



بررسی تاثیر سرباره های مجتمع فولاد خراسان بر آلودگی منابع آبی زیرزمینی دشت نیشابور



چکیده :

امروزه به علت آمیخته شدن زندگی بشری با صنایع گوناگون و در نتیجه افزایش چشمگیر تولید آلاینده های محیطی، جایگاه مطالعات زیست محیطی در جوامع علمی به شدت ارتقاء یافته است. از جمله صنایعی که با گسترش روزافزون خود محیط زیست را تحت تاثیر قرار داده است، صنعت فولاد سازی می باشد. هم زمان با تولید فولاد محصولات جانبی متنوع از جمله سرباره، گرد و غبار، لجن، ورق های پوسته شده و لایه های اکسیدی تولید می شوند که سرباره، بیشترین حجم این محصولات را به خود اختصاص می دهد. مجتمع فولاد خراسان با ظرفیت تولید سالانه حدود ۱۷۰۰۰۰۰ تن فولاد در شمال شرق کشور و در ۱۵ کیلومتری شهر نیشابور واقع شده است. این مجتمع با قابلیت تولید سالانه حداقل ۴۲۰۰۰۰ تن سرباره دارای پتانسیل بالایی در جهت افزایش آلاینده های زیست محیطی در محدوده شمال غرب دشت نیشابور می باشد. در این تحقیق غلظت عناصر Ni، Cr، Pb، As در سرباره های تولیدی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی محدوده پیرامونی مجتمع فولاد خراسان، مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است. آنالیز نمونه های آب به روش جذب اتمی (Atomic Absorption) و نمونه های سرباره به روش XRF صورت پذیرفت. نتایج این تحقیق نشان می دهد آلودگی به فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در حد کمتر از آستانه خطر قرار دارد، ولی صورتیکه راهکار مناسبی جهت بازیابی مجدد سرباره های انبار شده اتخاذ نشود، به مرور زمان و با افزایش غلظت عناصر فوق در منابع آب زیر زمینی، این امکان وجود دارد که شاهد بحران زیست محیطی در محدوده فوق باشیم.

کلید واژه ها: سرباره، مجتمع فولاد خراسان، دشت نیشابور، فلزات سنگین

Abstract:

Evaluation of Khorasan Steel Company slag's effects on contamination of underground water resources in Nishabur Plain

Nowadays, due to the mix of human life with various industries and the consequent dramatic increase in the production of environmental pollutants, the status of environmental studies in the scientific community has greatly enhanced. The steel industry is among the industries that are expanding their environmental impacts. By the time of steel production, diverse and valuable byproducts such as slag, dust, sludge, metal shell and oxide layers are produced, which slag accounted for the most of the byproducts. Khorasan Steel Company with an annual production capacity of about 1,700,000 tons of steel is in the North East of the country and is situated about 15 kilometers from the Nishabur city. With an annual production capacity of at least 420,000 tons of slag, company, has the potential of increasing environmental contaminants in the west area of Nishabur Plain. In this study, the concentrations of Ni, Cr, Pb, As in the slag byproduct and groundwater resources within the perimeter of Khorasan Steel Company, has been assessed and evaluated. Water samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry (AAS) and slag samples were carried out by X-ray fluorescence (XRF) method. The results show that heavy metal pollution of groundwater resources in the study area is much less than the risk threshold, But if we do not adopt appropriate policy to regain stockpiled slag, over time and with increasing concentrations of these elements in underground water resources, it is possible to have environmental crisis in the above area.

