

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در منابع آب دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های کیفی

علیرضا احمدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۲

چکیده

ارزیابی کیفی آب زیرزمینی این منبع حیاتی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از این رو پژوهش حاضر به بررسی کیفی آب دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های MI و PoS همراه با بررسی توزیع نرمال و همبستگی پیرسون پرداخته است. نتایجی که از آنالیز نمونه‌های آب برداشت‌شده در دشت تبریز به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که غلظت تمام فلزات سنگین برای مصرف آبیاری کمتر از محدوده WHO است درحالی‌که برای آشامیدن میانگین غلظت آرسنیک و کادمیم بیشتر از حد مجاز است و روی نزدیک به محدوده تعیین شده است. بر اساس محاسبه شاخص PoS، ۲۰٪ از نمونه‌ها دارای آلودگی خیلی زیاد است و ۴۷٪ آلودگی زیاد را دارا است. نتایج شاخص MI نشان داد که ۳۴٪ نمونه‌ها در محدوده آلودگی کم و متوسط قرار دارند. عمده دلیل آلودگی آب منطقه به فلزات سنگین را می‌توان ابتدا فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی دانست که بدون توجه به مسائل محیط‌زیستی انجام می‌شود و بعد از آن تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه می‌تواند تأثیرگذار باشد. فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی همراه با عدم رعایت مسائل زیست‌محیطی می‌تواند تأثیر نامناسبی بر کیفیت آب منطقه بگذارد درحالی‌که می‌توان عمده آلودگی آب منطقه را با توجه به استفاده بی‌رویه از کود و آفت‌کش‌ها و عدم زهکشی نامناسب فعالیت‌های کشاورزی دانست.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، دشت تبریز، فلزات سنگین، کشاورزی، مسائل زیست‌محیطی

مقدمه

محیط‌زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط‌زیست، متجاوز از میزانی است که به‌وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند؛ بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط‌زیست موردتوجه است (Qin et al., 2015; Miloskovic and Simic, 2015).

در حال حاضر بسیاری از مشکلات کیفی آب زیرزمینی، به‌واسطه پیشرفت فناوری و فعالیت‌های انسان ساخت، روزبه‌روز در حال افزایش است و لزوم توجه بیشتری را می‌طلبد. از سوی دیگر ارزیابی تحقیقات پیشین و نقش منابع آب‌های داخلی در بخش‌های مختلف کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اهمیت این منابع را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد (Rezvani et al., 2013; Faal, 2012). در حال حاضر بسیاری از منابع آب زیرزمینی در ایران در معرض آلودگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشند که تجمع آلودگی فلزات سنگین ناشی از فاضل آب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی در آب، رسوبات و آبیان نیز گزارش شده است (Bagheri et al., 2011; Jasmizadeh et al., 2014; Mortazavi and Saber Nasab, 2017; Mortazavi et al., 2017).

سندیپ و واهیدونیشا در تحقیقی کیفیت آب تالاب روب سیگار هند را با استفاده از شاخص NSFQI به‌صورت ماهیانه طی یک سال بررسی نمودند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه کیفیت آب تالاب روب سیگار در کل دوره مطالعه در محدوده کیفی متوسط قرار

در سال‌های اخیر افت کیفی آب زیرزمینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، به تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها تبدیل شده است. از این رو، مدیریت کارآمد منابع آب، حفاظت و مدیریت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان مهم‌ترین و قابل‌دسترس‌ترین منابع آب شیرین، مستلزم اجرای برنامه‌های پایش مستمر و دقیق کیفی آب است (Aazami et al., 2015). ورود آلودگی‌های مختلف به محیط‌زیست و اثرات مخرب آن‌ها توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. فلزات سنگین به‌عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده اکوسیستم‌های آبی در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شوند (Janadeleh and Kameli, 2017). فلزات سنگین با ورود به خاک، آب و هوا درنهایت از راه‌های مختلف وارد بدن انسان شده و سبب ایجاد بیماری‌های حاد و مزمن می‌شوند (Sari et al., 2018). در دهه گذشته ورود آلاینده‌ها با منشأ انسانی مانند فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی، به مقدار زیادی افزایش یافته است که به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات محیط‌های آبی به شمار می‌آیند. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان‌ساخت وارد

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(Email: alirezaahmadi@ut.ac.ir)

غربی و نیز از شرق به سمت غرب است. بیشترین ژرفای سطح آب زیرزمینی در بخش شرقی و جنوبی و کمترین ژرفای سطح آب زیرزمینی در بخش غربی دشت دیده می‌شود.

قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه مربوط به رسوبات، سنگ‌های دگرگونی و آهکی دونین-کربنیفر، پرمین-تریاس و کرتاسه پایین و بالایی است که در شمال دشت و در کوه مورو در سطحی وسیع رخنمون پیدا کرده‌اند و از شیست‌های دانه‌ریز، کوارتزیت، آهک و رآهک بیتومینه تشکیل یافته‌اند و به‌وسیله نفوذی-های آذرین به هم خورده‌اند. سازندهای قرمز بالایی (سری میوسن) در سطح بسیار گسترده‌ای شمال و شمال شرق دشت را پوشانده‌اند و از مارن‌های قرمز همراه با گچ، کنگلومرا و نمک و آهک‌های مارنی با ستبرایی بیش از ۱۰۰۰ متر تشکیل شده است. بر روی سازند قرمز بالایی لایه‌هایی از مارن زرد، ماسه‌سنگ همراه با لیگنیت و رس‌های خاکستری مانند مربوط به پلیوسن قرار گرفته‌اند که به طرف بالا لایه‌های مارنی را در غرب شهر تبریز تشکیل می‌دهند. توف‌ها و آندزیت‌های پلیو-پلیوستوسن آتشفشان سه‌سند در سطح بسیار گسترده-ای بر روس لایه‌های پلیوسن قرار گرفته‌اند و دامنه‌های شمال سه‌سند را می‌پوشانند. سازندهای آذرآواری سه‌سند در قله بیشتر آندزیت و در دامنه‌ها از توف‌های آبرفتی در بعضی نقاط، بیش از ۵۰۰ متر گزارش شده است و از منابع آب زیرزمینی فوق‌العاده زیاد و با کیفیت خوب برخوردار است. رسوبات کواترنری نهشته‌های آبرفتی دشت تبریز بیشتر شامل شن، ماسه و سیلت و رس است که از شرق به غرب منطقه به تدریج رسوبات دانه‌ریز می‌شوند (Asghari Moghadam and Allaf Najib, 2008).

