخ خواهد داد.

۲-۲-نمونه‌گیری و اندازه‌گیری میزان نیترات در خروجی آب تصفیه‌خانه

برای اندازه‌گیری غلظت نیترات به صورت ماهانه دو نمونه از خروجی تصفیه‌خانه در طی یک سال نمونه‌گیری صورت گرفت. نمونه‌برداری و آنالیز به روش استاندارد آب و فاضلاب ۴۵۰۰-$B\text{-}NO_3^-$ انجام شد. نمونه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی مندرج یک لیتری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به صورت درجا، به آزمایشگاه نزدیک منطقه مطالعاتی منتقل‌شده و طی ۲۴ ساعت میزان نیترات توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر در طول‌موج ۲۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

۲-۳-مدل ارزیابی ریسک سلامت نیترات

روشی که برای انجام ارزیابی خطر سلامتی به کار می‌رود، بر اساس مدل ضریب خطر غیر سرطان‌زا پیشنهادشده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده (USEPA 2013) است [۱۱, ۱۶]. پیش‌بینی میزان ریسک آلاینده‌ی نیتراتی در آب شرب یک شهرک با جمعیت حدود ۲۰۰۰ نفری موردبررسی قرار گرفت. میزان ریسک غیرسرطانی برای رده‌ی سنی نوزاد (کمتر از دو سال)، کودک (دو تا ده سال)، نوجوان (ده تا هجده سال)، بزرگسال (بالای هجده سال) محاسبه شد.

[1] The Environmental Protection Agency

رویکرد ضریب خطر(HQ) و دریافت مزمن روزانه (CDI)[۱]برای اثرات غیرسرطان‌زای فلوروئید، نیترات و نیتریت در آب آشامیدنی، مورد استفاده واقع می شود. برای تعیین در معرض قرارگیری فلوراید، نیترات و نیتریت در آب آشامیدنی، مقدار CDI ابتدا به صورت معادله (1) محاسبه می شود.

$$CDI= \frac{C_w \times IR \times EF \times EP}{BW \times AT} \quad (۱)$$

در این معادله، C_w میزان غلظت آلاینده ها در آب بر حسب $(^{mg}/_{l})$، IR میانگین دریافت میزان آب روزانه $(^{1}/_{d})$ و EF و EP به ترتیب بیانگر زمان تناوب و استمرار است.BW و AT نیز به ترتیب، وزن بدن و میانگین زمان اند. در جدول ۱ ضریب ثابت استفاده شده در محاسبه CDI را نشان می دهد. سپس برای تخمین تفاوت در معرض قرار گیری های متفاوت و پتانسیل نهایی برای آثار سلامت غیرسرطان‌زای فلوراید، نیتریت و نیترات در آب، مقدار HQ مطابق رابطه (۲) محاسبه می شود.

$$HQ= \frac{CDI}{RFD} \quad (۲)$$

RFD [۲]دوز مرجع بر حسب (mg/kg/day) است. مقدار HQ بزرگتر از یک، بیانگر سطح ریسک قابل توجهی است و جایی که این میزان بیشتر شود، احتمال ریسک مضر سلامت غیرسرطان‌زا بیشتر می‌شود. بر اساس USEPA، RFD در این مطالعه برای نیترات میزان ۱/۶(mg/kg/day) در نظر گرفته شده است.