Keywords : Slag, Khorasan Steel Company, Nishabur plain, Heavy Metals

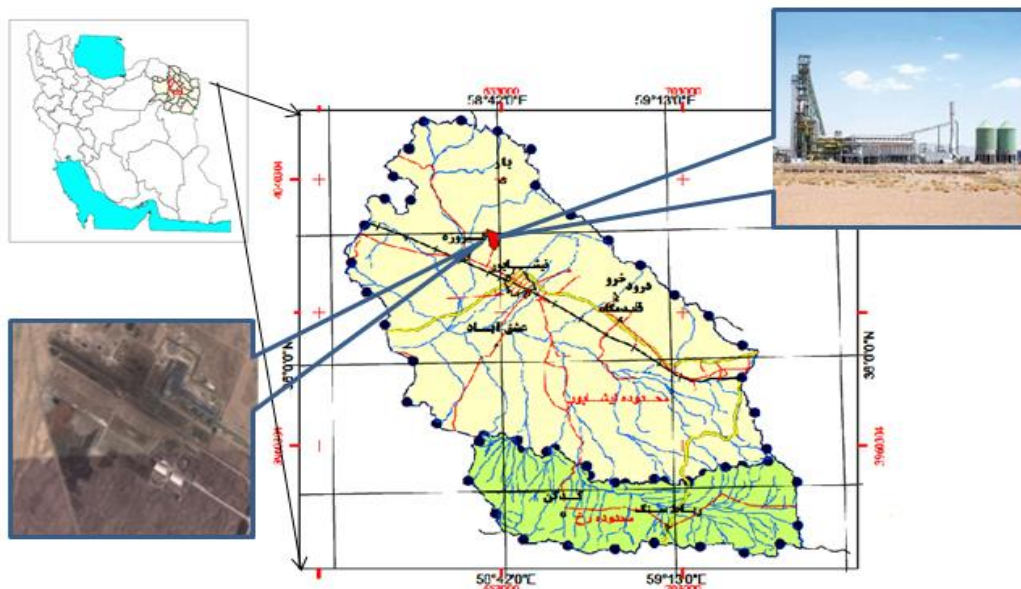


مقدمه :

امروزه در سرتاسر جهان فلزات سنگین به علت داشتن اثرات سمی، حتی در غلظت های پایین مورد توجه قرار گرفته اند (Das, 1990). فلزات سنگین به عنوان آلاینده های بالقوه محیط زیست در نظر گرفته می شوند و ورود مقادیر بیش از اندازه آن ها به منابع تغذیه ای، می تواند مشکلاتی را برای سلامتی انسان ایجاد نماید (Mohamed et al., 2012). این فلزات در محیط زیست پایدارند و برای موجودات زنده سمی هستند و تمایل دارند در بافت های گیاهی و جانوری تجمع یابند (Bhaskar et al., 2010). در کنار این فلزات ضروری برای انسان در مقادیر اندک، آب می تواند شامل فلزات سمی مثل جیوه، سرب، کادمیوم، نقره، آلومینیوم، آرسنیک و باریم نیز باشد (Karamanis et al., 2007- Ghaderpouri et al., 2009). این فلزات از راه های مصنوعی مانند احتراق سوخت های فسیلی، استخراج معادن، فاضلاب های کشاورزی و صنعتی، آب های سطحی جمع آوری شده، حمل و نقل و ... وارد منابع آبی می شوند (Ahmad et al., 2009). از راه های طبیعی ورود این فلزات به منابع آبی می توان به بارش، فرسایش خاک و حل شدن نمک های محلول اشاره نمود (Netpae and Phalaraksh, 2009). عوامل طبیعی و لیتولوژیکی نیز می توانند باعث آلودگی های زیست محیطی شده و آب هایی با کیفیت نامناسب ایجاد کنند (Law, 2000). مهمترین منابع زمین شناسی که باعث رهایی فلزات سنگین می شوند شامل هوازدگی سنگ ها، نهشته های معدنی و فعالیت های آتشفشانی می باشند. آب در منطقه منشأ بر اثر تعادل با سنگ بستر و یا محدوده کانی سازی، آلوده شده و سپس در اثر حرکت به سمت مناطقی با پتانسیل کمتر، آلودگی را به محیط آبرفت و یا خاک دور از ناحیه منشأ منتقل می نماید (Vaughan and Wogelios, 2000). مینرالیزاسیون و آلتراسیون حاصل از کانی ها نیز به عنوان یکی از فرآیندهای طبیعی، تغییرات ترکیبی و کانی شناسی مهمی در سنگ های اولیه بوجود آورده و باعث آزاد سازی، تمرکز و تخلیه برخی از عناصر و یون ها می شوند، لذا در چنین مناطقی انتظار می رود گسترش و پراکندگی کاتیون ها و آنیون ها در منابع آب متفاوت بوده و آلودگی های طبیعی شدیدی را بوجود آورند (طلایی و همکاران، ۱۳۸۵). در کنار آلودگی های طبیعی موجود، با وارد شدن صنایع به زندگی بشری آلودگی های غیر طبیعی به علت گسترش، حجم و میزان اثر گذاری، از اهمیت بیشتری برخوردار شده اند. در این تحقیق بخشی از دشت نیشابور مورد مطالعه قرار گرفته است که تحت تاثیر احتمالی اثرات زیست محیطی مجتمع فولاد خراسان قرار دارد. شرکت مجتمع فولاد خراسان به عنوان بزرگترین مجتمع فولادسازی در شرق کشور شناخته می شود و حدود ۴۰ هزار تن انواع ماشین آلات و تجهیزات را در خود جای داده است. با توجه به این که در کنار تولید آهن و فولاد محصولات جانبی متفاوتی از جمله سرباره، گرد و غبار، لجن، ورق های پوسته شده و لایه های اکسیدی نیز تولید می شوند این مواد در مجاور کارخانه در فضای آزاد دپو می شوند، این احتمال وجود دارد که بر منابع آبی منطقه تاثیر گذار باشند. در میان این محصولات جانبی، سرباره به علت حجم بیشتر تولید از اهمیت بیشتری برخوردار است و با توجه به حجم سرباره انبار شده در مجتمع (حدود ۴ میلیون تن) احتمال ورود عناصر فلزی سمی به منابع آب منطقه، نگرانی های زیست محیطی زیادی را ایجاد نموده است.

موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی منطقه:

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق کشور و در نواحی مرکزی استان خراسان رضوی قرار دارد (شکل ۱). مجتمع فولاد خراسان در غرب حوضه آبریز نیشابور، در جنوب رشته کوه بینالود در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غرب نیشابور، در زمینی به مساحت ۱۴۰۰ هکتار واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ای با طول جغرافیایی $58^{\circ}42'00''E$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}21'00''N$ قرار گرفته است.

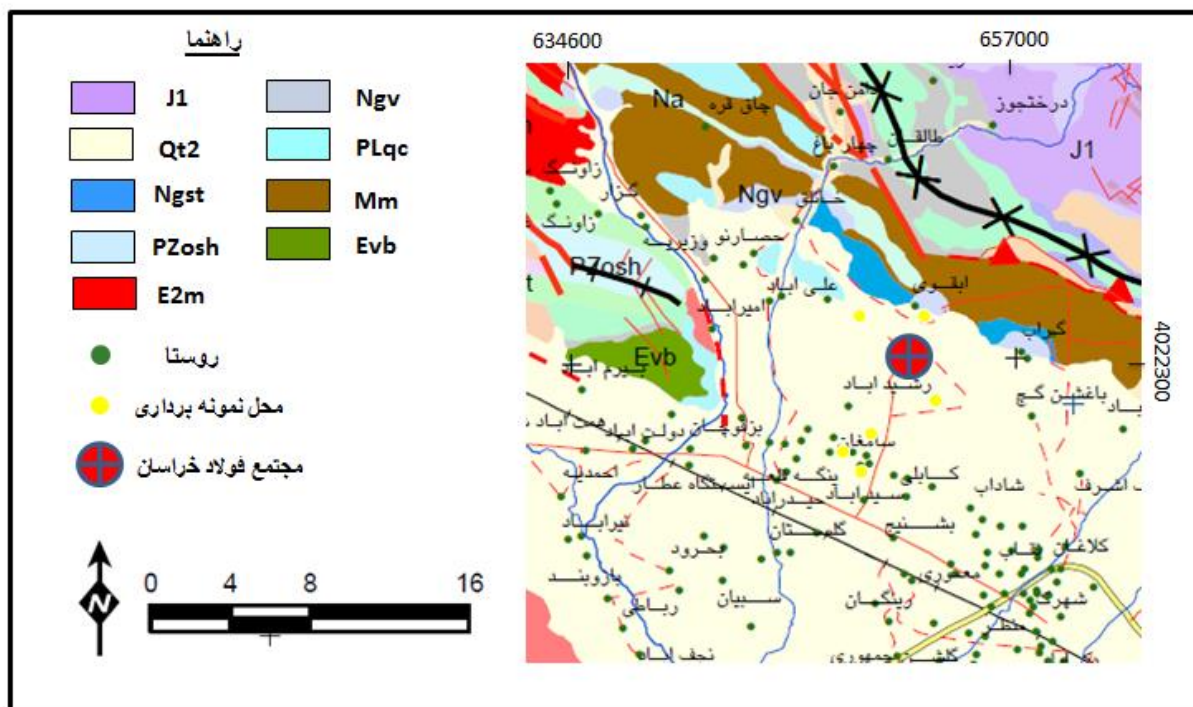


شکل (۱)- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی منطقه مورد مطالعه



زمین شناسی منطقه ی مورد مطالعه:

