مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره‌ی نهم، شماره‌ی سی و ششم، تابستان ۱۳۹۸

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳

صص ۹۱-۷۴

ارزیابی شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف از آب تالاب میقان اراک

فریدون قدیمی*، دانشیار زمین‌شناسی- دانشگاه صنعتی اراک

چکیده

تالاب میقان اراک، حوضه‌ی بسته در مرکز آبخیز اراک بوده که کلیه‌ی رواناب‌ها و آب‌های زیرزمینی به آن هدایت می‌شوند. شهرهایی چون اراک و آشتیان، شهرک‌های صنعتی چون اراک، خیرآباد، ایبک‌آباد و نیز فعالیت‌های بزرگ کشاورزی در بالادست تالاب میقان واقع شده و فاضلاب و پساب حاوی فلزات سنگین آن‌ها وارد تالاب می‌شوند. به‌علاوه، تالاب میقان دارای جاذبه‌های اکوتوریستی؛ یعنی پرندگان مهاجر و نیز ژئوتوریستی از نظر معدن سولفات سدیم است. جهت مشخص شدن شدت آلودگی آب تالاب میقان اراک به فلزات سنگین و تعیین منابع آلاینده‌ی در آن، ۲۹ نمونه آب از کاربری‌های آب شور شامل حوضچه‌ها، دریاچه‌ی میقان و پساب شرکت املاح ایران و آب شیرین ورودی به تالاب نظیر فاضلاب شهری، آب کشاورزی، پساب صنایع برداشت و غلظت عناصر سنگین نظیر Hg، As،Pb،Co،Cu، Pb و Zn با دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. مقایسه‌ی این عناصر با استاندارد شرب بین‌المللی حاکی از مطلوب بودن آب تالاب بود؛ اما ارزیابی شاخص فلزی و آستانه‌ی آلودگی نشان داد که تالاب آلوده به عناصری چون Hg، As و Pb بوده که مهم‌ترین منابع آلاینده‌ی آن به ترتیب فاضلاب شهری و پساب کشاورزی است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی فلزات سنگین، منابع آلاینده، سنجش آلایندگی، تالاب میقان، اراک.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: Ghadimi@arakut.ac.ir

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی "ارزیابی ژئوشیمیایی زیست‌محیطی منابع آلاینده‌ی آب و خاک در منطقه‌ی کویر میقان اراک به منظور تعیین ضریب تاثیر فعالیت های زیست‌محیطی معدنی نمک سولفات سدیم شرکت معدنی املاح ایران (واحد اراک)" می‌باشد.

۱- مقدمه

با پیشرفت صنایع، میزان ورود آلودگی‌ها به اکوسیستم‌ها افزایش یافته است(Qu, 2018: 639). اصلی‌ترین ترکیب آلودگی‌های معدنی، فلزات سنگین ازجمله Cu، Zn، Fe و Cd است(جاوید و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۵; ناجی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱). این آلودگی‌ها در مقایسه با آلودگی مواد آلی مشکلات زیاد و سمّیت آن‌ها بیش‌تر است(وثوق و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۸۷). فلزات سنگین در آب تالاب‌ها می‌توانند اثرات مخربی بر سلامتی موجودات و در موارد حاد خطر مرگ را به همراه داشته باشند(Zhang, 2018: 887). بیش‌ترین و خطرناک‌ترین آثار مسمومیت به‌وسیله‌ی فلزات سنگین در مراحل رشد و نمو موجودات حادث می‌شود. منشأ ورود فلزات سنگین به آب تالاب‌ها می‌تواند فاضلاب‌های شهری، پساب‌ها و زباله‌های صنعتی باشند. افزایش جمعیت شهرنشینی و توسعه‌ی صنایع مختلف، یکی از عوامل اصلی افزایش آلاینده‌ها خصوصاً فلزات سنگین در آب تالاب‌ها است(Carranza, 2016: 155).

صنایع ریخته‌گری، کارخانه‌های ذوب فلزات، کارخانه‌های آبکاری، کوره‌های زباله‌سوزی، پسماندهای صنایع و معادن، لوله‌کشی‌های قدیمی شهری دلایل افزایش فلزات سنگین در آب‌ها هستند(Siegel, 2002: 45). برخی فرآیندهای طبیعی نیز در هدایت فلزات سنگین به آب نقش دارند. در برخی از مناطق، As به‌طور طبیعی از لایه‌های زمین در آب‌های زیرزمینی حل‌شده و باعث آلوده شدن منابع آب می‌شود(Siegel, 2002: 45) در دهه‌ی گذشته ورود آلاینده‌های با منشأ انسانی مانند فلزات سنگین به داخل محیط‌های آبی به مقدار زیادی افزایش یافته که به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات به شمار می‌آیند(Sthiannopha et al., 2008: 1086). فلزات سنگین در مقیاس وسیع از منابع طبیعی و انسانی وارد محیط زیست می‌شوند(ولی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۸۷). تالاب‌ها به‌عنوان محیط‌های آبی بسته بیش از هر منبع آبی مستعد عناصر سنگین هستند. تالاب‌ها با قرارگیری در گودترین بخش یک حوضه‌ی آبخیز متأثر از آلودگی‌های طبیعی و انسانی هستند. سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی حوضه‌ی بالادست تالاب نقش مهمی در افزایش فلزات سنگین دارند(شیخ فخرالدینی و عباس‌نژاد، ۱۳۹۴: ۲۰۳؛ خدابخش و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۲). به‌علاوه، بسیاری از مناطق شهری، صنایع و اراضی کشاورزی در بالادست تالاب واقع شده‌اند. مناطق شهری با تولید فاضلاب و چاه‌های جذبی خانگی، صنایع با تولید پساب‌های صنعتی و اراضی کشاورزی با مصرف کودهای حیوانی، شیمیایی و سموم، بسیاری از فلزات سنگین را وارد تالاب‌ها می‌نمایند(عطاملکی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۶؛ لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۵).

تحقیقاتی در خصوص فلزات سنگین در تالاب‌ها در خارج از ایران صورت گرفته است. ریورا[1] و همکاران (۲۰۱۹) بامطالعه‌ی فلزات سنگین در شیلی نشان دادند کاربری‌های متفاوت در حاشیه‌ی تالاب نقش مهمی در افزایش فلزات سنگین دریاچه داشته‌اند. کامزتی[2] و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی فلزات سنگین Cd، Cu، Mn، Pb و Zn در اکوسیستم تالابی در آفریقای جنوبی دریافتند، منشأ فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی اطراف تالاب بوده و هم‌چنین غلظت آن‌ها در فصل خشک افزایش یافته است.

در ایران تحقیقات زیادی بر روی فلزات سنگین در تالاب‌ها خصوصاً تالاب انزلی صورت گرفته است. غضبان و زارع خوش‌اقبال (۱۳۹۰) غلظت عناصر اصلی Al، Ca، Fe، K، Mg، Na، Mn، P، Ti و کمیاب Li، Ba، S، Sr، As، Cd، Cr، Co، Cu، Mo، Ni، Pb، Zn،V و Bi را در تالاب انزلی بررسی و مشخص نمودند، به‌غیراز عناصرCr، Ni، Zn و Co بقیه فلزات سنگین منشأ انسان‌زاد دارند. وصالی و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه‌ی فلزات سنگین در تالاب انزلی منشأ آن‌ها را رودخانه‌های ورودی به تالاب دانسته که غنی از پساب صنایع و فاضلاب‌های شهری هستند. رهبرهاشمی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی فلزات سنگین Cu، Fe، Ni، Pb، Cd و Zn در آب تالاب انزلی مشخص نمودند که غلظت Cu از حد استاندارد بین‌المللی بیش‌تر و منشأ آن صنایع بالادست است. پناهنده و مروتی (۲۰۱۸) با بررسی انواع

1- Rivera
2-Kamzati

فلزات سنگین در موجودات تالاب انزلی به اهمیت آلایندگی Zn و Cd اشاره نمودند. آلابده[3] و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه‌ی فلزات سنگین در تالاب انزلی دریافتند افزایش فلزات سنگین در تالاب نه‌تنها منشأ طبیعی و انسانی دارند، بلکه می‌توانند در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی محیط داخل تالاب نیز تغییر یافته باشند.

تحقیقاتی نیز در خصوص فلزات سنگین در تالاب میقان صورت گرفته است. قدیمی و قمی (۲۰۱۳) با بررسی فلزات سنگین در تالاب میقان نشان دادند، بالا بودن غلظت عناصری چون Cu و Zn در تالاب ناشی از پساب صنایع اطراف آن است. قدیمی (۲۰۱۴) با بررسی فلزات سنگین Ni، Pb، Co، Cr و Zn در تالاب میقان اراک، آلودگی تالاب را به عناصر Ni، Zn وCr مشخص نمود. اردکانی و جمشیدی (۲۰۱۵) با ارزیابی فلزات Co، Ni و Co در تالاب میقان، منشأ آن‌ها را فاضلاب شهری، پساب صنایع و پساب شرکت املاح قید نمودند. صابری نسب و مرتضوی (۲۰۱۸) با بررسی فلزات سنگین Pb، Zn، Cu و Ni در تالاب میقان، بالا بودن این فلزات در بخش جنوبی تالاب را ناشی از فعالیت‌های صنعتی در شمال اراک دانستند. صفری و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین Fe، Mn، Pbو Cd در تالاب میقان اراک مشخص نمودند Cd در مرکز تالاب بیش‌تر از استاندارد بوده و منشأ آن پساب صنایع اطراف است. فاضلی و شعبانی‌فرد (۱۳۹۴) در ارزیابی غلظت فلزات سنگین در تالاب میقان اراک اشاره نمودند، با ورود فاضلاب شهر اراک به تالاب، غلظت فلزات سنگین در تالاب و در کل فصول سال افزایش یافته است.