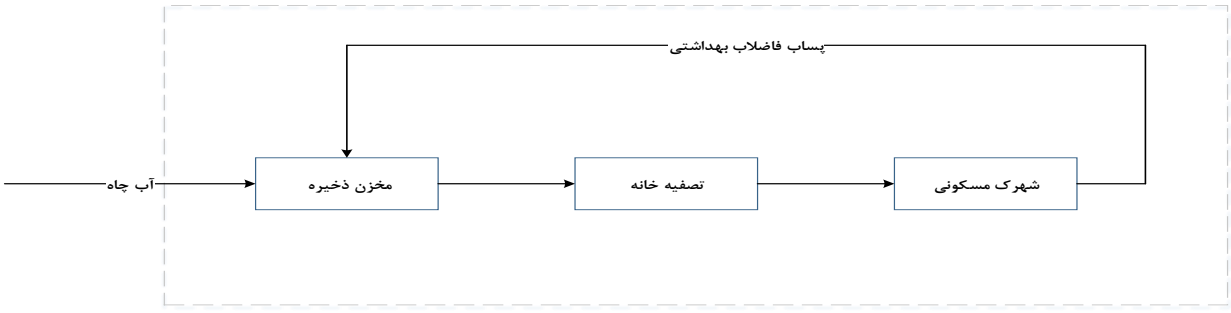
۳-منطقه‌ی مطالعاتی

شهرک مسکونی مجاور تصفیه‌خانه در حدود ۲۰۰۰ نفر جمعیت دارد که در این مطالعه نمونه آماری بررسی‌شده ۱۰ درصد جمعیت کل معادل ۲۰۰ نفر در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات افراد نمونه آماری طی بازدیدهای میدانی و انجام مصاحبه‌ها و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری و مورداستفاده قرارگرفته است. قابل‌ذکر است، به دلیل ارائه اطلاعات نتایج کیفی پساب و آب تصفیه‌شده و ارزیابی ریسک نیترات برای شهرک مسکونی مجاور آن و امکان بروز برخی سوءبرداشت از نتایج مطالعه از ارائه مکان و نام تصفیه‌خانه خودداری شده است.

تصفیه‌خانه موردمطالعه، مستقر در حومه شهر تهران است که دو نوع منبع آب ورودی (شبکه فاضلاب بهداشتی و آب زیرزمینی چاه) به آن جهت تصفیه وارد می‌شود.

۱.میزان جریان (دبی) فاضلاب بهداشتی ورودی به تصفیه‌خانه ۹۰ مترمکعب در روز است.

۲. میزان جریان (دبی) پمپ شده از چاه‌های آب زیرزمینی ۱۷۰ مترمکعب در روز است.



شکل ۱- شماتیک چرخه پساب فاضلاب بهداشتی در شهر تهران

[۱]Chronic Daily Intake

[۲]Inhalation Reference Dose

در ادامه عناوین واحدهای عملیاتی اصلی مورداستفاده در فرایند تصفیه‌خانه ارائه‌شده است.