حوضه آبریز نیشابور در بخشی از زون کپه داغ و البرز شرقی قرار می گیرد که واحدهای بینالود در آن گسترش داشته و واحد یا زون کپه داغ را شامل نمی شود. این حوضه آبریز در جنوب غربی واحد بینالود و شرق زون ایران مرکزی واقع شده است و به دلیل پراکنده بودن توالیهای افیولیتی حاصل بسته شدن اقیانوس تتیس در قسمت شرقی زون ایران مرکزی، بخشی از آن ها را نیز پوشش میدهد. سازندها و واحدهای زمین شناسی مربوط به تمامی دوران ها از دوران اول تا دوران چهارم و نیز آبرفتهای عهد حاضر در گستره این حوضه قابل رویت است. چنین تنوع لیتولوژیکی ایجاد شده می تواند بر خصوصیات هیدرودینامیکی و به ویژه بر خصوصیات کمی و کیفی منابع آب منطقه تاثیر گذار باشد. در شکل (۲) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت مجتمع فولاد خراسان در آن نشان داده شده است.



شکل ۲ - نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق:

به منظور ارزیابی کیفی منابع آب منطقه مورد مطالعه (مناطق مجاور مجتمع فولاد خراسان) در دشت نیشابور، نمونه برداری از منابع مختلف آب های زیرزمینی از قبیل چشمه، چاه و قنات در روستاهای آب قوی (واقع شده در بالادست مجتمع)، روستای سامغان (واقع شده در پایین دست مجتمع) و همچنین چاه های زمین های زراعی حاشیه مجتمع فولاد خراسان انجام گرفت. نمونه ها طبق پروتکل برای اندازه گیری پارامترهای شیمی آب و میزان فلزات سنگین برداشت شدند. جهت اندازه گیری پارامترهای شیمیایی از هر ایستگاه ۲۵۰ میلی لیتر آب، پس از فیلتر نمودن به درون ظرف های پلی اتیلنی ریخته شد و در مرحله بعد اسید نیتریک خالص به عنوان تثبیت کننده به نمونه ها اضافه گردید.



لازم به ذکر است که مقادیر EC، pH و دمای آب، جهت اعمال در محاسبات بعدی، در محل نمونه برداری اندازه گیری گردید. نمونه های ذکر شده همراه با نمونه های مورد نظر جهت اندازه گیری عناصر سنگین با استفاده از روش جذب اتمی (AAS)، به آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب مشهد مقدس منتقل گردید. لازم به ذکر است که آنالیز سرباره انبار شده در محوطه مجتمع فولاد که از روش (X-Ray Fluorescence) XRF به دست آمده برای ارزیابی پتانسیل آلاینده در ادامه ارائه شده است.

نتایج :

چهار عنصر فلزی و شبه فلزی Ni، Cr، Pb، As، بر اساس احتمال بالای حضور در سرباره تولیدی مجتمع فولاد خراسان مورد آنالیز قرار گرفتند که مقادیر آن ها در جدول (۱) آورده شده است:

جدول ۱ - نتایج آنالیز فلورسانس پرتو ایکس نمونه های سرباره های مجتمع فولاد خراسان (تمامی مقادیر بر اساس میکروگرم بر لیتر (ppb) ارائه شده است)

روش آنالیز	ترکیب	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
XRF (ppm)	SiO ₂	23.50	13.50	34.50
	Al ₂ O ₃	4.50	3.10	4.50
	CaO	60.60	36.50	41.50
	MgO	6.20	5.60	9.10
	MnO	0.3	2.1	6.2
	TiO ₂	0.4	0.8	0.36
	FeO	0.7	26.8	2.3
AAS (ppm)	As	5.1	3.7	2.4
	Ni	18	23	31
	Pb	47	66	52
	Cr	181	142	126

بر اساس عناصر مورد بررسی در نمونه های سرباره، میزان غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات مذکور جهت ردیابی در منابع آبی اندازه گیری شده، همراه با مقادیر استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) در جدول (۲) ارائه شده است.