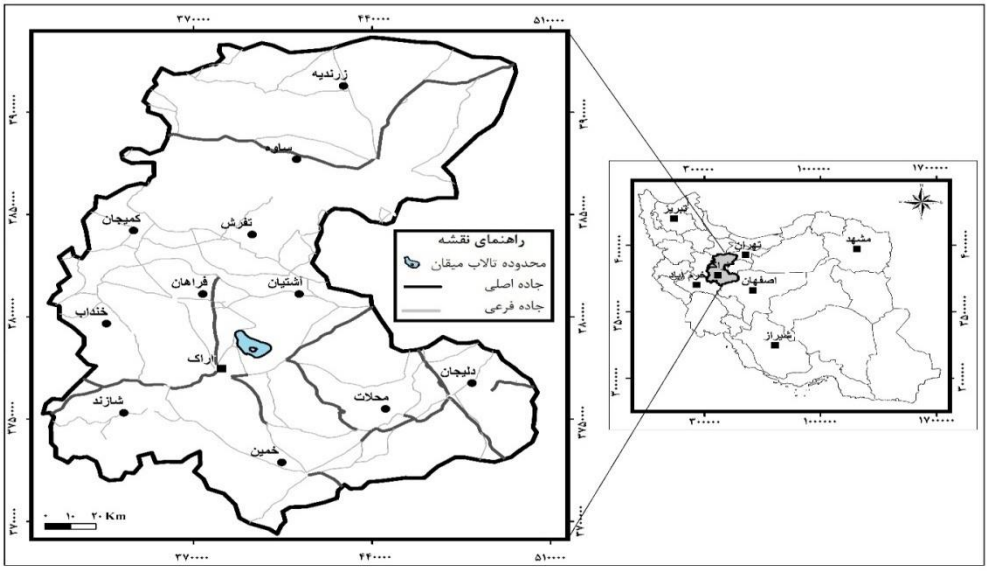
تالاب میقان اراک نیز یکی از تالاب‌های حوضه‌ی مرکزی ایران از نظر اکو و ژئوتوریستی قابل‌توجه بوده و هر ساله علاوه بر جانوران، پرندگان و آبزیان محلی، جاذب پرندگان مهاجر است. شهرهایی چون اراک، آشتیان، فرمهین و صنایع بزرگ موجود در شهرک‌های صنعتی اراک، خیرآباد، ایبک‌آباد، شرکت املاح ایران و قطب بزرگی از فعالیت‌های کشاورزی در بالادست تالاب میقان واقع شده‌اند. نگرانی‌های زیادی از ورود فلزات سنگین به تالاب میقان وجود دارد.

هدف از این تحقیق، بررسی و ارزیابی فلزات سنگین در آب تالاب میقان با استفاده از شاخص‌های آلایندگی، ارزیابی این فلزات در فاضلاب شهری، پساب صنایع و پساب کشاورزی به‌عنوان پتانسیل آلایندگی تالاب میقان و تعیین مهم‌ترین منابع آلاینده‌ی و عناصر سنگین است.

۲- منطقه‌ی موردمطالعه

حوضه‌ی آبریز اراک با مساحت ۵۵۰۰ کیلومترمربع، حوضه‌ی بسته‌ای است که ۶۲ درصد از مساحت حوضه را ارتفاعات، ۳۶ درصد را دشت و ۲ درصد را تالاب میقان تشکیل داده است (شکل۱). بلندترین نقاط ارتفاعی حوضه ۳۱۷۰ متر از سطح دریا در جنوب و شمال شرق و پست‌ترین نقطه‌ی ارتفاعی حوضه‌ی مربوط به تالاب میقان با ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریاست. درجه حرارت و بارندگی متوسط سالیانه‌ی حوضه‌ی اراک به ترتیب ۱۴ درجه سانتی‌گراد و ۳۵۰ میلی‌متر است. تالاب از دو بخش جزیره در مرکز و دریاچه در اطراف جزیره تشکیل شده است. عمق متوسط آب در دریاچه نیم‌متر است. استخراج سولفات سدیم مربوط به شرکت املاح ایران از جزیره انجام می‌گیرد. آبرفت تالاب میقان با ضخامتی بالغ بر ۳۰۰ متر بر روی سنگ‌های آهکی کرتاسه واقع شده و دو گسل بزرگ تلخاب در شمال و گسل تبرته در جنوب تالاب، گودی بزرگ تالاب را از ارتفاعات جدا کرده است(قدیمی و قمی، ۲۰۱۳: ۳۱).

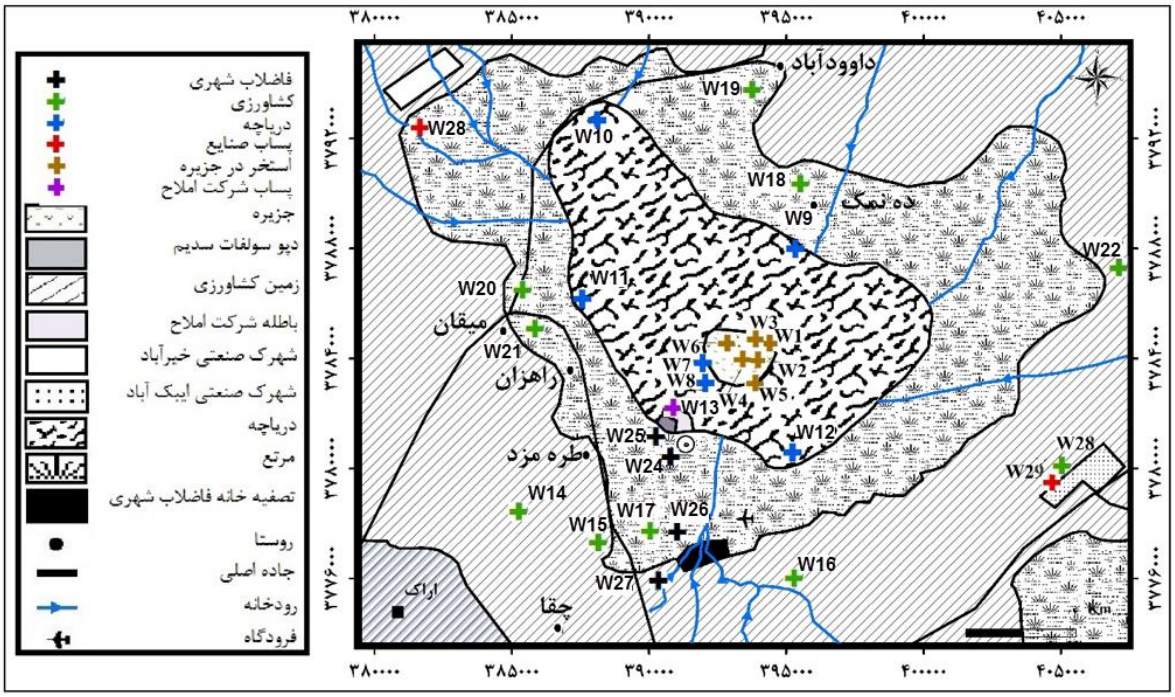
3- ALabdeh



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی تالاب میقان اراک در ایران و استان مرکزی

۳- مواد و روش‌ها

۲۹ نمونه آب در پاییز ۱۳۹۷ از کاربری‌های مختلف (جزیره، دریاچه، چاه کشاورزی، پساب شرکت املاح، پساب صنایع و فاضلاب شهری اراک) از آب تالاب میقان و منابع آبی اطراف آن توسط ظروف پلی‌اتیلن که با اسیدکلریدریک و سپس آب مقطر شسته شده، برداشت گردید (شکل۲). جهت تعیین فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی، نمونه‌های آب به آزمایشگاه معتمد درّ یتیم جنوب در اراک ارسال گردید. در آزمایشگاه آب‌ها ضمن عبور از صافی با ۱۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر اسید فلوریدریک غلیظ مخلوط و به مدت یک ساعت در درجه حرارت ۲۰۰ سانتی‌گراد حرارت قرار گرفتند. به‌تدریج با فرآیند انحلال حجم محلول کاهش یافت. محلول حاصل مجدداً با اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ مخلوط و کمی حرارت داده شد. سپس با اضافه کردن آب مقطر، حجم معینی به دستگاه جذب اتمی داده شد. در هنگام ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه ۱۰ درصد از کل نمونه‌ها به‌عنوان نمونه‌های تکراری با کدگذاری محرمانه انتخاب و به آزمایشگاه ارسال تا نتایج آزمایشگاه کنترل و از دقت نتایج اطمینان حاصل گردد. حد دقت دستگاه برای فلزات سنگین یک میکروگرم در لیتر بود. غلظت فلزات سنگین موجود در کاربری‌های مختلف از آب با مقدار مجاز استاندارد بین‌المللی آب شرب(WHO, 2017: 350) مقایسه گردید. آب شور موجود در تالاب و اطراف آن دارای سه کاربری است که با توجه به پراکندگی آب‌ها در منطقه، کد نمونه‌ها (w مخفف water و اعداد شماره‌ی نمونه) عبارت‌اند از: حوضچه‌های موجود در مرکز تالاب یا جزیره (از ۵ حوضچه داخل جزیره تالاب نمونه‌های w1 تا w6)، دریاچه تالاب (از ۶ منطقه در اطراف تالاب که احتمال ورود فاضلاب روستاها به تالاب وجود دارد w7 تاw12)، پساب شرکت املاح (از کانال خروجی پساب کارخانه به آب تالاب w13). کد نمونه آب‌ها در کاربری آب شیرین اطراف تالاب عبارت‌اند از: چاه‌های کشاورزی اطراف تالاب (از ۱۰ حلقه چاه اطراف تالاب که به تالاب نزدیک بودند w14 تاw23)، فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری اراک (از ۴ نقطه کانال فاضلاب تصفیه‌شده که در ۴ منطقه‌ی مجزا آب وارد تالاب می‌شد w24 تاw27) و پساب صنایع اطراف تالاب (از خروجی کانال پساب تصفیه‌شده‌ی شهرک صنعتی خیرآباد و پساب خروجی کانال کارخانه‌ی الکل سازی در شهرک صنعتی ایبک‌آباد هر یک، یک نمونه w28،w29). لازم به توضیح است در فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری اراک، یک نمونه از ورودی فاضلاب به تصفیه‌خانه و سه نمونه در طول کانال انتقال فاضلاب تصفیه‌شده به تالاب میقان که بیش از ۵ کیلومتر است، برداشت گردید. داده‌های عناصر سنگین در نرم‌افزار GIS پردازش تصویری و در نرم‌افزار Statistica نسخه ۱۰ پردازش آماری گردیدند.