نمونه‌برداری یکی از مهم‌ترین بخش هر کار تحقیقاتی است. در طول دوره نمونه‌برداری از چاه‌های مورد نظر روش‌های استاندارد نمونه‌برداری مانند پراکنش مناسب نقاط نمونه‌برداری، برداشت از عمق یکسان و مناسب به منظور بررسی عناصر، استفاده از بطری‌های نمونه‌برداری مناسب، نگهداری نمونه‌ها در دمای مناسب استفاده‌شده است (EPA, 2006). ۱۵ نمونه‌برداری از مناطق مختلف از آب‌های دشت تبریز در فصل بهار سال ۱۳۹۷ انجام پذیرفت. تمامی نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه با استفاده از کاغذهای صافی فیلتر شدند. تمامی مقادیر غلظت، عناصر سنگین توسط دستگاه جذب اتمی (Aligent 240AA) اندازه‌گیری شده است (Baomid Agamirloo, 2017). نقشه منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده در شکل (۱) ارائه شده است.

برای پردازش آماری داده از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. برای اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک استفاده شد. از طرفی وجود یا عدم وجود همبستگی بین پارامترهای کیفی آب نیز به‌وسیله آزمون همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت.

می‌گیرد (Sandeep and Vaheedunnisha 2013). افندی و وارداتانو وضعیت کیفی آب رودخانه چیمبیلایونگ واقع در استان بن-تن کشور اندونزی را با استفاده از شاخص NSFQI و شاخص آلودگی (PI) بررسی نمودند. نمونه‌برداری از سه ایستگاه و در سه نوبت مطابق با فصل بارانی صورت گرفت. طبق نتایج حاصل از این مطالعه میزان شاخص NSEWQI در محدوده ۸۸-۸۷ و میزان شاخص آلودگی در محدوده ۰/۷۸-۰/۵۶ قرار می‌گیرد (Wardiatno and Effendi 2015). بر اساس این شاخص‌ها کیفیت آب رودخانه در محدوده خوب قرار می‌گیرد. شفوی و سبحانی اردکانی (۱۳۹۹) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در زمان مطالعه برای استحصال و مصرف با مشکل مواجه نیست.

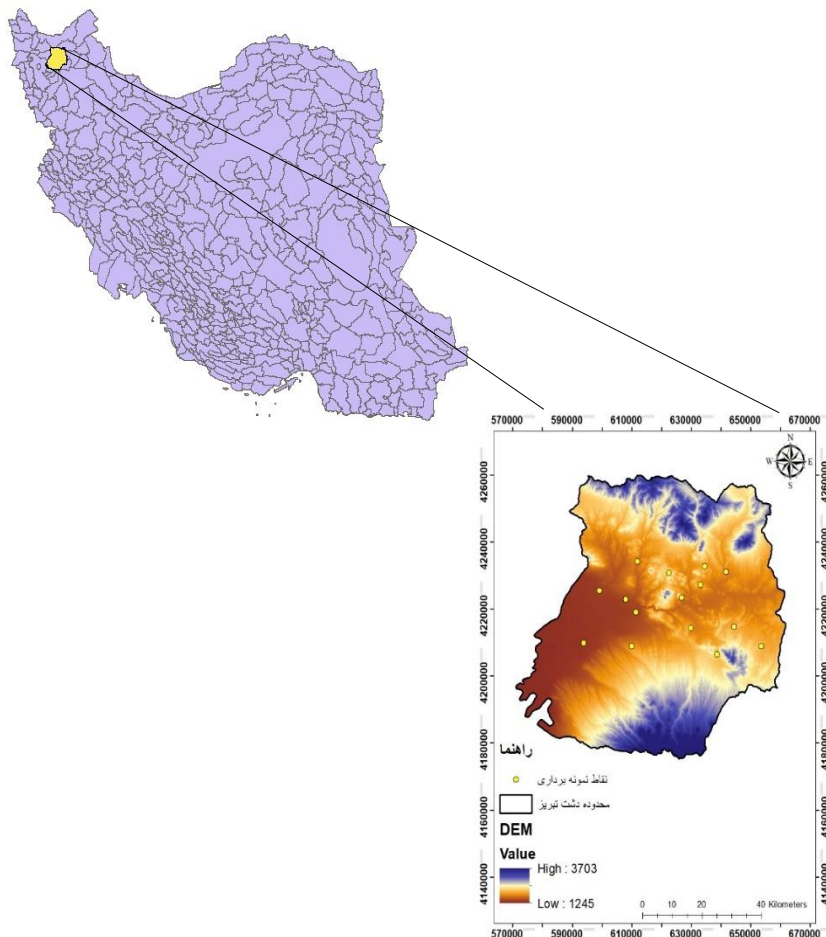
در محدوده دشت تبریز بیشترین کاربری مربوط به کشاورزی و باغ است. همچنین وجود کارخانه‌های صنعتی در بخش غربی شهر تبریز و آلودگی این کارخانه‌ها سبب مشکلات زیست‌محیطی در منطقه گردیده است. این پژوهش باهدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های PoS و MI بر اساس محتوی عناصر آرسنیک، منگنز، روی، آهن، سرب و کادمیم و همچنین بررسی توزیع نرمال نمونه‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک و آزمون همبستگی پیرسون و بررسی توزیع مکانی عناصر در منطقه مورد مطالعه انجام یافت.