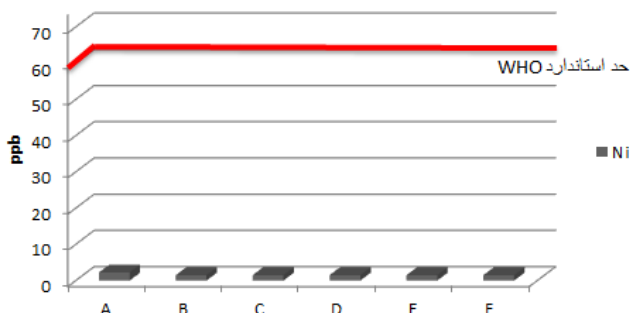
جدول ۲ - نتایج آنالیز جذب اتمی فلزات سنگین نمونه های منطقه مورد مطالعه (تمامی مقادیر بر اساس میکروگرم بر لیتر (ppb) ارائه شده است)

نام نمونه آب	Cr	As	Ni	Pb
A	7.265	<4.03	2.231	1.226
B	17.36	4.857	<1.59	<1.19
C	16.12	5.413	<1.59	1.449
D	7.744	<4.03	<1.59	<1.19
E	4.318	<4.03	<1.59	<1.19
F	25.88	<4.03	<1.59	1.586
استاندارد مجاز WHO	50	10	70	10

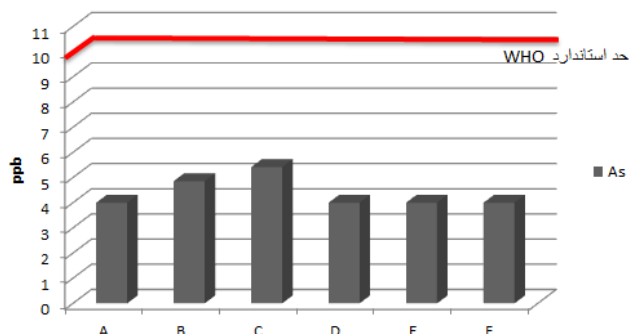
به منظور ارزیابی کیفی آلودگی فلزات سنگین در منابع آب منطقه مورد مطالعه نمودار هر یک از فلزات و شبه فلزات به صورت جداگانه در نمودارهای ستونی با مقادیر استاندارد مقایسه شده اند که در شکل (۲) نشان داده شده اند.



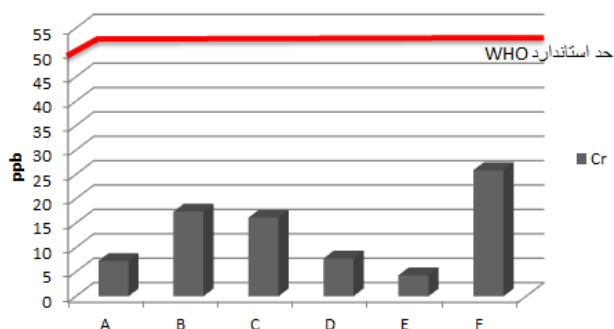
نمودار مقایسه مقادیر نیکل نمونه ها با مقدار استاندارد



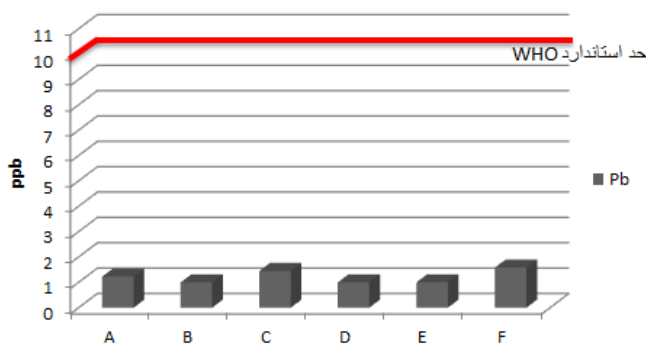
نمودار مقایسه مقادیر آرسنیک نمونه ها با مقدار استاندارد