شکل ۲: کاربری‌های مختلف آز آب در محدوده‌ی تالاب میقان

۴- بحث و نتایج

۴-۱- غلظت عناصر سنگین

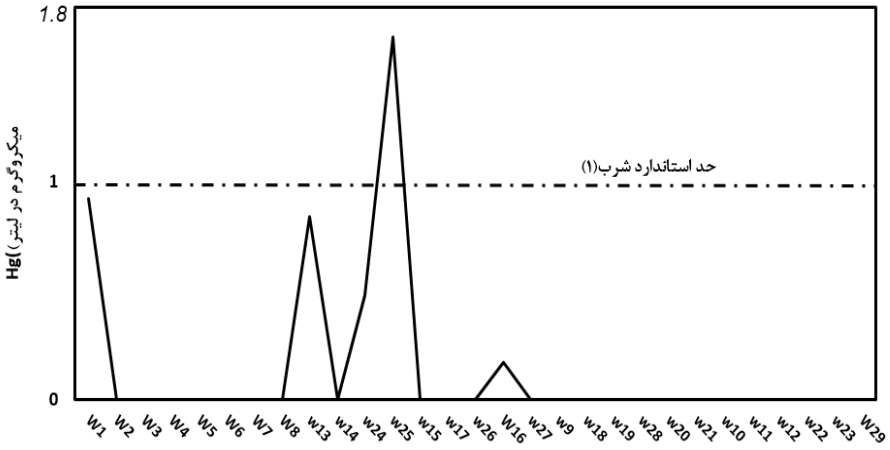
مقایسه‌ی غلظت میانگین عناصر Hg، As، Co، Cr، Pb،Cu و Zn با استاندارد شرب توسط WHO در ۲۹ نمونه از آب نشان داد، غلظت Co، Cr، Cu و Zn کم‌تر از استاندارد شرب بود (جدول۱). در کلیه‌ی آب‌ها عنصر Cd زیر حد تشخیص دستگاه بود. میانگین عناصر Hg، As و Pb به ترتیب ۰/۱۴، ۱/۱۹ و ۲۸/۶۵ میکروگرم در لیتر، کم‌تر از حد استاندارد یعنی ۱، ۱۰، ۵۰ میکروگرم در لیتر بود. مقدار حداکثر آن‌ها به ترتیب ۱/۶۶، ۱۰/۱۶ و ۸۳/۴۲ میکروگرم در لیتر از حد استاندارد بیش‌تر بود.

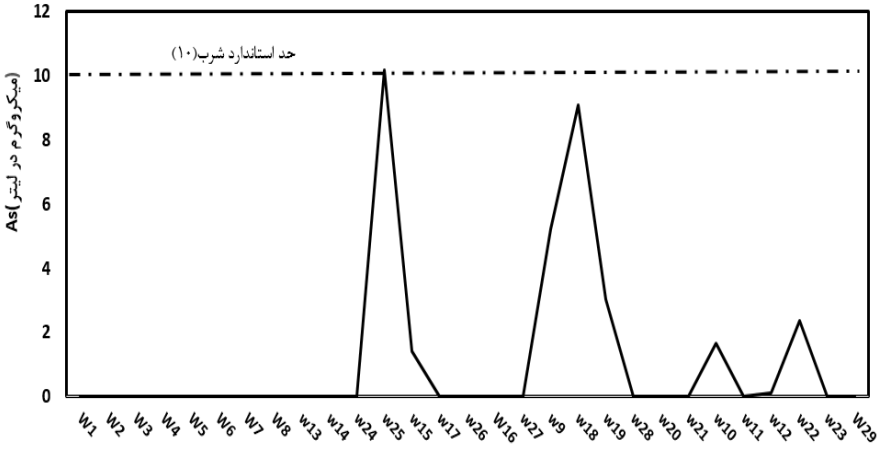
جدول ۱: غلظت عناصر سنگین در ۲۹ نمونه آب از تالاب میقان و اطراف آن (واحد به میکروگرم در لیتر)

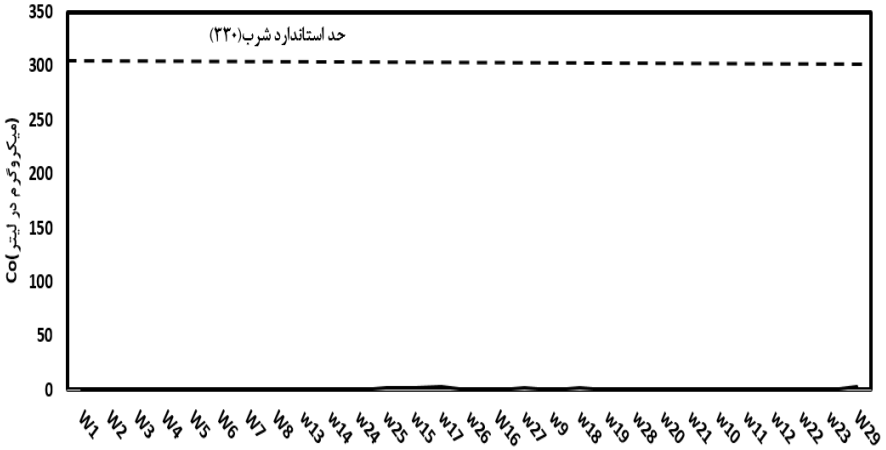
متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	استاندارد آب شرب
Hg	۰/۱۴	<۰/۱	۱/۶۶	۰/۳۸	۳/۰۶	۹/۶۱	۱
As	۱/۱۹	<۰/۱	۱۰/۱۶	۲/۶۳	۲/۶۷	۶/۶۴	۱۰
Co	۰/۴۰	<۰/۱	۲/۳۸	۰/۸۵	۱/۷۰	۱/۱۹	۳۳۰
Cr	۳/۱۵	<۰/۱	۱۳/۵۹	۳/۸۱	۱/۶۷	۲/۰۳	۵۰
Cu	۱۰/۶۶	<۰/۱	۲۵/۲۶	۹/۲۱	۰/۰۲	-۱/۴۹	۳۰۰۰
Pb	۲۸/۶۵	<۰/۱	۸۳/۴۲	۳۳	۰/۳۴	-۱/۸۵	۵۰
Zn	۱۴/۰۷	<۰/۱	۴۳	۱۳/۸۴	۰/۴۷	-۰/۹۹	۳۰۰۰

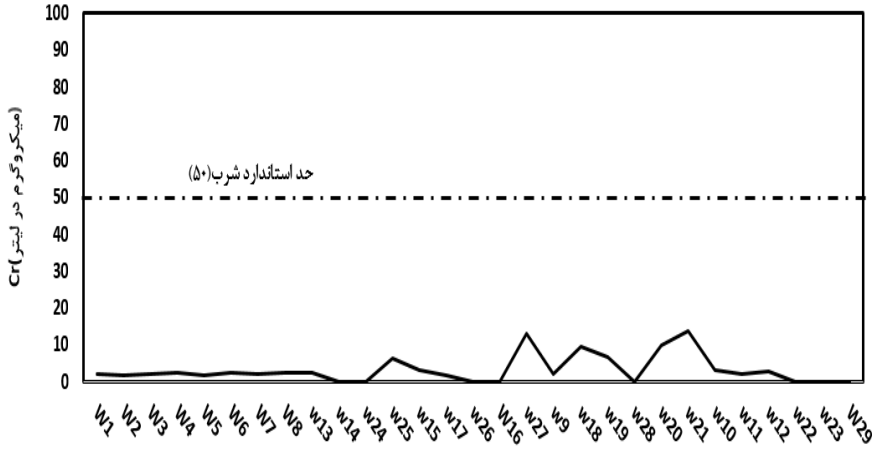
حداکثر غلظت Hg برابر ۱/۶۶ میکروگرم در لیتر مربوط به نمونه‌ی w25 از فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری بود (شکل۳). این بررسی نشان داد مقدارHg در آب نمونه‌های فاضلاب شهری بیش از استاندارد بوده و مقدارHg اکثر نمونه‌های آب حوضچه‌های میقان، دریاچه میقان و آب‌های کشاورزی اطراف تالاب میقان کم‌تر از حد استاندارد بود. توزیع Hg حاکی از غلظت بالای آن در محل ورودی فاضلاب شهری به تالاب میقان بوده است (شکل۳). حد استاندارد

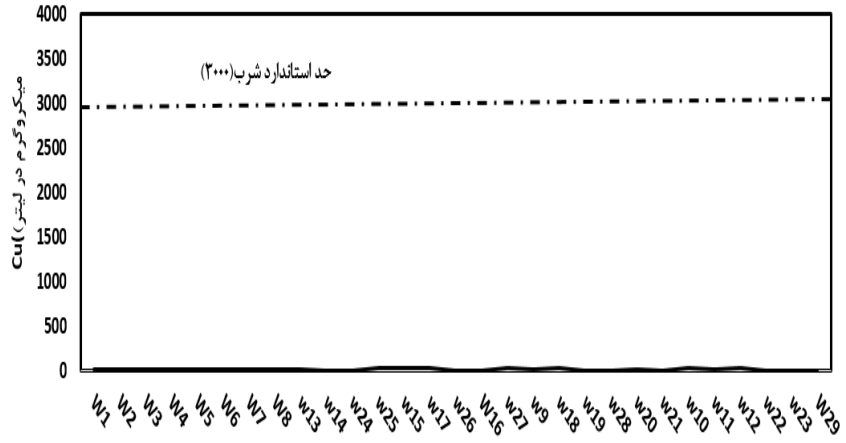
شرب برای As برابر ۱۰ میکروگرم در لیتر بوده و غلظت As در نمونه w25 (فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری ورودی به دریاچه‌ی میقان) از حد استاندارد بیش‌تر بود (شکل۳). حداکثر مقدار As مربوط به نمونه w25 (۱۰/۱۶ میکروگرم در لیتر) بود؛ بنابراین، As در اکثر آب‌های تالاب در حوضچه‌های جزیره میقان و دریاچه‌ی تالاب میقان کم‌تر از حد استاندارد بود. استاندارد عنصر Co در آب شرب ۳۳۰ میکروگرم در لیتر بوده و آلودگی به Co در هیچ‌یک از حوضچه‌های جزیره و دریاچه تالاب میقان و هم‌چنین در فاضلاب شهری و پساب شرکت املاح مشاهده نشد (شکل۳). استاندارد Cr در آب شرب برابر ۵۰ میکروگرم در لیتر بوده و در کلیه‌ی نمونه‌ها کم‌تر از استاندارد بود (شکل۳). حد استاندارد شرب برای Cu برابر ۳۰۰۰ میکروگرم در لیتر بوده و در کلیه‌ی نمونه‌ها از حد استاندارد کم‌تر بود (شکل۳). استاندارد شرب برای Pb برابر۵۰ میکروگرم در لیتر بوده و حداکثر غلظت آن مربوط به کلیه‌ی نمونه‌های آب حوضچه‌های جزیره، دریاچه (w1 تاw12) و پساب شرکت املاح (w13) بوده است؛ درحالی‌که مقدار Pb درمجموع فاضلاب شهری، پساب صنایع و آب چاه‌های کشاورزی منطقه بسیار پایین‌تر از استاندارد بود (شکل۳). استاندارد شرب برای عنصر Zn برابر ۳۰۰۰ میکروگرم در لیتر و در کلیه‌ی نمونه‌ها مقدار Zn از حد استاندارد کم‌تر بود (شکل۳).