۱.واحد جداسازی آب، لجن و مواد نفتی

۲.حوضچه خنثی‌سازی (تزریق اسیدسولفوریک ۱۰٪)، تنظیم pH و هوادهی

۳.واحد حذف امولسیون مواد نفتی و لجن‌روب

۴.آشغال‌گیر و حوضچه ته‌نشینی

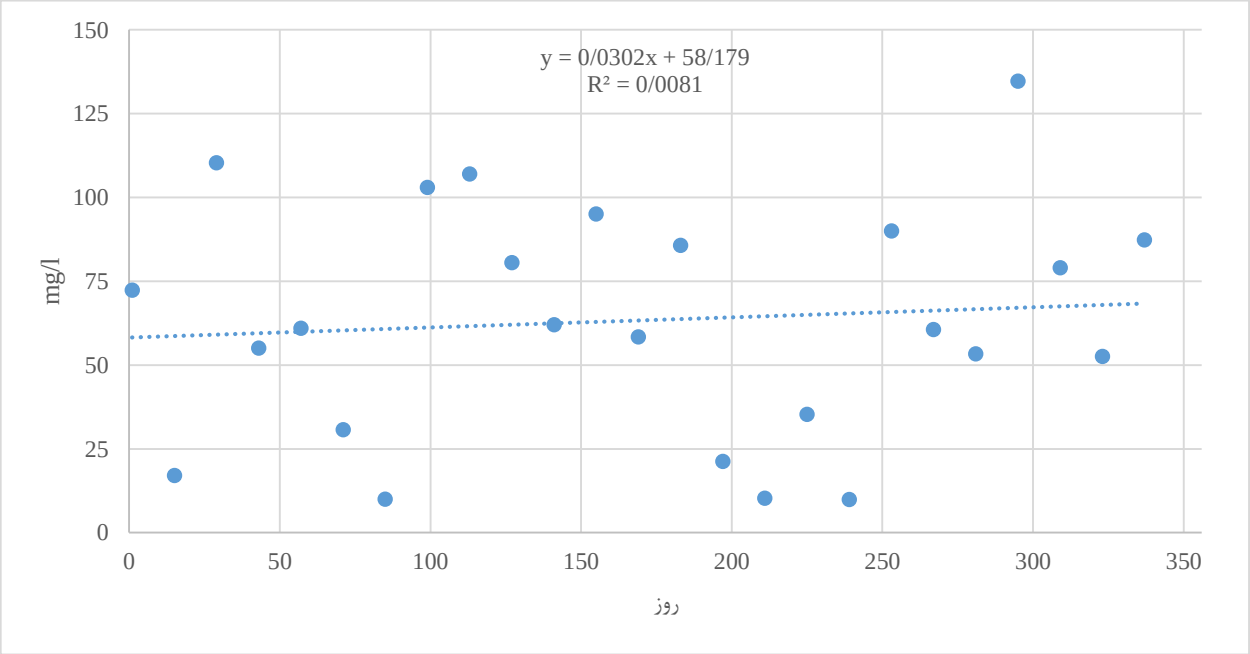
۵.مخزن هوادهی بیولوژیکی

۶.مخزن هاضم هوازی و پکیج آب‌گیری لجن

۷.واحد کلرزنی

۴-بحث و نتایج

سلامت آب‌های آشامیدنی و همچنین تصفیه‌ی اصولی پساب‌های صنعتی اولویت بالایی در بحث مدیریت شهری در نقاط مختلف دارد. در پژوهش حاضر به دلیل اهمیت زیاد آلاینده نیترات، یکی از شایع ترین آلاینده‌ها در پساب‌ها و آب‌های آشامیدنی، میزان آن تحت ارزیابی و آزمایش قرار گرفت. منطقه‌ی مورد نظر در این مطالعه، یکی از شهرک‌های صنعتی در نزدیکی شهر تهران، ایران است که برای ارزیابی سلامت ریسک آلاینده نیترات در پساب صنایع آن، در طی مدت یک سال، هر ماه دو نمونه متفاوت و استاندارد، بررسی شد. در این میزان نیترات اندازه‌گیری شده از پساب خروجی تصفیه‌خانه هر دو هفته یک‌بار و برای یک سال نمونه‌برداری، آنالیز و گزارش‌شده که نتایج آن در شکل ۲ ارائه‌شده است.



شکل ۲- نتایج آزمایش ماهیانه اندازه‌گیری نیترات در سال ۱۴۰۱

معیارهای ارزیابی، جمعیت باکتری‌های هتروتروف هوازی و ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی نیترات موجود در آب است. به‌منظور بررسی نتایج ارزیابی ریسک، از نمونه ۲۰۰ نفره، وزن افراد اندازه‌گیری و جمع‌آوری‌شده است. در این نمونه ۱۷ نفر زیر ۲ سال سن داشتند؛ ۲۹ نفر بین ۲ تا ۱۰ سال، ۴۲ نفر بین ۱۰ تا ۱۸ سال و ۱۱۲ نفر بالای ۱۸ سال سن داشتند.

برای محاسبه ضریب CDI، پارامترهای لازم برای چهار گروه سنی در جدول ۱ مشخص‌شده است. میزان مصرف آب روزانه و وزن افراد از میانگین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده محاسبه‌شده است. میزان سال‌های در معرض نیترات نیز بر اساس میانگین سن افراد در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های ارزیابی ریسک نیترات و مقادیر برداشت‌شده از نمونه آماری شهرک مسکونی موردمطالعه

واحد	نوزاد (کمتر از دو سال)	کودک (دو تا ده سال)	جوان (ده تا هجده سال)	بزرگسال (بالای هجده سال)
L/day	۰/۷۵	۱/۱۲	۱/۶۹	۲/۲۳
kg	۹/۷	۱۸/۷	۴۶/۴	۷۳/۱
mg/kg.day	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶
year	۱	۶	۱۴	۳۵

در جدول ۲، نتایج محاسبه ضریب CDI برای چهار گروه سنی متفاوت نشان داده‌شده است.