نمودار مقایسه مقادیر کروم نمونه ها با مقدار استاندارد



نمودار مقایسه مقادیر سرب نمونه ها با مقدار استاندارد



شکل ۳ - نمودار های مقایسه غلظت عناصر مورد نظر با مقدار استاندارد (WHO, 2011)

طبق نمودار های ارائه شده در شکل (۳) مقادیر فلزات و شبه فلزات موجود در منابع آبی منطقه مورد مطالعه، همگی پایین تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی بوده و آلودگی نشان نمی دهند. به منظور ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین در منابع آبی منطقه مورد مطالعه از دو شاخص فلزی (Metal Index) جهت ارزیابی قابلیت شرب و از شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI=Heavy Metal Pollution Index) برای بررسی اثر عناصر سنگین بر سلامت انسان (شرب و یا غیر قابل شرب بودن) استفاده گردید. نکته قابل ذکر در مورد این شاخص ها این است که می توان از وارد نمودن شبه فلزات در محاسبات چشم پوشی نمود (خمر و همکاران، ۱۳۹۱- سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص فلزی (MI):

شاخص فلزی (Metal Index) از شاخص هایی است که اثرات آلودگی عناصر سنگین را بر کیفیت آب آشامیدنی و به تبع آن بر سلامت انسان نشان می دهد. مقدار شاخص فلزی از رابطه زیر محاسبه می شود (Tamasi and Cini, 2003):

$$MI = \sum_{i=1}^n \frac{Ci}{(MAC)_i}$$

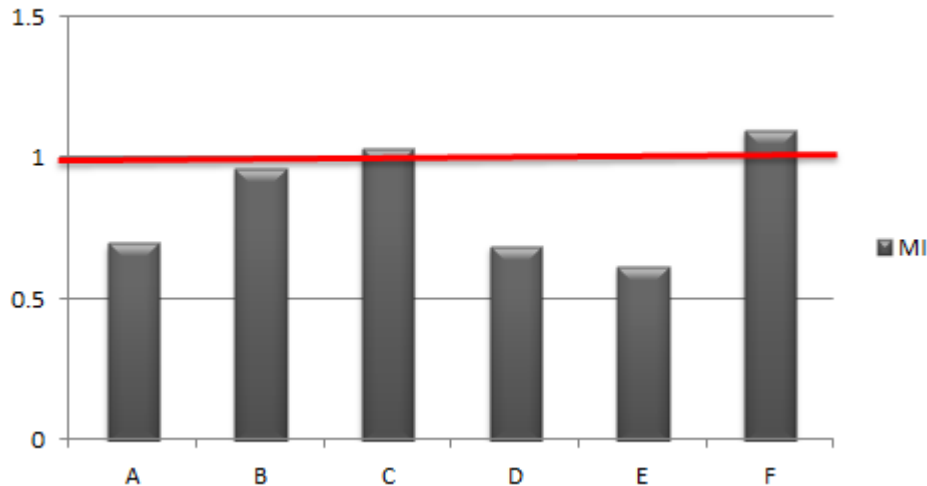
C غلظت هر عنصر در آب و i شماره عنصر فلزی است که در این رابطه مورد استفاده قرار می گیرد. (Maximum Allowed Concentration) یا MAC) بیشترین حد مجاز برای عنصر مورد نظر است. در این رابطه هر چه غلظت فلز در مقایسه با بیشترین حد مجاز آن یا همان MAC بیشتر باشد، آب از کیفیت پایین تری برخوردار است. اگر غلظت عنصر خاصی از MAC بیشتر باشد (MI>1) آب غیر قابل شرب خواهد بود، اگر (MI=1) باشد، آب در مرز خطر از نظر آشامیدن قرار دارد و اگر (MI<1) باشد آب قابل شرب است. برای محاسبه MI نمونه های آب منطقه مورد مطالعه از عناصر Ni، Cr، Pb، As استفاده گردید و برای MAC استاندارد سازمان بهداشت جهانی به عنوان معیار قرار گرفته است. لازم به ذکر است که MI=1 به عنوان حد آستانه خطر حتی در شرایطی که غلظت هر عنصر در مقایسه با حد مجاز آن پایین تر باشد در نظر گرفته می شود.