مواد و روش‌ها

دشت تبریز با مختصات $36^{\circ} 45'$ تا $36^{\circ} 15'$ طول شرقی و 37° تا $38^{\circ} 17'$ عرض شمالی در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است. پست‌ترین نقطه ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه ۱۰۳۰ متر از سطح دریا در غرب دشت و بیشترین ارتفاع در کوه‌های جنوب شرق (سه‌سند) با ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این دشت از شمال به دامنه‌های کوه میشو، از جنوب به دامنه‌های شمالی سه‌سند محدود می‌شود. این دشت جز حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه است. وسعت تقریبی دشت مورد مطالعه ۷۰۰ کیلومترمربع است و در ساحل شرق دریاچه ارومیه واقع شده است (Asghari and Moghadam, 1991). بیشترین میزان بارش مربوط به اردیبهشت‌ماه برابر ۴۹۰۹ میلی‌متر است که نشان می‌دهد بارش‌های نپسان در اردیبهشت‌ماه اتفاق می‌افتد. کمترین میزان بارش مربوط به مردادماه برابر ۲۰۲۶ میلی‌متر است. بیشترین مقدار بارندگی مصادف با بارش‌های نپسان در فصل بهار، کمترین میزان بارش مصادف با گرم‌ترین ماه سال است. جهت جریان عمومی آب زیرزمینی به پیروی از توپوگرافی منطقه، بیشتر از شمال شرقی و جنوب شرقی به سمت جنوب غربی و شمال

تهیه نقشه‌های توزیع مکانی برای هر عنصر به روش درون‌یابی معکوس فاصله اقدام شد.

برای تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در محدوده مورد مطالعه از نسخه ۱۰٫۲ نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. بدین صورت که پس از تهیه بانک اطلاعاتی از نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر، نسبت به



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه در محدوده‌های مطالعاتی کشور و نقاط نمونه‌برداری شده

$$MI = \sum \frac{CI}{(MAC)} \quad (3)$$

در روابط (۱) و (۲) M_i نشان‌دهنده‌ی غلظت هر یک از عناصر روی، سرب و آهن ($\mu g/L$) در نمونه‌ها است. W_j بیانگر میانگین وزنی عناصر آرسنیک، روی، منگنز، آهن، سرب و کادمیم در نمونه‌ها است که در این مطالعه به ترتیب برابر ۰٫۰۲۲، ۰٫۱۰، ۰٫۰۱۸، ۰٫۰۱، ۰٫۰۲ و ۰٫۰۲ در نظر گرفته شده است. S_j نیز نشان‌دهنده‌ی حداکثر مقدار مجاز عناصر آرسنیک، روی، منگنز، آهن، سرب و کادمیم در آب است که در این مطالعه به ترتیب ۵، ۱۰، ۴۰۰، ۲۰۰ و ۱۰ است. در نظر گرفته شده است.

در رابطه (۳)، CI و MAC به ترتیب بیانگر غلظت عناصر

محاسبه شاخص‌های کیفی

برای محاسبه مقادیر شاخص‌های MI و PoS از روابط (۱) تا (۳) استفاده شده است (Tziritis et al, 2014; Lou et al, 2017; Khoshnam et al, 2017).

$$PoS = \sum_{j=1}^M Q_{fj} \quad (1)$$

$$Q_{fj} = 10^3 \times \frac{[M_i \times W_j]}{S_j} \quad (2)$$

- 1- Metal Index
- 2- Poseidon

نتایج و بحث

محتوی فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی به عوامل متعددی وابسته است که از آن جمله می‌توان به نوع، میزان و زمان کود دهی یا آفت‌کش‌های مورد استفاده، شرایط اقلیمی منطقه، زمان برداشت نمونه‌ها، سطح سفره‌های آب زیرزمینی، جنس سازندهای منطقه اشاره کرد. همچنین غلظت فلزات سنگین در طول زمان تغییر کرده و چاه‌های موجود در یک محل می‌تواند به‌طور گسترده دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات باشند. در واقع غلظت فلزات سنگین در چاه‌ها، مرتبط با محل و عمق چاه بوده و در چاه‌های کم‌عمق‌تر در نواحی مشخص زمین‌شناسی غلظت فلزات بیشتر است (سبحان اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Geen et al., 2003). نتایج اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در جدول (۲) ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده غلظت تمام عناصر از نظر کشاورزی محدودیتی در استفاده برای آبیاری ندارند و از محدوده مجاز کمتر می‌باشند؛ اما بر اساس غلظت مجاز برای آشامیدن، میانگین آرسنیک از محدوده تعیین شده‌ی استاندارد جهانی بیشتر است. غلظت عنصر روی نشان‌دهنده‌ی نزدیک محدوده بودن به محدوده غیرمجاز برای مصرف شرب است که خطر آلودگی آب منطقه را می‌دهد.

آرسنیک، روی، منگنز و آهن در نمونه و حداکثر مجاز هر یک از عناصر هر دو برحسب ($\mu\text{g}/\text{L}$) است. طبق مقادیر شاخص‌های MI و PoS، منابع آب زیرزمینی در ۶ طبقه کیفی به شرح ذیل ارزیابی می‌شوند (Tziritis et al., 2014) که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفی مقادیر شاخص‌های MI و PoS (Tziritis et al. 2014)

شاخص	محدوده	توصیف کیفی
MI	$MI < 0.3$	خیلی پاک
	$0.3 < MI < 1$	پاک
	$1 < MI < 2$	تحت تأثیر اندک
	$2 < MI < 4$	تحت تأثیر متوسط
	$4 < MI < 6$	تحت تأثیر زیاد
	$MI > 6$	تحت تأثیر شدید
PoS	$PoS < 150$	پاک
	$150 < PoS < 300$	آلودگی اندک
	$300 < PoS < 600$	آلودگی متوسط
	$600 < PoS < 1200$	آلودگی زیاد
	$1200 < PoS < 2400$	آلودگی خیلی زیاد
	$PoS > 2400$	آلودگی شدید