جدول ۲- محاسبه ضریب CDI طبق استاندارد EPA

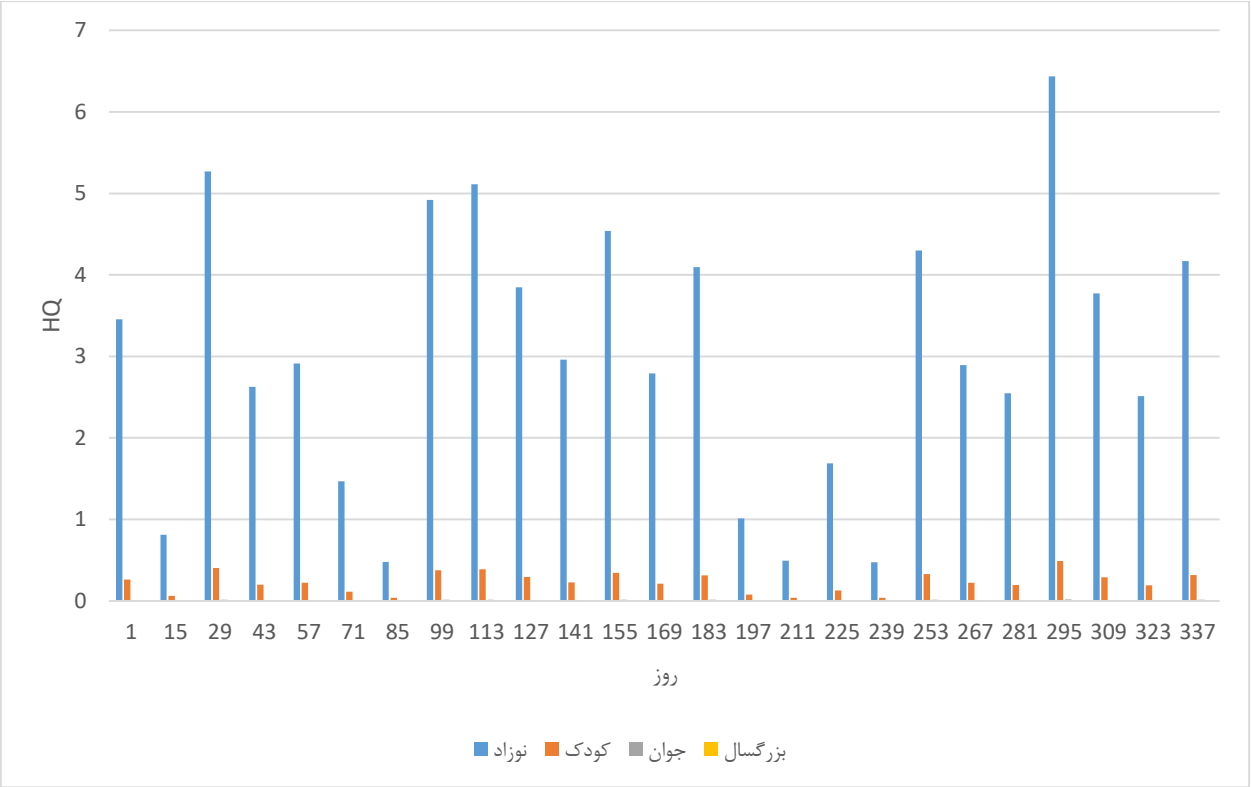
روز	mg/l	CDI			
	Cw	نوزاد	کودک	جوان	بزرگسال
۱	۷۲/۳	۵/۵۹۰۲۰۶۱۸۶	۰/۳۳۴۸۱۴	۰/۰۱۲۱۹۵	۰/۰۰۰۳۷۲
۱۵	۱۷	۱/۳۱۴۴۳۲۹۹	۰/۰۷۸۷۲۵	۰/۰۰۲۸۶۷	E-05۸/۷۵
۲۹	۱۱۰/۳	۸/۵۲۸۳۵۰۵۱۵	۰/۵۱۰۷۸۹	۰/۰۱۸۶۰۴	۰/۰۰۰۵۶۸
۴۳	۵۵	۴/۲۵۲۵۷۷۳۲	۰/۲۵۴۷	۰/۰۰۹۲۷۷	۰/۰۰۰۲۸۳
۵۷	۶۱	۴/۷۱۶۴۹۴۸۴۵	۰/۲۸۲۴۸۵	۰/۰۱۰۲۸۹	۰/۰۰۰۳۱۴
۷۱	۳۰/۷	۲/۳۷۳۷۱۱۳۴	۰/۱۴۲۱۶۹	۰/۰۰۵۱۷۸	۰/۰۰۰۱۵۸
۸۵	۱۰	۰/۷۷۳۱۹۵۸۷۶	۰/۰۴۶۳۰۹	۰/۰۰۱۶۸۷	E-05۵/۱۵
۹۹	۱۰۳	۷/۹۶۳۹۱۷۵۲۶	۰/۴۷۶۹۸۳	۰/۰۱۷۳۷۳	۰/۰۰۰۵۳
۱۱۳	۱۰۷	۸/۲۷۳۱۹۵۸۷۶	۰/۴۹۵۵۰۷	۰/۰۱۸۰۴۸	۰/۰۰۰۵۵۱
۱۲۷	۸۰/۵	۶/۲۲۴۲۲۶۸۰۴	۰/۳۷۲۷۸۸	۰/۰۱۳۵۷۸	۰/۰۰۰۴۱۴
۱۴۱	۶۲	۴/۷۹۳۸۱۴۴۳۳	۰/۲۸۷۱۱۶	۰/۰۱۰۴۵۷	۰/۰۰۰۳۱۹