۲۷-۳۰ بهمن ۱۳۹۲

برای هر یک از ایستگاه های نمونه برداری منطقه مورد مطالعه، مقدار شاخص فلزی اندازه گیری شده است که در شکل (۴) به صورت نمودار ارائه گردیده است:

نمودار مقایسه مقادیر شاخص فلزی نمونه ها با حدود مجاز



شکل ۴ - نمودار مقایسه کیفی شاخص فلزی نمونه های مورد مطالعه با مقدار استاندارد (WHO, 2011)

مطابق شکل فوق شاخص فلزی برای دو ایستگاه C و D که به ترتیب مربوط به چاه پایین دست و چاه داخل مجتمع فولاد خراسان می باشند از یک بیشتر بوده و با در نظر داشتن این نکته که فقط چهار فلز و شبه فلز در این محاسبه وارد شده اند می توان انتظار داشت که در صورت داشتن آنالیز سایر فلزات سنگین، این شاخص برای نمونه های مورد مطالعه بیشتر از حد استاندارد باشد.

شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI):

شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy Metal Pollution Index) برای برآورد آلودگی در آب شرب استفاده می شود و طبق فرمول زیر محاسبه می گردد (Mohan et al., 1996):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

در رابطه فوق W_i وزن پارامتر مورد نظر بوده و که از طریق معکوس استاندارد محاسبه می شود ($W_i = 1/S_i$). عبارت n عبارت است از تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده و Q_i زیر شاخص پارامتر i ام عناصر سنگین است خود به طور جداگانه از فرمول زیر حاصل می شود:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - I_i|}{(S_i - I_i)} \times 100$$

در رابطه M_i مقدار غلظت عنصر سنگین محاسبه شده است و I_i و S_i هرکدام به ترتیب مقدار ایده آل و مقدار استاندارد پارامتر مورد نظر می باشند (Yankey et al., 2013). در این شاخص اگر HPI بیشتر از ۱۰۰ باشد آب به فلزات سنگین آلوده است، در صورتی که $HPI = 100$ باشد آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد و اگر HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است. مقادیر این شاخص برای نمونه های منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن چهار عنصر Ni, Cr, Pb, As محاسبه شد که نتایج در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

جدول ۳ - مقادیر محاسبه شده شاخص آلودگی فلزات سنگین براساس مقدار استاندارد (WHO, 2011)

نمونه	A	B	C	D	E	F
HPI	23.74	28.53	32.18	23.22	22.64	28.40



مطابق جدول شماره (۳) همگی نمونه ها مقادیر HPI کمتر از ۱۰۰ داشته که نشان دهنده عدم آلودگی نمونه های آب از نظر شاخص آلودگی فلزات سنگین هستند. در میان نمونه های مطرح شده، نمونه C دارای بیشترین مقدار شاخص HPI است که می تواند در اثر وجود مقادیر رو به رشد هم زمان سه عنصر مورد مطالعه در این نمونه باشد.

نتیجه گیری :

به منظور ارزیابی اثر گذاری سرباره های انبار شده مجتمع فولاد خراسان بر منابع آبی دشت نیشابور، نمونه های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه از نظر فلزات سنگین آنالیز شده و نتایج حاصل بر اساس شاخص های آلودگی فلزات سنگین از جمله شاخص های MI و HPI مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس شاخص فلزی، تعدادی از نمونه ها در مرز آستانه ی خطر قرار دارند و این نکته نشان دهنده ی ورود بیش از اندازه فلزات سنگین به منابع آبی است هرچند طبق شاخص آلودگی به فلزات سنگین، نمونه های آب منطقه مورد مطالعه قابل شرب و بدون مشکل شناسایی شده اند. با تکیه بر این نکته که مجتمع فولاد خراسان در دومین دهه فعالیت خود قرار دارد و تاکنون حدود ۴ میلیون تن سرباره در محدوده مجتمع انبار گردیده است و با در نظر گرفتن این حقیقت که سطح آب سفره های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه پایین می باشد (بیش از ۱۰۰ متر) و زمان کافی برای رسیدن آلاینده ها به منابع آبی سپری نشده است، می توان انتظار داشت که با گذشت زمان و بالاتر رفتن غلظت فلزات سنگین در ایستگاه های نمونه برداری، منابع آبی قابلیت شرب خود را از دست بدهند. با توجه به این نکته که مصرف مداوم و طولانی مدت از منابع آبی دربردارنده فلزات سنگین با غلظت های بالا، مشکلات فراوانی را برای سلامتی انسان ایجاد می نماید در پایان پیشنهاد می شود که برای بررسی دقیق تر اثر این مجتمع بر منابع آبی منطقه، پتانسیل زمین زاد منطقه از نظر فلزات سنگین بررسی گردد. علاوه بر این، ارزیابی غلظت سایر فلزات سنگین که ممکن است در این منابع موجود باشند می تواند بر نتیجه گیری های دقیق تر موثر باشد و حتی در مواردی نتایج خطرناک تری از خود نشان دهد.