جدول ۲- خلاصه تحلیل آماری داده‌های کیفی در مقایسه با استاندارد WHO ($\mu\text{g}/\text{L}$) (WHO, 2011)

عناصر	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	WHO (شرب)	WHO (کشاورزی)
As	۳۲	۱	۱۳۰۱۳	۱۰	۱۰۰
Fe	۱۹۶	۲۲	۸۲۰۷۳	۲۰۰	۵۰۰۰
Mn	۵۰۲	۱۱	۱۱۲۰۶	۳۰۰	۴۰۰
Zn	۳۲۷	۱۱	۴۹۰۰۶	۵۰	۲۰۰۰
Pb	۱۶	۰.۵	۳۰۸	۱۰	۱۰۰
Cd	۴۱	۱	۸۰۱۳	۳	۱۰

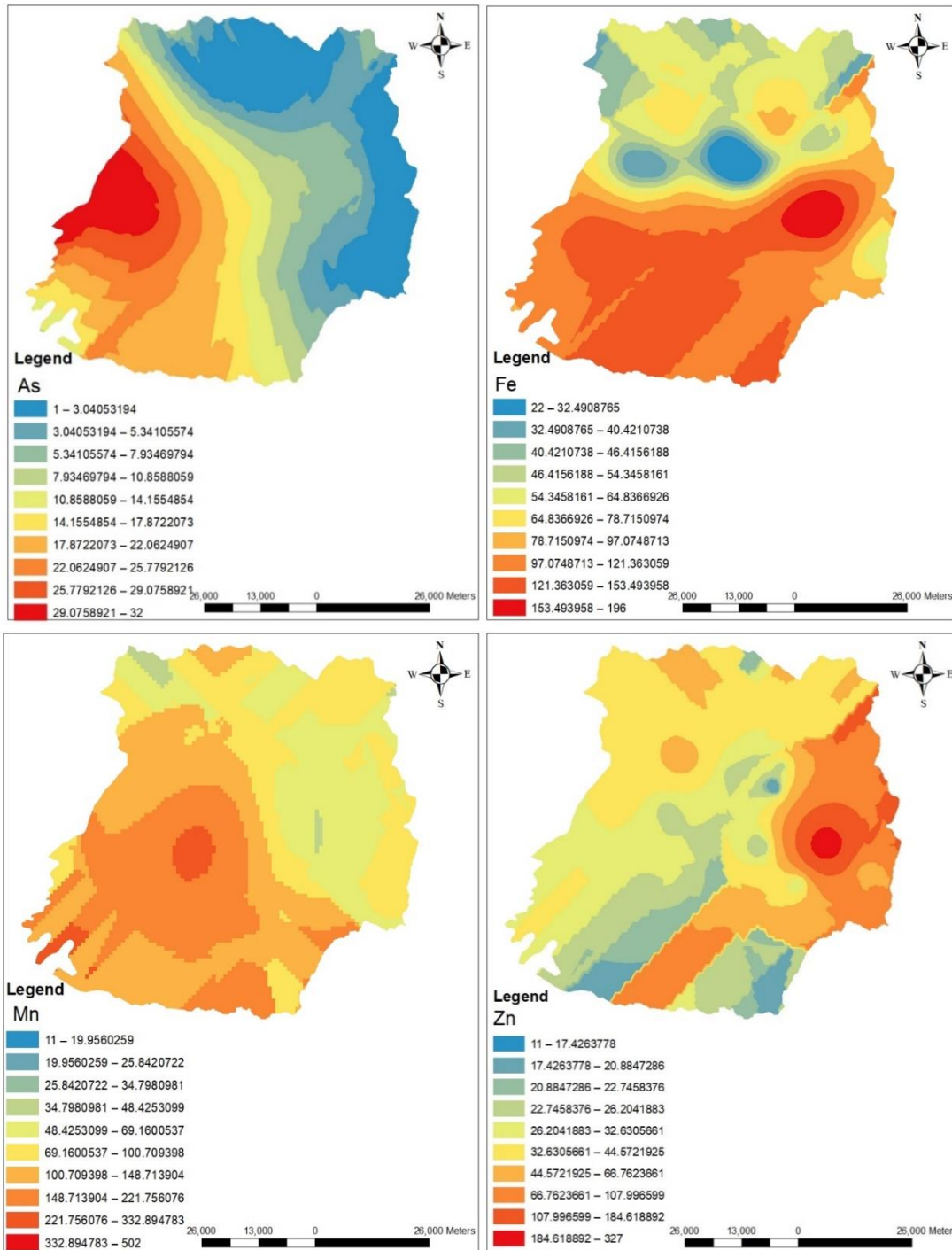
می‌شود که آن‌ها ته‌نشین شوند و یا جذب سطح ذرات کلوئیدی شوند. غلظت منگنز در نواحی مرکزی به سمت غرب غلظت بالایی دارند. مناطق شرقی و شمالی منطقه دارای غلظت پایین از منگنز می‌باشند. کاربرد مواد شیمیایی و کودهای شیمیایی در فعالیت‌های کشاورزی می‌تواند سبب غلظت بالای منگنز در آب شود (Stamatis et al., 2001). توزیع مکانی عناصر سرب و کادمیم تقریباً مشابه یکدیگر است و شیب افزایش غلظت از غرب به شرق منطقه است. غلظت روی در شرق منطقه بیشتر است و روند تغییرات غلظت از شمال به جنوب منطقه کاهشی است. غلظت بالای روی در شرق منطقه عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است و در اثر کاربرد کودها به‌ویژه کود حیوانی و همچنین سموم و آفت‌کش‌ها در خاک تجمع یافته است.