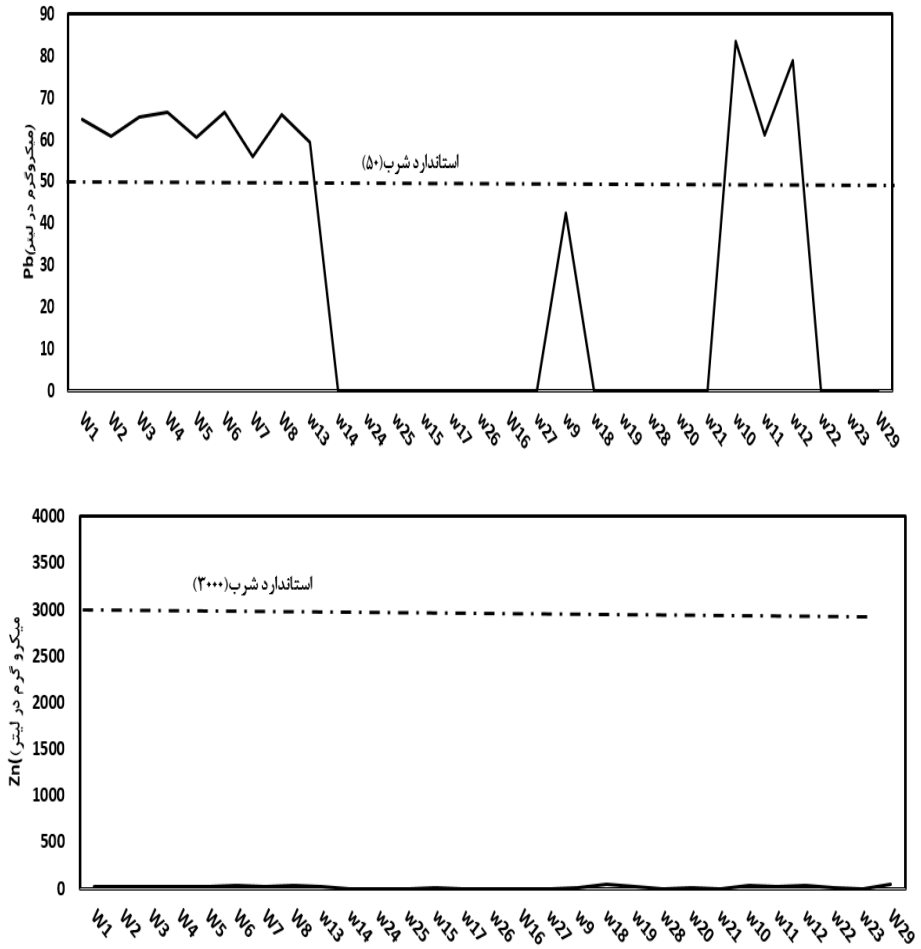





حد استاندارد شرب(۳۳۰)
Co(میکروگرم در لیتر)
350
300
250
200
150
100
50
0
W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W13 W14 W24 W25 W15 W17 W26 W16 W27 W9 W18 W19 W28 W20 W21 W10 W11 W12 W22 W23 W29


حد استاندارد شرب(۵۰)
Cr(میکروگرم در لیتر)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W13 W14 W24 W25 W15 W17 W26 W16 W27 W9 W18 W19 W28 W20 W21 W10 W11 W12 W22 W23 W29

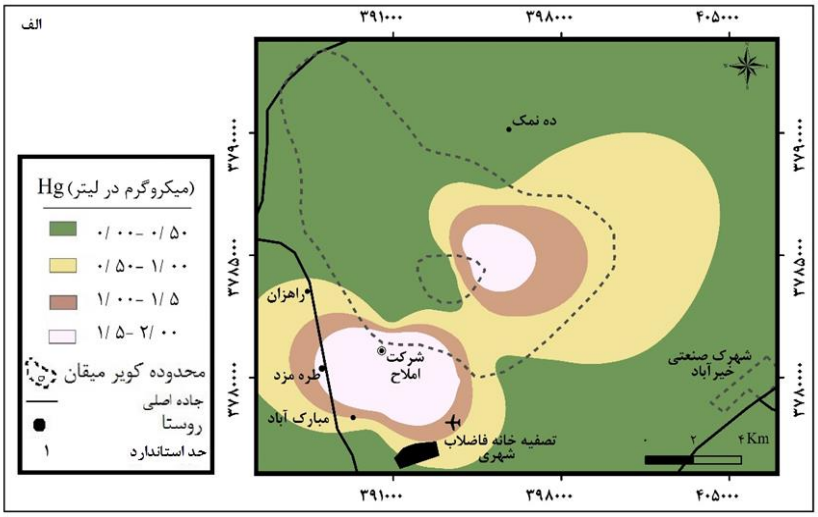

حد استاندارد شرب(۳۰۰۰)
Cu(میکروگرم در لیتر)
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W13 W14 W24 W25 W15 W17 W26 W16 W21 W9 W18 W19 W28 W20 W21 W10 W11 W12 W22 W23 W29

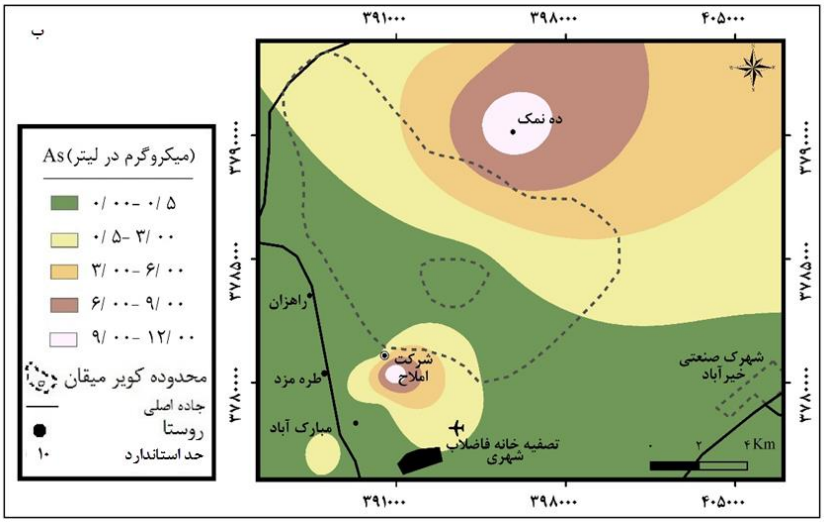


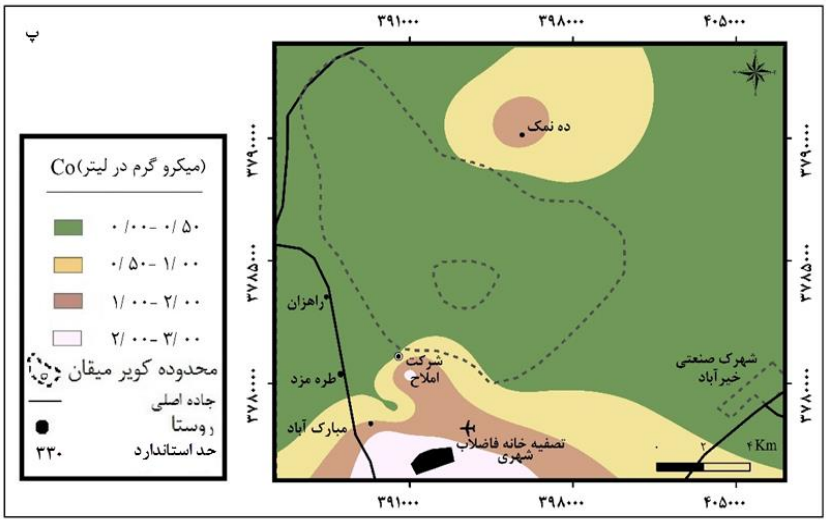
شکل ۳: مقایسه‌ی غلظت عناصر سنگین در آب‌های مختلف محدوده‌ی تالاب میقان با استاندارد WHO

