

یادداشت تحقیقاتی

بررسی کارایی شاخص کیفیت منابع آب در مقایسه با سه شاخص ارزیابی آلودگی آب‌های سطحی به فلزات سنگین (مطالعه موردی رواناب حوضه شمال و شرق تهران)

علی قدیری^۱، سید حسین هاشمی^{۲*}، تورج نصرآبادی^۳

۱. دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
۲. دانشیار، عضو هیات علمی پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
۳. دانشیار، عضو هیات علمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

*h_hashemi@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۶/۲۶]

چکیده

رواناب‌های شهری از مهم‌ترین منابع غیرنقطه‌ای انتشار فلزات سنگین به محیط‌های پذیرنده هستند که ارزیابی و پایش کیفیت آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. این پژوهش با هدف بررسی محتوای فلزات سنگین در رواناب شهری و مقایسه کارایی شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی ایران با شاخص آلودگی، شاخص ارزیابی فلزات سنگین و شاخص آلودگی فلزات سنگین انجام شد. بدین منظور طی سه رخداد سیلابی در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ از رواناب خروجی حوضه سرخه حصار تهران نمونه‌برداری و غلظت آرسنیک، آهن، سرب، روی، کادمیم، کروم، مس، منگنز، مولیبدن و نیکل با دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. مقادیر شاخص‌های آلودگی، ارزیابی فلزات سنگین، آلودگی فلزات سنگین و کیفیت منابع آب سطحی ایران به ترتیب در گستره ۶۸/۲-۵/۵، ۹/۶-۷۴/۴، ۸۳/۲-۱۹۲/۷ و ۸/۸-۲۳/۷ قرار داشتند. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان‌دهنده همبستگی قوی (۰/۷۷۵-۰/۹۹۹) هر چهار شاخص در رواناب بود. مقایسه نتایج شاخص‌ها در ارزیابی کیفیت رواناب نشان داد شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران، به ترتیب با شاخص‌های آلودگی، آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی فلزات سنگین بیش‌ترین قرابت را داشت. تفکیک بالای درجه آلودگی و تاثیرپذیری کم‌تر از غلظت‌های بسیار بالا از نقاط قوت شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران شناخته شد و می‌توان از این شاخص به عنوان ابزاری قدرتمند برای ارزیابی کیفیت رواناب‌های شهری استفاده کرد.

واژگان کلیدی: شاخص آلودگی، فلزات سنگین، رواناب شهری، رخداد سیلابی، تهران

۱- مقدمه

در حالی که منابع آب سالم پیش نیاز اساسی برای حفظ محیط زیست و توسعه اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی هستند، افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب وضعیت نامساعد زیست محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت آن را دشوار و پیچیده کرده است [1] و به دنبال آن مخاطرات بهداشتی برای افراد وابسته به این منابع آب را در پی داشته است [2].

فلزات سنگین، به دلیل سمیت، پایداری، پراکنش گسترده و تجزیه‌ناپذیری زیستی در زنجیره غذایی، به عنوان یکی عوامل مهم تهدیدکننده محیط زیست به ویژه برای اکوسیستم‌های آبی مطرح هستند [3, 4]. این عناصر از راه‌های مختلف طبیعی (مانند هوازدگی شیمیایی مواد معدنی و فرسایش خاک) و انسانی (فاضلاب‌های شهری و صنعتی، رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری، فعالیت‌های معدنکاری، شیرابه زباله، ته‌نشست‌های اتمسفری و غیره) در محیط‌های مختلف به ویژه آب انتشار می‌یابند. این در حالی است که اغلب نرخ انتشار ناشی از منابع انسانی در مقایسه با منابع طبیعی بسیار بیش‌تر است [5]. آثار بهداشتی نامطلوب مواجهه با فلزات سنگین در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است [6, 7] و با توجه به پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم آلودگی آب با فلزات سنگین بر زندگی جانداران و سلامت انسان، ارزیابی و پایش آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد [8]. در حالی که اهمیت منابع آب به ویژه رواناب‌های سطحی در تامین نیازهای انسان و محیط زیست، لزوم حفاظت از آن‌ها را بیش از پیش نشان می‌دهد، در سال‌های اخیر آلودگی رواناب‌های سطحی به فلزات سنگین به عنوان یکی از موضوع‌های مهم محیط زیستی مطرح شده است [5]. چرا که آلودگی آب و تجمع فلزات سنگین در آبزیان و گیاهان در نهایت می‌تواند موجب ورود آن‌ها به زنجیره غذایی جانداران و انسان‌ها شود و سلامت آن‌ها را تهدید کند.

به‌طور معمول غلظت فلزات سنگین در محیط‌های مختلف، مخاطرات بوم‌شناسی ناشی از آن‌ها را در بلندمدت نشان

نمی‌دهد. در مقابل، یکی از روش‌های ساده و فاقد پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند کیفیت آب را توصیف و به‌عنوان یک ابزار پیشرفته و قوی در تصمیم‌گیری‌ها استفاده شود، شاخص‌های کیفیت آب هستند [9]. با ساده‌سازی و کاهش داده‌های خام در قالب شاخص، علاوه بر ارزیابی کیفیت آب می‌توان روند تغییرات مکانی و زمانی را بررسی و مناطقی را که با تهدید آلودگی مواجهند، مشخص و مدیریت کرد [10].

شاخص‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت پهنه‌های آبی توسعه یافته‌اند [11-16] که از متداول‌ترین آن‌ها برای ارزیابی حضور فلزات سنگین می‌توان به شاخص آلودگی^۱ [17]، شاخص آلودگی فلزات سنگین^۲ [18] و شاخص ارزیابی فلزات سنگین^۳ [19] اشاره کرد که در مطالعات مختلفی برای ارزیابی کیفیت بدنه‌های آبی مختلف از جمله رودخانه‌ها [20, 21]، آب زیرزمینی [22]، آب شرب [23]، رواناب معدن [24] مورد استفاده قرار گرفته است. در ایران نیز شاخص پارامترهای سمی کیفیت آب‌های سطحی ایران^۴ توسط هاشمی و همکاران [25] با هدف ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی از نظر حضور آلاینده‌های سمی، از جمله فلزات سنگین توسعه یافته است. شاخص IRWQI^۵ به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی متناسب با شرایط کشور ایران توسعه یافته است، اما مرور منابع نشان می‌دهد که تاکنون برای ارزیابی وضعیت رواناب‌های شهری به عنوان یکی از منابع بالقوه انتشار فلزات سنگین، مورد استفاده قرار نگرفته است. بنابراین بررسی کارایی این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌های معمول استفاده شده در جهان برای ارزیابی وضعیت آلودگی رواناب‌های شهری به فلزات سنگین باعث می‌شود تا در صورت بروز نتایج مطلوب، به عنوان یک شاخص بومی برای ارزیابی سایر محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد.