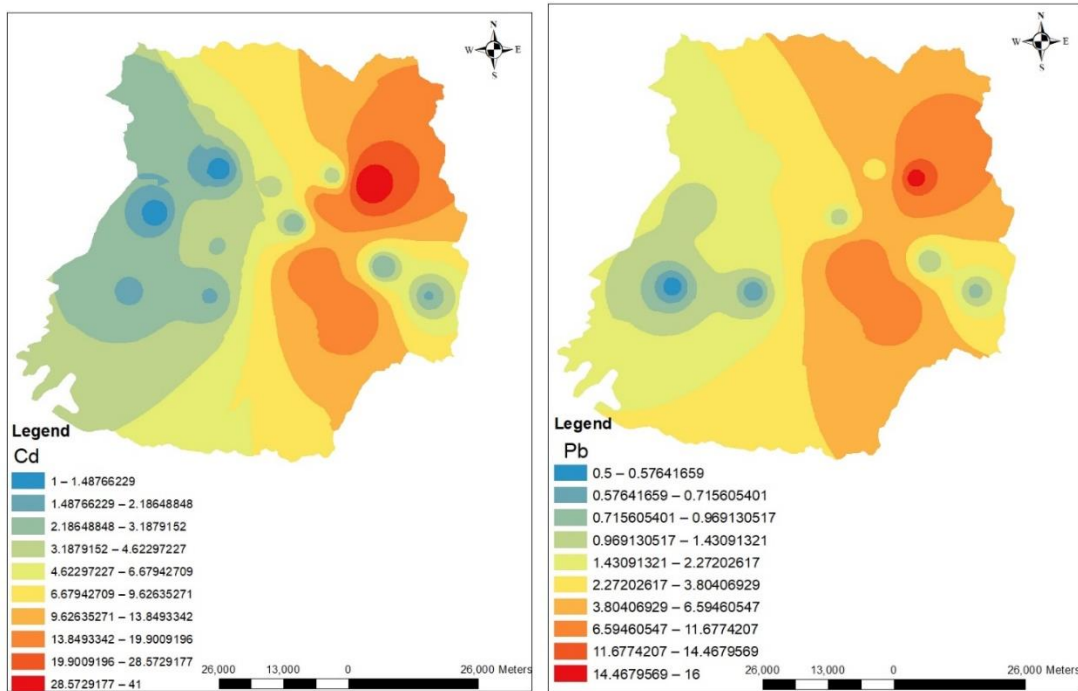
بر اساس نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین که در شکل (۲) نشان داده شده است، بر این اساس غلظت عنصر آرسنیک از شرق به غرب منطقه در حال افزایش است که می‌توان عوامل انسانی و طبیعی را در آن دخیل دانست. البته می‌توان انحلال کوه‌های آتش‌فشانی سهند را در این مورد مدنظر قرار داد. در مورد عنصر آهن، می‌توان منطقه را به دونیمه شمالی و جنوبی تقسیم کرد که قسمت جنوبی آن غلظت بیشتری را نشان می‌دهد که علت آن را هم می‌توان به فعالیت‌های انسانی و هم فرآیندهای طبیعی مانند انحلال کانی‌های آهن‌دار توسط آب نسبت داد.

به‌طور عمده فقط غلظت‌های کم آهن و منگنز در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارند؛ زیرا اتمسفر غنی از اکسیژن باعث

همچنین روی یک جز اصلی ترکیب سموم و آفت‌کش‌ها است (Mico et al., 2006).

کودهای حیوانی مقادیر قابل توجهی روی دارند، زیرا مکمل‌های غذایی مصرفی برای حیوانات سرشار از روی هستند (Xoing et al., 2011).





شکل ۲ - نقشه توزیع غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳ - نتایج بررسی نرمال بودن مقادیر فلزات سنگین

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
As	۰/۲۲۰	۱۵	۰/۰۵۲	۰/۸۸۴	۱۵	۰/۰۵۴
Fe	۰/۱۶۳	۱۵	۰/۲۰۰	۰/۹۲۳	۱۵	۰/۲۱۳
Mn	۰/۲۵۶	۱۵	۰/۰۹۰	۰/۷۲۳	۱۵	۰/۰۷۲
Zn	۰/۳۵۶	۱۵	۰/۱۶۰	۰/۴۵۲	۱۵	۰/۱۱۰
Pb	۰/۳۰۰	۱۵	۰/۷۲۳	۰/۷۱۸	۱۵	۰/۳۹۰
Cd	۰/۳۷۳	۱۵	۰/۱۴۰	۰/۶۶۵	۱۵	۰/۱۰۸

جدول ۴ - ماتریس همبستگی برای عناصر مورد مطالعه

Cd	Pb	Zn	Mn	Fe	As	
					۱	Pearson Correlation As
				۱	-۰/۰۳۳	Pearson Correlation Fe
			۱	-۰/۰۹۴	-۰/۳۲۶	Pearson Correlation Mn
		۱	-۰/۱۵۰	-۰/۵۷۴	-۰/۱۸۰	Pearson Correlation Zn
	۱	-۰/۱۵۷	-۰/۱۸۸	-۰/۰۳۳	-۰/۴۷۲	Pearson Correlation Pb
۱	-۰/۹۴۵	-۰/۱۲۹	-۰/۱۷۴	-۰/۰۸۳	-۰/۳۸۲	Pearson Correlation Cd

۰۰۹۴۵ در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰۰۰۱، دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص PoS در جدول (۵) ارائه شده است. طبق این شاخص نمونه‌های ۱۳، ۱۲ و ۱۵ در محدوده ۱۲۰۰-۲۴۰۰ به معنی آلودگی خیلی زیاد قرار دارند. بیشترین آلودگی برای نمونه ۱۳ است که عنصر روی تأثیر زیادی در آلودگی آن دارد. ۲۰٪ نمونه‌ها محدوده آلودگی خیلی زیاد می‌باشند.