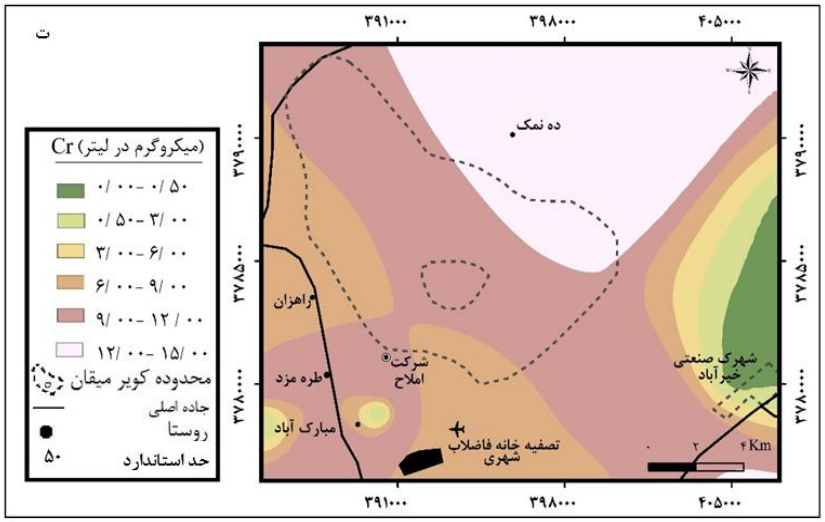
۴-۲- پهنه‌بندی عناصر سنگین

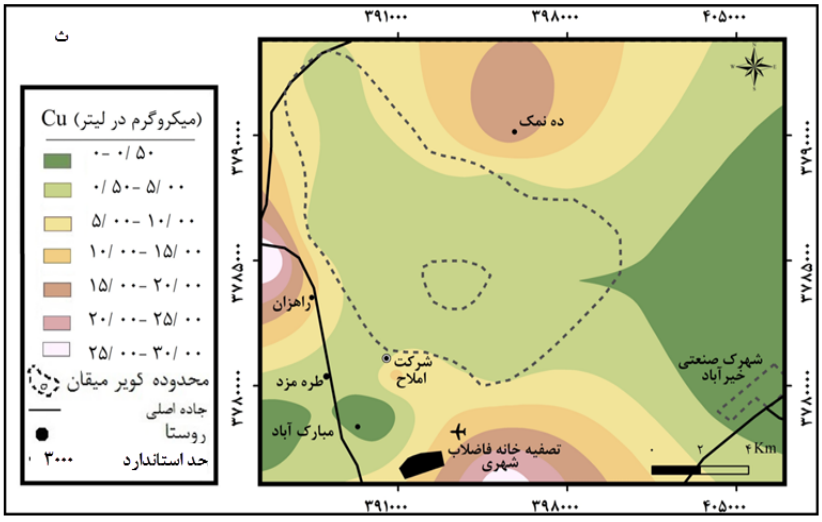
نقشه‌ی پهنه‌بندی عناصر سنگین Hg، As، Co، Cr، Pb،Cu و Zn در نرم‌افزار ArcGis تهیه گردید (شکل۴). نقشه‌ی پهنه Hg نشان داد که تمرکز آن بیش‌تر در محدوده‌ی تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری و محدوده‌ی شرکت املاح بوده است. به نظر می‌رسد، منشأ Hg در تالاب میقان فاضلاب شهری باشد (شکل۴ الف). بیش‌ترین پراکندگی As در محدوده‌ی فاضلاب شهری، شرکت املاح و شمال تالاب (در محدوده‌ی روستای ده نمک) بوده است. به نظر می‌رسد As ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب شهری بوده باشد (شکل۴ ب). تمرکز Co در حاشیه‌ی تالاب میقان به فعالیت‌های صنعتی اطراف برمی‌گردد (شکل۴ پ). Cr در تمامی محدوده‌ی تالاب و در کاربری‌های مختلف از آب مشاهده شد (شکل ۴ ت). Cu بیش‌ترین تمرکز را در آب‌های پیرامون تالاب نظیر محدوده‌ی تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری، چاه‌های اطراف راهزان و ده نمک نشان داد. غلظت Cu در شورآب‌های تالاب کم بوده (شکل۴ ث) و بیش‌ترین تمرکز Pb و Zn در شورآب‌های تالاب بود (شکل۴ ج -چ).

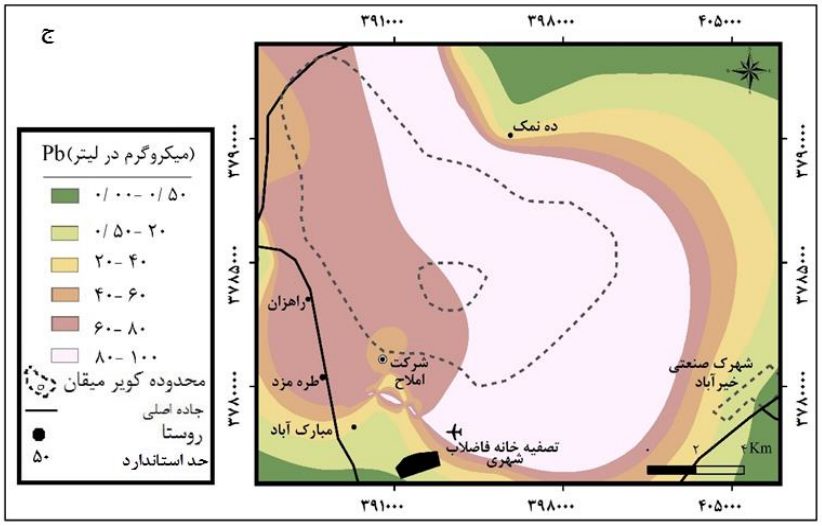

الف
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
Hg (میکروگرم در لیتر)
۰/۰۰- ۰/۵۰
۰/۵۰- ۱/۰۰
۱/۰۰- ۱/۵
۱/۵- ۲/۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
حد استاندارد ۱
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴Km

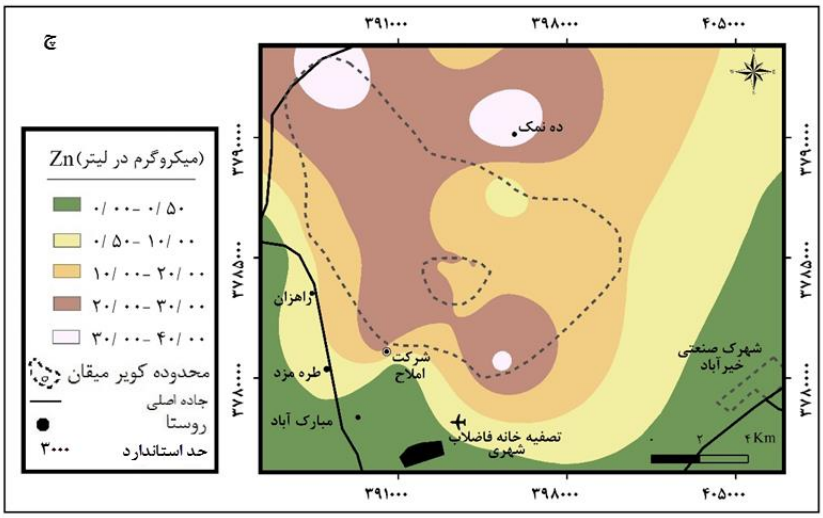

ب
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
As (میکروگرم در لیتر)
۰/۰۰- ۰/۵
۰/۵- ۳/۰۰
۳/۰۰- ۶/۰۰
۶/۰۰- ۹/۰۰
۹/۰۰- ۱۲/۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
حد استاندارد ۱۰
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴Km


پ
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
Co (میکرو گرم در لیتر)
۰/۰۰- ۰/۵۰
۰/۵۰- ۱/۰۰
۱/۰۰- ۲/۰۰
۲/۰۰- ۳/۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
حد استاندارد ۳۳۰
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴Km


ت
Cr (میکروگرم در لیتر)
۰/ ۰۰- ۰/ ۵۰
۰/ ۵۰- ۳/ ۰۰
۳/ ۰۰- ۶/ ۰۰
۶/ ۰۰- ۹/ ۰۰
۹/ ۰۰- ۱۲/ ۰۰
۱۲/ ۰۰- ۱۵/ ۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
۵۰ حد استاندارد
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴ Km


ث
Cu (میکروگرم در لیتر)
۰- ۰/ ۵۰
۰/ ۵۰- ۵/ ۰۰
۵/ ۰۰- ۱۰/ ۰۰
۱۰/ ۰۰- ۱۵/ ۰۰
۱۵/ ۰۰- ۲۰/ ۰۰
۲۰/ ۰۰- ۲۵/ ۰۰
۲۵/ ۰۰- ۳۰/ ۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
۳۰۰۰ حد استاندارد
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴ Km


ج
Pb (میکروگرم در لیتر)
۰/ ۰۰- ۰/ ۵۰
۰/ ۵۰- ۲۰
۲۰- ۴۰
۴۰- ۶۰
۶۰- ۸۰
۸۰- ۱۰۰
محدوده کویر میقان
جاده اصلی
روستا
۵۰ حد استاندارد
۳۹۱۰۰۰
۳۹۸۰۰۰
۴۰۵۰۰۰
۳۷۹۰۰۰۰
۳۷۸۵۰۰۰
۳۷۸۰۰۰۰
ده نمک
راهزان
شرکت املاح
طره مزد
مبارک آباد
تصفیه خانه فاضلاب شهری
شهرک صنعتی خیرآباد
۰ ۲ ۴ Km



شکل ۴: پهنه‌بندی عناصر سنگین در آب‌های محدوده‌ی تالاب میقان اراک

۴-۳- غلظت عناصر سنگین در کاربری‌های آب

آب شور و آب شیرین دو کاربری از آب در محدوده‌ی تالاب میقان را تشکیل داده‌اند. آب شور به سه کاربری حوضچه و دریاچه در تالاب و پساب شرکت املاح در حاشیه تالاب و آب شیرین نیز به سه کاربری چاه‌های کشاورزی، فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری اراک و پساب صنایع در حاشیه تالاب تقسیم شده است (شکل۲).

- **کاربری آب شور:** آب در کاربری حوضچه دارای Co زیر حد تشخیص دستگاه بود (جدول۲). حداقل مقدار Pb از حد استاندارد شرب بیش‌تر بوده و غلظت سایر عناصر ازجمله Hg، Cr، Cu و Zn از حد استاندارد شرب کم‌تر بود. در کاربری از دریاچه، Pb از حد استاندارد شرب کم‌تر بود. غلظت عناصر سنگین در یک نمونه از پساب شرکت املاح عبارت از: Hg برابر ۰/۸۴، As و Co ناچیز، Cr برابر ۲/۱۵، Cu برابر ۱۳/۱، Pb برابر ۵۹/۳ و Zn برابر ۲۴/۶ میکروگرم در لیتر بود؛ بنابراین، در سه کاربری از آب شور مقدار Pb از حد استاندارد شرب بیش‌تر بود.