بخش عمده رواناب شهر تهران به ویژه حوضه شرق به وسیله رودخانه‌های شهری به نواحی جنوبی منتقل می‌شود که علاوه بر آلوده کردن این جریان‌ها، منابع آب سطحی، زیرزمینی و خاک نواحی جنوبی و هم‌چنین اکوسیستم تالاب بندعلیخان را تحت

4 - Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Toxic Parameters (IRWQIST)

1 - Contamination Index (Cd)

2 - Heavy metal pollution index (HPI)

3 - heavy metal evaluation index (HEI)

تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اهمیت رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری تهران و تأثیر آلودگی آنها بر محیط‌های پذیرنده، در این پژوهش کیفیت رواناب شرق شهر تهران از نظر حضور فلزات سنگین بررسی و کارایی شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی ایران و سه شاخص معمول دیگر در زمینه حضور فلزات سنگین در آب مقایسه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعات

شهر تهران با مساحت حدود ۷۳۰ کیلومترمربع [26] و جمعیت حدود ۱۱ میلیون نفر [27] پرجمعیت‌ترین شهر ایران است. این شهر به سه زیرحوضه غرب و شمال غرب (کن)، حوضه مرکزی (فیروزآباد) و حوضه شرق و جنوب شرق (سرخه حصار) با خروجی‌های مجزا تقسیم می‌شود. حوضه شرق و جنوب شرق که ولنجک در شمال تا سرخه حصار در شرق را در بر می‌گیرد، شامل رودخانه‌های ولنجک، دریند و گلابدره، کاشانک و جمشیدیه، دارآباد، سوهانک و کانال‌ها و مسیل‌های منطقه تهرانپارس است. در این محدوده، کانال اصلی در امتداد مسیل باختر، منوچهری و کانال ابوذر قرار دارد که پس از پیوستن کانال سرخه حصار به آن، در نهایت در جنوب شرق تهران به مسیل باروت‌کوبی منتهی می‌شوند. این مسیل به همراه شاخه‌های فرعی آن با طول حدود ۱۴۰ کیلومتر، رواناب نواحی شمال شرق و شرق و جنوب شرق تهران، با مساحت حدود ۵۲۰ کیلومترمربع، را زهکشی می‌کند [28]. بخشی از آب این مسیل برای آبیاری اراضی کشاورزی و فضای سبز نواحی جنوبی تهران استفاده می‌شود و سپس به تالاب بندعلیخان می‌ریزد. با توجه به وسعت حوضه بالادست، سهولت دسترسی و امنیت، انتهای مسیل ابوذر به عنوان نقطه خروجی حوضه سرخه حصار برای نمونه‌برداری از رخدادهای سیلابی انتخاب شد.

۲-۲- جمع‌آوری نمونه‌ها و سنجش فلزات سنگین

مجموع ۳۰ نمونه از سه رخداد سیلابی (با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر) با دوره خشکی بیش از ده روز طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برداشت شد. فرآیند برداشت نمونه با شروع بارش و

تشکیل رواناب شروع و در فواصل زمانی معین (۲۰-۱۰ دقیقه) و تا انتهای بارش ادامه می‌یافت تا تغییرات هیدروگرافیک زهکش حوضه مورد نظر را پوشش دهد. نمونه رواناب با استفاده از یک سطل پنج لیتری از ۲۰ سانتی‌متری سطح جریان برداشت و پس از همگن‌سازی به ظروف پلی‌اتیلن با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر منتقل شد. فرآیند نگهداری، حمل، و آماده‌سازی نمونه‌ها بر اساس روش استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا [29] انجام و محتوای غلظت کل آرسنیک، آهن، سرب، روی، کادمیم، کروم، مس، منگنز، مولیبدن و نیکل در نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) تعیین شد. محلول‌های استاندارد مرجع و نمونه‌های تکراری (۱۰ درصد نمونه‌ها) به ترتیب برای کنترل درستی و دقت خوانش غلظت عناصر در هر سری نمونه سنجش شدند.

۲-۳- شاخص‌های ارزیابی آلودگی

اساس کار بیش‌تر شاخص‌های کیفیت آب، مقایسه غلظت عناصر در آب با حدود مجاز آن‌ها با لحاظ اهمیت آن‌ها در آب است [30]. در این پژوهش، کارایی شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی ایران و سه شاخص متداول دیگر در زمینه ارزیابی کیفیت آب از نظر محتوای فلزات سنگین مقایسه شد. در ادامه این شاخص‌ها به اختصار شرح داده می‌شود.

۲-۳-۱- شاخص آلودگی (Cd)

شاخص Cd، ابزاری برای ارزیابی آلودگی آب با فلزات سنگین است و آلودگی نسبی عناصر مختلف و سپس اثر ترکیبی عناصر را را جداگانه محاسبه می‌کند، به گونه‌ای که پارامترهای با غلظت بیش از حدود مجاز، در رابطه دخالت داده می‌شوند. در این شاخص، مقادیر کم‌تر از ۱، بین ۱ و ۳، و بیش از ۳ به ترتیب بیانگر سطح آلودگی کم، متوسط و زیاد هستند [17]. معادله‌های (۱) و (۲) چگونگی محاسبه این شاخص را نشان می‌دهند:

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad (1)$$

$$Cfi = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \quad (2)$$

که در آن‌ها C_{fi} ، C_{Ai} و C_{Ni} به ترتیب فاکتور آلودگی، غلظت اندازه‌گیری شده و بیشینه غلظت مجاز عنصر بررسی شدند.