نتایج آزمون نرمال بودن مقادیر عناصر سنگین در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک با توجه به سطح معنی‌داری بالاتر از ۰۰۰۵ نشان داد که همه پارامترها از توزیع نرمال برخوردار هستند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از همبستگی پیرسون که در جدول (۴) ارائه شده است، آهن و روی در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰۰۰۵ با ضریب همبستگی ۰۰۵۷۴ همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. درحالی‌که میان سرب و کادمیم با ضریب همبستگی

جدول ۵ - نتایج محاسبه‌شده شاخص PoS عناصر سنگین

نمونه	Q As	Q Fe	Q Mn	Q Zn	Q Pb	Q Cd	PoS
۱	۷۰۴	۱۹	۴/۹۵	۷۶	۲۰	۴۰	۸۶۳/۹۵
۲	۱۷۶	۳۴	۴۰/۵	۱۲۴	۴۰	۴۰	۴۵۴/۵
۳	۴۴	۱۱	۵۷/۱۵	۴۴	۶۰	۱۶۰	۳۷۶/۱۵
۴	۵۷۲	۲۲/۵	۴۹/۰۵	۴۲	۴۰	۱۶۰	۸۸۵/۵۵
۵	۴۸۴	۴۲	۲۲۵/۹	۵۲	۴۰	۱۲۰	۹۶۳/۹
۶	۸۸	۶۰	۲۲/۹۵	۳۰	۱۸۰	۸۰۰	۱۱۸۰/۹۵
۷	۵۵۰	۶۲/۵	۱۳۵	۵۴	۱۰	۸۰	۸۹۱/۵
۸	۵۹۴	۷۰/۵	۶۷/۵	۵۴	۱۰	۸۰	۸۷۶
۹	۲۶۴	۱۲/۵	۱۲/۱۵	۵۲	۱۴	۴۰	۳۹۴/۶۵
۱۰	۲۲	۳۸	۵۰/۴	۷۲	۱۶	۸۰	۲۷۸/۴
۱۱	۱۵۴	۹۸	۱۵/۷۵	۶۵۴	۱۰	۴۰	۹۷۱/۷۵
۱۲	۳۵۲	۲۳	۷/۲	۲۶	۸۰	۷۲۰	۱۲۰۸/۲
۱۳	۶۶	۲۳/۵	۴۸/۶	۱۳۰	۳۲۰	۱۶۴۰	۲۲۲۸/۱
۱۴	۱۵۴	۲۹/۵	۱۱/۲۵	۴۰	۶۰	۸۰	۳۸۴/۷۵
۱۵	۱۱۰	۶۴/۵	۱۱/۷	۲۲	۲۴۰	۸۰۰	۱۲۴۸/۲

جدول ۶ - نتایج محاسبه‌شده شاخص MI عناصر سنگین

نمونه	MI As	MI Fe	MI Mn	MI Zn	MI Pb	MI Cd	MI
۱	۳/۲	۰/۱۹	۰/۰۲۷۵	۰/۷۶	۰/۱	۰/۲	۴/۴۷۷۵
۲	۰/۸	۰/۳۴	۰/۲۲۵	۱/۲۴	۰/۲	۰/۲	۳/۰۰۵
۳	۰/۲	۰/۱۱	۰/۳۱۷۵	۰/۴۴	۰/۳	۰/۸	۲/۱۶۷۵
۴	۲/۶	۰/۲۲۵	۰/۲۷۲۵	۰/۴۲	۰/۲	۰/۸	۴/۵۱۷۵
۵	۲/۲	۰/۴۲	۱/۲۵۵	۰/۵۲	۰/۲	۰/۶	۵/۱۹۵
۶	۰/۴	۰/۶	۰/۱۲۷۵	۰/۳	۰/۹	۴	۶/۳۲۷۵
۷	۲/۵	۰/۶۲۵	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۴	۴/۸۶۵
۸	۲/۷	۰/۷۰۵	۰/۳۷۵	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۴	۴/۷۷
۹	۱/۲	۰/۱۲۵	۰/۰۶۷۵	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۲	۲/۱۸۲۵
۱۰	۰/۱	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۰۸	۰/۴	۱/۹۶
۱۱	۰/۷	۰/۹۸	۰/۰۸۷۵	۶/۵۴	۰/۰۵	۰/۲	۸/۵۵۷۵
۱۲	۱/۶	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۴	۳/۶	۶/۱۳
۱۳	۰/۳	۰/۲۳۵	۰/۲۷	۱/۳	۱/۶	۸/۲	۱۱/۹۰۵
۱۴	۰/۷	۰/۳۹۵	۰/۰۶۲۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۲/۲۵۷۵
۱۵	۰/۵	۰/۶۴۵	۰/۰۶۵	۰/۲۲	۱/۲	۴	۶/۶۳

استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی در کشاورزی، فاضلاب‌ها و پساب‌ها وارد آب شده و با توجه به ویژگی‌های لایه‌های خاک قادر به آلوده کردن آبخوان است. در این منطقه فعالیت کشاورزی و صنعتی بدون توجه به مسائل زیست‌محیطی به شدت صورت می‌گیرد. میزان میانگین آرسنیک در منطقه بیش از حد مجاز است که می‌تواند از فعالیت‌های انسانی نظیر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در اطراف شهر تبریز باشد در حالی که مطالعه‌ی مالوندی و حسن‌زاده به تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی کاهش کیفیت آب منطقه مورد مطالعه پرداخت (Malvandi and Hasanzadeh, 2018) که مؤید این موضوع است.