-**کاربری آب شیرین:** در کاربری از آب کشاورزی دو عنصر Hg و Pb زیر حد تشخیص دستگاه بود (جدول۳). هم‌چنین غلظت عناصر دیگر ازجمله As، Co، Cr، Cu و Zn از حد استاندارد شرب کم‌تر بود. دو عنصر Pb و Zn در چهار نمونه از کاربری فاضلاب شهری اراک مشاهده نشد (جدول۳)؛ اما Hg و As در دو نمونه از استاندارد شرب بیش‌تر بود. غلظت سایر عناصر چون Cr و Cu از حد استاندارد شرب کم‌تر بود. پساب تصفیه‌شده در یک نمونه از خروجی کانال شهرک صنعتی خیرآباد دارای عناصر سنگین زیر حد تشخیص دستگاه بوده و در نمونه‌ی دیگری از پساب خروجی کانال شهرک صنعتی ایبک‌آباد دارای Co برابر ۲/۲۱ و Zn برابر ۴۳ میکروگرم در لیتر بود. غلظت عناصر دیگر نظیر Hg، As، Cr، Cu و Pb در پساب برداشت شده از کانال کارخانه‌ی الکل سازی موجود در شهرک صنعتی ایبک‌آباد زیر حد تشخیص دستگاه بود.

جدول۲: پارامترهای آماری در کاربری از آب شور

		میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	استاندارد شرب
حوضچه	Hg	۰/۱۵	<۰/۱	۰/۹۲	۰/۳۷	۲/۴۴	۶/۰۰	۱
	As	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۱۰
	Co	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۳۳۰
	Cr	۱/۹۷	۱/۵۰	۲/۴۰	۰/۳۷	-۰/۵۷	-۱/۶۶	۵۰
	Cu	۱۴/۶۱	۱۳/۴۵	۱۵/۵۰	۰/۹۲	-۰/۵۰	-۲/۰۵	۳۰۰۰
	Pb	۶۴	۶۰/۳۶	۶۶/۵۰	۲/۷۹	-۰/۷۵	-۱/۸۶	۵۰
	Zn	۲۱/۶۴	۱۸/۴۰	۲۵/۶۰	۲/۴۵	۰/۴۶	۰/۷۸	۱۰۰۰
دریاچه	Hg	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۱
	As	۱/۱۶	<۰/۱	۵/۲۱	۲/۰۸	۱/۹۹	۳/۹۰	۱۰
	Co	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۳۳۰
	Cr	۲/۳۳	۱/۸۵	۲/۹۰	۰/۴۰	۰/۳۶	-۱/۴۷	۵۰
	Cu	۱۴/۸۷	۷/۵۰	۲۱/۱۴	۵/۰۱	-۰/۱۷	-۰/۶۴	۳۰۰۰
	Pb	۶۴/۶۱	۴۲/۵۰	۸۳/۴۲	۱۵/۰۴	-۰/۱۷	-۰/۶۴	۵۰
	Zn	۲۴/۰۲	۸/۷۵	۳۵/۰۲	۹/۶۵	-۰/۵۸	-۰/۱۳	۱۰۰۰

جدول۳: پارامترهای آماری در کاربری از آب شیرین

		میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	استاندارد شرب
آب کشاورزی	Hg	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۱
	As	۱/۵۹	<۰/۱	۹/۰۷	۲/۸۶	۲/۳۵	۵/۹۴	۱۰
	Co	۰/۷۲	<۰/۱	۲/۳۸	۰/۹۷	۰/۷۹	-۱/۲۶	۳۳۰
	Cr	۵/۷۱	<۰/۱	۱۳/۵۹	۵/۴۴	۰/۲۹	-۱/۷۰	۵۰
	Cu	۹/۴۱	<۰/۱	۲۵/۲۶	۱۱/۷۶	۰/۵۰	-۲/۱۷	۳۰۰۰
	Pb	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۵۰
	Zn	۶/۶۵	<۰/۱	۳۹/۸۴	۱۲/۶۶	۲/۴۵	۶/۱۱	۱۰۰۰
فاضلاب شهری	Hg	۰/۵۷	<۰/۱	۱/۶۶	۰/۷۴	۱/۶۰	۲/۵۵	۱
	As	۲/۵۴	<۰/۱	۱۰/۱۶	۵/۰۸	۲/۰۰	۴/۰۰	۱۰
	Co	۰/۵۳	<۰/۱	۲/۱۵	۱/۰۷	۲/۰۰	۴/۰۰	۳۳۰
	Cr	۱/۵۷	<۰/۱	۶/۳۱	۳/۱۵	۲/۰۰	۴/۰۰	۵۰
	Cu	۶/۲۷	<۰/۱	۲۵/۰۸	۱۲/۵۴	۲/۰۰	۴/۰۰	۳۰۰۰
	Pb	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۵۰
	Zn	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	۱۰۰۰

۴-۴- شاخص‌های آلودگی فلزی

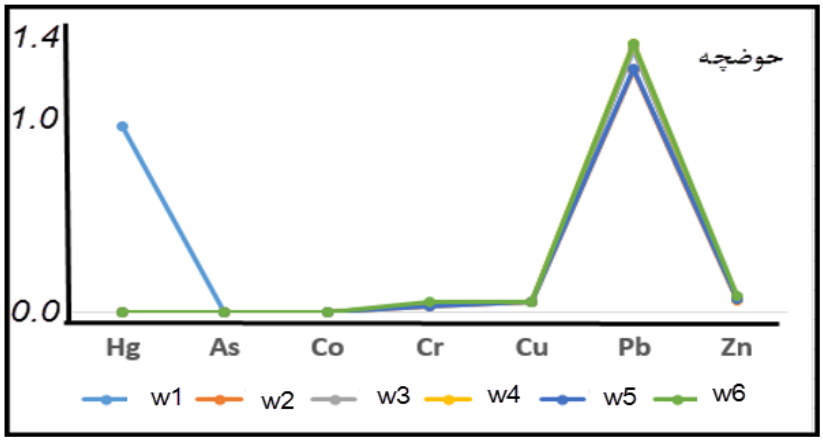
- **شاخص فلزی**[۴]: این شاخص با توجه به رابطه‌ی ۱ محاسبه شد(Sen et al., 2014: 47).

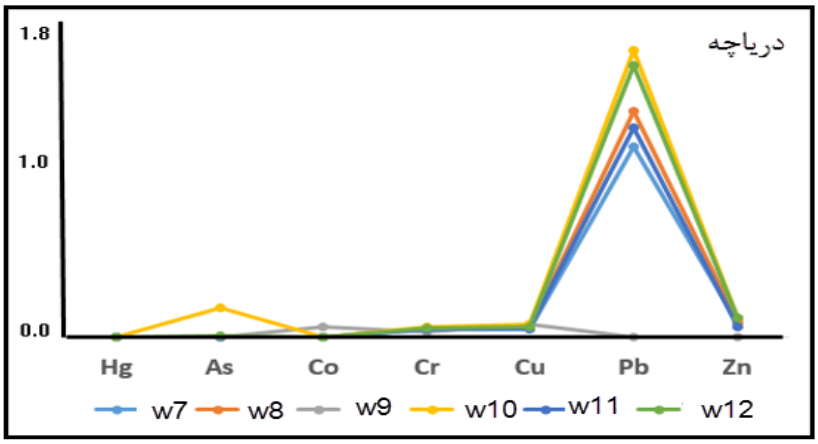
رابطه‌ی ۱ :

$$MI = \frac{\sum C_i}{MAC_i}$$

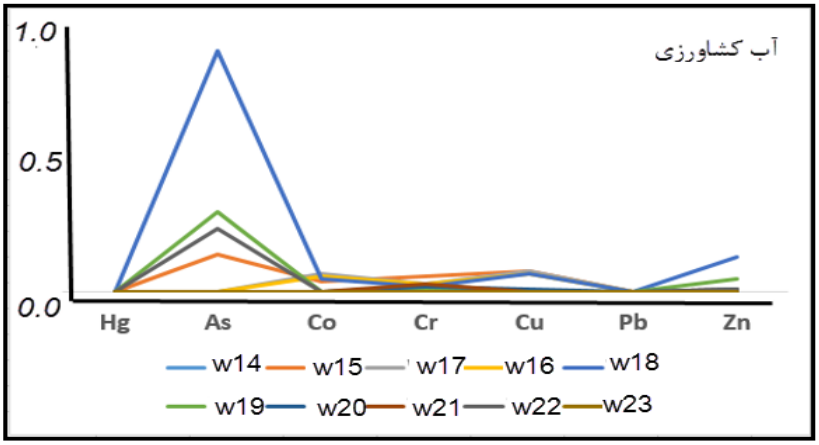
در این رابطه MI شاخص فلزی، C_i غلظت هر یک از عناصر سنگین در محلول و MAC حداکثر مجاز غلظت هر عنصر در نمونه است. چنان چه غلظت عنصر موردنظر در آب بیش‌ازحداکثر مجاز غلظت آن عنصر بر اساس استاندارد ایران و بین‌المللی باشد (MI>1) آب موردنظر (آب سطحی و زیرزمینی) چه از نظر کشاورزی و چه از نظر شرب قابل‌استفاده نیست؛ بنابراین MI برابر یک، حد آستانه آب آلوده و آب قابل‌استفاده است. در آب‌های قابل‌استفاده باید مقدار MI برای عنصر موردمطالعه کم‌تر از یک باشد.