۱۵۵	۹۵	۷/۳۴۵۳۶۰۸۲۵	۰/۴۳۹۹۳۶	۰/۰۱۶۰۲۴	۰/۰۰۰۴۸۹
۱۶۹	۵۸/۴	۴/۵۱۵۴۶۳۹۱۸	۰/۲۷۰۴۴۵	۰/۰۰۹۸۵	۰/۰۰۰۳
۱۸۳	۸۵/۷	۶/۶۲۶۲۸۸۶۶	۰/۳۹۶۸۶۹	۰/۰۱۴۴۵۵	۰/۰۰۰۴۴۱
۱۹۷	۲۱/۲	۱/۶۳۹۱۷۵۲۵۸	۰/۰۹۸۱۷۵	۰/۰۰۳۵۷۶	۰/۰۰۰۱۰۹
۲۱۱	۱۰/۳	۰/۷۹۶۳۹۱۷۵۳	۰/۰۴۷۶۹۸	۰/۰۰۱۷۳۷	E-05۵/۳
۲۲۵	۳۵/۳	۲/۷۲۹۳۸۱۴۴۳	۰/۱۶۳۴۷۱	۰/۰۰۵۹۵۴	۰/۰۰۰۱۸۲
۲۳۹	۹/۹	۰/۷۶۵۴۶۳۹۱۸	۰/۰۴۵۸۴۶	۰/۰۰۱۶۷	E-05۵/۰۹
۲۵۳	۹۰	۶/۹۵۸۷۶۲۸۸۷	۰/۴۱۶۷۸۲	۰/۰۱۵۱۸	۰/۰۰۰۴۶۳
۲۶۷	۶۰/۶	۴/۶۸۵۵۶۷۰۱	۰/۲۸۰۶۳۳	۰/۰۱۰۲۲۱	۰/۰۰۰۳۱۲
۲۸۱	۵۳/۳	۴/۱۲۱۱۳۴۰۲۱	۰/۲۴۶۸۲۷	۰/۰۰۸۹۹	۰/۰۰۰۲۷۴
۲۹۵	۱۳۴/۷	۱۰/۴۱۴۹۴۸۴۵	۰/۶۲۳۷۸۳	۰/۰۲۲۷۲	۰/۰۰۰۶۹۳
۳۰۹	۷۹	۶/۱۰۸۲۴۷۴۲۳	۰/۳۶۵۸۴۲	۰/۰۱۳۳۲۵	۰/۰۰۰۴۰۶
۳۲۳	۵۲/۶	۴/۰۶۷۰۱۰۳۰۹	۰/۲۴۳۵۸۶	۰/۰۰۸۸۷۲	۰/۰۰۰۲۷۱
۳۳۷	۸۷/۳	۶/۷۵	۰/۴۰۴۲۷۸	۰/۰۱۴۷۲۵	۰/۰۰۰۴۴۹