۲-۳-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

شاخص HPI یک روش رتبه‌بندی برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب است که بر اساس میانگین کیفیت محاسباتی وزن‌دار محاسبه می‌شود و شامل دو گام اصلی است: ایجاد یک مقیاس درجه‌بندی و یک وزن برای هر پارامتر، و تعیین پارامترهای آلودگی که شاخص باید بر اساس آن‌ها محاسبه شود [9]. مقدار آن با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود. مقدار عددی ۱۰۰ به عنوان حد بحرانی این شاخص معرفی شده است [31] و مقدار بیش از ۱۰۰ سطح غیرقابل قبول و آلوده در نظر گرفته می‌شود و در طبقه کیفی بحرانی قرار می‌گیرد [32]. وزن اختصاص یافته به هر عنصر (Wi)، نسبت معکوس حد مجاز برای عنصر (Si) است.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n Wi Qi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad (3)$$

$$Q = \frac{\{Mi(-)Ii\}}{Si - Ii} * 100 \quad (4)$$

که در آن Qi زیرشاخص، Wi وزن عنصر، n تعداد عناصر مورد بررسی، Mi غلظت اندازه‌گیری شده عنصر، Ii غلظت ایده‌آل عنصر مورد ارزیابی و Si حد مجاز برای عناصر مورد ارزیابی بر حسب میکروگرم بر لیتر هستند. حد غلظت مجاز برای هر عنصر بر اساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران، گروه ۲ کاربری شرب برای عناصر سرب، آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، منگنز، مولیبدن، نیکل، آهن و روی به ترتیب برابر با ۵۰، ۵۰، ۵۰، ۵۰، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۷۰، ۷۰ و ۲۰۰۰ میکروگرم بر لیتر و حد غلظت ایده‌آل هر عنصر (Ii) بر اساس گروه ۱ کاربری شرب در این استاندارد تعریف شدند. همچنین به دلیل عدم وجود حد غلظت مجاز برای عناصر مولیبدن و نیکل در استاندارد کیفیت آب‌های ایران، از حدود مجاز استاندارد آب آشامیدنی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (نشریه ۱۰۵۳) استفاده شد.

۲-۳-۳- شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)

شاخص HEI مانند شاخص HPI کیفیت کلی آب را با توجه به حضور فلزات سنگین به دست می‌دهد و با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود [33].

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{Hc}{Hmax} \quad (5)$$

که در آن Hc و $Hmax$ به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و بیشینه غلظت مجاز هر عنصر می‌باشند. مقادیر کم‌تر از ۱۰ آلودگی کم، بین ۱۰ تا ۲۰ آلودگی متوسط و مقادیر بیش از ۲۰ آلودگی زیاد را نشان می‌دهند.

۲-۳-۴- شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIST)

شاخص‌های کیفیت منابع آب ایران شامل چهار شاخص برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب در ایران توسط هاشمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ توسعه یافتند تا بتوانند درک مناسبی از وضعیت کیفیت منابع آب در ایران ارائه کنند. این شاخص‌ها در سال ۱۳۹۲ به عنوان شاخص‌های ملی کیفیت منابع آب ایران منتشر شده‌اند.

شاخص $IRWQIST$ یکی از شاخص‌های $IRWQI$ است که کیفیت آب را از نظر حضور پارامترهای سمی ارزیابی می‌کند. در این شاخص یازده آلاینده شامل آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیم، آهن، کروم و منگنز، دترجنت، فنل، سیانید و کل هیدروکربن‌های نفتی^۶ وجود دارد. اما شاخص به گونه‌ای طراحی شده است که با کم‌تر از یازده پارامتر نیز قابل استفاده است. این شاخص با استفاده از معادله‌های (۶ و ۷) محاسبه می‌شود [25].

$$IRWQIST = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{Wi} \right]^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n Wi}} \quad (6)$$

$$r = \sum_{i=1}^n Wi \quad (7)$$

که در آن Wi وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها و I_i مقدار

شاخص برای پارامتر I_{am} از منحنی رتبه‌بندی است. معادل توصیفی مقادیر شاخص مطابق جدول (۱) می‌باشد.

۲-۴- محاسبه شاخص‌ها و تحلیل‌های آماری

مقدار شاخص‌های HEI ، Cd و HPI و تحلیل‌های آماری و نمایش آماره‌های توصیفی و استنباطی با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ و شاخص $IRWQI_{ST}$ با استفاده از نرم‌افزار محاسب آن به دست آمد. بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپروویلیک^۷ انجام و با توجه به غیرنرمال بودن داده‌ها، برای بررسی همبستگی بین شاخص‌ها از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توزیع غلظت فلزات سنگین

جدول (۲) خلاصه آمار توصیفی غلظت‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. در نمونه‌های بررسی شده بیش‌ترین فراوانی به ترتیب مربوط به آهن، منگنز، روی، سرب، مس، کروم، نیکل، آرسنیک، مولیبدن و کادمیم بود که با نتایج مطالعه‌ای که در سال روی غلظت فلزات سنگین بر غبار سطوح خیابان‌های حوضه مطالعه شده (حوضه شرق تهران) انجام شده است، هماهنگی دارد [34]، که نشان می‌دهد غبار سطوح خیابان‌ها به عنوان واسطه‌های اصلی انتقال فلزات سنگین به محیط رواناب شهر تهران به حساب می‌آیند. غلظت عناصر بررسی شده به گونه‌ای بود که بیش از ۹۰ درصد میانگین غلظت کل فلزات در نمونه‌ها مربوط به عنصر آهن و سهم منگنز و روی به ترتیب بیش از ۳/۸ و ۱/۴ درصد و سهم سایر عناصر کم‌تر از یک درصد بود. از بین عناصر مورد بررسی، آهن با میانگین ۳۹/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر و

کادمیم با میانگین ۱/۲۳ میکروگرم بر لیتر به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین فراوانی را بین عناصر بررسی شده در رواناب حوضه داشتند. هم‌چنین بیشینه غلظت مشاهده شده عناصر مربوط به رخدادهایی با دوره خشکی و شدت بارش بالاتر بود. با توجه به این‌که بخش عمده فلزات سنگین در محیط رواناب به صورت هم پیوند با ذرات معلق وجود دارند [35]، بنابراین در همه رخدادهای سیلابی، بیش‌ترین غلظت در لحظات ابتدایی بروز پیک اولیه مشاهده شد [36]. نتایج مطالعه نبی‌زاده و همکاران [37] روی رواناب‌های شهر تهران که در سال ۲۰۰۵ انجام شده است، نشان داد که غلظت فلزات سنگین در طول کانال‌های اصلی از بالادست به پایین دست افزایش می‌یابد. هم‌چنین غلظت عناصر سرب، روی، کادمیم، مس و نیکل در خروجی حوضه سرخه حصار به ترتیب ۱۰۹، ۶۲۴، ۷۰، ۷۱ و ۵۱ میکروگرم بر لیتر بوده است. مقایسه غلظت بیانگر این است که غلظت عناصر سرب، روی، مس و نیکل در این مطالعه در مقایسه با مطالعه نام برده بیش‌تر بود، که دلیل احتمالی آن افزایش تراکم جمعیت، ترافیک و افزایش حجم تخلیه غیرمجاز فاضلاب شهری و مسکونی به داخل شبکه جمع‌آوری رواناب در سال‌های اخیر است. از طرفی غلظت برخی عناصر مانند مس، سرب، کادمیم، نیکل و روی در مقایسه با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در رواناب برخی بزرگراه‌های تهران پایین‌تر بود [36]. نتایج مطالعه‌ای که با هدف بررسی محتوای عناصر سرب، کادمیم، روی، مس و نیکل، در خاک اراضی زراعی متاثر از رواناب حوضه سرخه حصار در جنوب تهران، نشان بالا بودن غلظت عناصر به‌ویژه عنصر روی بود که دلیل آن آبیاری این اراضی با رواناب عنوان شده است [38].