نتایج محاسبه شاخص MI نشان داد که ۳۴٪ نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر کیفی مربوط به طبقه آلودگی شدید بودند. این موضوع را می‌توان با محتوی عنصر آرسنیک در نمونه‌ها مرتبط دانست. بدین معنی که عنصر با استناد به مقادیر محاسبه شده شاخص MI، آرسنیک بیشترین نقش را در افت کیفی منابع آب زیرزمینی داشته است. لذا، ضمن آن که می‌توان به نقش احتمالی ساختار زمین‌شناسی منطقه در انحلال آرسنیک در منابع آب زیرزمینی اشاره کرد، نباید از مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای شیمیایی به‌وسیله کشاورزان منطقه که می‌تواند منجر به تجمع مقادیر قابل توجه آرسنیک در خاک زمین‌های کشاورزی و نفوذ آن به منابع آب زیرزمینی شود، غافل شد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفی این منبع حیاتی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از این‌رو پژوهش حاضر به بررسی کیفی آب دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های MI و PoS همراه با بررسی توزیع نرمال و همبستگی پیرسون پرداخته است. نتایجی که از آنالیز نمونه‌های آب برداشت شده در دشت تبریز به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که غلظت تمام فلزات سنگین برای مصرف آبیاری کمتر از محدوده WHO است در حالی که برای نوشیدن میانگین غلظت آرسنیک و کادمیم بیشتر از حد مجاز است و روی نزدیک به محدوده تعیین شده است. بر اساس محاسبه شاخص PoS، ۲۰٪ از نمونه‌ها دارای آلودگی خیلی زیاد است و ۴۷٪ آلودگی زیاد را دارا است. نتایج شاخص MI نشان داد که ۳۴٪ نمونه‌ها در محدوده آلودگی کم و متوسط قرار دارند. عمده دلیل آلودگی آب منطقه به فلزات سنگین را می‌توان ابتدا فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی دانست که بدون توجه به مسائل محیط‌زیستی انجام می‌شود و بعد از آن تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه می‌تواند تأثیرگذار باشد. فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی همراه با عدم رعایت مسائل زیست‌محیطی می‌تواند تأثیر نامناسبی بر کیفیت آب منطقه

بر اساس محاسبه شاخص MI که در جدول (۶) نشان داده شده است، ۳۴٪ نمونه‌ها در محدوده تحت تأثیر شدید ($MI > 6$) قرار دارند و ۲۰٪ نمونه‌ها در محدوده متوسط می‌باشند. نمونه شماره ۱۳ بیشترین آلودگی را دارد که عنصر کادمیم بیشترین تأثیر را در این مقدار به‌دست‌آمده دارد و آلودگی را در محدوده‌ی تأثیر شدید قرار داده است.

با توجه به اینکه آب مهم‌ترین حلال معدنی است، حل شدن مواد معدنی و عناصر فلزی در آب هر منطقه اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین، هر نمونه آب مربوط به هر جغرافیایی دربرگیرنده ترکیبات و به‌خصوص املاح و مواد معدنی آن منطقه خواهد بود. حل شدن کاتیون‌های فلزی مانند سرب و کادمیم در آب به آن خاصیت قلیایی می‌دهد. کانی‌های اسفالریت و اسمیت سونیت، همیمورفیت اولیون، ماگنتیت، گالن، آمفیبول، بیوتیت و پلاژیوکلاز حاوی عنصر روی هستند؛ توده‌های گرانیتی واجد کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، زیرکن، آمفیبول، اورتوز، فلدسپات پتاسیم به‌عنوان کانی حامل سرب و بیوتیت، ماگنتیت، زیرکن به‌عنوان کانی‌های تمرکز دهنده سرب محسوب می‌شوند. همچنین سنگ‌های آهک‌رسی حاوی عناصر مس و سرب بوده و کانی آهک‌رس حاوی عناصر کادمیم، مس و روی است (Sobhanardakani et al, 2014). زمین‌شناسی و جنس آن‌ها از سازندهای تخییری، سازندهای آهکی، سنگ‌های آتش‌فشان‌ی دگرسان شده، سازندهای شیلی و مارنی تشکیل شده است. با توجه به جنس این سازندها و نهشته‌های انحلال و هوازگی یکی از راه‌های تغییر کیفیت آب این دشت است.

نکته قابل توجه این است که بر اساس نقشه توزیع مکانی عناصر سرب و کادمیم و همچنین همبستگی بالای بین این دو عنصر به‌علاوه نمونه‌های با غلظت بالای کادمیم، غلظت بالای سرب نیز دارند که می‌تواند به شرایط و منشأ مشابه آن‌ها مربوط است. دشت تبریز بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی است. قسمت شرقی بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی است در حالی که فعالیت‌های صنعتی بیشتر در اطراف شهر تبریز است. آلاینده‌های خطرناک از طریق فعالیت‌های مانند استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی در کشاورزی، فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی وارد آب‌ها شده است. کاربری اراضی در هر نقطه‌ای بر اساس ویژگی‌های خاک آن منطقه صورت گیرد. بیشترین فعالیت‌های صورت گرفته در دشت تبریز مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است و این فعالیت بیشترین آب را مصرف می‌کند. با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و از سوی دیگر بالا رفتن سطح زندگی مردم به نحوی جهت حفظ حاصلخیزی و افزایش بهره‌وری خاک در کشاورزی پایدار، آگاهی از ویژگی‌های مختلف آن ضروری است. فعالیت‌های انسانی در کنار آلوده کردن آب‌های سطحی نیز موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

bioaccumulation in plants and three fish species from freshwater ecosystem. *Toxin Reviews*. 18 (31): 1-9.

Jasmizadeh, Z. ; Rider, a. And Ebrahimi Ghavamabadi, L. 2014 Comparison of metal pollutants in Bahmanshir river sediments affected by incoming effluents with international standards. The first national conference on passive defense in. *Marine Science*. Hormozgan. Pages 60 to 67.

Khoshnam Z., Sarikhani R., Ghassemi Dehnavi A. and Ahmadnejad Z. 2017. Evaluation of water quality using heavy metal index and multivariate statistical analysis in Lorestan Province, Iran. *J. Adv. Environ. Health Res*. 5: 29-37.

Koponen S., Pulliainen J., Kallio K. and Hallikainen M. 2002. Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data. *Remote Sens. Environ.* 79: 51-59.

Lou S., Liu S., Dai C., Tao A., Tan B., Ma G., Sergeevich Chalov R. and Romanovich Chalov S. 2017. Heavy metal distribution and groundwater quality assessment for a coastal area on a Chinese Island. *Pol. J. Environ. Stud*. 26(2): 733-745.

Malvandi H. and Hassanzadeh N. 2018. Environmental and Ecological risk evaluation of heavy metals in surface sediments of the CheshmeKile River, Mazandaran. *Iran J Heal Environ*. 11(3):419-32.

Mico, C., Recatala, L., Peris, M. and Sanchez, J. 2006. "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis". *Chemosphere*. 65: 863-872.