به‌منظور محاسبه‌ی ضریب خطر غیرسرطان‌زایی ضریب HQ محاسبه‌شده است که در جدول ۳ برای چهار گروه سنی آورده شده است.

جدول ۳- محاسبه ضریب HQ به همراه تحلیل آماری پایه

روز	HQ			
	نوزاد	کودک	جوان	بزرگسال
۱	۳/۴۹۳۸۷۸۸۷	۰/۲۰۹۲۵۹۰۵۵	۰/۰۰۷۶۲۱۷۲	۰/۰۰۰۲۳۲۵۰۹
۱۵	۰/۸۲۱۵۲۰۶۲	۰/۰۴۹۲۰۳۳۷۴	۰/۰۰۱۷۹۲۱۰۶	E-05۵/۴۶۷۰۳
۲۹	۵/۳۳۰۲۱۹۰۷	۰/۳۱۹۲۴۳۰۶۷	۰/۰۱۱۶۲۷۶۰۳	۰/۰۰۰۳۵۴۷۱۳
۴۳	۲/۶۵۷۸۶۰۸۲	۰/۱۵۹۱۸۷۳۸۶	۰/۰۰۵۷۹۷۹۸۹	۰/۰۰۰۱۷۶۸۷۴
۵۷	۲/۹۴۷۸۰۹۲۸	۰/۱۷۶۵۵۳۲۸۳	۰/۰۰۶۴۳۰۴۹۷	۰/۰۰۰۱۹۶۱۷
۷۱	۱/۴۸۳۵۶۹۵۹	۰/۰۸۸۸۵۵۵۰۵	۰/۰۰۳۲۳۶۳۳۲	E-05۹/۸۷۲۸
۸۵	۰/۴۸۳۲۴۷۴۲	۰/۰۲۸۹۴۳۱۶۱	۰/۰۰۱۰۵۴۱۸	E-05۳/۲۱۵۹
۹۹	۴/۹۷۷۴۴۸۴۵	۰/۲۹۸۱۱۴۵۶	۰/۰۱۰۸۵۸۰۵۲	۰/۰۰۰۳۳۱۲۳۷
۱۱۳	۵/۱۷۰۷۴۷۴۲	۰/۳۰۹۶۹۱۸۲۴	۰/۰۱۱۲۷۹۷۲۴	۰/۰۰۰۳۴۴۱۰۱
۱۲۷	۳/۸۹۰۱۴۱۷۵	۰/۲۳۲۹۹۲۴۴۷	۰/۰۰۸۴۸۶۱۴۷	۰/۰۰۰۲۵۸۸۸
۱۴۱	۲/۹۹۶۱۳۴۰۲	۰/۱۷۹۴۴۷۵۹۹	۰/۰۰۶۵۳۵۹۱۵	۰/۰۰۰۱۹۹۳۸۶
۱۵۵	۴/۵۹۰۸۵۰۵۲	۰/۲۷۴۹۶۰۰۳۱	۰/۰۱۰۰۱۴۷۰۸	۰/۰۰۰۳۰۵۵۱
۱۶۹	۲/۸۲۲۱۶۴۹۵	۰/۱۶۹۰۲۸۰۶۱	۰/۰۰۶۱۵۶۴۱	۰/۰۰۰۱۸۷۸۰۸
۱۸۳	۴/۱۴۱۴۳۰۴۱	۰/۲۴۸۰۴۲۸۹۱	۰/۰۰۹۰۳۴۳۲۱	۰/۰۰۰۲۷۵۶۰۲
۱۹۷	۱/۰۲۴۴۸۴۵۴	۰/۰۶۱۳۵۹۵۰۲	۰/۰۰۲۲۳۴۸۶۱	E-05۶/۸۱۷۷
۲۱۱	۰/۴۹۷۷۴۴۸۵	۰/۰۲۹۸۱۱۴۵۶	۰/۰۰۱۰۸۵۸۰۵	E-05۳/۳۱۲۳۷
۲۲۵	۱/۷۰۵۸۶۳۴	۰/۱۰۲۱۶۹۳۵۹	۰/۰۰۳۷۲۱۲۵۵	۰/۰۰۰۱۱۳۵۲۱
۲۳۹	۰/۴۷۸۴۱۴۹۵	۰/۰۲۸۶۵۳۷۳	۰/۰۰۱۰۴۳۶۳۸	E-05۳/۱۸۳۷۴
۲۵۳	۴/۳۴۹۲۲۶۸	۰/۲۶۰۴۸۸۴۵	۰/۰۰۹۴۸۷۶۱۸	۰/۰۰۰۲۸۹۴۳۱
۲۶۷	۲/۹۲۸۴۷۹۳۸	۰/۱۷۵۳۹۵۵۵۷	۰/۰۰۶۳۸۸۳۳	۰/۰۰۰۱۹۴۸۸۳
۲۸۱	۲/۵۷۵۷۰۸۷۶	۰/۱۵۴۲۶۷۰۴۹	۰/۰۰۵۶۱۸۷۷۸	۰/۰۰۰۱۷۱۴۰۷
۲۹۵	۶/۵۰۹۳۴۲۷۸	۰/۳۸۹۸۶۴۳۸۱	۰/۰۱۴۱۹۹۸۰۲	۰/۰۰۰۴۳۳۱۸۱
۳۰۹	۳/۸۱۷۶۵۴۶۴	۰/۲۲۸۶۵۰۹۷۳	۰/۰۰۸۳۲۸۰۲	۰/۰۰۰۲۵۴۰۵۶
۳۲۳	۲/۵۴۱۸۸۱۴۴	۰/۱۵۲۲۴۱۰۲۸	۰/۰۰۵۵۴۴۹۸۶	۰/۰۰۰۱۶۹۱۵۶
۳۳۷	۴/۲۱۸۷۵	۰/۲۵۲۶۷۳۷۹۷	۰/۰۰۹۲۰۲۹۹	۰/۰۰۰۲۸۰۷۴۸

در ادامه به‌منظور مقایسه‌ی بهتر ضریب HQ برای گروه‌های سنی مختلف مقادیر آن در شکل ۳ در کنار یکدیگر نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشخص است، بیشتر سطح ریسک برای گروه سنی نوزادان می‌باشد. علی‌رغم اینکه (طبق شکل ۳) عمده نمونه‌های آماری غلظت نیترات در آب تصفیه‌شده به‌منظور استفاده شرب در مجتمع مسکونی موردنظر از حد استاندارد بالاتر بوده، ضریب HQ به‌دست‌آمده برای گروه‌های سنی کودکان، جوانان و بزرگسالان مقداری کمتر از یک نتیجه داده است و تنها گروه سنی نوزادان ریسک بالایی را نشان می‌دهد. البته بایستی به این نکته اشاره داشت که حدود غلظت خارج از استاندارد شدت‌های زیادی نداشته و حدود بدترین حالت، دو برابر حد استاندارد است.