جدول ۱. راهنمای معادل توصیفی شاخص $IRWQI_{ST}$

Index value	< 15	15 – 29.9	30 – 44.9	45 – 55	55.1 – 70	70.1 – 85	>85
Descriptive equivalent	Very bad	Bad	Relatively bad	mediocre	Relatively good	good	Very good

Table 1. Descriptive equivalent guide of $IRWQI_{ST}$ index

جدول ۲. گستره غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه رواناب حوضه (میکروگرم بر لیتر)

Analyte	DL(µg/l)	The first event			The second event			The third event		
		Concentration range	Mean	Median	Concentration range	Mean	Median	Concentration range	Mean	Median
Pb	0.1	55 - 175	111	105	144- 552	275	265.2	151.2 - 558.5	361.8	363.8
As	0.1	14.5 - 20.5	17.1	16.7	10.8 - 20.2	15.7	16	13 - 27	19	19.3
Cd	0.1	0.2 - 1.5	0.8	1	0.6 - 1.9	1.2	1.1	0.8 - 3	1.5	1.4
Cr	1	40 - 75	57	57.5	44 - 184	85	73.6	16.3 - 223.5	83.8	64.7
Cu	1	26 - 91	54	47.7	85.7 - 294.1	146.9	118.2	50 - 212	137	131.4
Fe	10	12735 - 40180	25405	24047	21700 - 81800	39272	35200	9050 - 103900	48738	43000
Mn	10	555 - 2030	1168.1	1065	855 - 2835	1589	1500	335 - 4235	1969	1620
Mo	0.1	0.2 - 5	2.2	1.8	6.4 - 16	11.8	11.4	2 - 10	5	4.9
Ni	0.1	14.5 - 54.5	30.7	28.2	35 - 124	70	62.7	11 - 117	60	60.6
Zn	10	195 - 600	361	330	375 - 1175	631	525	275 - 1130	731	695

Table 2. Heavy metal concentration range in the runoff samples of the catchment (µg/L)

۳-۲- مقایسه شاخص‌ها

۳-۳- ارزیابی سطح آلودگی نمونه

جدول (۳) مقادیر محاسبه شده شاخص‌های بررسی شده را برای نمونه‌ها نشان می‌دهد. شاخص Cd در گستره ۵/۵-۶۸/۲ (میانگین ۲۴/۷ و میانه ۱۸/۸۳) قرار دارد که تمام نمونه‌ها را در طبقه بسیار آلوده قرار می‌دهد. همچنین، مقادیر شاخص HEI نیز با قرارگیری در محدوده ۹/۶ - ۷۴/۴ با میانگین و میانه ۳۰/۱ و ۲۴ نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد نمونه‌ها (۹ نمونه) در سطح آلودگی متوسط و حدود ۶۷ درصد نمونه‌ها (۲۰ نمونه) در سطح بسیار آلوده قرار دارند. مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و میانه محاسبه شده شاخص HPI نیز به ترتیب ۸۳/۲، ۱۹۲/۷، ۱۳۰/۲ و ۱۲۱/۹ است، که نشان می‌دهد بیش از ۸۶ درصد نمونه‌ها (۲۶ نمونه) در طبقه آلوده قرار دارند. مقادیر شاخص IRWQI_{ST} نیز در گستره ۸/۸ - ۲۳/۷ با میانگین و میانه ۱۴/۱ و ۱۳/۶ بود. بر اساس این شاخص ۷۰ درصد نمونه‌ها (۲۱ نمونه) در طبقه کیفی خیلی بد، و دیگر نمونه‌ها در طبقه کیفی بد قرار دارند. به طور کلی مقایسه نتایج شاخص‌های بررسی شده بیانگر این است که بیش‌تر نمونه‌ها در طبقه آلوده قرار دارند. اما به صورت جزئی‌تر، نتایج شاخص IRWQI_{ST} بیش‌ترین نزدیکی را به ترتیب با نتایج شاخص‌های Cd، HPI و HEI دارد. نتایج شاخص HEI در تعیین نمونه‌های بسیار آلوده در مقایسه با سایر شاخص‌های مورد بررسی متفاوت است. از آن‌جا که برای بیشتر کاربری‌ها، آلوده بودن یا نبودن آب مبنای قضاوت و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب می‌باشد، در شاخص HEI طبقه آلودگی متوسط صرف‌نظر از شدت آلودگی، آلوده به حساب می‌آید. بر همین اساس تمام

نمونه‌های بررسی شده از نظر محتوای فلزات سنگین در طبقه آلوده قرار می‌گیرند. مرور منابع نشان می‌دهد اغلب شاخص‌های کیفیت آب، به‌ویژه شاخص‌های HPI، HEI و Cd در تعیین درصد نمونه‌های آلوده یا غیرآلوده نتایج متفاوتی می‌دهند، [39] 40 که دلیل آن می‌تواند تفاوت مبانی و طبقه‌بندی آلودگی در آن‌ها باشد. همچنین، روابط محاسبه این شاخص‌ها بر اساس میانگین حسابی و به‌گونه‌ای است که مقادیر آن‌ها به شدت تحت تاثیر غلظت‌های بسیار بالا یا داده‌های پرت حتی یک عنصر قرار می‌گیرند. در این پژوهش همچنین مقادیر بیشینه این شاخص‌ها مربوط به نمونه‌هایی است که غلظت عنصر آهن در مقایسه با حدود استاندارد بسیار بالا است. بنابراین در برخی نمونه‌ها تنها غلظت بسیار بالای آهن، مقدار شاخص را در طبقه بسیار آلوده قرار داده است. با این وجود، شاخص IRWQI_{ST} به‌گونه‌ای طراحی شده است که با در نظر گرفتن فاکتور اهمیت وزنی برای عناصر و استفاده از میانگین وزنی هندسی، اثر غلظت‌های بسیار بالای یک عنصر یا داده‌های پرت بر مقدار شاخص را تعدیل می‌کند. هم‌چنین طبقه‌بندی آلودگی در این شاخص جزئی‌تر از شاخص‌های Cd، HPI و HEI است و می‌تواند با وضوح بیش‌تری وضعیت کیفیت آب را توصیف کند. به عبارت دیگر، در سه شاخص Cd، HPI و HEI، با قرار گرفتن عدد شاخص کیفیت آب در طبقه آلوده، صرف‌نظر از اختلاف آن با حد آستانه آلودگی یا بیان شدت آلودگی، نمونه آلوده شناخته می‌شود. این موضوع به همراه کم بودن تعداد طبقات آلودگی در این شاخص‌ها موجب می‌شود که مشاهده و بررسی تغییرات کیفیت آب و ارزیابی اثر بخشی اقدامات کاهشی و کنترلی دشوار شود.