Miloskovic, A. and Simic, V. 2015. Arsenic and Other Trace Elements in Five Edible Fish Species in Relation to Fish Size and Weight and Potential Health Risks for Human Consumption. *Polish Journal of Environmental Studies*. 24 (1): 199-206.

Mortazavi, S. and Saberlin Nasab, F. 2017. Concentration zoning and assessment of ecological risk of heavy metals in sediments of Miqan wetland. *Quarterly Journal of Echo Hydrology*. 4 (2): 533 to 545

Mortazavi, S. ; Rahmani, J. And Chamani, A., 2017. Bio-monitoring in (*Phragmites australis*) heavy metals using straw plant of Heshilan wetland in Kermanshah. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. 19 (4): 67 - 79.

Qin, D.; Jiang, H.; Bai, S.; Tang, S. and Mou, Z., 2015. Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China. *Food Control*. 50: 1-8.

Rezvani, M. ; Victims, A.A., Adolescent, m. And Sehba, M., 2013 Evaluation of Heavy Metal Contamination (Cadmium, Cobalt, Lead, Zinc and Manganese) in Eshtehard Aquifer. *Quarterly Journal*

بگذارد درحالی که می‌توان عمده آلودگی آب منطقه را با توجه به استفاده بی‌رویه از کود و آفت‌کش‌ها و عدم زهکشی نامناسب فعالیت‌های کشاورزی دانست.

منابع

سبحان اردکانی، س.، جمالی، م. و معانی جو، م. ۱۳۹۳. بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*. ۱۶ (۲): ۳۷-۲۵.

شفوی، ف. و سبحان اردکانی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS. *محیط‌زیست و مهندسی آب*. ۶ (۳): ۲۵۷-۲۷۲.

Aazami J, Sari AE. and Abdoli A. 2015. Assessment of ecological quality of the Tajan River in Iran using a multimetric macroinvertebrate index and species traits. *Environ Manage*. 56(1): 260-9.

Asghri Moghaddam, A. 1991. The hydrogeology of the Tabriz area, Iran. Unpublished PhD thesis.

Asghri Moghaddam, A. and Allaf Najib, M., 2006- Hydrogeologic characteristics of the alluvial tuff aquifer of northern Sahand Mountain slopes, Tabriz, Iran. *Hydrogeology Journal*. 14: 1319-1329.

Bagheri, H., Sharmad, T. Kheirabadi, V. Darvishbastami, K. and Bagheri, Z. 2011. Measurement and evaluation of heavy metal pollution in Gorganrood river sediments. *Quarterly Journal of Oceanography*. Volume 2, Number. 5, pp. 35-39.

Baomid Agamirloo N. 2017. The pollution of surface water resources in Tabriz plain area. Thesis of Master, University of Tabriz.

Effendi, H. and Wardiatno, R. Y. 2015. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*. 24: 228-237.

EPA. 2006. Ground Water and Drinking Water, Curent Drinking Water Standards. 17-19.

Faal, Z., 2012. Quality study of Behmshir river water using algae as biological indicators. *Quarterly Journal of Environmental Science*. . No. 52, pages 1 to 10.

Geen V., Zheng Y. and Versteeg R. 2003. Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km² area in Bangladesh. *Water Res. Res*. 39(5): 1140-1156.

Janadeleh, H. and Kameli, M.A. 2017. Metals contamination in sediment and their

- Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. *J. Hydrol.* 517: 339-350.
- Vaheedunnisha, S. and Sandeep, K., 2013. Water Quality Assessment of RoopSagar Pond of Satna Using NSF-WQI. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* 2(5): 1386-1388.
- World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition Incorporating The First And Second Addenda Vol. 1, Recommendations World Health Organization, WHO Press, World Health Organization, Geneva, Switzerland, p. 306.
- Zhao C., Qiao X., Cao Y. and Shao Q. 2017. Application of hydrogen peroxide presoaking prior to ammonia fiber expansion pretreatment of energy crops. *Fuel.* 205: 184-191.
- of Environmental Science and Engineering. 1 (1):13-21.
- Sari, G.L.; Trihadiningrum, Y.; Suci, F.C. and Fashanah Hadining, A., 2018. Identification of Total Petroleum Hydrocarbon and Heavy Metals Levels in Crude Oil Contaminated Soil at Wonocolo Public Mining. *The international Journal by the Thai Society of Higher Education Institutes on Environment.* 11 (2): 109-117.
- Sobhanardakani S. and Jafari S. M. 2014a. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *Journal of Chemical Health Risks.* 4(2): 47-54.
- Stamatis, G., Voudouris, K. and Karefilakis, F. 2011. Groundwater pollution by heavy metals in historical mining area of Lavrio, Attica, Greece. *Water, Air, & Soil Pollution.* 128(1): 61-83.
- Tziritis E., Panagopoulos A. and Arampatzis G. 2014.

Evaluation of Heavy Metal Pollution in Water Resources of Tabriz Plain Using Qualitative Indicators

A. Ahmadi¹

Received: Jul.31, 2021

Accepted: Sep.24, 2021

Abstract

Groundwater quality assessment of this vital resource is of great importance. Therefore, the present study investigates the quality of Tabriz plain water using MI and PoS indices along with the normal distribution and Pearson correlation. The results obtained from the analysis of water samples taken in Tabriz plain show that the concentration of all heavy metals for irrigation consumption is less than the WHO limit, while for drinking the average concentration of arsenic and cadmium is higher than the limit and is close to the specified range. According to the PoS index, 20% of the samples are highly contaminated and 47% are highly contaminated. The results of MI index showed that 34% of the samples are in the range of low and medium pollution. Agricultural and industrial activities along with non-compliance with environmental issues can have an adverse effect on water quality in the region, while the main water pollution in the region can be considered due to improper use of fertilizers and pesticides and inadequate drainage of agricultural activities.

Keywords: Agriculture, Environmental issues Tabriz plain, Heavy metals, Water pollution

1- M.Sc., Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
(Email: alirezaahmadi@ut.ac.ir)