شکل ۳- وضعیت ضریب HQ برای گروه سنی مختلف

به‌منظور ارزیابی ریسک نیترات موجود در آب، ضریب غیر سرطان‌زایی برای چهار گروه سنی محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب HQ برای گروه سنی نوزادان در اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز یعنی عدد یک است. برای سایر گروه‌های سنی این ضریب در تمامی نمونه‌ها کمتر از یک محاسبه‌شده است. در گروه سنی زیر ۲ سال، تعداد ۲۰ نمونه از نمونه‌های جمع‌آوری‌شده، مقدار HQ بیش از یک به‌دست‌آمده است که نشان می‌دهد نیترات موجود در آب برای این گروه سنی می‌تواند آثار غیر سرطان‌زایی به بار آورد.

در جدول ۲ ضریب ثابت CDI و در جدول ۳ ضریب ثابت HQ در گروه های مختلف سنی آورده شده است. طبق این جدول ضریب CDI برای گروه های سنی نوزادان مقدار قابل توجه‌تر به نسبت سایر گروه‌های سنی است که خود بیانگر اهمیت تاثیرگذاری بر روی این گروه می باشد که این موضوع، قابل بررسی بر اساس HQ طبق شکل ۳ نیز می باشد. در این شکل در بازه‌های زمانی متفاوت مقادیر HQ دارای بیشترین مقدار برای سنین نوزادان بوده و پس از آن در سنین کودکان می‌باشد. در این شکل تناسب افزایشی ضریب بین گروه‌های سنی، مانند جدول ۲ قابل مشاهده است. طبق تعریف استاندارد برای این ضریب، مقادیر ضریب HQ بالاتر از یک، خطرزا و باعث بیماری و مشکلات حاد می شود. در شکل ۳، مقدار این ضریب برای تنها گروه سنی نوزادان مقادیر بالاتر از یک را شامل می‌شود که بدین‌ترتیب نشانگر در معرض خطر بالا بودن این گروه را نتیجه می‌دهد. پس از آن برای گروه کودکان، به تناسب روند افزایشی یا کاهشی ضریب HQ در گروه کودکان در دوره های متفاوت، بیشترین میزان را دارد. در آخر به ترتیب برای نوجوانان و در نهایت بزرگسالان قرار دارند که وضعیت آسیب پذیری هر یک را نشان می‌دهد.

۵-نتیجه‌گیری

این مطالعه بر روی آب شرب به‌دست‌آمده از تصفیه آب چاه زیرزمینی در مجاورت یکی از تأسیسات نفتی مستقر در شهر تهران انجام شد. آب تصفیه‌شده به‌منظور استفاده شرب به شهرک مسکونی مجاور انتقال داده می‌شود. در این مطالعه ارزیابی خطر سلامتی نیترات بر سلامت ساکنان مجتمع مسکونی موردمطالعه قرار گرفت. یافته‌های این مطالعه نشان داد که غلظت نیترات برای جمعیت موردمطالعه بیشتر از استانداردهای کیفی ملی (ایران) و بین‌المللی است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که از چهار گروه موردمطالعه در معرض خطرات تماس نیترات (HQ > 1) تنها نوزادان در عمده موارد در معرض خطر بوده و مابقی گروه‌ها از وضعیت مطلوبی برخوردار هستند.