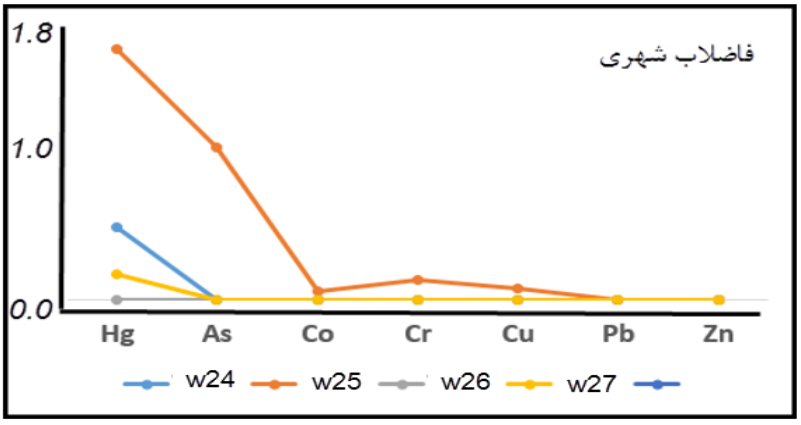
بررسی شاخص آلودگی فلزی نشان داد که مقدار آن برای کلیه‌ی عناصر و در اکثر نمونه‌ها به‌غیراز Pb کم‌تر از یک بود (شکل۵). شاخص فلزی Hg و As تنها در فاضلاب شهری (دهانه‌ی ورودی به دریاچه میقان) (w25) بیش‌تر از یک بود. شاخص آلودگی Hg وAs حاکی از تمرکز بیش‌تر آن‌ها در آب‌های تصفیه‌شده‌ی فاضلاب شهری است. شاخص فلزی هم‌چنین برای عنصر Pb و Zn در پساب شرکت املاح بیش‌تر از یک، Hg برابر ۰/۸۴، As و Co ناچیز، Cr و Cu برابر ۰/۰۴ بود. همچنین شاخص فلزی کلیه‌ی فلزات در پساب تصفیه‌شده‌ی شهرک صنعتی خیرآباد ناچیز و برای شهرک صنعتی ایبک‌آباد کم‌تر از یک بود.





4- Metal index





شکل ۵: بررسی شاخص آلودگی فلزی در کاربری‌های مختلف آب

-درجه‌ی آلودگی:[5] درجه‌ی آلودگی (C_d) طبق رابطه‌ی ۲ به دست آمد(Sen et al., 2014: 47).

رابطه‌ی۲:

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} C_f$$

$$C_f = \frac{C_A}{C_N} - 1$$

در اینجا C_f فاکتور آلودگی، C_A مقدار عنصر موردمطالعه برحسب میکروگرم در لیتر و C_N حداکثر غلظت مجاز بر اساس WHO و یا استاندارد منطقه‌ای و محلی و n تعداد فلزات سنگین است. واژه‌های کیفی آن شامل C_d کم‌تر از ۸۰ دارای رتبه‌ی آلودگی کم، C_d بین ۸۰ تا ۱۶۰ دارای رتبه‌ی آلودگی متوسط و C_d بیش از ۱۶۰ دارای رتبه‌ی آلودگی زیاد. بررسی درجه‌ی آلودگی در نمونه‌های آب تالاب میقان نشان داد که درجه‌ی این شاخص در اکثر کاربری‌های مختلف آب کم بود (جدول۴)؛ بنابراین منابع آبی منطقه از نظر عناصر سنگین در محدوده‌ی خطر آلودگی قرار ندارند.

5- Degree of contamination

جدول۴: درجه‌ی آلودگی برای کاربری آب حوالی میقان اراک

نوع آب	کاربری	حداقل	حداکثر	رتبه‌ی آلودگی
	حوضچه	۱/۲	۲/۲	کم
شور	دریاچه	۱/۲	۱/۹	کم
	پساب شرکت املاح	-	۲/۰	کم
	آب کشاورزی	۰	۱/۱	کم
شیرین	فاضلاب شهری	۰	۰/۵	کم
	پساب صنایع	۰	۰/۰۱	کم

-تعیین آستانه‌ی آلودگی: در جداسازی زمینه (حد طبیعی عناصر) از آلودگی (آلودگی انسانی) از روش Lepeltier استفاده گردید. زمینه را می‌توان مقدار میانگین ($\bar{X}$) داده‌های فلزات سنگین در نظر گرفت(Louise Ander et al., 2013: 604). برای تعیین حد آستانه‌ای از انحراف معیار(S) استفاده شد(قدیمی و قمی، ۱۳۹۵: ۲۲۵). حد آستانه‌ای را می‌توان $\bar{X} + 2S$ در نظر گرفت(Thiombane et al., 2018: 264). حد آستانه‌ای محاسبه‌شده برای فلزات Hg، As، Co، Cr، Cu، Pb و Zn به ترتیب برابر ۰/۹۰، ۶/۴۵، ۲/۱۶، ۱۰/۷۷، ۲۹/۱۰، ۹۴/۶۵ و ۴۱/۷۵ میکروگرم در لیتر بود. میانگین عناصر سنگین در کاربری از آب حوضچه‌های میقان کم‌تر از حد آستانه‌ای بوده، اما مقادیر حداکثر Hg و Co از حد آستانه‌ای بیش‌تر بود. در کاربری از آب دریاچه‌ی میقان و پساب شرکت املاح مقدار میانگین و حداکثر عناصر از حد آستانه‌ای کم‌تر بود. مقدار میانگین عناصر در آب کشاورزی، فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری اراک و پساب تصفیه‌شده‌ی شهرک صنعتی خیرآباد و پساب تصفیه‌نشده‌ی شهرک صنعتی ایبک‌آباد کم‌تر از حد آستانه‌ای بود. مقدار حداکثر As و Cr در آب کشاورزی و Hg و As در آب فاضلاب شهری تصفیه شده و نیز Zn در پساب شهرک‌های صنعتی بیش‌ازحد آستانه‌ای بوده است.

شاخص‌های مختلف ارزیابی آلایندگی آب‌ها آلوده بودن تالاب میقان را به عناصر سنگین از قبیل Hg، As، Pb، Cr، Co، Cu و Zn نشان داد. فاضلاب شهری و فعالیت‌های کشاورزی مهم‌ترین منابع آلاینده‌ای بوده که Hg، As و Cr را وارد تالاب میقان کرده‌اند. بررسی‌های فاضلی و شعبانی فرد (۱۳۹۴) نشان داد که آب تالاب میقان در حوضچه‌های جزیره‌ی مرکزی غنی از عناصرCu، Cr، Zn و فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهری نیز غنی از Ni، Cu، Cr، Zn بوده که غلظت آن‌ها از آب تالاب کم‌تر بود. پناهنده و مروتی (۲۰۱۸) با مطالعه در تالاب انزلی اشاره نمودند که افزایش پساب صنعتی ورودی به تالاب بار آلودگی آلاینده‌ی های مختلف ازجمله فلزات سنگین را به تالاب افزایش داده است. Hg از منابعی چون استخراج فلزات، قارچ‌کش‌ها، کاتالیزور، مواد دارویی پرکننده‌ی دندان، لامپ‌های بخار جیوه، لوله‌های اشعه‌ی ایکس و اتصالات حاصل شده است(Siegel, 2004: 45). فاضلاب‌ها، عمده‌ی عناصر را از منابع آبی شهری و صنعتی دریافت می‌کنند. Hg در فاضلاب‌های شهری ناشی از زباله‌های دندان‌پزشکی(Bender, 2008: 49)، مصرف کود، از محل دفن زباله‌ها، فعالیت‌های رنگ‌کاری و زباله‌های دامی است(Gbondo- Gbondo-Tugbawa et al., 2010: 2863). بالا بودن دو عنصر Pb و Hg نسبت به استاندارد بین‌المللی به دلیل ورود فاضلاب شهری و پساب صنایع در تالاب انزلی توسط غضبان و زارع خوش‌اقبال (۱۳۹۰) تأکید شد. منشأ As مواد افزودنی خوراک دام، سرامیک، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و قطعات الکترونیکی است(Siegel, 2004: 45). هم‌چنین منشأ As در تالاب‌ها می‌تواند ناشی از فعالیت‌های معدن کاری، سوخت‌های فسیلی، مصرف قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در کشاورزی باشد(Sthiannopha et al., 2008: 1086). ازآنجایی‌که آب چاه‌های اطراف تالاب میقان عمدتاً کشاورزی بوده، لذا As آن‌ها می‌تواند ناشی از مصرف قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها باشد. Co در متالورژی، سرامیک، شیشه و رنگ، Cr در ساخت مواد فلزی، آلیاژها، عملیات آب‌کاری، رنگ‌دانه کاربرد دارد. هم‌چنین Cu در رسانای برق، لوله‌های آب، وسایل آشپزخانه، مواد شیمیایی، تجهیزات دارویی، رنگ‌دانه و آلیاژها و Pb در

روغن‌موتور، باتری‌های اسید سرب، رنگ‌دانه، ظروف و سرامیک، پلاستیک، آلیاژها، لوله‌ها و Zn در آلیاژ روی، باتری، قوطی، داروها، مواد شیمیایی، صنعت لاستیک، رنگ، لحیم‌کاری و جوشکاری مورداستفاده قرار می‌گیرد(Siegel, 2004: 45). بدیهی است، صنایع مصرف‌کننده و تولیدکننده‌ی عناصر سنگین در شهرک‌های صنعتی اراک، ایبک‌آباد و خیرآباد وجود دارند. عناصر سنگین حاصل از فعالیت صنایع موردنظر به‌صورت پساب و بارش‌های اتمسفری وارد تالاب شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

تالاب میقان اراک در گودترین بخش حوضه‌ی آبخیز اراک با دو کاربری آب شور در حوضچه‌های جزیره‌ی مرکزی و دریاچه دارای فلزات سنگین Hg، As، Pb، Co، Cu، Pb و Zn بوده که میانگین آن‌ها کم‌تر از استاندارد بین‌المللی است؛ اما حداکثر مقدارHg، As و Pb در برخی مناطق به دلیل آلودگی انسانی بیش‌ازحد استاندارد بود. ورود آب‌های با کاربری‌های مختلف ازجمله فاضلاب شهری، پساب صنایع و پساب کشاورزی به تالاب به‌عنوان آلاینده‌های انسانی در افزایش عناصر سنگین Hg، As وPb و هم‌چنینCo و Zn مؤثر بوده‌اند. با توجه به اهمیت اکو و ژئوتوریستی تالاب میقان و سکونتگاه حیوانات، پرندگان محلی و مهاجر و آبزیان، بایستی اقدامات اساسی در کنترل و کاهش فلزات سنگین از ناحیه‌ی شرکت‌هایی چون آب و فاضلاب شهری (فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهر اراک) و سازمان جهاد کشاورزی (پساب کشاورزی) صورت گیرد.