تقدیر و تشکر:

بدینوسیله از آقای مهندس محمد رضا علی پور، مدیر ارشد آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب مشهد و همکاران محترم ایشان به جهت همکاری در آنالیز نمونه های آب تشکر و قدردانی می گردد.

منابع فارسی :

- طلاپی، ر.، پیروان، ح.، ۱۳۹۰، تأثیر مناطق مینرالیزه و آلتزه بر کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی از دیدگاه زیست محیطی، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین شناسی کشور.
- خمر، ز.، محمودی قزایی، م.، مخدومی، ع.، سیاره، ع.، ۱۳۹۱، تعیین شاخص های آلودگی در منابع آب محدوده ی معدن طلای زرمهر، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین.
- سلیمانی، س.، محمودی قزایی، م.، قاسم زاده، ف.، سیاره، ع.، ۱۳۹۱، ارزیابی شاخص های آلودگی آب در منطقه ی افیولیتی غرب کوهسرخ، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران.

References:

- Ahmad, A. K., Mushrifah, I., & Othman, M. S. (2009). *Water quality and heavy metal concentrations in sediment of Sunagi Kelantan, Kelantan, Malaysia: A baseline study*. Sains Malaysiana, 38(4), 435-442.
- Ali, M. H., Al-Qahtani, K., Alturiqi, A. S., Albedair, L. A., & Alibrahim, K. A. (2012). *Estimation of Water Quality Index and Assessment of Some Heavy Metals in potable water at Kingdom Saudi Arabia*. Journal of Applied Sciences Research, 8(7), 3206-3210.



- Bhaskar, CV., Kumar, K., & Nagendrappa, G. (2010). *Assessment of heavy metals in water samples of certain locations situated around Tumkur, Karnataka, India*. E-J. Chem; 7(2), 349-352.
- Das, A. K. (1990). *Metal ion induced toxicity and detoxification by chelation therapy*. A text book on medical aspects of bio-inorganic chemistry, 1st ed, CBS, Delhi, 17-58.
- Ghaderpouri, M., JahedKhaniki, G. R., & Nazmara, S. (2009). *Determination of toxic trace elements in bottled waters consumption in the of Tehran*. In 12th environmental health national congress.
- Karamanis, D., Stamoulis, K., & Ioannides, K. G. (2007). *Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece*. Desalination, 213(1), 90-97.
- Laws, E. A. (2000). *Aquatic pollution: an introductory text*. John Wiley & Sons.
- 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.
- Netpae, T., & Phalaraksh, C. (2009). *Water quality and heavy metal monitoring in water, sediments, and tissues of corbicula sp. from bung boraphet reservoir, Thailand*. Chiang Mai J. Sci, 36(3), 395-402.
- Tamasi, G., & Cini, R. (2004). *Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena*. Science of the total environment, 327(1), 41-51.
- World Health Organization; (2011). *Guidelines for drinking Water Quality, Vol.1, Recommendation 2nd Edition*; Geneva.
- Vaughan, J., & Wogelius, A.,(2000). *Environmental mineralogy*, Published by EOTUOS University Press, 91-120.
- Yankey, R.K., Fianko, J.R., Osae, S., Ahiale, E.K., Duncan, A.E., Essuman, D.K., & Bentum, J.K. (2013). *Evaluation of heavy metal pollution index of groundwater in the Tarkwa mining area, Ghana*. Elixir Pollution 54, 12663-12667.