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های HPI, HEI, Cd و IRWQI_{ST} نمونه‌های رواناب شرق تهران

Sample	Index				Sample	Index			
	HPI	HEI	Cd	IRWQI _{ST}		HPI	HEI	Cd	IRWQI _{ST}
1	122	28.6	23.1	12.2	16	191.6	61.5	55.2	10
2	116.3	24.9	19.6	13	17	140.8	34.2	28.4	13.1
3	136.6	23.1	18	14.7	18	108.6	10.5	7.1	17.2
4	117.1	17.4	12.6	18.9	19	109.5	13.6	9.5	15.7
5	122.3	16.2	11.3	20.3	20	113.4	16.7	12	14.7
6	83.2	14.2	9.4	17.44	21	121.8	22	16.8	14.1
7	91.6	12	7.6	21.6	22	121.6	20.8	15.8	14.2
8	86.6	9.6	5.4	23.7	23	148.4	39	33	11.3
9	88.3	17.5	12.3	15	24	142.1	36.6	30.7	12.3
10	121.5	37.7	31.6	12	25	121.8	32.3	26.4	12.6
11	128.3	22.3	16.6	13.9	26	146.7	33.6	27.8	12.7
12	121.1	26.5	20.6	13.3	27	178.8	50.9	44.8	10.7
13	150.3	22.6	16.9	14.1	28	143.8	67.6	61.2	9.5
14	121.8	18	12.6	15	29	192.6	74.3	68.1	8.8
15	141.6	32.5	26.6	12.3	30	173.6	63.5	57.4	9.6



Low pollution
Moderate pollution
High pollution

Table 3. Values of HPI, HEI, Cd and IRWQI_{ST} indices of east Tehran runoff samples

بر اساس میانگین حسابی غلظت‌ها در مقایسه با حدود استاندارد به‌دست می‌آید، در شرایطی که تعداد عناصر مورد بررسی زیاد و غلظت‌ها تنها به میزان اندکی از حدود مجاز بالاتر باشد، به‌دلیل اثر تجمعی در روابط مورد استفاده برای محاسبه شاخص، امکان تجاوز مقدار شاخص از حد آستانه طبقه آلوده وجود دارد. در مقابل، در شاخص IRWQI_{ST} به‌دلیل محدودیت عناصر دخیل در رابطه محاسباتی و نوع رابطه استفاده شده، این وضعیت رخ نمی‌دهد.

جدول ۴. ماتریس همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های آلودگی

	IRWQI	Cd	HEI	HPI
IRWQI	1			
Cd	-0.963**	1		
HEI	-0.965**	0.999**	1	
HPI	-0.775**	0.835**	0.832**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Table 4. Spearman correlation matrix between contamination indices

علاوه‌بر این، رابطه بین مقدار شاخص‌های HPI, HEI و Cd با غلظت عناصری که از حدود مجاز تخطی می‌کنند، خطی است و تحت هیچ شرایطی اشباع نمی‌شوند. در حالی که مقدار شاخص

۳-۱- ضریب همبستگی شاخص‌ها

برای درک رابطه بین شاخص‌های HPI, HEI و Cd و IRWQI_{ST} جدول (۴) ماتریس همبستگی آن‌ها را نشان می‌دهد. به‌طور معمول، مقدار ضریب همبستگی (r) بزرگ‌تر از ۰/۷ همبستگی قوی، مقادیر ۰/۵-۰/۷ همبستگی متوسط و مقادیر کم‌تر از ۰/۵ همبستگی ضعیف بین دو متغیر را نشان می‌دهد [41]. نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌ها در نمونه‌های بررسی شده، همبستگی قوی و مثبت بین شاخص‌های Cd, HEI و HPI را نشان می‌دهد که بیانگر رفتار مشابه این سه شاخص در توصیف سطح آلودگی نمونه‌ها است [39]. هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده همبستگی معنادار قوی و منفی بین این شاخص‌ها با شاخص IRWQI_{ST} است که نشان می‌دهد شاخص IRWQI_{ST} توصیف مشابه برای کیفیت رواناب ارائه می‌دهد. دلیل همبستگی منفی این شاخص با دیگر شاخص‌ها تفاوت رابطه محاسباتی و تفاوت در طبقه‌بندی درجه آلودگی در آن‌ها است، به‌طوری که در شاخص IRWQI_{ST} با کاهش کیفیت آب عدد این شاخص کاهش می‌یابد، در حالی که در سایر شاخص‌ها با افزایش درجه آلودگی، مقدار عددی آن افزایش می‌یابد. از آنجا که روابط شاخص‌های HPI, HEI و Cd به گونه‌ای است که مقدار آن‌ها