علی‌رغم اینکه عمده نمونه‌های آماری غلظت نیترات در آب تصفیه‌شده به‌منظور استفاده‌ی شرب در مجتمع مسکونی موردنظر از حد استاندارد بالاتر بوده، ضریب HQ به‌دست‌آمده برای گروه‌های سنی کودکان، جوانان و بزرگسالان مقداری کمتر از ۱ به‌دست‌آمده ولی فقط گروه سنی نوزادان ریسک بالایی را نشان داده است به مانند تحقیقات پیشین که در نهایت مقادیر این ضریب برای گروه‌های مختلف این مسئله را نشان داد که گروه سنی نوزادان نسبت به باقی گروه های سنی مقادیر بیشتری را داشت که این امر نشانگر در معرض خطر بیشتری نسبت به باقی گروه‌ها است. احتمالاً این موضوع می‌تواند به دلیل فاصله اندک غلظت‌های نیترات سنجش شده نسبت به حدود استاندارد باشد و اگر شدت غلظت نیترات حدود بیشتری بود احتمال افزایش ریسک و افزایش نرخ HQ نیز افزایش پیدا می‌کرد. بر طبق مشاهدات این تحقیق و همچینین براساس تحقیقات گذشته در این‌حوزه در شهرهای مشابه، درمجموع می‌توان عملکرد تصفیه‌خانه موردمطالعه را مناسب دانست و مصرف‌کنندگان آب خروجی از آن، بایستی در مصرف نوزادان دقت بیشتر داشته باشند و احتمالاً از منابع آب جایگزین باکیفیت مناسب‌تری برای این گروه سنی حساس استفاده کنند.

۶-منابع

1. Derakhshan, Z., et al., Biodegradation of atrazine from wastewater using moving bed biofilm reactor under nitrate-reducing conditions: A kinetic study. Journal of environmental management, 2018. **212**: p. 506-513. DOI:10.1016/j.jenvman.2018.02.043.
2. Darvishmotevalli, M., et al., Evaluation of carcinogenic risks related to nitrate exposure in drinking water in Iran. MethodsX, 2019. **6**: p. 1716-1727. DOI:10.1016/j.mex.2019.07.008
3. Schullehner, J., et al., Nitrate in drinking water and colorectal cancer, in Innovative Solutions for Sustainable Management of Nitrogen. 2017. DOI: 10.1002/ijc.31306 .
4. Golaki, M., et al., Health risk assessment and spatial distribution of nitrate, nitrite, fluoride, and coliform contaminants in drinking water resources of kazerun, Iran. Environmental Research, 2022. **203**: p. 111850. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111850 .
5. Jones, R.R., et al., Nitrate from drinking water and diet and bladder cancer among postmenopausal women in Iowa. Environmental health perspectives, 2016. **124**(11): p. 1751-1758. DOI: 10.1289/EHP191 .
6. Zhang, Q., et al., Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District. Journal of Cleaner Production, 2021. **298**: p. 126783. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.126783 .
7. Parvizishad, M., et al., A review of adverse effects and benefits of nitrate and nitrite in drinking water and food on human health. Health Scope, 2017. **6**(3). DOI: 10.5812/jhealthscope.14164 .
8. EPA, Child-Specific Exposure Factors Handbook (2002, Interim Report), in Child-Specific Exposure Factors Handbook. 2002.
9. Ward, M.H., et al., Drinking water nitrate and human health: an updated review. International journal of environmental research and public health, 2018. **15**(7): p. 1557. DOI: 10.3390/ijerph15071557 .
10. Kumar, M. and A. Puri, A review of permissible limits of drinking water. Indian journal of occupational and environmental medicine, 2012. **16**(1): p. 40. DOI: 10.4103/0019-5278.99696
11. Qasemi, M., et al., Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, northeastern Iran. Environmental Earth Sciences, 2018. **77**(23): p. 1-9. DOI:10.1007/s12665-018-7973-6 .

12. Radfard, M., et al., Data on health risk assessment to the nitrate in drinking water of rural areas in the Khash city, Iran. Data in brief, 2018. **21**: p. 1918-1923. DOI:10.1016/j.dib.2018.11.007 .
13. Rezaei, H., et al., Health-risk assessment related to the fluoride, nitrate, and nitrite in the drinking water in the Sanandaj, Kurdistan County, Iran. Human and ecological risk assessment: an international journal, 2019. **25**(5): p. 1242-1250. DOI:10.1080/10807039.2018.1463510 .
14. Azhdarpoor, A., et al., Health risk assessment and spatial distribution of nitrate, nitrite fluoride and coliform contaminants in drinking water resources of kazerun, Iran. Environmental Research, 2022. (203) p. 111850. DOI:10.1016/j.envres.2021.111850.
15. Agency, E.-U.S.E.P., IRIS Assessment Plan for Nitrate and Nitrite (Scoping and Problem Formulation Materials, Suspended), N.C.f.E. Assessment, Editor. 2017.
16. Adimalla, N., Spatial distribution, exposure, and potential health risk assessment from nitrate in drinking water from semi-arid region of South India. Human and ecological risk assessment: an international journal, 2020. **26**(2): p. 310-334. DOI:10.1080/10807039.2018.1508329 .