۶-تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اراک، حمایت‌های چندجانبه‌ی سازمان صمت استان مرکزی، سازمان محیط زیست استان مرکزی، واحد تبصره‌ی ۱۰ حقوق دولتی وزارت صمت و خصوصاً شرکت املاح ایران (واحد اراک) در انجام طرح تحقیقاتی تشکر و قدردانی نمایم.

۷- منابع

۱. جاوید، الله‌بخش، قمی مقصد، نیلوفر، رودباری، علی‌اکبر (۱۳۹۵). بررسی میزان سمیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخصIRWQIGT (مطالعه‌ی موردی: استان سمنان)، مجله‌ی آب و فاضلاب، دوره‌ی ۲۷، شماره‌ی ۴، صص۸۳-۷۵.

۲. خدابخش، سعید، رفیعی، بهروز، افشارنیا، مینا، کبیری، شیما، اخلاص‌مند، رضا (۱۳۹۵). شناسایی خاستگاه مواد محلول آب رودخانه‌ی خررود قزوین با روش آماری، فصلنامه‌ی کواترنری، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، صص۳۷۸-۳۶۷.

۳. شیخ فخرالدینی، سارا، عباس نژاد، احمد (۱۳۹۴). بررسی تأثیر هوازدگی بر هیدروژئوشیمی رودخانه‌های زهکش‌کننده‌ی سنگ‌های آتشفشانی (رودخانه‌ی بیدخوان بردسیر کرمان)، نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره‌ی ۵۳، صص۲۲۶-۲۰۳.

۴. عطاملکی، علی، صادقی، شهرام، دولتی، محمد، غلامی، میترا، قربان‌پور، رضا (۱۳۹۴). اندازه‌گیری و پایش مواد آلی و نوترینت‌ها در طول رودخانه چناران بجنورد، مجله‌ی ارتقای ایمنی و پیشگیری مصدومیت‌ها، دوره‌ی۳، شماره‌ی ۱، صص ۷۴-۶۷.

۵. غضبان، فریدون، زارع خوش‌اقبال، مریم (۱۳۹۰). بررسی منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی (شمال ایران)، محیط‌شناسی، دوره‌ی ۳۷، شماره‌ی ۵۷، صص ۵۶-۴۵.

۶. فاضلی، فائزه، شعبانی فرد جهرمی، ساجده (۱۳۹۴). ارزیابی غلظت فلزات سنگین در تالاب میقان اراک، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی زیست‌شناسی کاربردی، دوره‌ی ۲۸، شماره‌ی ۲، صص ۹۵-۷۴.

۷. قدیمی، فریدون، قمی، محمد (۱۳۹۵). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی اکتشافی با کارکرد در محیط Statistica، اراک: انتشارات دانشگاه صنعتی اراک.

۸. لاهیجانی، حمید، حایری اردکانی، امید، شریفی، آرش، نادری بنی، عبدالمجید (۱۳۸۹). شاخص‌های ژئوشیمیایی و رسوب‌شناختی رسوبات خلیج گرگان، نشریه‌ی اقیانوس‌شناسی، شماره‌ی۱، صص ۵۵-۴۵.

۹. ناجی‌راد، سمیه، قویدل، اکبر، علیخانی، حسینعلی، سلطانی، علی‌اشرف (۱۳۹۷). بررسی مقدار و اشکال شیمیایی فلزات سنگین در لجن فاضلاب تهران برای کاربرد در کشاورزی، فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۱، صص۱۳-۱.
۱۰. وثوق، علی، سعیدی، محسن، لک، راضیه (۱۳۹۴). آلودگی رسوبات رودخانه‌ای دانه‌بندی‌شده به فلزات سنگین مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی سفیدرود، محیط‌شناسی، دوره‌ی ۴۱، شماره‌ی ۴، صص۹۰۸-۸۸۷.
۱۱. ولی‌نژاد، فاطمه، حسنی، امیرحسین، صیادی مجتبی (۱۳۹۵). بررسی میزان فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، روی) در منابع آب زیرزمینی شهرستان اسلامشهر و تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش آن در محیط GIS، فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۲، صص، ۱۹۹-۱۸۷.
12. ALabdeh, D., Karbassi, A.R., Omidvar, B., & Sarang, A. (2019). Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran, International Journal of Environmental Science and Technology, Online: https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02471-8.
13. Ardakani, S., & Jamshidi, K. (2015). Assessment of Metals (Co, Ni, and Zn) Content in the Sediments of Mighan Wetland Using Geo-Accumulation Index. Iran of Journal Taxicology, 9 (30), 1386-1390.
14. Bender, M. (2008). Facing up to the hazards of mercury tooth fillings. A report to US House of Representatives Government Oversight Subcommittee on Domestic Policy assessing state and local regulations to reduce dental mercury emissions, Mercury Policy Project.
15. Carranza, M.M., Sepúlveda-Lozada, A., Dias-Ferreira,C., & Geissen,V.(2016). Distribution and bioconcentration of heavy metals in a tropical aquatic food web: A case study of a tropical estuarine lagoon in SE Mexico. Environmental Pollution, 210, 155-165.
16. Gbondo-Tugbawa, S. S., McAlear, J. A., Driscoll, C. T., & Sharpe, C. W. (2010). Total and methyl mercury transformations and mass loadings within a wastewater treatment plant and the impact of the effluent discharge to an alkaline hypereutrophic lake. Water Research, 44(9), 2863–2875.
17. Ghadimi, F. (2014). Assessment of the sources of chemical elements in sediment from Arak Mighan Lake. International Journal of Sediment Research, 29(2), 159-170.
18. Ghadimi, F., & Ghomi, M. (2012). Statistical analysis of the hydrogeo-chemical evolution of groundwater in alluvial aquifer of Arak Mighan playa, Markazi Province, Iran. Journal of Water Sciences Research, 4, 131–45.
19. Ghadimi, F., & Ghomi, M. (2013). Assessment of the effects of municipal wastewater on the heavy metal pollution of water and sediment in Arak Mighan Lake, Iran. Journal of Tethys, 1(3), 205-214.
20. Kamzati,L.L.J., Kaonga, C.C., Mapoma, H.W.T., Thulu,F.G., Abdel-dayem, S.M., Anifowose, A.J., Chidya, R.C.G., Chitete-Mawenda, U., & Sakugawa, H.(2019). Heavy metals in water, sediment, fish and associated risks from an endorheic lake located in Southern Africa. International Journal of Environmental Science and Technology, First Online: https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02464-7.
21. Louise Ander,E., Johnson,C., Cave,M.R., Palumbo-Roe, B., Paul Nathanail, C.P., & Murray Lark,R.(2013). Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. Science of the Total Environment, 454-455, 604–618.
22. Panahandeh, M., & Morovati, M. (2018). Risk of Heavy Metals (Copper, Zinc, Lead, Cadmium and Chromium) on the Life of Fish in Anzali Wetland Ecosystem. Applied Biology, 3(10), 23-39.
23. Qu, L., Huang,H., Xia,F., Liu,Y., Dahlgren, R.A., Zhang,M., & Mei, K.(2018). Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environmental Pollution, 237, 639-649.
24. Rahbar Hashemi, M.M., Ashournia, M., Rahimipour, M.A., & Modaberi, H.(2013). Survey of heavy metal (Copper, Iron, Lead, Cadmium, Zinc and Nickel) concentrations and their effects on the water quality of Anzali wetland. Caspian Journal of Environment Science, 11(10), 11-18.

25. Rivera, C., Quiroga, Ed., Meza, V., & Pastene, M. (2019). Evaluation of water quality and heavy metal concentrations in the Ramsar Wetland El Yali (Central Chile, 33°45′S). Marine Pollution Bulletin1, 45, 499-507.
26. Saberinasab, F., & Mortazavi, S. (2018). Evaluation of Pb, Zn, Cu and Ni Concentration in Arak Mighan Wetland Based on Sediment Pollution Indices. Journal of Water and Soil Science, 22(1), 15-27.
27. Safari Sinegani, M., Safari Sinegani, A.A., & Hadipour,M.(2018).Sources and spatial distribution of lead (Pb) and cadmium (Cd) in saline soils and sediments of Mighan Playa (Iran). Lake and Reservoir, 23(2), 117-125.
28. Sen, S. K., Raut,S., & Dora,T.K.(2014).Contribution of hot spring bacterial consortium in cadmium and lead bioremediation through quadratic programming model. Journal of Hazardous Materials, 265, 47–60.
29. Siegel, R.F. (2002). Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York in 2002,218 pp.
30. Sthiannopkao, S., Kim, K. W., Sotham, S., Choup, S.(2008). Arsenic and manganese in tube well waters of Prey Veng and KandalProvinces, Cambodia. Applied Geochemistry, 23(5), 1086–1093.
31. Thiombane,M., Lima,A., Albanese,S., Buscher,J.T., & DeVivo, B.(2018). Soil contamination compositional index: A new approach to quantify contamination demonstrated by assessing compositional source patterns of potentially toxic elements in the Campania Region (Italy). Applied Geochemistry, 96, 264-276.
32. Vesali Naseh, M.R., Karbassi,A., Ghazaban,F., & Baghvand,A.(2012). Evaluation of heavy metal pollution in Anzali wetland, Guilan ,Iran. Iranian Journal of Toxicology, 5(15), 565-576.
33. WHO. (2017). Guidelines for Drinking-water Quality, fourth ed. incorporating the first addendum. Geneva.
34. Zhang,Y., Chen,J., Wang,L.,Zhao,T., Ou,P.,& Shi,W.L.(2018). Establishing a method to assess comprehensive effect of gradient variation human health risk to metal speciation in groundwater. Environmental Pollution, 241, 887-899.