شکل ۲. پراکندگی مقادیر محاسبه شده شاخص IRWQIST در مقابل

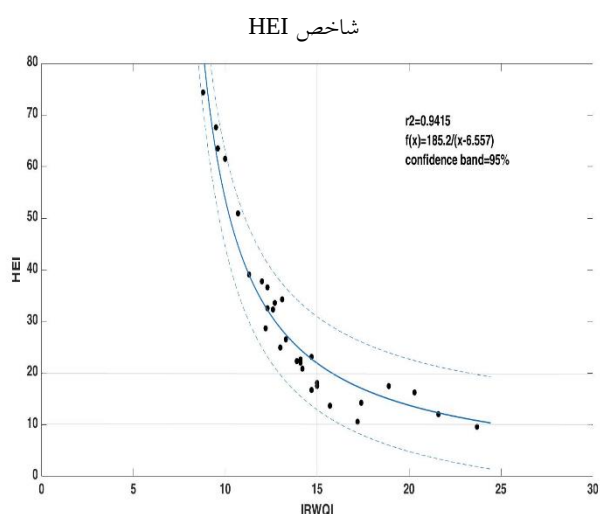


Fig. 2. Dispersion of calculated values of IRWQIST index versus HEI index

شکل ۳. پراکندگی مقادیر محاسبه شده شاخص IRWQIST در مقابل

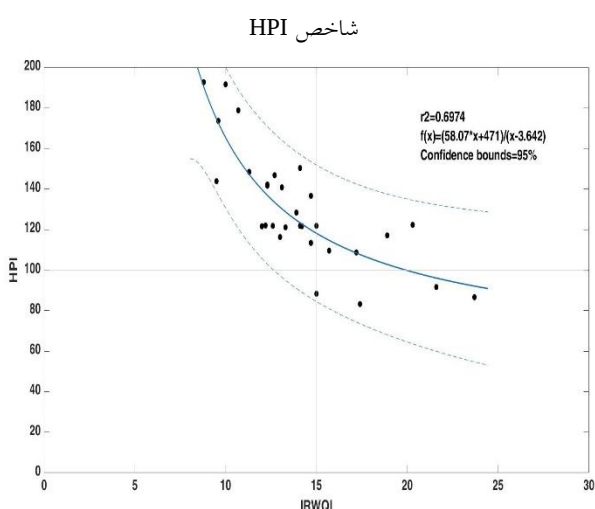


Fig. 3. Dispersion of calculated values of IRWQIST index versus HPI index

مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نتایج شاخص‌های HPI، HEI و Cd در محیط‌های طبیعی که به‌طور معمول غلظت عناصر پایین‌تر از حدود مجاز است، تقریباً مشابه است. اما در نمونه‌های آلوده‌تر مانند این پژوهش، نتایج شاخص‌ها در تعیین درصد نمونه‌های آلوده و غیرآلوده متفاوت است. بنابراین با توجه اختلاف نتایج شاخص‌ها، در برخی پژوهش‌های پیشین، به‌منظور ایجاد هماهنگی و تشابه بین نتایج، با استفاده از میانگین محاسبه

IRWQIST با افزایش غلظت عناصر در مقایسه با حدود مجاز تعیین شده، بر اساس یک تابع گویا^۸ تغییر می‌کند و در نهایت ثابت می‌شود که در اصطلاح به آن اشباع شدگی شاخص می‌گویند.

۳-۲-۳- پراکندگی شاخص‌ها

به منظور ارزیابی کارایی شاخص IRWQIST در مقایسه با سه شاخص دیگر در تعیین وضعیت آلودگی نمونه‌های رواناب شهری، پراکندگی مقادیر سه شاخص HEI، Cd و HPI در مقابل مقادیر شاخص IRWQIST برای ۳۰ نمونه بررسی شده در شکل‌های (۱، ۲ و ۳) رسم شد. پراکندگی داده‌ها نشان می‌دهد که پاسخ شاخص‌ها نسبت به افزایش قابل توجه غلظت عناصر متفاوت است. به‌گونه‌ای که تغییرات مقدار شاخص IRWQIST با افزایش غلظت عناصر به‌تدریج کاهش می‌یابد و در مقادیر بسیار بالای آلودگی مقدار آن ثابت می‌شود، اما مقادیر سه شاخص دیگر با افزایش غلظت عناصر، به‌صورت خطی افزایش می‌یابند. هم‌چنین مقایسه شاخص IRWQIST با سایر شاخص‌ها از نظر تعیین طبقه آلودگی نمونه‌ها، نشان داد که این شاخص به میزان زیادی با نتایج شاخص Cd مشابه و تا حدودی با نتایج شاخص HEI متفاوت است.

شکل ۱. پراکندگی مقادیر محاسبه شده شاخص IRWQIST در مقابل شاخص Cd

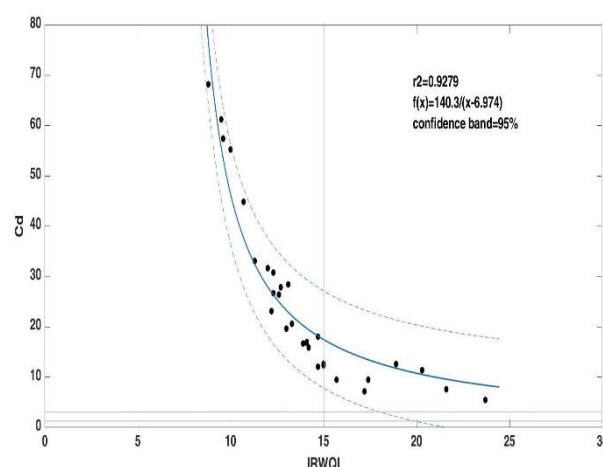


Fig. 1. Dispersion of calculated values of IRWQIST index versus Cd index

شاخص تعدیل شده است. بنابراین مقایسه شاخص‌ها نشان داد که شاخص $IRWQI_{ST}$ مانند سه شاخص بررسی شده می‌تواند در ارزیابی کیفیت رواناب‌های شهری به صورت کارآمدی مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی به منظور ارزیابی جزئی‌تر کارایی شاخص‌ها، تعداد بیشتری از عناصر در طیف وسیع‌تری از غلظت‌ها مورد بررسی و مطلوبیت آن‌ها مورد سنجش قرار گیرد. همچنین بررسی‌های بیشتر شاخص‌ها در محیط‌های مختلف در راستای رفع نقایص موجود آن‌ها، به ویژه درجه‌بندی آلودگی که منجر به بروز اختلاف جزئی در نتایج می‌شود، ضروری به نظر می‌رسد.

References

منابع

- 1-salari M., Radmanesh F. & Zarei H. 2012 Quantitative and Qualitative Assessment of Karoon River Water Using NSFQI Index and AHP Method. *Human & Environment*, 23(23), 13-22(in persian)
- 2-Singh N., Kaur M. & Katnoria J.K. 2017 Spatial and temporal heavy metal distribution and surface water characterization of Kanjli Wetland (a Ramsar site), India using different indices. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 99(6), 735-42.
- 3-Islam M.D., Hossain M.B., Matin A. & Sarker M.S.I. 2018 Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, *Bangladesh. Chemosphere*, 202, 25-32.
- 4-Janadeleh H. & Kameli M.A. 2017 Metals contamination in sediment and their bioaccumulation in plants and three fish species from freshwater ecosystem. *Toxin Reviews*, 36(4), 297-305.
- 5- Marcovecchio J.E., Botté S.E. & Freije R.H. 2007 Heavy metals, major metals, trace elements. *Handbook of water analysis*, 2, 275-311.
- 6-Idris I.M., Younis Y.M.E. & Elbashir A.A. 2018 Monitoring the anthropogenic and geochemical environment surrounding the Butana drinking water sources via the determination of heavy metals composition of the soil, streams sediments and gold mining tailings (ii). *European International Journal of Science and Technology*, 7(3), 51-64.
- 7-Zhang Q., Xu P. & Qian H. 2019 Assessment of Groundwater Quality and Human Health Risk (HHR) Evaluation of Nitrate in the Central-Western Guanzhong Basin, China. *International journal of environmental research and public health*, 16(21), 42- 49.
- 8-Abdullah E.J. 2013 Quality assessment for Shatt Al-Arab River using heavy metal pollution index and metal index. *Journal of Environment and Earth Science*, 3(5), 114-120.
- 9-Prasad B. & Bose J. 2001 Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a

شده برای هر شاخص، حدود طبقات را اصلاح و بر اساس آن ارزیابی کیفیت آب را انجام داده‌اند [33]. به طور کلی برای سه شاخص HEI , HPI و Cd طبقه‌بندی واحدی وجود ندارد و حدود طبقه‌بندی عموماً بر اساس غلظت‌های موجود و میانگین عددی شاخص، تعیین می‌شود [42]. در مقابل، شاخص $IRWQI_{ST}$ متناسب با شرایط ایران توسعه یافته است و طبقه‌بندی ثابت است.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی کارایی شاخص $IRWQI_{ST}$ در مقایسه با شاخص‌های معمول HEI , HPI و Cd در ارزیابی آلودگی رواناب‌های شهری انجام شد. مرور پژوهش‌های پیشین در زمینه استفاده از این شاخص‌ها و کاربرد آن‌ها برای داده‌های رواناب شهری تهران در پژوهش حاضر نشان داد که شاخص‌های بررسی شده تغییرات کیفیت رواناب را به خوبی نشان دادند و در تعیین وضعیت آلودگی بیش‌تر نمونه‌ها نتایج مشابهی را ارائه کردند. همچنین همبستگی بالای شاخص‌ها تایید کننده رفتار مشابه آن‌ها در تعیین وضعیت آلودگی نمونه‌ها است، که نشان دهنده این است که شاخص $IRWQI_{ST}$ مانند سایر شاخص‌ها (به ویژه شاخص Cd) در تعیین وضعیت کلی آلودگی نتایج مطلوب و مشابهی را ارائه می‌نماید که دلیلی برای کارایی مطلوب آن برای ارزیابی این سیستم‌های آبی به شمار می‌رود.

اما نتایج مقایسه جزئی‌تر چهار شاخص بررسی شده بیانگر آن است که شاخص $IRWQI_{ST}$ به دلیل برخورداری از تعداد طبقات بیش‌تر، قابلیت تفکیک بالاتر و توصیف جزئی‌تر وضعیت کیفیت آب را دارد و تغییرات اندک کیفیت آب را بهتر انعکاس می‌دهد. همچنین با توجه به این‌که در سه شاخص متداول، میانگین حسابی غلظت‌ها در مقایسه با حدود مجاز در نظر گرفته می‌شود، در شرایط بالا بودن غلظت تنها یک عنصر یا در شرایطی که تعداد عناصر مورد بررسی زیاد و غلظت تعداد اندکی از آنها بالاتر از مقادیر مجاز باشد، ممکن است عدد شاخص در طبقه بسیار آلوده قرار گیرد. در مقابل، در شاخص $IRWQI_{ST}$ به دلیل محدود بودن تعداد آلاینده‌های ارزیابی شده و استفاده از رابطه میانگین هندسی وزنی، اثرگذاری داده‌های پرت یا غلظت‌های بسیار بالا بر مقدار

- GIS and a heavy metal pollution index (HPI) model in a coal mining area, India. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 95(3), 304-310.
- 25- Hashemi S.H., Khoshrou G., Ramezani S., Nasrabadi T. & Pourasghar Sangachin F. 2011 guidelines for calculating Iran's water resources quality index Iran Environmental Protection Organization, *Department of Environment- Water and Soil Office*. (In Persian)
- 26- Saeedi M., Li L.Y. & Salmanzadeh M. 2012 Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of hazardous materials*, 227, 9-17.
- 27- Ramyar R., Saeedi S., Bryant M., Davatgar A. & Hedjri G.M. 2020 Ecosystem services mapping for green infrastructure planning—The case of Tehran. *Science of the Total Environment*, 703, 135466.
- 28- Ghahroudi Tali M. & Nezammahalleh M. 2013 Urban flooding management using the natural drainage system case study: Tehran, capital of Iran. *Floods: From Risk to Opportunity* (IAHS Publ 357, 2013), 174-180.
- 29- Creed J., Brockhoff C. & Martin T. 1994 Method 200.8: Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, *US Environmental Protection Agency*, Cincinnati, OH, 5.
- 30- Mishra S., Kumar A., Yadav S. & Singhal M. 2018 Assessment of heavy metal contamination in water of Kali River using principle component and cluster analysis, India. *Sustainable Water Resources Management*, 4(3), 573-581.
- 31- Mohan S.V., Nithila P. & Reddy S.J. 1996 Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A.*, 31(2), 283-289.
- 32- Reza R. & Singh G. 2010 Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(4), 785-792.
- 33- Edet A. & Offiong O. 2002 Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal*, 57(4), 295-304.
- 34- Salmanzadeh M., Saeedi M. & Nabi B.G. 2012 Heavy metals pollution in street dusts of Tehran and their ecological risk assessment. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES*. 38(61), 4-11. (In Persian)
- 35- Lee D. 2002 Heavy Metals and Stormwater: An Investigation of Hobart, Tasmania, Australia. *Research Master thesis, University of Tasmania*.
- 36- Hashemi S.H., Ghadiri A. & Nasrabadi T. 2020 Assessment of heavy metals pollution in urban runoff (case study: north and east catchment of Tehran city). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. doi:10.22060/ceej.2020.18384.6859. (In Persian)
- 37- Nabizadeh R., Mahvi A., Mardani G. & Yunesian M. 2005 Study of heavy metals in urban runoff. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(4), 325-33.
- limestone mining area of the lower Himalayas. *Environmental Geology*, 41(2), 183-189.
- 10- Hamzehpour A., Darvish Bastami K., Bagheri H., Azimi A., Einali A. & Rahnama R. 2016 Survey of physicochemical properties and nutrients in surface waters of the southern Caspian Sea-Seasangan. *Scientific Journal Management System*, 11(1), 41-52. (In Persian)
- 11- Horton R.K. 1965 An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3). 300-306
- 12- Joung H., Miller W., Mahannah C. & Guitjens J. 1979 A Generalized Water Quality Index Based on Multivariate Factor Analysis. *Journal of Environmental Quality*, 8(1), 95-100.
- 13- Landwehr J.M. 1979 A statistical view of a class of water quality indices. *Water Resources Research*, 15(2), 460-468.
- 14- Nishidia N., Miyai M., Tada F. & Suzuki S. 1982 Computation of index of pollution by heavy metal in river water. *Environmental Pollutant*, 4, 241-248.
- 15- Tiwari T. & Mishra M. 1985 A preliminary assignment of water quality index of major Indian rivers. *Indian Journal of Environmental Protection.*, 5(4), 276-289.
- 16- Prasad B. & Jaiprakash K. 1999 Evaluation of heavy metals in ground water near mining area and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A.* 34(1), 91-102.
- 17- Backman B., Bodiš D., Lahermo P., Rapant S., Tarvainen T. 1998 Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, 36(1-2), 55-64.
- 18- Chiamsathit C., Auttamana S. & Thammarakcharoen S. 2020 Heavy metal pollution index for assessment of seasonal groundwater supply quality in hillside area, Kalasin, Thailand. *Applied Water Science*, 10(6), 1-8.
- 19- Benhaddya M., Halis Y. & Hamdi-Aïssa B. 2020 Assessment of heavy metals pollution in surface and groundwater systems in Oued Righ region (Algeria) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *African Journal of Aquatic Science*. 1-16.
- 20- Abdel-Satar A.M., Ali M.H. & Goher M.E. 2017 Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(1), 21-29.
- 21- Bhuiyan M.A.H., Dampare S.B., Islam M. & Suzuki S. 2015 Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh, using multivariate analysis and pollution evaluation indices. *Environmental monitoring and assessment*, 187(1), 40- 55.
- 22- Singaraja C., Chidambaram S., Srinivasamoorthy K., Anandhan P. & Selvam S. 2015 A study on assessment of credible sources of heavy metal pollution vulnerability in groundwater of Thoothukudi districts, Tamilnadu, India. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(4), 459-467.
- 23- Ghaderpoori M. 2018 Heavy metals analysis and quality assessment in drinking water—Khorramabad city, Iran. *Data in brief*, 16, 685 - 692.
- 24- Tiwari A.K., De Maio M., Singh P.K. & Mahato M.K. 2015 Evaluation of surface water quality by using

- 41- Shyu G.S., Cheng B.Y., Chiang C.T., Yao P.H. & Chang T.K. 2011 Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. *International journal of environmental research and public health*, 8(4), 1084-1089.
- 42- Sahoo M.M. & Swain J.B. 2020 Modified heavy metal Pollution index (m-HPI) for surface water Quality in river basins, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 350-364
- 38- Mardani G., Sadeghi M. & Ahankoob M. 2010 Soil Pollution along the surface runoff in southern Tehran. *J Water and Wastewater*, 75, 108-113.
- 39- Seifi A. & Riahi H. 2019 Evaluation of Heavy Metal Pollution Indices for Surface Water of the Sarcheshmeh Copper Mine using Multivariate Statistical Methods and GIS. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), 161-176.
- 40- Hosseini H., Shakeri A., Rezaei M., Barmaki M.D. & Mehr M.R. 2020 Water chemistry and water quality pollution indices of heavy metals: a case study of Chahnimeh Water Reservoirs, Southeast of Iran. *International Journal of Energy and Water Resources*, 4(1), 63-79.

Investigating the efficiency of Iran's water resources quality index in comparison with three indices for assessment of Heavy Metal pollution in surface water (Case study: north and east of Tehran's runoff)

Ali Ghadiri¹, Seyed Hossein Hashemi^{2*}, Touraj Nasrabadi³

1- Ph.D. Candidate of Environmental Pollution, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

2- Associate Professor. Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

3- Associate Professor. School of Environment, College of Engineering, University of Tehran

* h_hashemi@sbu.ac.ir

Abstract

Heavy metals are considered as one of the most important environmental threats, especially for aquatic ecosystems, due to their toxicity, stability, widespread distribution and bioaccumulation in the food chains. Urban runoff is the main non-point source of heavy metal emissions to receiving environments, which its quality and evaluation is particular importance. The major part of Tehran's surface runoff, especially the northern and eastern catchment, is transferred to the southern areas by drainage network and affects receiving environment including surface water, groundwater and sensitive ecosystems such as Band-e Alikhan wetland. The aim of this study was to investigate the content of heavy metals in urban runoff and compare the efficiency of the index of Iran's surface water resources quality toxic parameters with the Contamination Index, heavy metal evaluation index and Heavy metal pollution index. For this purpose, sampling was performed from the outlet of Tehran's Sorkheh – Hesar catchment during three flood events in 2018- 19 and the concentration of Arsenic, Iron, Lead, Zinc, Cadmium, Chromium, Copper, Manganese, Molybdenum and Nickel were measured by ICP-MS. Iron, Manganese, Zinc, Lead, Copper, Chromium, Nickel, Arsenic, Molybdenum and Cadmium had the highest abundance in all samples, respectively. The values of the index of Iran's surface water resources quality toxic parameters, Contamination Index, heavy metal evaluation index and Heavy metal pollution index were in the range of 5.5 to 68.2, 9.6 to 74.4, 83.2 to 192.7 and 8.8 to 23.7, respectively. The contamination index indicated that all samples were in the highly contaminated class, while according to the and heavy metal evaluation index and Heavy metal pollution index indices, 67 and 86 percent of the samples were highly contaminated, respectively. Also, the index of Iran's surface water resources quality toxic parameters values showed that 70 percent of the samples are in very bad quality class, and the other samples are in bad quality class. In general, a comparison of the results of the studied indices indicate that most of the samples were polluted. The results of the present study showed that the studied indices presented similar results in determining the contamination status of most samples. The results of Spearman's rank correlation coefficient showed strong correlation (0.775-0.999) between all of four indices in runoff, Which confirmed the similar behavior of the indices in determining the contamination status of the samples. In more detail, comparing the values of the indices with each other showed that their response to a significant increase in the concentration of elements is different. So that, the changes in the value of the Iran's surface water resources quality toxic parameters gradually decrease with increasing the concentration of elements and its value is fixed in very high levels of pollution, but the values of the other three indices increase linearly with increasing the concentration of elements. Comparison of the results of the indices for the runoff quality assessment, showed that index of Iran's surface water resources quality toxic parameters had the highest affinity with the pollution index, Heavy metal pollution index and heavy metal evaluation index, respectively, which shows the appropriate efficiency for evaluating these streams. Thus the index is suitable for evaluation of heavy metal contamination in urban storm-water runoff due to high separation of pollution degree and less susceptibility to very high concentrations. It is recommended that, more elements in a wide range of concentrations should be considered in order to performance evaluation of the indices in future researches.

KEYWORDS

Contamination index, heavy metals, urban runoff, flood event, Tehran